



# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

5

1937

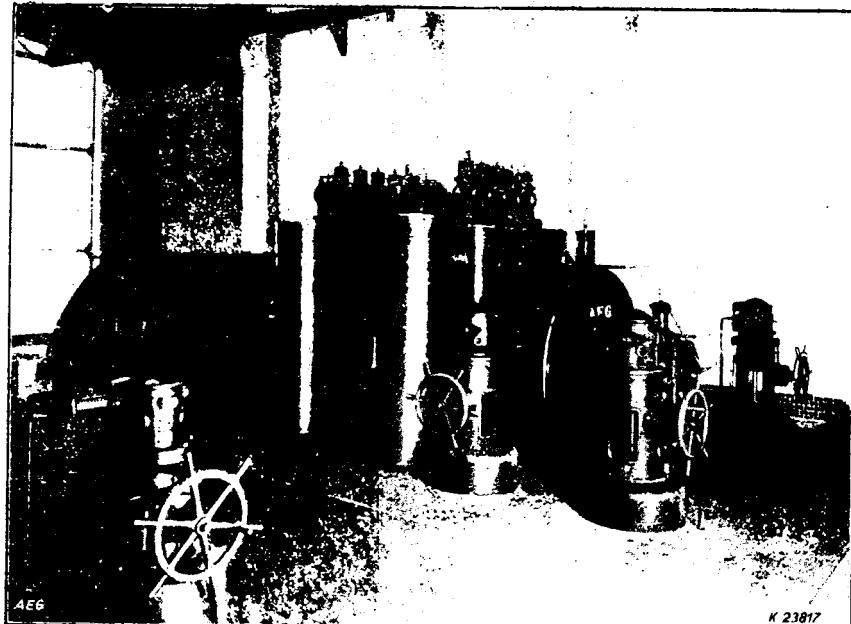
ОБЪЕДИНЕН  
ТЕХНИЧЕСКОЕ



НОЕ НАУЧНО-  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека  
[www.booksite.ru](http://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 Elektricitäts - Gesellschaft

Abt. Rußland — Berlin NW 40

6728

### Чистое железо АРМКО

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 брусков, а также в виде профильного железа.

### Трансформаторная сталь АРМКО

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

### Специальные стали

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<sup>e</sup>) 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

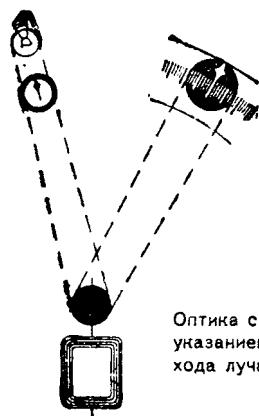
В АНГЛИИ :  
ARMCO Ltd  
Thames House, Millbank  
LONDON, S.W.1.

В ИТАЛИИ :  
ARMCO S.A.  
Via S.Lorenzo 4. GENOVA



SIEMENS

# 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:

6781

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

Письма заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

[www.booksite.ru](http://www.booksite.ru)



# ПЕРЕГРУЗКА

**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

КЕНИИ

НАТАЛЕ

БОМБЕЕ

МАДРАССЕ

ПАЛЕСТИНЕ

БУРМЕ

МАЛАЕ

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 мощных электрических станций и подстанций . . . . .	7
Совалов С. А. — Параллельная работа трехобмоточных трансформаторов с различными характеристиками . . . . .	16
Хрушков В. М. — Расчет ударных и переходных токов к. з. методом спрямленной внешней характеристики . . . . .	20
Друскина Л. С. и Красилов А. В. — Работа тиатронов на повышенных частотах . . . . .	25
Никитин В. П. и Рабинович И. Я. — Сварочная дуга переменного тока . . . . .	31
Квятнер 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 В вновь оборудованный во Всесоюзном электротехническом институте (ВЭИ)	

## Стахановские методы работы и электропотребление промышленности<sup>1</sup>

А. Л. Матвеев

Харьковский электротехнический институт

СТАХАНОВСКАЯ организация производственных процессов оказала большое влияние на электропотребление промышленности. Теперь уже нельзя пользоваться старыми нормативами электропотребления, опровергнутыми действительно, 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 рядок 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 институт<sup>2</sup> 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

<sup>1</sup> В экспериментальной и расчетной работе принимали участие студенты ХЭТИ И. А. Бухштаб и Д. С. Колобков.

<sup>2</sup> При участии харьковского отделения Электропрома в изучении коэффициентов одновременной загрузки цехов.

цепи питания двигателей, обслуживающих станки. Исследованию подвергались одни и те же фидера 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  $\beta$  и уплотнение сменного графика работы станка.

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

Следует указать, что коэффициент  $\alpha$  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, кВт	Коэффициент загрузки станка $\beta$		Коэффициент стахановского 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 достахановской. Этот факт находит себе подтверждение в анализе суточного потребления завода ХЭМЗ за август 1936 г.; в стахановскую декаду этого месяца среднедекадный максимум нагрузки по заводу превысил средний максимум за предшествующие 15 рабочих дней того же месяца на 24%.

Это обстоятельство позволяет повысить загрузку предприятия в первой смене, не склоняя ее во второй с тем, чтобы утренний и вечерний максимумы нагрузки энергетической системы, имеющей коммунально-промышленные потребители, 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, отелях и учреждениях.

Ниже приводится элементарный математический анализ взаимосвязи факторов, влияющих на динамику удельного потребления энергии в производственности 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, —  $\psi w$ . Если дифференцировать далее уже только производственную часть расхода энергии, то ее можно разбить на две составляющие: 1) полезную часть производственного расхода энергии, равную  $\eta w$ ; и 2) производственные потери  $(1 - \eta) \psi w$ . Переходя к новому, стахановскому режиму работы предприятия или отдельного станка, необходимо учесть следующие коэффициенты:  $\theta$ , учитывающие изменение полезного производственного потребления электроэнергии;  $A$ , характеризующий увеличение выпуска продукции в единицу времени (при том же производственном оборудовании), и  $L$ , который определяет изменение не производственной части удельного расхода энергии  $(1 - \phi) w$ .

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

Таблица 2

№ станка	Вес сра- ботанно- го мета- ла kg	Время отработ- ки одной детали min	Вес металла, сработанно- го в едини- цу времени kg min	Коэффициенты								S = $\eta\theta + \frac{1-\eta}{A}$ Расчетный коэффициент S	Ошиб- ка подсчета %		
				опытные				приведенные							
				A	$\theta$	$\eta$	S	$A'$	$\theta'$	$\eta'$	$S'$				
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		
2785	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	1,81	0,87	0,65	0,79	0,480	0,315	0,235	0,286	0,830	+5		
24	5,22	38,0	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	0,014	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		
<b>Итого . . . .</b>			<b>2,709</b>	—	—	—	—	<b>3,570</b>	<b>2,310</b>	<b>1,111</b>	<b>2,11</b>	—	—		

$$\left[ \left( \Theta\eta + \frac{1-\eta}{A} \right) \psi + L \frac{(1-\psi)}{A} \right] w = \\ = w' \frac{\text{киловатт-часы}}{\text{единица продукции}}$$

Иначе говоря, коэффициент стахановского изменения удельного потребления

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

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

Поэтому для отдельных станков выражение (1) прощается.

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

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 ( $A'$ ,  $\eta'$ ,  $\theta'$ ,  $S'$ ).

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:

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

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

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

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

Расхождение расчетной и опытной величин составит:

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

Если в виде примера предположить, что полученные опытным путем значения коэффициентов  $A_{cb}$ ,  $\Theta_{cb}$  и  $\eta_{cb}$  могут быть применены ко всему цеху в целом, и если принять, что максимум непроизводственной нагрузки по цеху составляет около 15% от общечехового максимума нагрузки, то коэффициент ( $S_n$ ) полного изменения удельной нормы электродопребления 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  $\psi$  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

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

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-

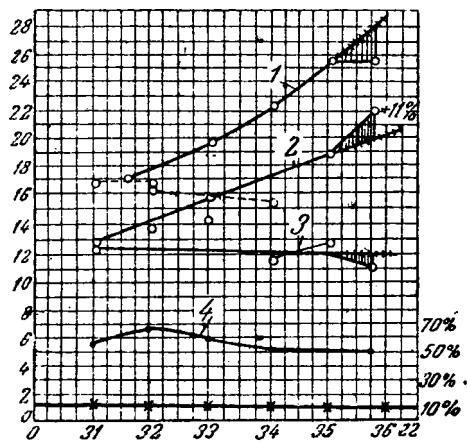


Рис. 1. Динамика удельного потребления электроэнергии (kWh).

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 (kWh) 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	1642 (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, строенные 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 заводе ХЭМЗ за девять месяцев дало возможность снизить: 1) удельный расход на 1000 руб. 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  $S_{ce} = 0,7$ . Таким образом, статистически обоснованное значение удельного расхода электроэнергии (9%) значительно отстает от возможного. Надо помнить, 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 требования 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, характеризуемая степенью 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

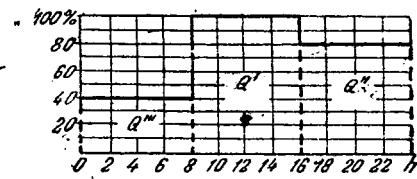


Рис. 2. Теоретический суточный график по сменам

На показатель  $T$  влияет также число смен: продолжительность их в часах. Для конкретности мы в дальнейшем будем исходить из трех смен 7-часовой продолжительности рабочего дня и восьмичасовой смены.

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

Зимние смены: первая —  $k_3$ , вторая и третья —  $x_3$  и  $y_3$ ; летние смены: первая —  $z_4$ , вторая и третья —  $x_4$  и  $y_4$ .

Равным образом коэффициенты заполнения зимних смен обозначим: первой —  $k_3$ ; второй и третьей —  $k_3''$  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  $Q$ :

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

$$k'_4 = \frac{q'_4}{Q'_4}; \quad k''_4 = \frac{q''_4}{Q''_4}; \quad k'''_4 = \frac{q'''_4}{Q'''_4}.$$

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

$$T = [(k'_3 + x_3 k''_3 + y_3 k'''_3) + (z_3 k'_4 + x_4 k''_4 + y_4 k'''_4)] \frac{8 \cdot 355}{2} \mu_{13} \text{ч.} \quad (2)$$

Коэффициент  $\mu_1$  учитывает непрямолинейный переход от зимнего графика к летнему. Практически для средней группы промышленных предприятий несезонного значения и имеющих малую оставляющую осветительной нагрузки этот коэффициент колеблется от 0,95 до 0,90. Коэффициент  $\mu_2$  учитывает фактическое число дней работы предприятия в году, а также степень загрузкидельных цехов предприятия в выходные и праздничные дни.

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

$$0,5 [(k'_3 + x_3 k''_3 + y_3 k'''_3) + (z_3 k'_4 + x_4 k''_4 + y_4 k'''_4)] = \beta_p \quad (3)$$

по аналогии для среднего (зимне-летнего) выходного дня

$$0,5 [(z_{38} k'_{38} + x_{38} k''_{38} + y_{38} k'''_{38}) + (z_{48} k'_{48} + x_{48} k''_{48} + y_{48} k'''_{48})] = \beta_n \quad (4)$$

для праздничного дня

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

коэффициент  $\mu_2$  можно определить следующим образом:

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

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

Коэффициент  $\mu_2$  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  $z$  заполнения сменного графика  $k'$ ,  $k''$ ,  $k'''$ , относящимся к существующему режиму работы предприятия, индекс  $c$ , 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

$$K_0 = \frac{(k'_{n3} + x_{n3} k''_{n3} + y_{n3} k'''_{n3}) + (z_{n4} k'_{n4} + x_{n4} k''_{n4} + y_{n4} k'''_{n4})}{(k'_{c3} + x_{c3} k''_{c3} + y_{c3} k'''_{c3}) + (z_{c4} k'_{c4} + x_{c4} k''_{c4} + y_{c4} k'''_{c4})}. \quad (7)$$

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, созданное стахановской работой предприятия.

Для группы предприятий, являющейся характерной для промышленности, территориально

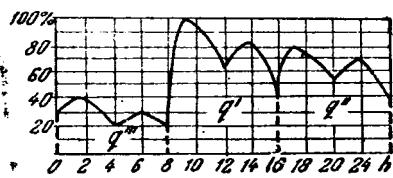


Рис. 3. Фактический график по сменам

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 следующие<sup>3</sup> коэффициенты  $z$ ,  $x$  и  $y$  (табл. 4).

Таблица 4

	Существующий график		Новый график	
	зимний	летний	зимний	летний
$z$	1		0,9	
$x$	1		0,9	
$y$	1		1	
			1	0,95—0,92
			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. 5<sup>3</sup>.

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

$$K_0 \approx 1,15 \frac{1 + 1,02x_{n3} + 1,03y_{n3}}{1 + 1,09x_{c3} + 0,85y_{c3}}. \quad (7a)$$

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

<sup>3</sup> 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».

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 годовой 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 теперь<sup>4</sup>. При этом максимальное заполнение сменных графиков не выходит 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 высажем пожелание, чтобы дополнительное к постановлению СНК СССР от 1 октября 1936 г. о снижении удельных норм электропотребления в промышленности было выпущено 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.

<sup>4</sup> Подробно см. «Энергетика», № 4, 1936.

# Новые схемы коммутации и распределительные устройства мощных электрических станций и подстанций<sup>1</sup>

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

М. Д. Залышкин

Теплоэлектропроект

**М**ОЩНОЕ развитие электрических систем Союза и большое значение бесперебойности электроснабжения промышленности, в особенности в связи с 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 перечислению применяемых решений послужило большое количество аварий в различных частях электрических установок, вызывающих иногда серьезное расстройство 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. В общего количества аварий в пределах станций и подстанций Главэнерго, как показывает аварийная статистика 1935 г., весьма большой процент идет именно на этого рода аварии.

Следует отметить, что большая часть таких аварий вызвана выключением разъединителей под нагрузкой, что может быть устранено применением блокировок. Значительное количество аварий определено применением бакелитовых втулок. Большинство аварий вызвана несоответствием аппаратуры и параметрам токов к. з. Значительная часть из последних аварий может быть также устранена путем 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 устраниить только применением блокировок и правильным выбором аппаратуры. При возникновении их бесперебойность электроснабжения может быть сохранена лишь путем изменения применяемых в Союзе схем коммутации.

<sup>1</sup> По материалам, проработанным в электротехническом порте Теплоэлектропроекта и доложенным на партийно-технической конференции Теплоэлектропроекта в 1936 г. порядке обсуждения. Ред.

Из опубликованных в Бюллетеине Мосэнерго<sup>2</sup> 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 разрывкой 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 быстroredействующую 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 аварий, но по своему выполнению является несколько сложным, так как в систему блокировки должен быть введен и межшинный масляный выключатель.

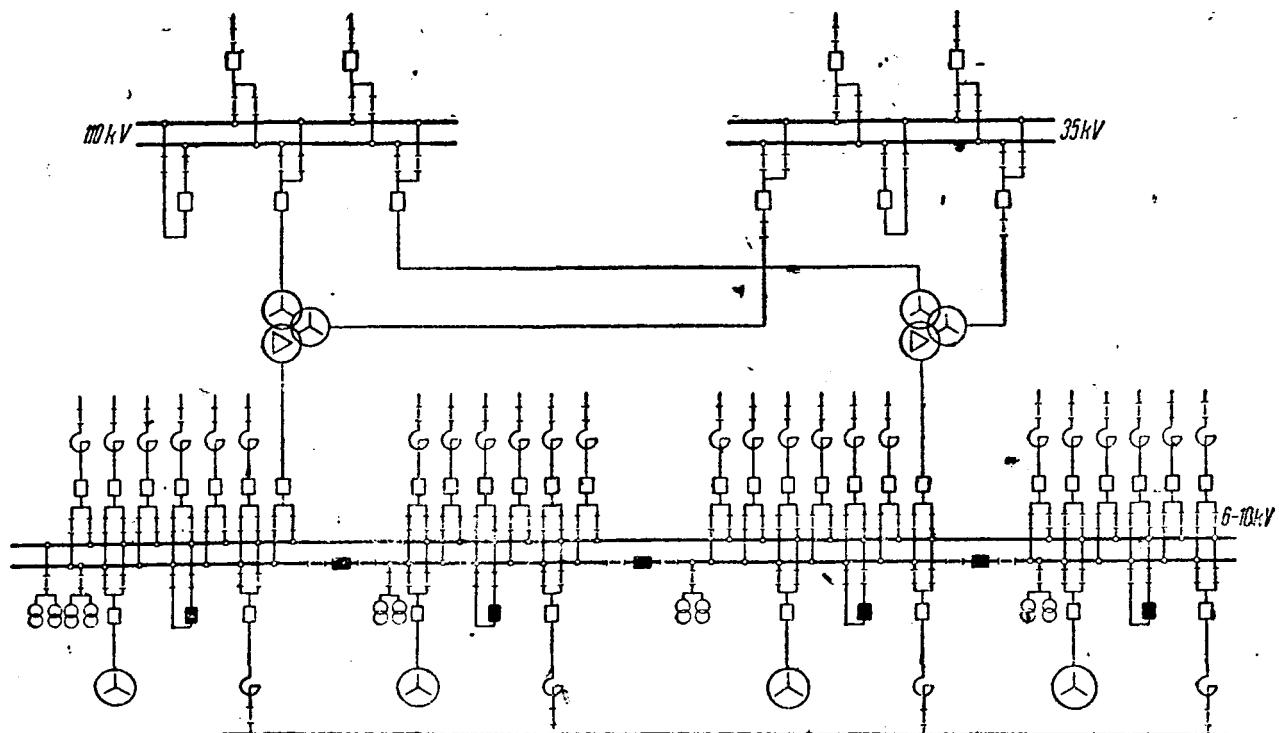


Рис. 1

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 выключателей этой системы и снабжение энергией потребителей продолжается с второй системы шин.

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

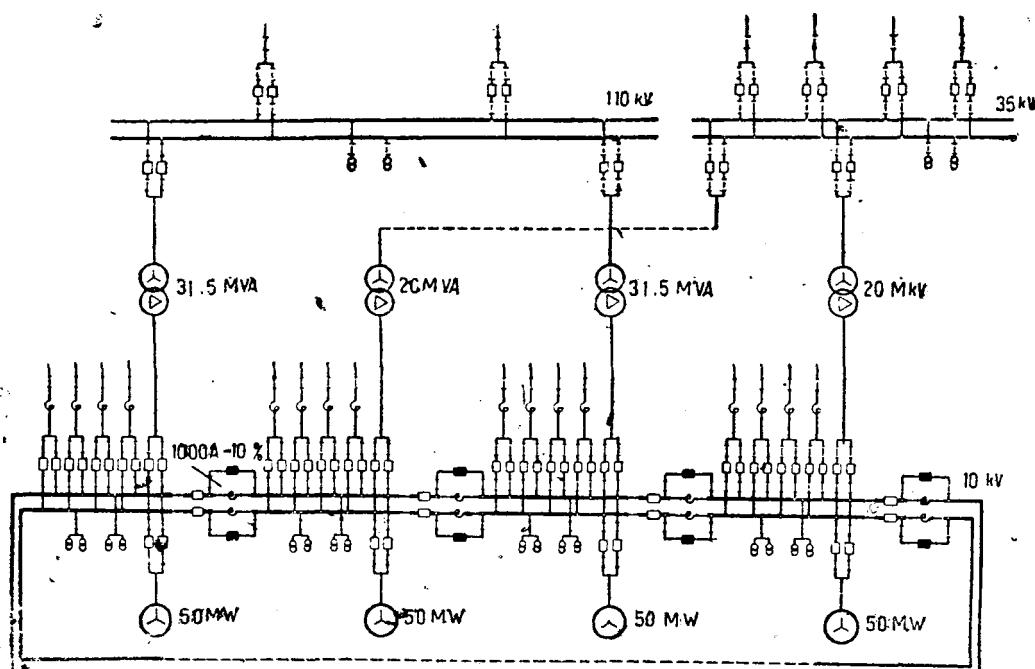


Рис. 2  
Вологодская областная универсальная научная библиотека  
www.booksite.ru

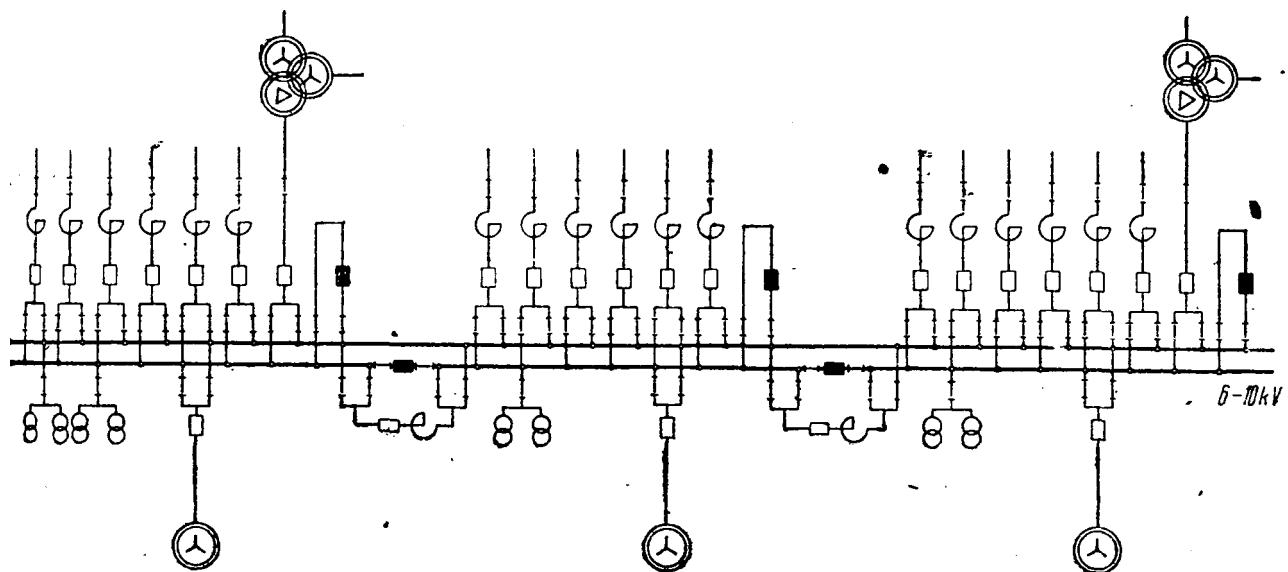


Рис. 3

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

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

4. Быстро действующая 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 сяными выключателями; наличие весьма прой блокировки позволяет полностью исключить зрии от неправильных действий с разъединителем.

6. При наличии двух выключателей на фидере возможен осмотр и ремонт шинных разъединителей и выключателей без отключения фидера или 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 реакторов их систем шин. Соответственно можно повысить реактанц реакторов с тем, чтобы мощность на шинах осталась примерно в тех же пределах, как и для европейской схемы.

8. В качестве преимущества схемы следует также отметить возможность селективного и быстрого отключения однополюсных земляных замыкающих 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 эксплоатации на мощных электростанциях применяется секционирование сборных шин с помощью реакторов и масляных выключателей.

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

При наличии двух и трех секций на генераторном напряжении соединение их производится по «прямолинейной» 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 повышаительные трансформаторы обычно не имеются 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 производственным 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 дополнительный недостаток, что при аварии на синхронизирующей шине или реакторе станции 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 капиталовыхложений.

При применении американской схемы с двумя выключателями на фидер схема кольца, показанная на рис. 2, приобретает целый ряд дополнительных преимуществ и должна считаться единственной 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.

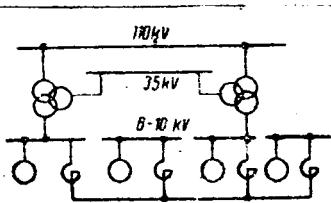
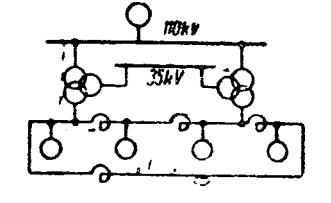
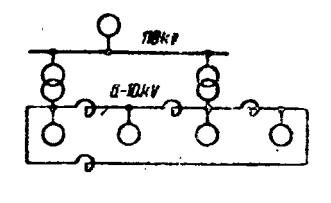
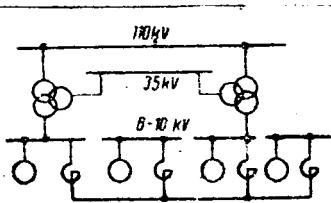
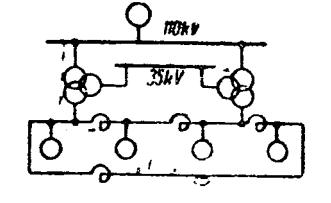
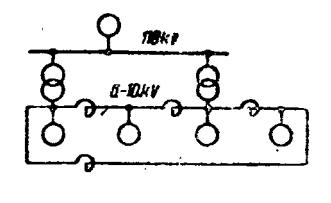
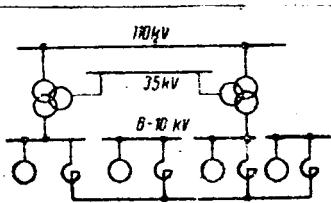
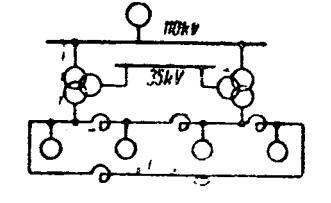
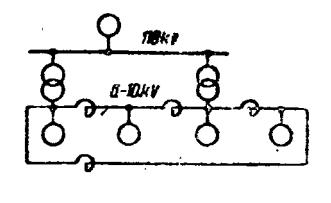
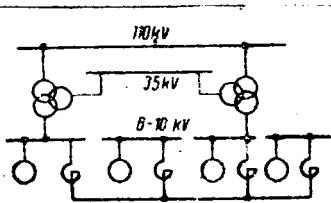
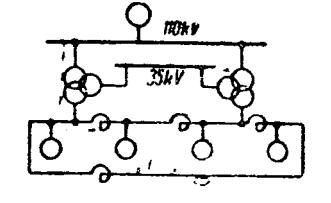
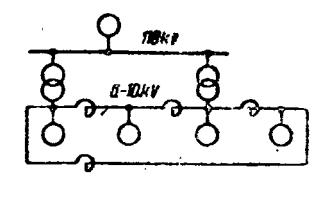
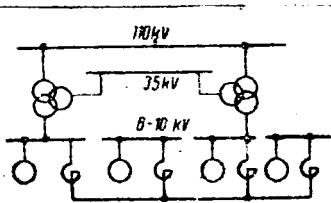
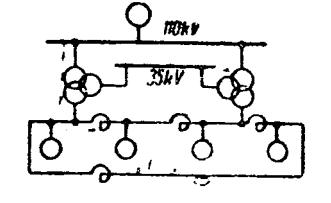
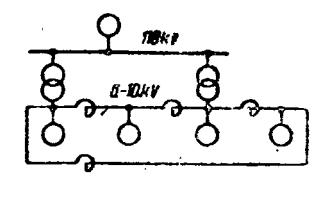
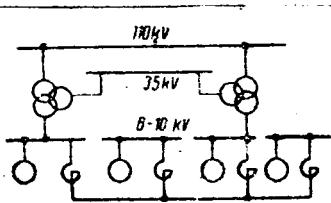
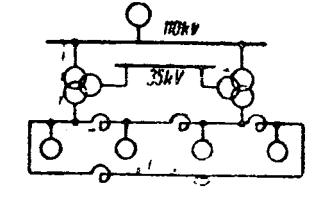
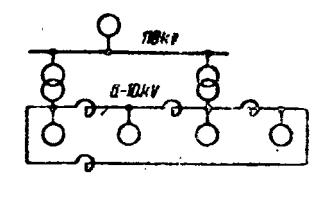
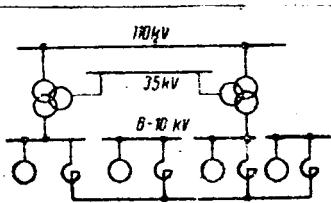
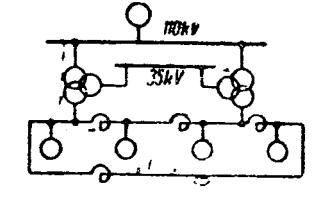
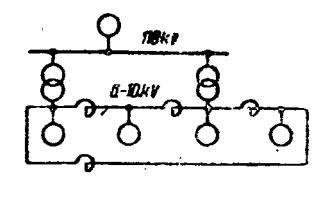
В табл. 1 приведены токи к. з. для схем кольца и звезды для напряжений 6 и 10 kV для станций мощностью соответственно 100 и 200 MW. Мощность к. з. на шинах 110 kV при расчете принята равной 1500 MVA.

Таблица может быть отнесена как к схеме европейской, так и американской, если приведенный реактор 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 изготавляемой 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 A, %	Начальный ток к. з. kA	Мощность к. з. MVA	Принципиальные схемы		
								1	2	3
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			

иачей энергии на генераторном напряжении бу-  
меньше мощности генераторов секции, что  
вою очередь понизит токи к. з., как это видно  
приведенных в таблице цифр.

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

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 подвергены авариям от атмосферных перенапряжений обмотки 35 kV. Эта зависимость основных обмоток 35 и 110 kV от обмотки 35 kV отпадает при применении двухобмоточных трансформаторов.

2. При двухобмоточных трансформаторах величины токов к. з. на напряжениях 35 kV и 6—10 kV получаются 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 kV станции возможно ограничиться установкой одного трансформатора, но из условий бесперебойного питания потребителей 35 kV приходится устанавливать два трехобмоточных трансформаторов. При двухобмоточных трансформаторах возможно ограничиться установкой одного для связи с системой 110 kV и двух трансформаторов для напряжения 35 kV, что дает уменьшение капиталовыхложений.

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

Для сравнения стоимости вариантов установки повысительных подстанций двухобмоточных 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 200 MW.

В 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 kV . . . . .	7	70 000	490 000
Трехфазный двухобмоточный трансформатор, мощностью 20 MVA, напряжением 35/10 kV . . . . .	2	72 000	144 000
Накладные расходы: монтаж, транспорт и пр.—20% . . . . .	—	—	126 000
<b>Итого . . . . .</b>	—	—	760 000
Ячейки 110 kV . . . . .	2	110 000	220 000
" 35 . . . . .	2	50 000	100 000
" 10 . . . . .	4	30 000	120 000
<b>Итого . . . . .</b>	—	—	440 000
<b>Всего . . . . .</b>	—	—	1 200 000

## Вариант с трехобмоточными трансформаторами

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

моточные трансформаторы мощностью 40 MVA для напряжения 110 kV и мощностью 20 MVA для всех 35 kV. 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 та же самая в трехобмоточных.

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

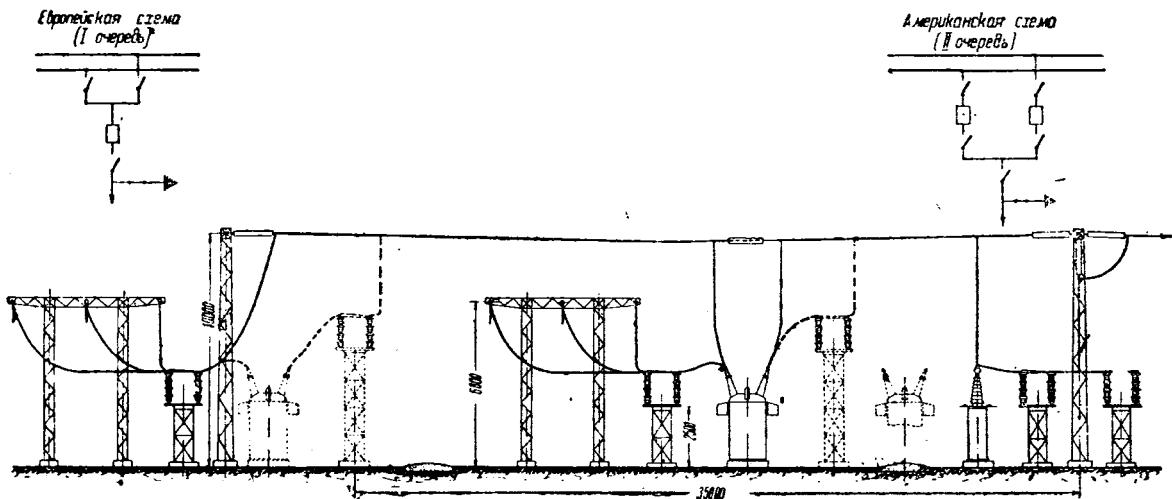


Рис. 4

проявления, целесообразна установка трехобмоточных трансформаторов. Точно так же на понизительных 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 кВ при двух пониженных напряжениях 35 и 10 кВ.

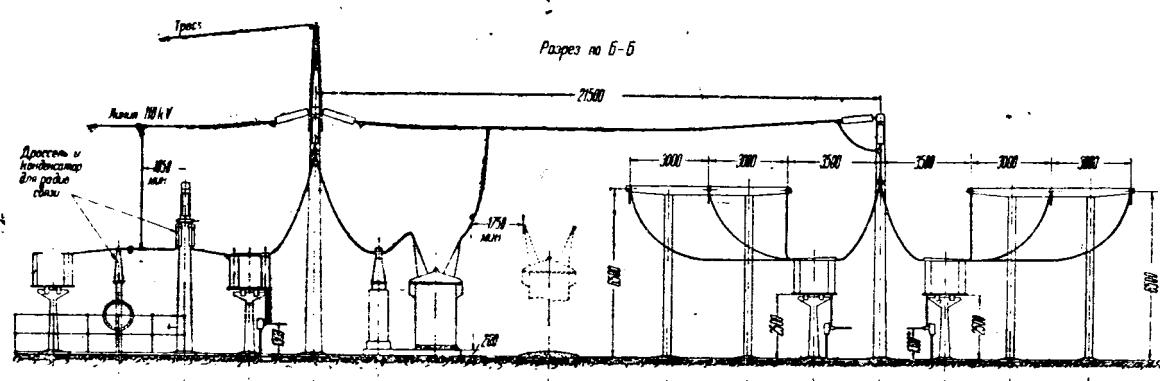
**Новые конструкции распределительных устройств для американской схемы.** Прежде чем сделать окончательный вывод относительно применения американской схемы с двумя выключателями на фидер, следует несколько остановиться на конструктивном оформлении этой схемы для распределительных устройств 6—10 и 35—110—220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

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 кВ, не бывающие при своем возникновении осуществлены коммутации по схеме с двумя выключателями фидер, потребуют перехода на эту схему в дальнейшем развитии системы.

Исходя из этого, электротехническим сектором Теплоэлектропроекта разработаны конструкции открытых подстанций 110—220 кВ, допускающие в первую очередь установку одного выключателя на фидер и переход в дальнейшем на американскую схему путем добавления выключателя и радиаторов.

Разрез по открытой подстанции 110 кВ, 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. Переход 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 напряжени



10–220 кВ никаких трудностей не представляет. Во всех установках, для которых с большой степенью вероятности можно предположить, что они доводятся до крупных размеров, следует осуществлять открытые подстанции с учетом возможности перехода на американскую схему.

Для сравнения этого типа с обычно применяемыми в настоящее время для европейской схемы, рис. 5 дан разрез конструкции подстанции 10 кВ по европейской схеме.

Технико-экономические сравнения стоимости открытых подстанций для европейской и американской схем приведены ниже.

**Конструкции распределительных устройств 1–10 кВ.** С целью увеличения надежности эксплуатации мощных станций, отдающих большое количество энергии на генераторном напряжении, Тялоэлектропроектом применяется четырехэтажное распределительное устройство, показанное на рис. 6.

Для избежания межфазовых к. з. осуществлено разделение фаз перегородками. Разъединители помещены в особый этаж, отделенный сплошным перекрытием от этажа шин.

Такой тип распределительного устройства имеет целый ряд преимуществ и дает значительное увеличение надежности эксплуатации. Но он имеет и ряд недостатков.

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-

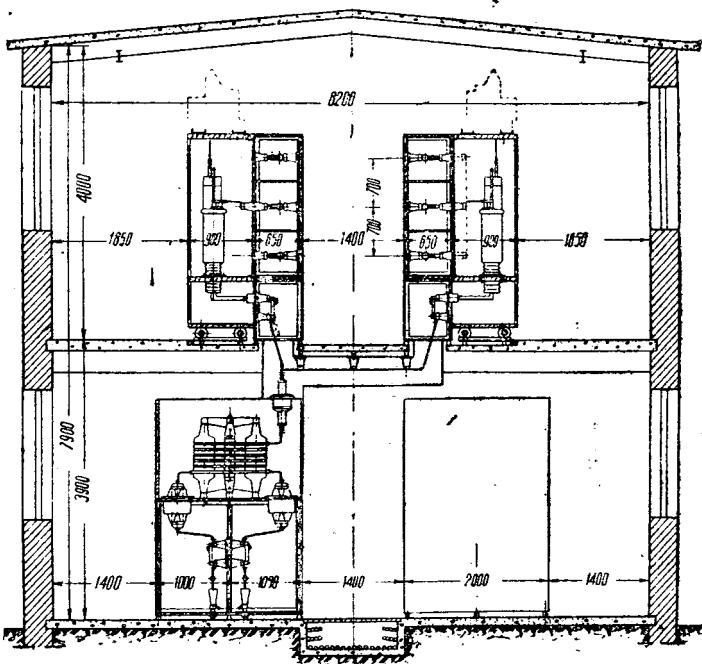


Рис. 7

ся по токам к. з. до реактора. Необходимость этого объясняется тем, что однополюсные замыкания на землю в пределах шин не выключаются автоматически и длительно остаются до момента выключения персоналом соответствующей части установки. Вследствие этого возможно возникновение многополюсных к. з., на которые и приходится рассчитывать всю аппаратуру. К недостаткам этого типа распределительного устройства следует также отнести длительность и большую стоимость осуществления строительной части здания и монтажа аппаратуры.

Исходя из этого электротехнический сектор Тялоэлектропроекта поставил задачу перехода на компактные распределительные устройства, поставляемые komplektно заводами вместе со всей аппаратурой и ошиновкой.

Переход на американскую схему коммутации значительно облегчил задачу, так как конструкция с одной системой шин и с разъединителем штепельного типа сильно упрощается.

На рис. 7 показан эскиз выполнения компактного распределительного устройства по американской схеме коммутации. Этот эскиз следует считать подлежащим значительной переработке как по типу аппаратуры, так и по конструкции распределительного устройства. Приводится он с целью пояснения понятия «компактного распределительного устройства» применительно к американской схеме коммутаций.

Показанное на рис. 7 распределительное устройство имеет следующие особенности.

Распределительное устройство предназначается для мощных электростанций, отдающих большое количество энергии

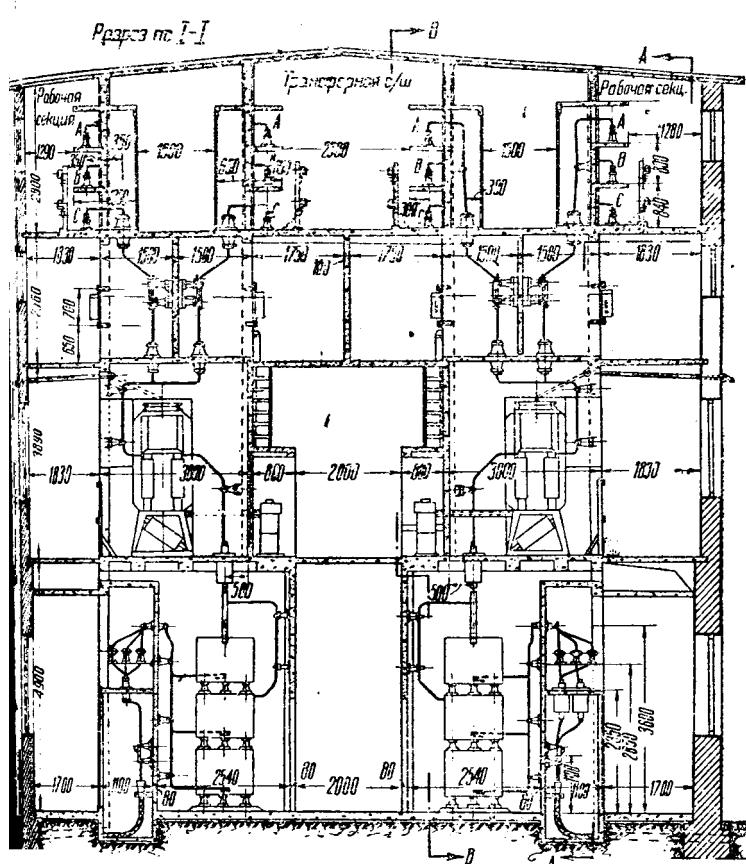


Рис. 6  
Вологодская областная универсальная научная библиотека  
www.booksite.ru

на напряжениях 6—10 кВ; 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 установка 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 кВ 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 кВ с четырьмя отходящими фидерами на каждом напряжении. При подсчете необходимого оборудования принято, что на подстанции устанавливается два трансформатора 10/35/110 кВ. Сравнение стоимости произведено лишь для того оборудования, количество которого зависит от принятого варианта схемы. Стоимость электрооборудования принят по новым ценам.

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

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

Таблица 3

п/з	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 <sub>2</sub> -100/600 . . . . .	1 700	20	34 000	30	51 000
	РЗН-Г <sub>2</sub> -35/600 . . . . .	800	22	17 600	30	24 000
3	Моторные приводы к разъединителям . . . . .	1 700	30	51 000	—	—
4	Трансформаторы тока 110 кВ . . . . .	7 000	12	84 000	12	84 000
	35 " . . . . .	100	18	10 800	18	10 800
5	Трансформаторы напряжения 110 кВ . . . . .	15 000	6	90 000	6	90 000
	35 " . . . . .	1 500	6	9 000	6	9 000
6	Гирлянды изоляторов для 110 кВ . . . . .	120	120	14 400	90	10 800
	35 " . . . . .	70	70	4 900	65	4 550
7	Всего по основному оборудованию . . . . .	—	—	784 700	—	1 088 150
8	Мелкое оборудование, монтаж, накладные расходы .	30%	—	235 900	—	326 850
9	Металлические конструкции . . . . .	1 200 (руб/т)	61 т	73 200	81 т	97 200
	Фундамент . . . . .	120 руб/м <sup>3</sup>	110 м <sup>3</sup>	13 200	190 т	22 800
<b>Итого . . . . .</b>		—	—	1 107 000	—	1 535 000

ей и разъединителей 35—110—220 kV. Это является тем обстоятельством, что в ряде случаев при первой очереди постройки не потребуется установка двух выключателей на фидер, так как система не будет еще достаточно развитой.

Технико-экономические сравнения стоимости распределительных устройств 6—10 kV приведены для вариантов выполнения до настоящего времени Тяглоэлектропроектом четырехэтажного распределительного устройства по европейской схеме и компактного распределительного устройства при коммутации по американской схеме.

При сравнении мощность тэц принята в 100—100 MW соответственно напряжениям 6—10 kV.

Данные табл. 4 для европейской схемы соответствуют рис. 6, а для американской — рис. 7.

Из табл. 4 видно, что для компактного распределительного устройства по американской схеме получается увеличение стоимости примерно на 60 000 руб., что составляет около 17% от стоимости четырехэтажного распределительного устройства при европейской схеме.

При выполнении распределительного устройства по американской схеме нормальной многоэтажной конструкции в железобетонных ячейках эта здания в стоимости составит около 400 000 руб. следует отметить, что в связи с переходом на компактный тип расход цветных металлов на ошиновку уменьшается примерно в 2 раза, что следует считать большим преимуществом этого варианта.

При подсчете стоимости комплектных распределительных устройств стоимость кожухов и монтажа условно принята в 30% от стоимости аппарата. Стоимость аппаратуры взята по новым ценам.

Следует отметить, что в настоящее время электрооборудование является весьма дефицитной продукцией и переход на американскую схему коммутации требует прежде всего увеличения выпуска заводами масляных выключателей.

Учитывая высказанные выше соображения, следует считать своевременным постановку вопроса о переходе в ряде случаев на коммутацию крупных электрических установок Союза по американской схеме с двумя выключателями на фидер.

Для распределительных устройств 110—220 kV американскую схему следует применять во всех узловых точках крупной энергетической системы, а также в точках большого потребления или выпуска мощности в систему.

Учитывая постепенное развитие электрической системы, обычно возможно будет в первую очередь на напряжениях 35—110—220 kV ограничиться одним выключателем на цепь; конструктивно для этих точек системы должна предусматриваться возможность установки в дальнейшем двух масляных выключателей на фидер.

Для распределительных устройств 6—10 kV генераторного напряжения применение американской схемы должно быть осуществлено для мощных станций с агрегатами 25 MW и выше при наличии крупных ответственных потребителей на этом напряжении.

На мощных понизительных подстанциях при наличии крупных ответственных потребителей на напряжении 6—10 kV следует применять для распределительных устройств этих напряжений схему с двумя выключателями на фидер.

Учитывая имеющую место в настоящее время дефицитность электрооборудования, применение американской схемы на напряжениях 6—10 kV следует начать в тех случаях, когда потребитель по характеру технологического процесса требует полной бесперебойности электроснабжения.

По мере увеличения выпуска заводами электрооборудования зона применения американской схемы для этих напряжений должна расширяться.

При применении американской схемы необходимо особое внимание обращать на укрупнение фидеров и уменьшение их количества.

Внедрение новейшей техники в проектирование электрических установок тесно связано с необходимо-

Таблица 4

Наименование	Стоимость единицы руб.	Европейская схема		Американская схема	
		количество	общая стоимость руб.	количество	общая стоимость руб.
Масляные выключатели МГГ-229 с приводом . . . . .	10 200	42	428 400	76	775 200
Разъединители шинные РЗВ4 10/3000 . . . . .	1 000	92	92 000	160	160 000
Моторные приводы к ним . . . . .	1 700	92	156 400	—	—
Шины медные . . . . .	1 500 (руб/1)	40,4	60 600	19,9	29 850
Изолаторы опорные ОД-10 . . . . .	22	2400	52 800	1920	42 240
проходные ИПШ . . . . .	82	840	68 880	575	47 150
Трансформаторы напряж. с разъединителем и предохранителем . . . . .	900	25	22 500	40	36 000
Трансформаторы тока 10 kV . . . . .	300	324	97 200	486	145 800
Реакторы секционные шинные . . . . .	6 000	12	72 000	24	144 000
Всего по основному оборудованию . . . . .	—	—	1 106 780	—	1 390 240
Мелкое оборудование, монтаж, накладные расходы . . . . .	30%	—	330 720	—	417 760
Здание . . . . .	25 руб./м <sup>3</sup>	13 300	332 500	10 080	255 000
<b>Итого . . . . .</b>	—	—	<b>1 770 000</b>	—	<b>2 064 000</b>

димостью освоения заводами новых, совершенных типов оборудования.

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

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, изготавлившими электрооборудование, новые задачи, разрешение которых должно быть осуществлено в ближайшее время.

## НОВЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

### Параллельная работа трехобмоточных трансформаторов с различными характеристиками

PARALLEL OPERATION OF THREE-WINDING TRANSFORMERS WITH UNEQUAL CHARACTERISTICS

С. А. Соловой  
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 обычной 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 трехзвездами.

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 напряженные токи, импедансы приведенных ниже формул — фазовые значения эквивалентной звезды.

Положительное направление токов (применение эквивалентной схемы дает для  $U_1$  и  $I_1$  величины обратного знака) и принятые обозначения ясны из схем *a*, *b* и *c* рис. 1. Импедансы даны в омах и приведены к напряжению первичной обмотки.

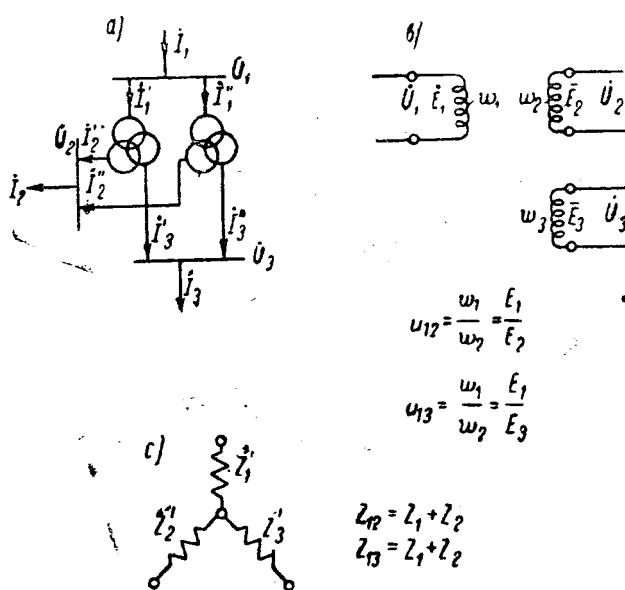
Для нахождения токораспределения необходимо задать тремя величинами из шести, характеризующими напряжение и токи на всех сторонах. Имея в виду практические задачи наиболее удобно принять известными напряжение на питющей стороне трансформаторов и токи на вторичных сторонах. Ток на первичной стороне и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

Применим закон Кирхгофа к схемам рис. 1, составив систему уравнений, решая которую относительно  $I_3'$ , получаем:

$$I_3' = \frac{a_3 U_1 + b_3 I_2 + c_3 I_3}{m}$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru



Коэффициенты  $\alpha_3$ ,  $\beta_3$  и  $\gamma_3$  и знаменатель  $m$  — комплексы<sup>1</sup>, вычисляемые от импеданцев эквивалентных схем и коэффициентов трансформации. Они определяются выражениями:

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

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

$$\begin{aligned} \beta_3 &= \frac{u_{13}'}{u_{12}'} Z_1'' Z_{12}' - \frac{u_{13}''}{u_{12}''} Z_1' Z_{12}'' = \\ &= \frac{u_{13}'}{u_{12}'} Z_1'' \frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{12}' - \frac{u_{13}''}{u_{12}''} Z_1' \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{12}''; \\ \gamma_3 &= \frac{u_{13}'}{u_{13}''} Z_{13}'' \left( \frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{12}' + \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{12}'' \right) - \\ &- \frac{u_{12}'}{u_{13}''} Z_1'' \left( \frac{u_{13}''}{u_{12}'} Z_1' + \frac{u_{13}'}{u_{12}''} Z_1'' \right); \\ m &= \left( \frac{u_{13}''}{u_{13}'} Z_{13}' + \frac{u_{13}'}{u_{13}''} Z_{13}'' \right) \left( \frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{12}' + \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{12}'' \right) - \\ &- \left( \frac{u_{13}''}{u_{12}'} Z_1' + \frac{u_{13}'}{u_{12}''} Z_1'' \right) \left( \frac{u_{13}''}{u_{13}'} Z_1' + \frac{u_{13}'}{u_{13}''} Z_1'' \right). \end{aligned}$$

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  $I_3'$  также 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, пользуясь 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 прощеены для частных случаев — равных импеданцев или одинаковых коэффициентов трансформации.

При равных коэффициентах трансформации токораспределение зависит от импеданцев схемы, представляющей две параллельно включенные звезды, и может быть определено интегрированием ее.

В рассмотренном общем случае формула (1) в нагрузку обмоток входят два уравнительных тока, пропорциональных величинам  $\dot{U}_1 \Delta u_{12}$  и  $\dot{U}_1 \Delta u_{13}$ . Коэффициенты пропорциональности этих токов зависят от отношения коэффициентов трансформации и от импеданцев трансформаторов.

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

Пределы регулирования уравнительного 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 уравнительного 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 загрузка обмоток, например, на стороне 3, может сильно зависеть от нагрузки другой стороны 2. Например, возможно, что выключение нагрузки  $I_2$  повлечет за собой перегрузку обмотки 3' или 3''.

<sup>1</sup> В статье комплексы имеют обозначения, отличные от принятых для действительных величин, только в тех случаях, когда они представляют гармонически изменяющиеся величины, например, ток  $I$  (см. ОСТ 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  $I_2'$ :

$$I_2' = \frac{\alpha_2 \dot{U}_1 + \beta_2' I_3' + \beta_2'' I_3'' + \gamma_2 I_2}{m},$$

где

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \Delta u_{12}; \quad \gamma_2 = \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{12}''.; \\ \beta_2' &= -\frac{u_{12}''}{u_{13}'} Z_1'; \quad \beta_2'' = \frac{u_{12}'}{u_{13}''} Z_1''; \\ m &= \frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{12}' + \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{12}''. \end{aligned} \quad (2)$$

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 окись  $I_3'$  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  $I_3''$  разными нулю, получаем известную формулу<sup>2</sup>:

$$I_2' = \frac{\dot{U}_1 (u_{21}' - u_{21}'') + I_2 Z_{12}''}{Z_{12}' + Z_{12}''}. \quad (3)$$

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

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

Намагничивающие токи весьма 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.

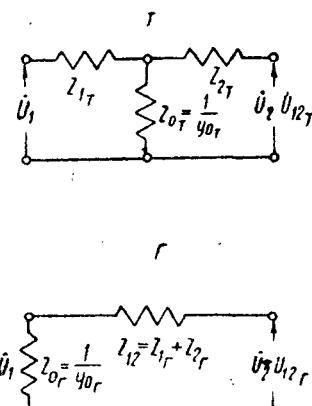


Рис. 2

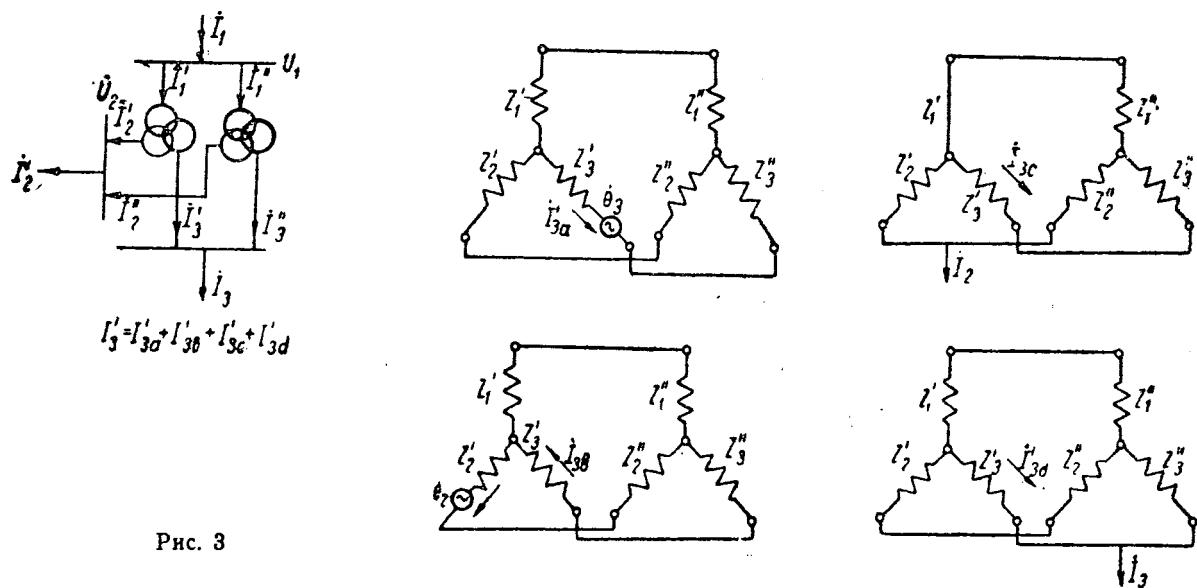


Рис. 3

Как следует из формулы (2а), ток в обмотках 2' и 2'' можно рассматривать как результат наложения токов: «уравнительного», создаваемого разностной э. д. с.  $\dot{U}_1 (u_{11} - u_{22})$  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  $\frac{u_{18}'}{u_{18}''}$  и обратные им величины единицею и вводим вместо  $\frac{u_{18}'}{u_{12}''}$  и аналогичных отношений отношение средних коэффициентов трансформации. Тогда приближенно

$$I_3' = \frac{\dot{U}_1 \Delta u_{18} (Z_{12}' + Z_{12}'') - \dot{U}_1 \frac{u_{18cp}}{u_{12cp}} \Delta u_{12} (Z_1' + Z_1'') + I_2 \frac{u_{18cp}}{u_{12cp}} (Z_1'' Z_2' - Z_1' Z_2'') + I_3 [Z_{13}'' (Z_2' + Z_2'') + Z''_3 (Z_1' + Z_1'')]}{(Z_{13}' + Z_{13}'') (Z_{12}' + Z_{12}'') - (Z_1' + Z_1'')^2}$$

При произведенном упрощении токораспределение может быть определено по способу наложения. Соответствием четырем составляющим, на которые раскладывается ток  $I_3'$ , можно найти четыре отдельных токораспределения: три уравнительных тока находятся введением э. д. с. в схемы импедансов; два нагрузочных тока находятся независимо друг от друга или совместно трансформацией схемы импеданса с нагрузками:

$$I_2 \frac{u_{18cp}}{u_{12cp}} \text{ и } I_2.$$

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 пренебречь омическим сопротивлением обмоток, что значительно облегчает все вычисления.

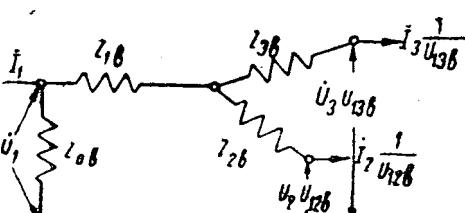
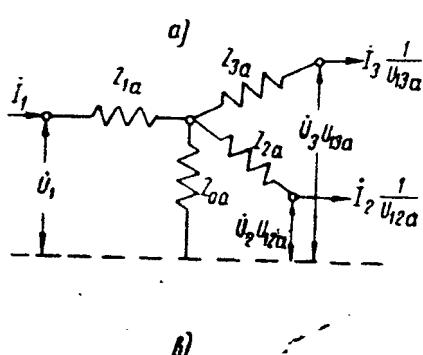


Рис. 4

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

$$Z_{0T} = Z_{0G} k; u_T = u_G k;$$

$$Z_{1T} = Z_{1G} k \text{ и } Z_{2T} = Z_{2G} k^2,$$

где

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

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

Эквивалентная трехлучевая схема замещения трехобмоточного трансформатора предполагает пренебрежение намагничивающим током. При приближенном учете намагничивающего тока пользуются обычно схемами замещения вида  $a$  или  $b$  (рис. 4).

Следование эквивалентности схем *a* и *b* дает следующее соотношение для констант:

$$\begin{aligned} u_{12b} &= u_{12a}k; \quad u_{13b} = u_{13a}k; \quad Z_{1b} = Z_{1a}k; \quad Z_{2b} = Z_{2a}k^2; \\ Z_{3b} &= Z_{3a}k^2; \quad Z_{0b} = Z_{0a}k, \end{aligned}$$

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

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

В выводах, которые были сделаны выше, а также в последующих, наиболее простые результаты получаются, если взять схему *b*, присоединяя  $Y_0$  к первичному напряжению и токи на первичной и на вторичной стороны двухобмоточного трансформатора связаны формулами:

$$\begin{aligned} U_1 &= A\dot{U}_2 + BI_2 \\ I_1 &= C\dot{U}_2 + DI_2 \end{aligned} \quad (5)$$

*A, B, C* и *D* определяются через константы эквивалентной схемы *Г*.

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

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

четыре аналогичных равенства.

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

$$\left. \begin{aligned} a &= u_{12}; \quad b_2 = \frac{1}{u_{12}}Z_{12}; \quad b_3 = \frac{1}{u_{13}}Z_1; \quad A_2 = u_{12}\frac{Z_{13}}{Z_3}; \\ A_3 &= -u_{13}\frac{Z_1}{Z_3}; \quad B = \frac{Z}{u_{12}Z_3}; \\ c &= u_{12}\frac{1}{Z_0}; \quad d_2 = \frac{1}{u_{12}}\left(1 + \frac{Z_{12}}{Z_0}\right); \quad d_3 = \frac{1}{u_{13}}\left(1 + \frac{Z_1}{Z_0}\right); \\ C_2 &= u_{12}\frac{1}{Z_3}\left(1 + \frac{Z_{13}}{Z_0}\right); \\ C_3 &= -\frac{u_{13}}{Z_3}\left(1 + \frac{Z_1}{Z_0}\right); \quad D = \frac{1}{u_{12}Z_3}\left(Z_{23} + \frac{Z}{Z_0}\right), \\ Z &= Z_1Z_2 + Z_1Z_3 + Z_2Z_3. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

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

$$\begin{aligned} \dot{U}_1' &= \dot{U}_1'' = \dot{U}_1; \quad \dot{U}_2' = \dot{U}_2'' = \dot{U}_2; \quad \dot{U}_3' = \dot{U}_3'' = \dot{U}_3; \\ I_1' &= I_1' + I_1''; \quad I_2' = I_2' + I_2''; \quad I_3' = I_3' + I_3'' \end{aligned}$$

и эквивалентной схемы, заменяющей две параллельно включенных

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= A_2\dot{U}_2 + A_3\dot{U}_3 + B\dot{I}_2; \\ I_1 &= C_2\dot{U}_2 + C_3\dot{U}_3 + D\dot{I}_2. \end{aligned} \quad (8)$$

Если условие «параллельного сложения» дает:

$$\begin{aligned} \frac{A_2B'' + A_2B'}{B' + B''}; \quad A_3 &= \frac{A_3B'' + A_3B'}{B' + B''}; \quad B = \frac{B'B''}{B' + B''}; \\ C_2 &= C_2' + C_2'' - \frac{(D' - D'')(A_2' - A_2'')}{B' + B''}, \end{aligned}$$

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

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

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  $I_2'$  и  $I_3'$ , 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 замены 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;

$$E_1 = E_2 u_{12} \quad \text{и} \quad I_2' = I_2 \frac{1}{u_{12}}.$$

Следует, что

$$P_2' = \dot{E}_1 I_2' = \dot{E}_2 u_{12} I_2 \frac{1}{u_{12}} = P_2 \frac{u_{12}}{u_{12}}$$

или, принимая обратный знак для реактивной мощности,—

$$P_2' = \dot{P} \frac{u_{12}}{u_{12}},$$

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 комплексов  $u_1$  и  $u_{12}$  чрезвычайно мала сравнительно с вещественной частью и  $|u_{12}|$  и  $|u_{13}|$  близки к вещественным частям. Если принять омическое сопротивление обмоток равным нулю, то коэффициенты трансформации представляются вещественными числами, и приведенный трансформатор ничем не будет отличаться от обычного.

Импедансы лучей звезды эквивалентного трансформатора могут быть определены по формулам:

$$Z_{12} = \frac{1}{m} \frac{u_{12}''}{u_{12}'u_{12}''} \left( \frac{u_{13}''}{u_{13}'}Z_{12}''Z' + \frac{u_{13}'}{u_{13}''}Z_{12}'Z'' \right);$$

$$Z_{13} = \frac{1}{m} \frac{u_{13}''}{u_{12}'u_{13}''} \left( \frac{u_{12}''}{u_{12}'}Z_{13}''Z' + \frac{u_{12}'}{u_{12}''}Z_{13}'Z'' \right); \quad (10)$$

$$Z_1 = \frac{1}{m} u_{12}u_{13} \left( \frac{1}{u_{12}'u_{13}'}Z_1''Z' + \frac{1}{u_{12}''u_{13}''}Z_1'Z'' \right).$$

Здесь

$$Z' = Z_{12}Z_{18}' - Z_1'^2, \quad Z'' = Z_{12}''Z_{18}'' - Z_1''^2.$$

(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 уравнительные 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:

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

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

$$\begin{aligned} Y_0 = Y_0' + Y_0'' + \frac{1}{m} & \left[ \Delta u_{13}^2 \left( \frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{12}' + \frac{u_{13}'}{u_{12}''} Z_{12}'' \right) + \right. \\ & + \Delta u_{12}^2 \left( \frac{u_{13}''}{u_{12}'} Z_{13}' + \frac{u_{13}'}{u_{13}''} Z_{13}'' \right) - \\ & \left. - 2 \frac{\Delta u_{12} \Delta u_{13}}{u_{12}' u_{12}''} \left( \frac{u_{13}''}{u_{13}'} Z_1' + \frac{u_{13}'}{u_{13}''} Z_1'' \right) \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Протекающие по обмоткам трансформаторов при этом ходе уравнительные 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 уравнительными 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. Прямыми 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 статьях<sup>1</sup> было показано, что

при вычислении установившихся токов к. з. имеются 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 Ганом<sup>2</sup>, и на основе цифр табл. 4, статьи этих авторов построил внешние характеристики среднего стандартного американского генератора для моментов времени  $t=0$ ,  $t=0,20$ ,  $t=0,4$  и  $t=1$  сек и для установившегося тока (рис. 1). Вычисления велись следующим образом: по току в месте к. з. и внешнему реактанту определялось напряжение генератора, по этому напряжению ток нагрузки и отсюда ток генератора. Реактивное сопротивление нагрузки, как и у Вагнера и Гана, принималось равным 16%. Для момента времени  $t=0$  были взяты только гармонические составляющие тока к. з., а первые

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

<sup>2</sup> Transactions of AIEE № 2, 1932.

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

Теоретически, при притых предпосылках, ток генератора при  $u = 1$  должен быть равен току нагрузки, т. е.  $w = 0,6$ , потому все кривые должны были проходить через точку  $u = 1$ ,  $w = 0,6$ .

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

Декрементные кривые названных двух авторов, к известно, построены в предположении, что грузка присоединена непосредственно к клеммам генератора, что, конечно, никогда не бывает; силу этого при определении сверхтоков при помощи этих кривых, в особенности в сложных мгновенных 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. Конец, декрементными кривыми нельзя учесть то, что станции в сложной сети работают с различными напряжениями и различными  $\cos \phi$ , в громном большинстве случаев никак не равными, и что константы машин отдельных станций тоже различны.

Установленный выше факт, что допустимо применять 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 ее, если известны постоянные машины.

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

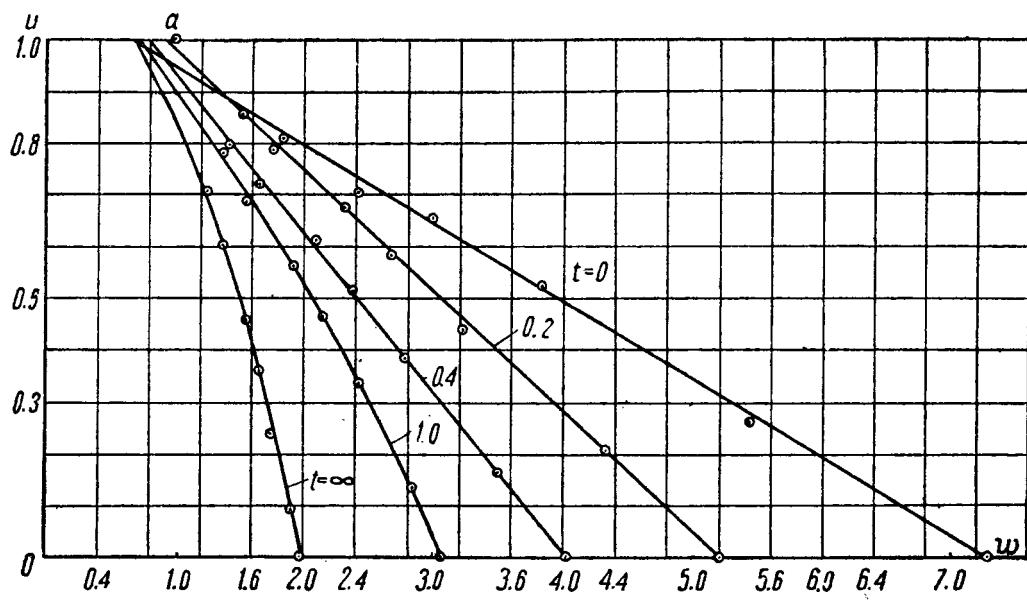


Рис. 1

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

$$i_{4a} = (i' - i_y) e^{-\frac{t}{T'_d}}. \quad (2)$$

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-12-25 15 000	T-25-25 31 250	T-50-25 58 900	T-4576142, 65 500	
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.:

$$X_z = \frac{1}{w_{kk} - 1}, \quad E_{фкм} = \frac{w_{kk}}{w_{kk} - 1}. \quad (3)$$

Последние выражения даны автором в опубликованных ранее статьях<sup>3</sup>, где шла речь об определении расчетной э. д. с. и реактивного сопротивления генератора для установившегося тока к. з. Они относятся к случаю, когда прямолинейная внешняя характеристика проходит через точки, отвечающие: 1) короткому замыканию на клеммах генератора ( $u=0, w=w_k$ ) и 2) нормальной работе его ( $u=1, w=1$ ).

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  $E_{расч}$  и  $X_z$ , проходит не через точку  $u=1, w=1$ , а через точку  $u=1, w < 1$ , 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 ( $X_n = Z_n$ ). К и при расчете установившихся токов к. з. базе спрямленной внешней характеристики, и при расчете переходных токов получаем новые значения последних, как результат арифметического сложения токов сети и нагрузок с сопротивлением, вполне отвечающей требованиям практики.

Следует отметить, что при определении величин расчетной э. д. с. и реактивного сопротивления генератора при помощи выражений (3) графические построения совсем не требуются. Согласно, 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 звода «Электросила», тип Т-50-2, для времена  $t = 0,25$  sec.

Пользуясь данными таблицы, мы имеем:

$$T_{63}^{(3)} = (9,35 - 5,25) \cdot e^{-\frac{0,25}{0,16}} = 0,865;$$

$$T_{63}^{(2)} = (7,3 - 5,4) \cdot e^{-\frac{0,25}{0,16}} = 0,400;$$

$$T_{M3}^{(3)} = (5,25 - 1,53) \cdot e^{-\frac{0,25}{1,28}} = 3,06;$$

$$T_{M3}^{(2)} = (5,4 - 2,45) \cdot e^{-\frac{0,25}{2,0}} = 2,603.$$

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

$$w_{kk}^{(3)} = 0,865 + 3,06 + 1,53 = 5,455;$$

Тот же ток при двухполюсном:

$$w_{kk}^{(2)} = 0,400 + 2,603 + 2,45 = 5,453.$$

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:

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

при двухполюсном:

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

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  $E_{фкм}$  для  $t = 1$  sec, а именно:

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

<sup>3</sup> См. сноску 1.

в 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 здесь разница между  $X_e^{(3)}$  и  $X_e^{(2)}$ , а также между  $E_{\phi km}^{(3)}$  и  $E_{\phi km}^{(2)}$  невелика.

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

$$T_d' = \frac{X_d}{X_d + T_d'}$$

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

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

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

Отсюда вычисляем

$$T_d' = 1,045 \text{ sec}, w_{kk}^{(3)} = 4,357, w_{kk}^{(2)} = 4,669,$$

и член быстро затухающая составляющая в этойшине к моменту времени  $t = 0,25$  sec равна же, ибо постоянная времени ее равна 0,05 sec. На основании этих величин мы получаем:

$$i_y^{(3)} = 0,298; E_{\phi km}^{(3)} = 1,3; X_e^{(2)} = -0,2725; E_{\phi km}^{(2)} = 1,272.$$

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

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

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

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

Из кривых рис. 10а статьи <sup>4</sup> «Methode zur Berechnung von Kurzschlussströmen und Schalterleistungen» мы получаем значения переменной гармонической составляющей переходного тока генератора для  $t = 0,25$  sec, а именно: эта составляющая переходного тока составляет 43% при трехполюсном и 60% при двухполюсном замыканиях 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 sec, постоянная времени медленно затухающего члена равна 1 sec при трехполюсном замыкании и 2 sec при двухполюсном, а постоянная времени апериодического члена равна 0,1 sec, 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  $t = 0,25$  sec гармоническая составляющая переходных токов будет:

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

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

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

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

Отсюда:

$$X_e^{(3)} = \frac{1,05}{2,839} = 0,37; E_{\phi km}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 3,839}{2,839} = 1,42;$$

$$X_e^{(2)} = \frac{1,05}{4,0} = 0,262; E_{\phi km}^{(2)} = \frac{1,05 \cdot 5,0}{4,0} = 1,32.$$

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

$$\frac{E_{\phi km}^{(3)}}{X_e^{(3)} + X_c} = \frac{\sqrt{3} E_{\phi km}^{(2)}}{\sqrt{3} X_e^{(2)} + 2X_c},$$

откуда

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

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

$$X_c = 0.$$

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

$$X_c = 0,11.$$

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  $t = 0,25$  sec ток трехполюсного замыкания всегда превышает ток двухполюсного; в сетях с генераторами со средними данными американских электротехников это имеет место при замыкании непосредственно за повышительными 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 sec будет иметь место обратное соотношение.

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

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

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  $t = 0,25$  sec:

$$E_{\phi km}^{(1)} = 1,124 \quad \text{и} \quad X_e^{(1)} = 0,124.$$

При работе того же генератора в сети через трансформатор в генераторе будет течь ток в двух фазах и вместо постоянной времени  $T_d'$  мы должны взять постоянную времени  $T_d'' = 2,0$  sec.

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

$$E_{\phi km}^{(1)} = 1,125 \quad \text{и} \quad X_e^{(1)} = 0,1247.$$

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:

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

откуда

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

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

$$X_c = 0,0754.$$

Таким образом ток трехполюсного замыкания при  $t = 0,25$  sec 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 токов 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  $t = 0,25$  sec 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  $X_c < 0,2395$ .

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  $t = 0,25$  sec при трехполюсном к. з. на клеммах машины.

Для первого генератора мы получаем:

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

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

Для второго—постоянная времени апериодической составляющей, согласно указаниям, данным цитированной выше статье<sup>5</sup>, § 16в, равна 1 sec, а потому:

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

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

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

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

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

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

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  $E_{fim}$  и  $X_{z-t=0}$ . 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.

<sup>5</sup> См. список 4.

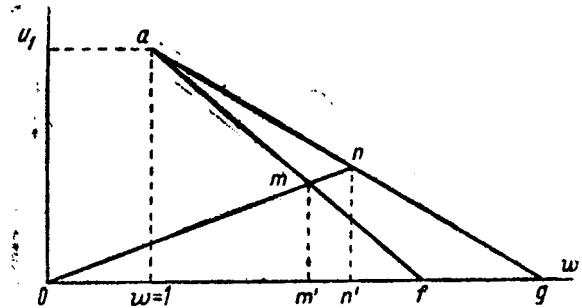


Рис. 2

Пусть прямая  $af$  (рис. 2) представляет внешнюю характеристику для некоторого момента времени  $t$ , для которого расчет гармонической части сверхтока произведен и апериодическую составляющую которой нужно найти: пусть  $ag$ —такая же внешняя характеристика для  $t=0$ . Предположим, что точка  $m$  первой характеристики отвечает найденному сверхтoku в генераторе при замыкании в данном пункте. Проведя прямую  $Om'$ , мы получаем геометрическое место точек напряжений на реактанце 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 апериодической 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 апериодической составляющей сверхтока.

## Работа тиатронов на повышенных частотах

THYRATRON OPERATION AT HIGHER FREQUENCIES

Л. С. Друскина и А. В. Красилов

Завод „Светлана“

В ряде случаев тиатроны, 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 тиатрона на повышенных частотах — в клеммах выпрямителя токов повышенной частоты, инвертера, генератора и ряде других.

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

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

Вологодская областная универсальная научная библиотека им. Н. Г. Чернышевского

www.booksite.ru

Работа тиатрона на повышенных частотах. Тиатрон находит себе применение, хотя и ограниченное, в качестве выпрямителя токов повышенной частоты. При таком его использовании на анод-катод тиатрона 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 тиатрона.

Если к моментам повторных зажиганий 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 тиатрона, выражющая зависимость напряжения на сетке, достаточного для прекращения разряда, от величины анодного напряжения, будет смещена по отношению к характеристике зажигания.

ристике зажигания в область отрицательных значений сеточного напряжения.

Это явление может быть обусловлено, с одной стороны, увеличением времени деионизации вследствие изменения режима работы тиатрона: 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 тиатрона 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 тиатроном 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;

$\Delta U_g$  — величина расхождения характеристик зажигания и потухания.

Возможность работы тиатрона в качестве выпрямителя токов повышенной частоты обусловливается, главным образом, допустимым расхождением характеристик, определяемым условиями работы тиатрона в данном динамическом режиме.

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

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 тиатрона не успеет восстановить свое управляющее действие до появления на аноде тиатрона положительного напряжения, что приведет к короткому замыканию питающей инвертер линии<sup>1</sup>.

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

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

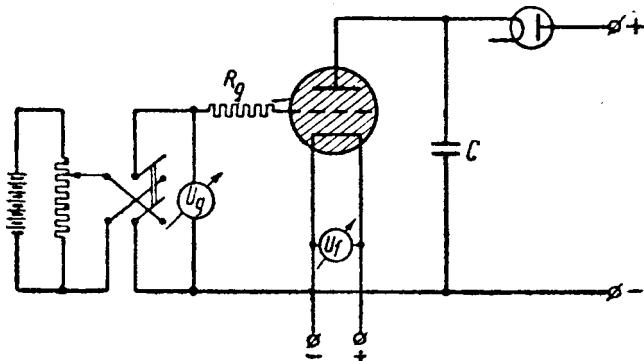


Рис. 1. Релаксационная схема

<sup>1</sup> Deutschnmann, Siemens-Zeitschr. Bd. 13, Sonderheft, Oct. 1935; Каганов и Котылев, Бюллетень ВЭИ № 5, 1935.

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 трубы. 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 использует 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 растра, состоящий из ряда равноудаленных параллельных линий, аналогичный растру на передатчике.

Для получения напряжений «пилообразной» формы применяются ламповые или тиатронные релаксационные генераторы. Тиатронные схемы имеют ряд преимуществ перед ламповыми, которые сводятся в основном к следующему:

- 1) простота схемы;
- 2) возможность регулирования в широких пределах амплитуды развертывающего напряжения;
- 3) легкость синхронизации.

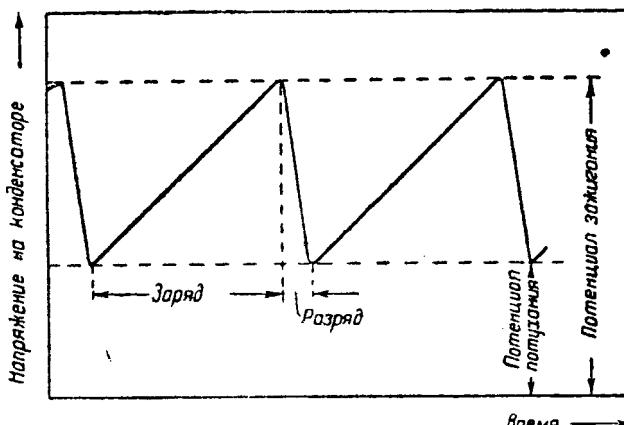


Рис. 2. Кривая изменения напряжения на конденсаторе

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 потенциальному зажигания тиатрона. В момент зажигания анодный ток тиатрона резко возрастает и во много раз превосходит зарядный ток. Конденсатор быстро разряжается через тиатрон до потенциала  $U_{\min}$ , соответствующего потенциальному погасания тиатрона. Если ток, протекающий через тиатрон при напряжении на обкладках конденсатора, равном  $U_{\min}$  больше зарядного, то тиатрон 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 тиатроне будет все еще обладать достаточной проводимостью за счет оставшихся от предыдущей работы ионов, то конденсатор будет продолжать разряжаться через тиатрон. Заряд конденсатора начнется вновь лишь тогда, когда концентрация ионов в разрядном пространстве тиатрона уменьшится до некоторого минимального значения, при котором газовый промежуток в приборе практически становится непроводящим. Помимо того, если к началу повторного заряда конденсатора в тиатроне остается большее количество зарядов, чем при нормальной его работе, это приводит к изменению потенциала зажигания

$U_{\max}$ . Известно, что с увеличением концентрации остаточных зарядов характеристика зажигания тиатрона 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  $U_{\text{phi}}$ .

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

В случае наполнения тиатрона каким-либо газом, а не ртутью плотность его в пространстве между анодом и катодом до зажигания почти не зависит от температуры, следовательно, потенциал зажигания таких тиатронтов будет в меньшей степени зависеть от температуры, чем ртутных. Поэтому более целесообразно применять в релаксационных схемах тиатроны 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 потенциальному потуханию тиатрона. Увеличение времени деионизации приводит к неминуемому искажению формы, амплитуды и частоты генерируемого напряжения. Релаксационные колебания имеют только верхний предел частот, так как при низких частотах тиатрон работает вполне устойчиво. Следовательно, к тиатронам, работающим в схеме развертки строк, должны предъявляться значительно более жесткие требования, чем к тиатронам, работающим в схеме развертки кадров. В первом случае желательно получение колебаний с частотой до 6000 Hz. Так как тиатрон 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 микросекунд.

Уже из рассмотрения некоторых возможных случаев применения тиатронтов на повышенных частотах можно заключить, что основным фактором, ставящим предел работе тиатронтов на повышенных частотах, является время деионизации. Во всех разобранных случаях нормальная работа тиатрона 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 конного пространственного заряда, окружающая сетку в момент разряда, полностью или частично рассеивается.

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

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

Выяснение основных факторов, влияющих на работу тиатронтов на повышенных частотах, возможно лишь на основе изучения физических процессов, происходящих в тиатроне при малых частотах. Поэтому остановимся вкратце на морфиих возникновения и самостоятельного разряда в тиатроне.

До зажигания в тиатроне протекает «предпусковой» электронный ток, величина которого при данном ионном напряжении определяется потенциалом на сетке прибора. Так как же 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 раззованных электронов и косвенно вследствие влияния об-

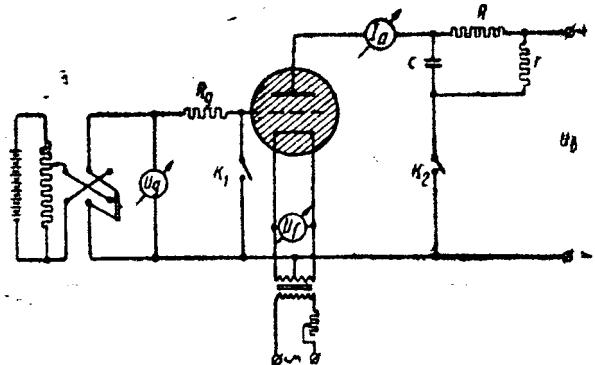


Рис. 3. Схема для определения времени деионизации

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 тиатрона, а о некоторой области зажигания. В особенности это относится к ртутным тиатронтам, давление пара в которых является функцией от целого ряда факторов.

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

### Экспериментальное определение времени деионизации

Путем экспериментального подбора величин  $C$  и  $R$  при работе тиатрона 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  $\mu$ sec для одного и того же тиатрона в зависимости от рабочего режима. Исследование было произведено над ртутными тиатронтами типа ТГ-160 производства завода «Светлана» (рис. 4).

На рис. 5 изображены кривые, иллюстрирующие зависимость времени деионизации от напряжения на сетке тиатрона для различных значений сопротивления в цепи сетки. Чем больше отрицательный потенциал сетки, тем больше ускоряющее ионы 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

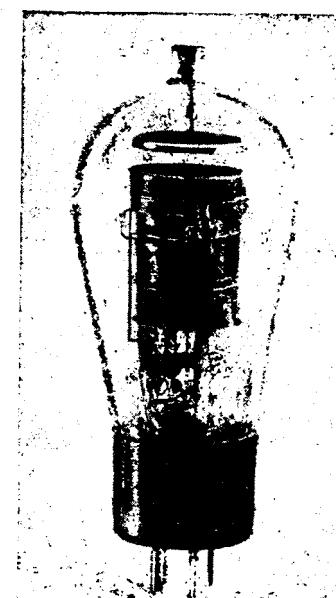


Рис. 4. Тиатрон ТГ-160

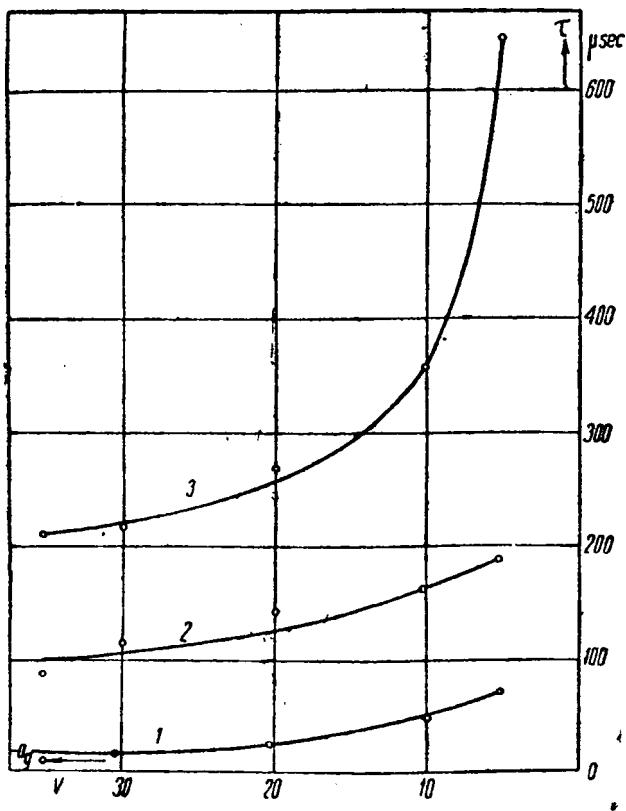


Рис. 5. Время деионизации в зависимости от напряжения сетки при  $I_a = 150$  мА. Кривые 1, 2 и 3 для сопротивлений в цепи сетки  $R_g$ , равном  $21\ 400\ \Omega$ ;  $0,7\ M\Omega$  и  $3,7\ M\Omega$  соответственно

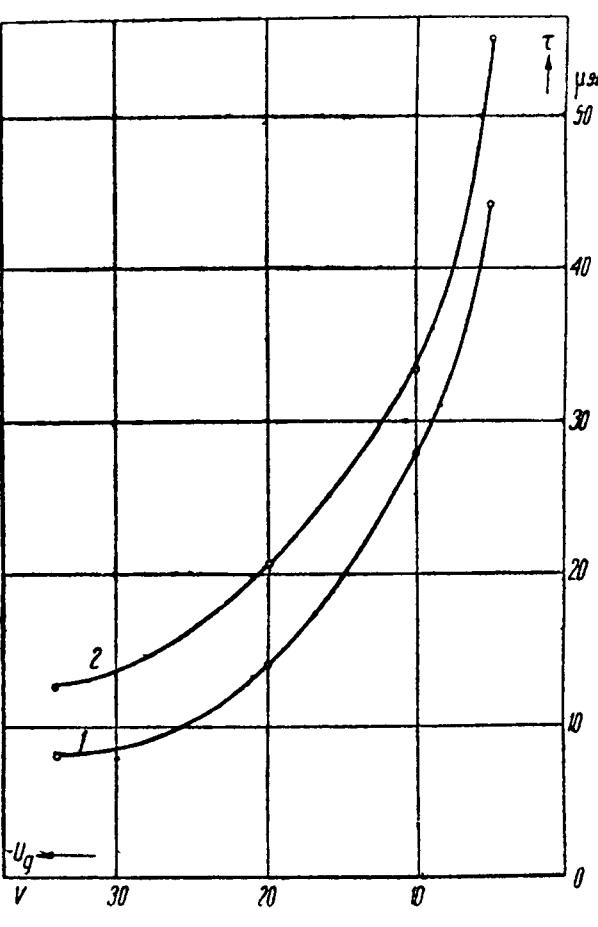


Рис. 6. Время деионизации в зависимости от напряжения сетки при  $U_a = 100$  В и  $R_g = 28700\ \Omega$ . Кривые 1, 2 для анодного тока, равного 150 и 225 мА соответственно

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  $28\ 700\ \Omega$ . 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 собою увеличение времени деионизации. На рис. 7 приведены кривые, характеризующие зависимость времени деионизации от температуры накалывания горловины при постоянном напряжении на сетке.

Из кривых видно, что с повышением температуры накалывания горловины от  $38-40^\circ$ , соответствующей нормальной работе тиратронов, до  $80-85^\circ$  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 предлагаемого 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

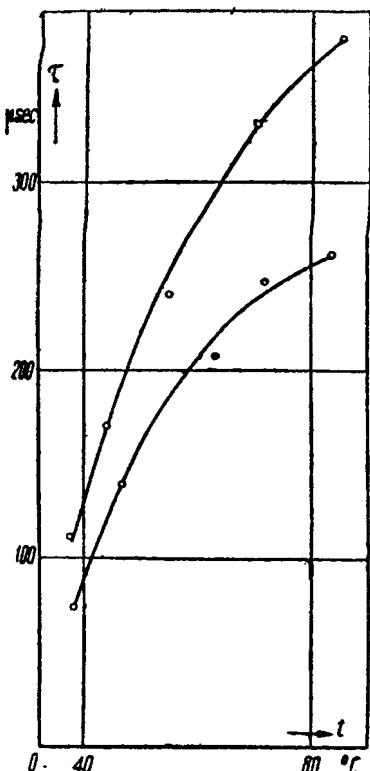


Рис. 7. Время дейонизации в зависимости от температуры горловины баллона при  $R_g = 0,7 \text{ M}\Omega$  и  $I_a = 170 \text{ mA}$ ;  $1 - U_g = 10 \text{ V}; 2 - U_g = 20 \text{ V}$

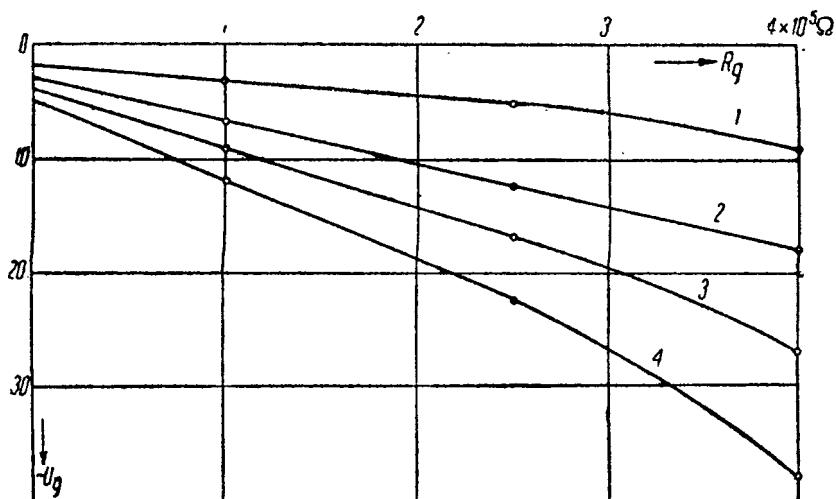


Рис. 9. Зависимость критического потенциала сетки от сопротивления в цепи ее при различных анодных напряжениях  $U_a$ : 1 — 100; 2 — 200; 3 — 300 и 4 — 400 V ( $f = 1000 \text{ Hz}$ )

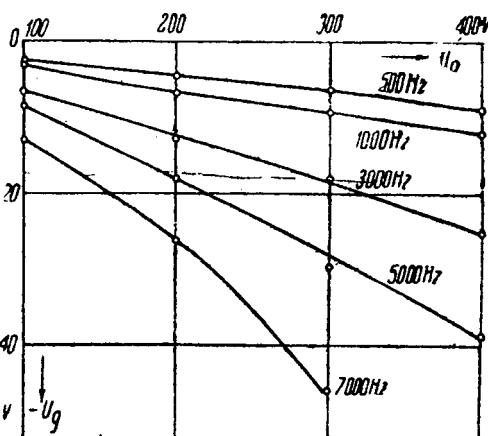


Рис. 8. Характеристики зажигания в зависимости от частоты анодного напряжения

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

**Время дейонизации 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  $3000 \Omega$ . Частота релаксационных колебаний регулировалась в широких пределах изменением ёмкости, зарядного тока и смещения на сетке исследуемого неонового тиратрона (Завод „Светлана“, тип ТГ-212, рис. 11).

На рис. 12 приведены полученные таким образом осцил-

ограммы. При частоте  $500 \text{ Hz}$  (рис. 12a) время дейонизации не сказывается на форме генерируемых колебаний. Конденсатор начинает заряжаться почти сразу же после окончания разряда в тиратроне. При  $2000 \text{ Hz}$  (рис. 12, б) уже наблюдается некоторое затягивание обратного хода луча, обусловленное замедленным темпом дейонизации. 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 сделается достаточно большим, т. е. практически по окончании дейонизации. Таким образом „затягивание“ обратного хода целиком определяется временем дейонизации.

С увеличением частоты релаксационных колебаний наблюдается явление, изображенное на рис. 12, с. Конденсатор заряжается до напряжения, значительно меньшего, чем потенциал зажигания  $U_{\max}$  (определенный 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

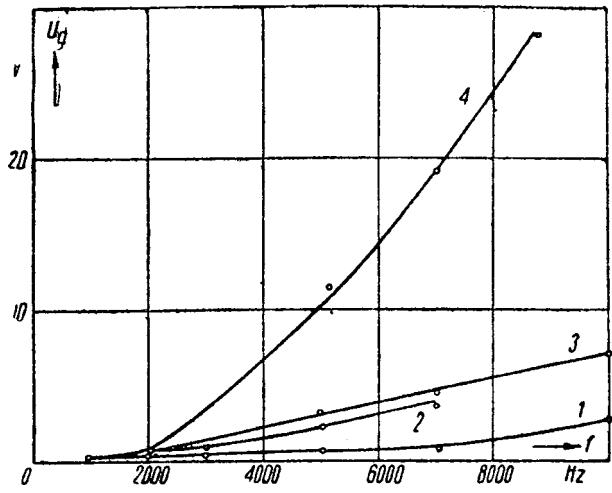


Рис. 10. Зависимость расхождения характеристик зажигания и потухания от частоты анодного напряжения. 1 и 2 —  $R_g = 10^8 \Omega$ ;  $U_a = 100$  и  $300$  V соответственно; 3 и 4 —  $R_g = 10^5 \Omega$ ;  $U_a = 100$  и  $300$  V

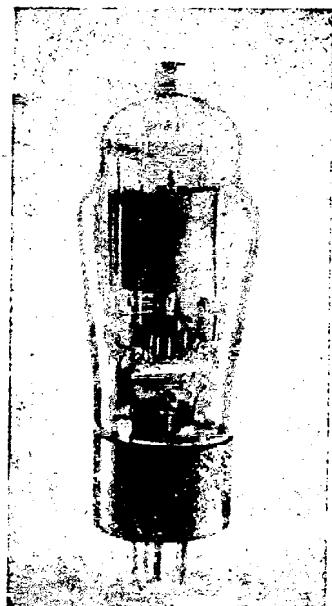


Рис. 11. Тиатрон ТГ-212

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 тиатрона.

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 тиатронов типа ТГ-160.

Отметим, что приближение к предельным частотам, при которых наблюдается предварительный разряд, тиатрона 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 тиатрона амплитуда колебаний с увеличением частоты уменьшается.

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

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

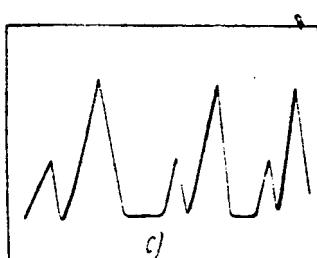


Рис. 12. Осциллограммы релаксационных колебаний

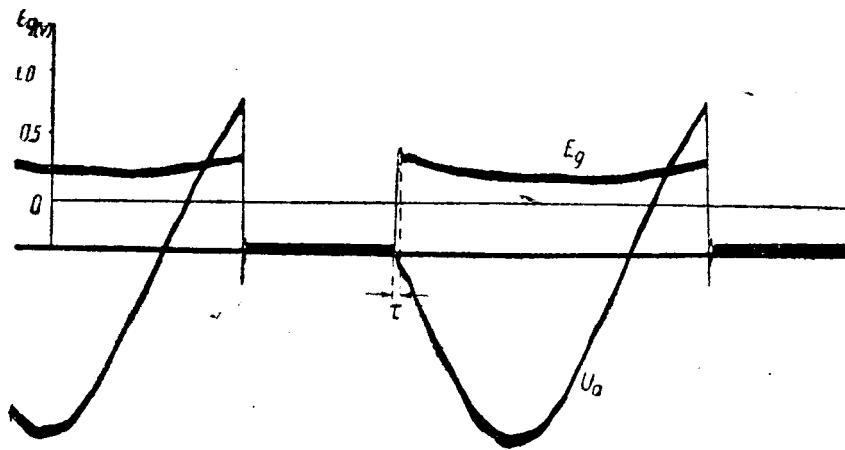


Рис. 13. Измерение времени деионизации осциллографически

деионизации, определенное из осциллограмм, составляет 100–130  $\mu$  sec, т. е. соответствует предыдущим измерениям. Более благоприятные результаты дают неоновые тиатрона, время деионизации у которых при разных условиях работы варьируется от 50 до 95  $\mu$  sec.

Отметим, что в релаксационных схемах тиатрона работают в значительно более трудных условиях, чем при синусоидальном анодном напряжении, так как после прекращения разряда на анод тиатрона 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<sup>1</sup>), тогда как в обычных типах тиатронов завода „Светлана“ время деионизации имеет порядок десятков, а в некоторых случаях и сотен микросекунд.

**Осциллографический метод.** Прекращение разряда в тиатроне 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 тиатроне.

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 на осциллограмме, соответствующее изменению потенциала сетки в момент прекращения разряда в тиатроне, характеризует время деионизации.

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

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 тиатрона 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.

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

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

Увеличение поверхности сетки также приводит к уменьшению времени деионизации, однако при этом возрастают эжекторные 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 оказывается 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 дуги и источника, питающего дугу, которые обеспечивают стойчивое горение ее.

Предварительно этот комплекс вопросов рассматривается для случая, когда крутопадающая характеристика напряжения, подаваемого от источника питания на дугу, являющаяся, как известно<sup>1</sup>, непременным условием устойчивости горения, обеспечивается подключением дуги к источнику через последовательное омическое сопротивление.

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

Дуга представляет собой некоторую омическую нагрузку, индуктивность всех остальных элементов цепи весьма мала и ее можно в данном случае пренебречь. Поэтому дальнейшем принимается, что угол сдвига фаз между оком 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  $U = U_r$ .

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, потребное для поддержания дуги. В некоторый момент времени  $t_2$ , когда напряжение, потребное 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  $A_1$ ). Следовательно, в течение промежутка времени  $t_b = t_1 + t_3$  дуга не горит.

Во время перерыва горения газовый промежуток начинает деионизоваться, и напряжение, потребное 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 возникно-

вении 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  $t_f$  и время перерыва от момента ее угасания до повторного зажигания  $t_b$ , вообще говоря, связано с явлением деионизации.

Однако, как показали исследования Симона<sup>2</sup>, 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 нагрев, 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

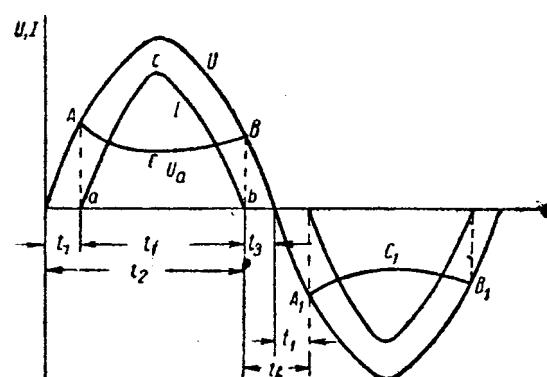


Рис. 1.  $U = 55$ ;  $U_r = 39$  и  $U_a = 26$  В;  $I_e = 108$  А;  $R = 0,26$  Ом;  $t_1 = 0,0016$ ;  $t_2 = 0,0084$ ;  $t_3 = 0,0012$ ;  $t_4 = 0,0072$  и  $t_b = 0,0028$  с.

<sup>2</sup> H. Simon, Über die Dynamik der Lichtbogenvorgänge und über Lichtbogenhyysterese, Ph. Zt., S. 297, 1905.

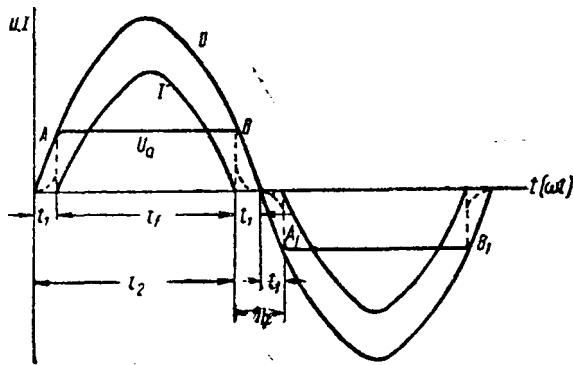


Рис. 2.  $U = 55$  и  $U_a = U_r = 26$  В;  $I_e = 270$  А;  $R = 0,108 \Omega$ ;  $t_1 = 0,00103$ ;  $t_2 = 0,00892$ ;  $t_f = 0,00784$  и  $t_b = 0,00216$  сек.

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

$$t_b = \frac{\arcsin \frac{U_r}{U_m}}{\omega}, \quad (1)$$

так как  $t_1 = t_3$ .

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 которой 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 и 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  $\omega t_1 \dots \omega t_2$  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

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

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

где

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

Напряжение на дуге  $U_a$  в интервалах от 0 до  $\omega t_1$  и от  $\omega t_2$  до  $\pi$  изменяется по синусоиде, а в интервале от  $\omega t_1$  до  $\omega t_2$  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

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

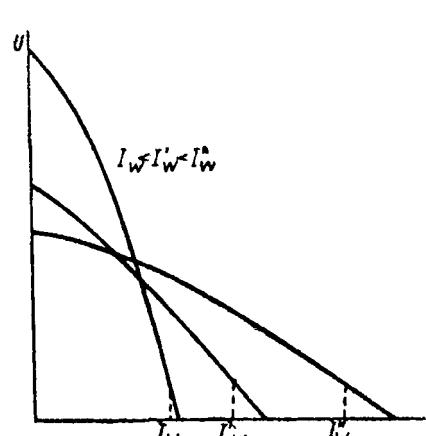
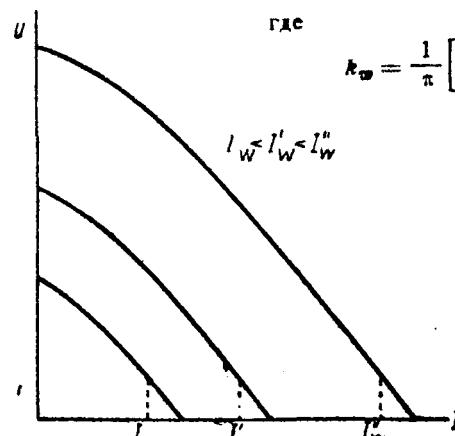


Рис. 8



Вологодская областная универсальная научная библиотека

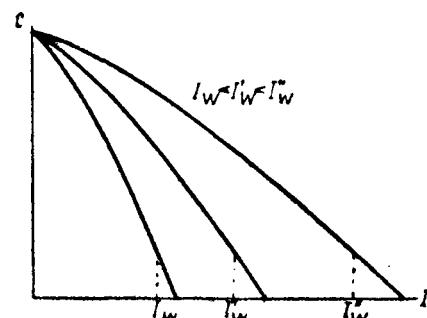


Рис. 5

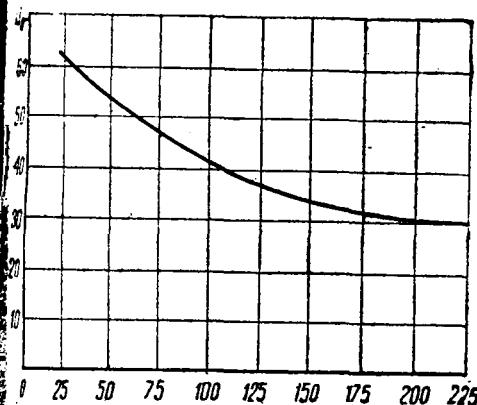


Рис. 6

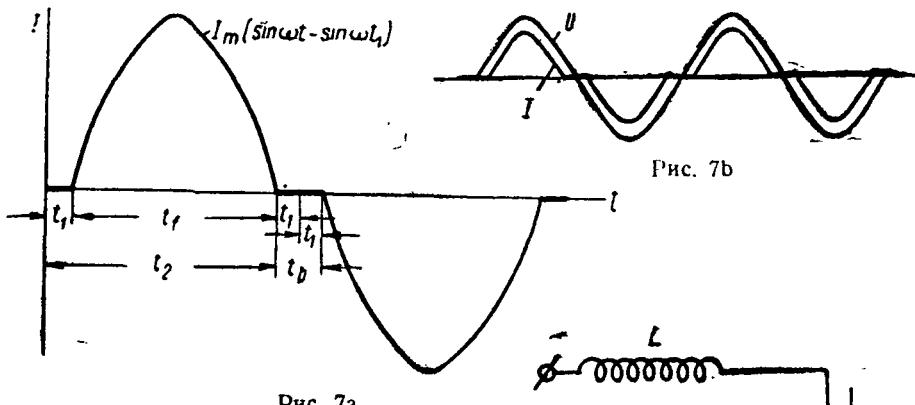


Рис. 7б

Рис. 7а

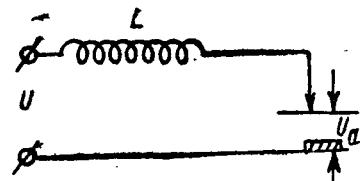


Рис. 8

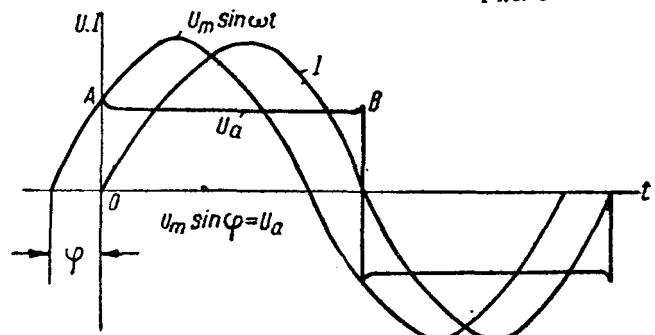


Рис. 9

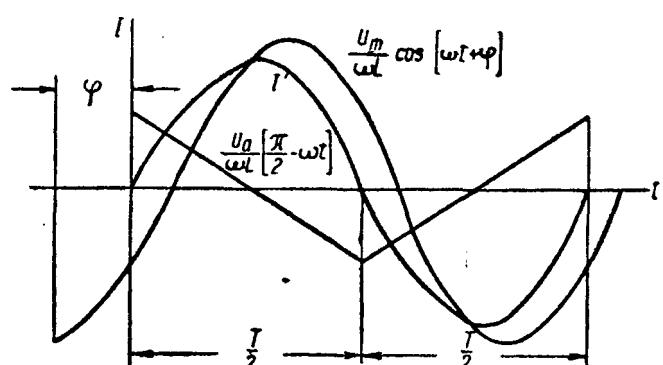
Уравнение (8) можно, очевидно, переписать так:

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

Повторяя, это уравнение достаточно точно лишь для случая, когда угол  $\varphi$  значителен и, следовательно, возможно непрерывное горение дуги.

Как видно из уравнения (8a), кривая тока состоит из синусоиды, сдвинутой относительно напряжения на угол, близкий  $90^\circ$ . Амплитуда ее есть ток в цепи при наличии в ней лишь индуктивного сопротивления. Вторая слагающая кривой тока представляет собой треугольную линию; она опережает ток на  $90^\circ$  (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  $U_a = 23$  V;  $I_m = 350$  A;  $\omega L = 0,225 \Omega$ ;  $\cos \varphi = 0,465$ 

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

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

Решение уравнения будет:

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

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.

<sup>8</sup> Проф. Р. Рюденберг, Явления неустановившегося режима в электрических установках.

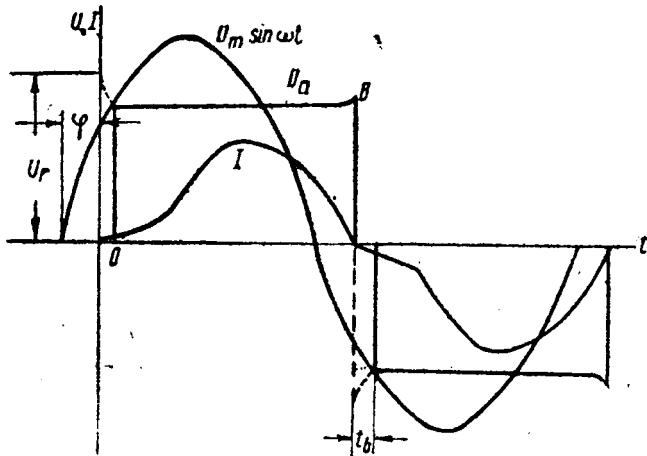


Рис. 11а.  $U = 55$ ;  $U_r = 50$  и  $U_a = 44$  V;  $\omega L = 0,195 \Omega$ ;  $\cos \varphi = 0,89$ ;  $t_b = 0,001$  sec

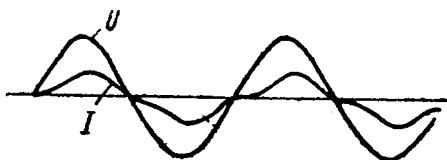


Рис. 11б

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:

$$\frac{U_a}{U_m} < 0,54 \text{ или } U > 1,31 U_a.$$

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

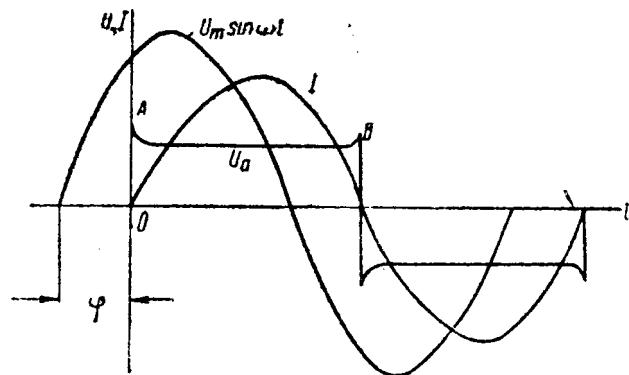


Рис. 12а.  $U = 55$  и  $U_r \approx U_a = 23$  V;  $\omega L = 0,223 \Omega$ ;  $\cos \varphi = 0,465$

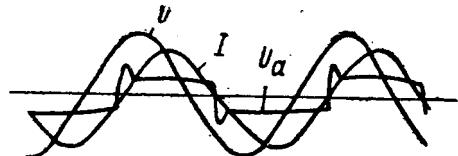


Рис. 12б

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 A, а большие — для токов меньше 100 A.

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 A) а большие — к токам больше 150 A.

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 цели с наличием индуктивности.

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

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

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 Квантнер  
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 А. Сmekalem [1] названа «областью проводимости искаженных мест» (Lockerrstellenleitung) и Л. Поплем [2] областью Störleitung. Известно, что здесь и 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 сильвин [7], оксиды алюминия, висмута, ниоба, tantalа, 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 выражена формулой Пуля [4]  $\lg \sigma = a + bE$ , где  $b$  колебается от  $10^{-7}$  до  $6 \cdot 10^{-6}$ .

Мы отметим пока только как чисто экспериментальный результат, что большие отклонения от изложенной 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 таких 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  $b$  пульевской 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 прошлое 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 экстраполяций 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

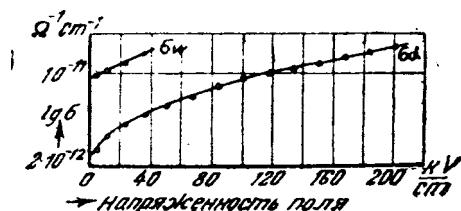


Рис. 1. Зависимость истинной  $\sigma$  и остаточной  $\sigma_0$  электропроводности от напряженности поля для каменной соли (по работе Берана и Квантнера)

которых остаточная проводимость до  $300\,000$  В/см 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  $35\,000$  В/см 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, — несостоитально. 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, следовательно, к повышению электропроводности. Флексиг [28], наоборот, пытается объяснить возрастание проводимости нагревом 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 плохо проводящих 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 Флексиг [28]. Чтобы не вступить в противоречие с фактом существования независящих 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 изменено методом, данным нами [22]. Таким образом, попытки объяснения Гохберга, Флексига 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 тог-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. Этак же, как и другие обстоятельства, полученные в процессе проверки этих работ, позволяет эти исследования в общем и целом считать необоснованными.

Если возрастание электропроводности с полем рассматривать как экспериментально безусловно 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  $1,5 \cdot 10^6$  В/см. Это было истолковано Шиллером [32] таким образом, что те же ионы, которые обусловливают 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 приращения 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  $425^{\circ}$  и в слабых полях представляет собой ионный проводник, у которого в сильных полях возникает добавочная чисто электронная пулевская проводимость (жс. 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  $425^{\circ}$  повышение истинной проводимости в  $10^6$  раз при полях до  $10^6 \text{ V/cm}$  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  $10^4 \text{ V/cm}$ , 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. Так же и здесь при высокой температуре и слабых полях мы имеем преимущественно ионную проводимость и примерно выполнимость 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 окисах металлов, установившего качественно, что у них в сильных полях электронная проводимость, то с 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.

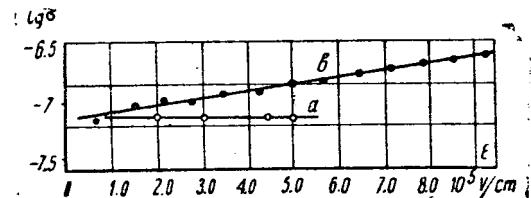


Рис. 2. Зависимость электропроводности слюды от напряженности поля при температуре  $426^{\circ}$ . а — ионная; б — ионная плюс электронная проводимость (по работе Пружининой-Грановской, печатается в Sow. Phys.)

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  $6 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$ . Совершенно аналогичное явление наблюдал Шиллер у стекла при  $5.4 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$ . У каменной соли мы [22] наблюдали понижение в 5% при поле  $2 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$ . Новые измерения Пружининой-Грановской над слюдой при слабых полях согласуются с этими результатами и дополняют их значениями при полях, превышающих  $10^6 \text{ V/cm}$ , 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 призывает 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 бесплодны; 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 учсть 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. Сmekal, 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. Квантнер, Z. f. Phys. 16, 597, 1929.  
 8. А. Гюнтершульце и Бетц, Z. f. Phys. 91, 70, 1934;  
 92, 367, 1934.  
 9. А. Габлер, Arch. f. Electrot. 14, 408, 1925.  
 10. Ф. Квантнер и В. Пружинина, Sow. Phys. 9, 41,  
 1935.  
 11. А. Смекаль и Ф. Квантнер, Verh. d. deutsch. Phys.  
 Ges. (3) 9, 37, 1928; позднее Б. Гохберг, Z. f. Phys. 70,  
 635, 1931.  
 12. Ф. Квантнер, 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. Квантнер, Sow. Phys. 6, 319, 1934.
20. Ф. Квантнер «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. Квантнер, Sow. Phys. 6, 319, 1934,  
 22. О. Беран и Ф. Квантнер, Z. f. Phys. 64, 760, 1930.  
 23. Б. Гохберг, Z. f. Phys. 70, 635, 1931.  
 24. Ф. Квантнер, 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. Селен, Z. f. Phys. 29, 125, 1926.  
 27. Б. Гохберг, Z. f. Phys. 70, 635, 1931.  
 28. Флексинг, Hand- u. Jahrbuch d. chem. Phys. Bd. I, часть II, 1933.  
 29. Ф. Квантнер, Sow. Phys. 8, 275, 1935.  
 30. Ф. Квантнер, Sitzungsber. der Akad. d. Wiss. in Wk 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, 1929.  
 О. Беран и Ф. Квантнер. 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-CFF 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, сопутствующем появлению на корпусе, а также на связанном с ним металлическом 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.

Зашиты 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 быстродействующего защитного выключения, исключающего необходимость в устройстве защитного заземления корпусов машин и прочих нетоковедущих частей установок.

Автоматическое защитное выключение находит большое распространение за границей. В Германии уже несколько фирм выпускают необходимую для этого аппаратуру<sup>1</sup>. У нас в СССР, насколько известно<sup>2</sup>, 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 привести к поражению электрическим током, но может вызвать потрясения, часто достаточные, чтобы повести к дополнительной опасности: поранение движущимися частями машин падение с высоты и т. п. Эти травмы имеют на практике не малое значение<sup>3</sup>.

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 тяге 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 5. 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.

<sup>1</sup> Т. С. Gilbert, Artificial Earthing for Electrical Installation, стр. 88.

<sup>2</sup> Проф. Л. Н. Слонимский, Электрификация торфо-

разработок. Часть 1, стр. 307, 1935.

<sup>3</sup> С. А. Пресл, Электрические установки, стр. 64, 1930.

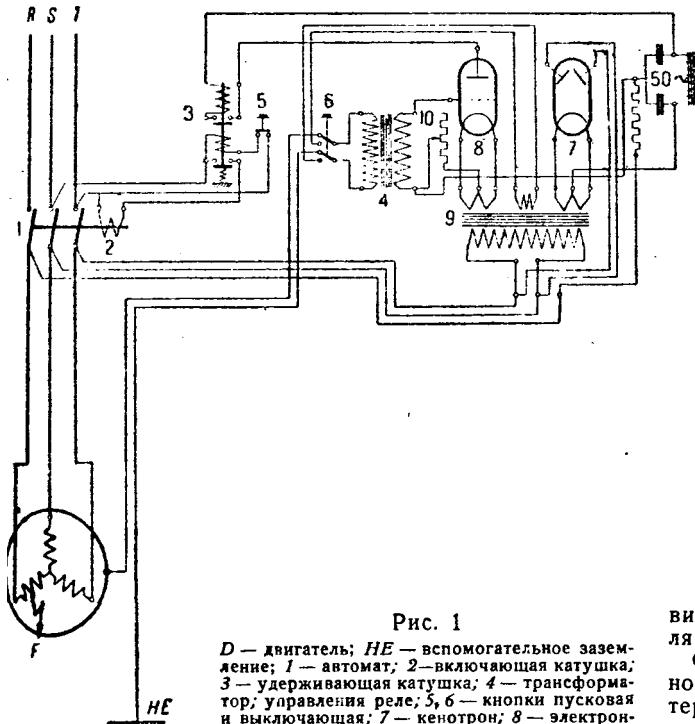


Рис. 1

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 при проверке защитного действия реле. При нажатии кнопки первичная обмотка трансформатора 4 переключается на контакты контрольной обмотки равно предельному допускаемому напряжению прикосновения. Положение контактов, показанное на схеме, является "защитным". В это положение контакты возвращаются автоматически всякий раз после нажатия кнопки.

Защитное отключение электродвигателя произойдет при прикосновении на корпус в любой из фаз его обмотки, в том случае, если напряжение корпуса по отношению к земле будет равно или выше допускаемого. Это выключение реле выполнит независимо от того, перейдет ли замыкание на корпус в замыкание на землю или же нет, как это может место при изолированном 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, обуславливший удерживающую катушку реле 3 постоянен, измеряется ординатой  $I_A$  осциллографами рис. 2. При попадании на корпус 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  $I_A$ , и это видно на рис. 2. В результате последующего изменения магнитного потока удерживающей катушки реле 3 под его влиянием пульсирующей удерживающей силы катушки, которая в свою очередь зависит от степени изменения потенциала сетки.

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

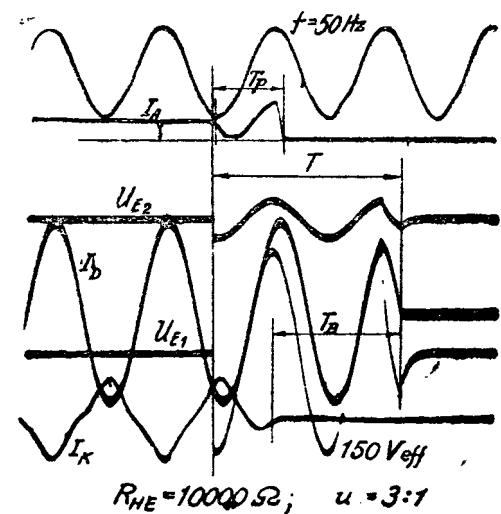


Рис. 2

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

От величины  $U_B$  зависят напряжения  $U_A$  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 осциллографме 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, автоматически выключающая защита прежде всего должна быть достаточно быстродействующей. Во-вторых, защита должна срабатывать при всех напряжениях  $U_E$ , начиная от некоторого нижнего предела, при котором напряжение прикосновения  $U_B$  не превосходит допускаемое 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 сотни 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 сводится к отключению поврежденного объекта в достаточно короткий промежуток времени. Последняя задача, очевидно, несложная и совершенно исключается при положительном решении 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 промежутка времени, измеряющегося десятисячными 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.

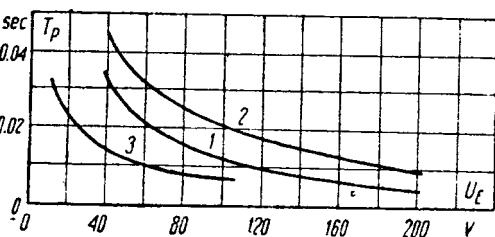


Рис. 3.  $T_p = f(U_E)$  при  $I_A = 22 \text{ mA}$ ,  $1 - R_{HE} = 1000 \Omega$ ;  $u = 3:1$ ;  $2 - R_{HE} = 1000 \Omega$ ;  $u = 3:1$ ;  $3 - R_{HE} = 1000 \Omega$ ;  $u = 1:3$

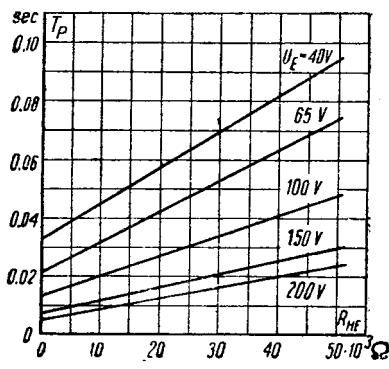


Рис. 4.  $T_p = f(R_{HE})$  при  $I = 22 \text{ mA}$  и  $u = 3:1$

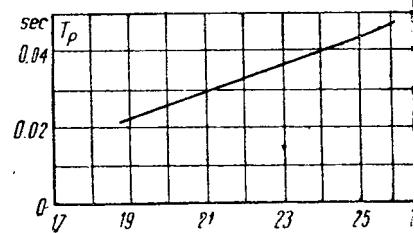


Рис. 5.  $T_p = f(I_A)$  при  $U_E = 40 \text{ V}$   
 $R_{HE} = 1000 \Omega$  и  $u = 3:1$

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 анодном токе. При исследовании схемы  $U_E$  изменялась от допускаемого нормами напряжения прикосновения, при котором начинает срабатывать реле, почти до номинального напряжения установки, обслуживающей реле. На рис. 3 эта характеристика дана для двух значений коэффициента трансформации трансформатора 4, получаемых пермененою 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, —  $T_B = 0,028 \text{ sec}$ , наименьшее значение  $T_B = 0,020 \text{ sec}$ . В этих же пределах обычно и находится время  $T_B$  автоматов, предназначаемых для защиты электродвигателей в низковольтных установках. По данным исследования проф. Rudenberg<sup>4</sup> при выключении токов к. з., даже порядка 30 000 A, в установках 380 V время  $T_B = 0,035 \text{ sec}$ , включая и время горения дуги (0,011 sec). Практически можно считать, что полное время действия рассматриваемой схемы  $T = 0,03 \text{ sec} + T_p$ .

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

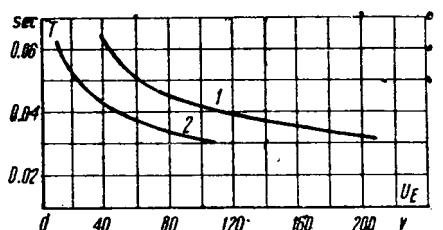


Рис. 6.  $T = f(U_E)$  при  $I_A = 22 \text{ mA}$  и  $R_{HE} = 1000 \Omega$ . 1 —  $u = 3:1$ ; 2 —  $u = 1:3$

<sup>4</sup> „Е. и М.“ № 14 и 15, 1933 (реферат в „Энергетическом обозрении“ № 10, 1933).

ние или зануление по данным O. Löbl<sup>5</sup> колеблется в зависимости от напряжения по отношению к земле в предел от 1 sec до 0,5 min. Приводя эти данные, O. 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  $U = 1:3$ ,  $I_0 = 0,1 \text{ mA}$ . 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 пропорционально определенному чередованию 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 выключение с защитным заземлением и 2) автоматическое 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 6;

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 и установок; 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 O. Löbl<sup>6</sup> автоматические защитные выключатели имеют время срабатывания  $T = 0,02 - 0,05 \text{ sec}$ . Сила тока

<sup>5</sup> Oskar Löbl, Erdung, Nullung und Schutzschaltung, Berlin 1933, стр. 89, 91.

<sup>6</sup> См. сноску 5.

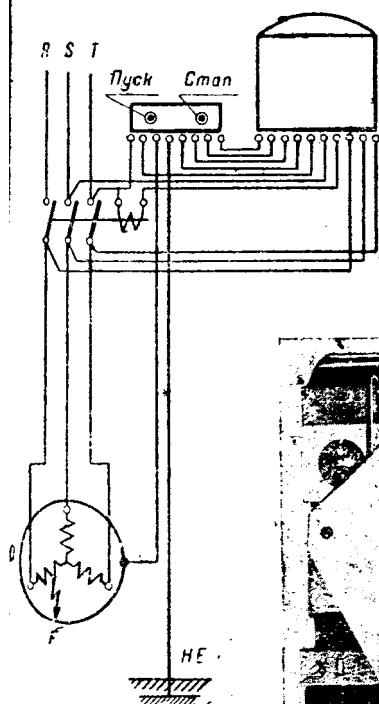


Рис. 7

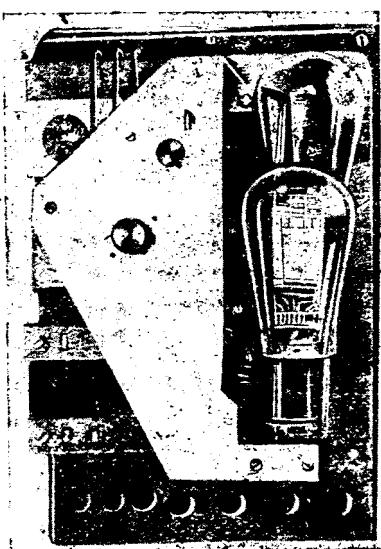


Рис. 8

при которой они начинают срабатывать, —  $I_0 = 50 \text{ mA}$ , 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  $U_E = 40 \text{ V}$  не срабатывает, если  $R_{HE} > 600 \Omega$ . При  $R_{HE} = 1000 \Omega$  необходимо,

чтобы  $U_E = 67 \text{ V}$ . Предлагаемое реле при  $U_E = 40 \text{ V}$  срабатывает даже при  $R_{HE} = 100000 \Omega$ .

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 заграниценных автоматических выключателях по системе Heilisch — 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 выключение 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 улиц<sup>1</sup>

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-

<sup>1</sup> Краткое изложение работы, выполненной в 1936 г. Энергетическим отделом Ленинградского научно-исследовательского института коммунального хозяйства, руководимым А. Г. Ремешевским.

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 произошедших авариях и выяснение характера их.

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 Ленсовет, 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,ключающий 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 на 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 прошедших изменений в линии связи и оборудования 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: части, 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), микротелефонное устройство МТУ для телефонной связи с пунктами включения, реле Р17 и Р18 для включе-

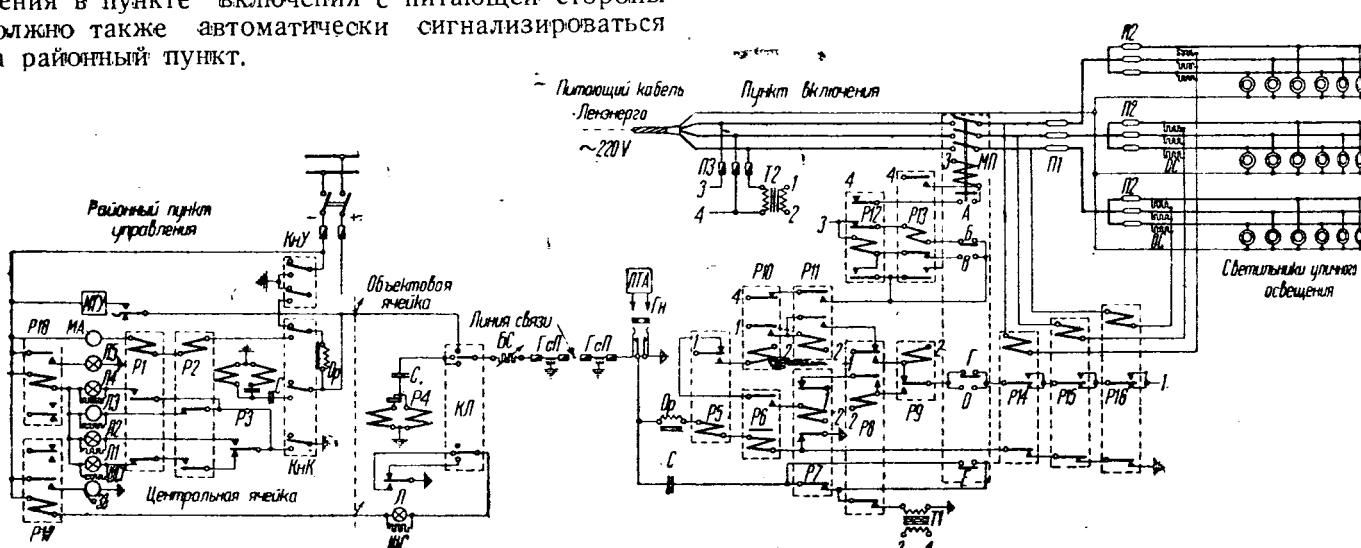


Рис. 1  
Вологодская областная универсальная научная библиотека  
www.booksite.ru

общего акустического и оптического сигнала, реле  $P_1$ , для определения заземления линии связи, реле  $P_2$  для определения обрыва линии связи, реле переменного тока  $P_3$  для определения наличия или отсутствия напряжения переменного тока в пункте ключения и для определения положения выключателя освещения улиц, разделительный дроссель  $Др$ , разделительный конденсатор  $C$ , промышленный миллиамперметр  $mA$ , сигнальные лампы  $L_1$ ,  $L_5$ , звонок  $Зв$  и шунтирующие сопротивления  $ШС_1$ . Оборудование, относящееся к каждому пункту включения: ключи  $Кл$ , реле переменного тока  $P_4$ , сигнальная лампа  $L$ , шунтирующее сопротивление  $ШС$ , балансное сопротивление  $B_с$ , громоизводство с предохранителями  $Гсп$ .

На каждом пункте включения устанавливается юстировочное устройство сильного тока, состоящее из магнитного пускателя  $МП$  (выключателя освещения улиц с электрическим приводом), юных предохранителей  $P_1$ ,  $P_2$ , системы шин и распределения трехфазного тока между двумя магистральными линиями освещения улиц и оборудования схемы управления в составе: питающих трансформаторов  $T_1$ ,  $T_2$ , трех предохранителей питания  $P_3$ , промежуточных реле управления  $P_{12}$ ,  $P_{13}$ , юного реле управления  $P_5$ , линейного реле коммутации  $P_6$ , якорь-реле  $P_7$ , вспомогательных реле  $P_8$ ,  $P_{10}$  и  $P_{11}$ , реле съема перегорания плавких вставок  $P_{14}$ ,  $P_{15}$  и  $P_{16}$  разделительного дросселя  $Др$ , разделительного конденсатора  $C$ , микротелефонного гнезда  $Гн$  и громоизводства с предохранителем  $Гсп$ . Все реле, за исключением  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_7$  и  $P_{18}$ , питаются переменным током пункта включения. Реле  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_6$ ,  $P_7$  и  $P_{18}$  питают 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  $T_1$ ,  $T_2$ . Трансформатор  $T_1$  питает током через линию связи и своё реле  $P_4$ , а трансформатор  $T_2$  — реле  $P_9$ . Все остальные элементы схемы обесточены. Кнопки  $KnK$  находятся в верхнем положении. При этом источник постоянного тока заземлен. Минус постоянного тока подан в микротелефон, миллиамперметр, обмоткам и контактам реле  $P_{17}$  и  $P_{18}$ . **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 данном пункте соответствующее число раз будет включаться реле  $P_4$  и, следовательно, соответствующее число раз зажигаться лампа  $L$ , включая реле  $P_{17}$  и звонок  $Зв$ , который звучит через контакт реле  $P_{17}$ . Прерывисто звучащий звонок укажет дежурному района, с ним желают говорить по телефону из пункта включения. Периодически загорящаяся лампа  $L$  ждет ему, какой пункт его вызывает. Схема дает одновременный вызов из нескольких пунктов.

По окончании операции вызова штепсель первого телефонного аппарата оставляют в гнезде  $Гн$ . Вследствие этого схема пункта включения отделяется от линии связи, а последовательно через гнездо  $Гн$  включается на землю пере-

лючательный телефонный аппарат  $ПТА$ . На районном пункте дежурный переводит ключ  $Кл$  в верхнее положение, что влечет за собой выключение: лампы  $L$ , реле  $P_{17}$ , звонка  $Зв$  и реле  $P_4$ ; линия же связи переключается к центральной ячейке и далее к рычажному переключателю микротелефона  $МТУ$ . Дежурный района снимает микротелефонную трубку, и его телефонный аппарат оказывается включенным 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  $Кл$  переводят в среднее положение; штепсель переносного телефонного аппарата вынимают из гнезда  $Гн$ , и схема приходит в нормальное положение. Во время разговора возможно получение вызова из другого пункта.

**Изменение и появление напряжения переменного тока на пункте включения.** При отсутствии напряжения переменного тока на пункте включения вызовов района из пункта включения осуществляется током ручного индуктора переносного телефонного аппарата. От тока индуктора условленное число раз срабатывает реле  $P_4$  и дает сигнал вызова дежурному района. В этом случае (см. ниже) ключ  $Кл$  занимает нижнее положение и, следовательно, при выключенном реле  $P_4$  лампа  $L$ , реле  $P_{17}$  и звонок  $Зв$  выключены.

Если со стороны Ленэнерго по тем или иным причинам прекратится подача тока в пункт включения, то на районном пункте выключаются реле  $P_4$ . Реле  $P_4$  через свой нижний контакт включит лампу  $L$ , реле  $P_{17}$ , 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  $KnK$ . Этим самым схема готова к контролю состояния линии связи и оборудования данного пункта. С нажатием кнопки  $KnK$  к данной линии связи приключается постоянный ток через последовательно включенные обмотки реле  $P_1$ ,  $P_2$  и дроссель  $Др$ . Вместо реле  $P_4$  через разделительный конденсатор  $C$  к линии связи подключается реле переменного тока  $P_3$ . Обмотки реле  $P_1$  и  $P_2$  выбраны с таким расчетом, чтобы от контролируемого тока нормальной величины срабатывало бы лишь реле  $P_2$ . Таким образом якорь реле  $P_2$  будет принят и, следовательно, верхний контакт этого реле размыкается, а нижний замыкается. Вследствие отсутствия переменного тока на пункте включения якорь реле  $P_3$  будет отпущен и замкнется цепь лампы  $L_1$ , последовательно с которой включена обмотка реле  $P_{18}$ . Реле  $P_{18}$  срабатывает и включит через свой верхний контакт контрольную лампу  $L_5$ . Зажегшаяся лампа  $L_5$  укажет дежурному, что в данном пункте включения нет напряжения. Лампа  $L_5$  служит для контроля перегорания сигнальных ламп; действие ее будет рассмотрено ниже. Далее кнопка  $KnK$  отпускается, а ключ  $Кл$  переводится в нижнее положение. Как только кнопка  $KnK$  будет отпущена, то выключаются лампа  $L_1$ , реле  $P_{18}$  и лампа  $L_5$ .

При появлении в пункте включения напряжения, сработает реле  $P_4$  и через свой верхний контакт и нижний контакт ключа  $Кл$  включит лампу  $L$  и звонок  $Зв$ . Нижнее положение ключа  $Кл$  указывает 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 нажимается кнопка *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 *A*, получая питание от точки 4 через контакт реле *P12*. Включившееся реле *P13* своим нижним контактом шунтирует контакт *B* магнитного пускателя и размыкает средним контактом цепь другого промежуточного реле *P12*. При включении магнитного пускателя *МП* размыкаются его контакты *B*, *Г* и *Е*, а контакты замыкаются *A*, *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, блокируется 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 включенным реле *P8*. Реле *P8* своим нижним контактом обрывает цепь переменного тока. Если на районном пункте ключ *Кл* будет переведен в среднее положение, то выключательное 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 тому управления, так как в этом случае плюс заземлен.

а в линию подается минус через обмотки реле *P2*. От постоянного контрольного тока нормальны величины срабатывают лишь реле *P2* и *P6*. Як 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, которое обернет цепь заблокированного реле *P* и последнее отпустит свой якорь. Пульс-реле получит питание от точки 1 через контакты реле *P* и *P6*. Пульс-реле состоит из пяти реле переменного тока, сбранных по специальной схеме. К только 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 пульссирующий контакт пульс-реле *P7*. О этого попеременно будут зажигаться лампы *Л1*, сработает реле *P18*, а также зажжется лампа *Л*. Попеременное зажигание этих ламп укажет дежурному райсна, 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 *P*.

**Выключение освещения улиц.** Операции дежурного и работы реле при выключении осуществляются так же, как и при включении освещения с той разницей, что при этом сработает вместо 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 *E* нижнего контакта пульс-реле *P7* на районном пункте реле *P3* будет находиться в притянутом положении и по постоянной горящей лампе *Л2* дежурный района установлен, что данный выключатель освещения улиц выключен.

**Сигнал изменения положения выключателя освещения улиц.** Если по каким-либо обстоятельства без ведома дежурного района выключатель *М* 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 отпускания якоря реле *P4*. Дежурный переводит ключ *Кл* данного пункта включения вверх, нажимает кнопку *Кн* и далее согласно вышеописанному определяет положение выключателя уличного освещения.

**Сигнал перегорания силовой пластины вставы** В случае перегорания хотя бы одной из плавких вставок *П1*, *П2* сработает одно из реле *P14*, *P1* или *P16*, в зависимости от того, в какой фазе перегорит предохранитель. Эти реле своим верхним контактами на некоторый период времени размыкают цепь питания реле *P9*, которое выключается. После замыкания этой цепи включается реле *P* и блокируется во включенном состоянии, как и уже описывалось выше. Аналогично вышеописана

и, вследствие срабатывания реле  $P_8$  на районном пункте получается сигнал, по которому дежурный осуществляет операцию контроля. Так как перегорание плавких вставок может произойти при включении положении выключателя  $МП$ , дежурный получит сигнал, что магнитный селектор  $МП$  включен и к тому же вследствие периодического размыкания среднего контакта пульсации  $P_7$  будет периодически обрываться цепь постоянного тока, т. е. будет пульсировать реле  $P_2$  своим контактом то включать, то выключать лампу  $L_3$ . Реле  $P_8$  при этом не отпустит свой якорь, так как оно выполнено с выдержкой времени на размыкании. По миганию света лампы  $L_3$  дежурный судит, что в данном пункте включения перегорела плавкая вставка. Переведя ключи  $Кл$  среднее положение и отпустив кнопку  $KnK$ , он выводит схему в нормальное состояние, за исключением включенного реле перегорания плавкой вставки  $P_{14}$ ,  $P_{15}$  или  $P_{16}$ , что дает ему возможность при последующем спорадическом контролестановить вторично перегорание плавкой вставки в данном пункте включения. Сопротивление  $Ds$  позволяет снять одним реле сигнал перегорания любой из трех магистралей данной фазы.

**Обрыв или заземление линии связи.** При обрыве линии  $P_4$ , отпуская свой якорь, включает лампу  $L$  и далее звонок  $Zv$ . Дежурный придает ключу  $Кл$  кнопке  $KnK$  положение контроля, при этом так как якорь реле  $P_3$  отпущен, загорается лампа  $L_3$ , постоянное горение которой указывает, что произошел обрыв линии. Затем ключу  $Кл$  придается нормальное среднее положение, а кнопка  $KnK$  автоматически приходит в нормальное положение после нажатия на нее.

При восстановлении целости линии связи реле  $P_4$ , отбывающее, вновь включает лампу  $L$  и звонок  $Zv$ , и самым давая знать дежурному об исправности. После этого ключ  $Кл$  переводится в среднее положение.

При заземлении линии связи реле  $P_4$  выключается, будучи зашунтировано земляным сообщением. Дежурный района переводит ключи  $Кл$  и кнопку  $KnK$  в положение контроля. Вследствие изменения силы линейного тока из-за заземления работает реле  $P_1$  и своим верхним контактом

включает цепь лампы  $L_4$ , по горению которой устанавливают, что в данной линии имеется заземление. Далее ключ  $Кл$  переводится в нижнее положение, а кнопка  $KnK$  отпускается.

При уничтожении заземления вновь срабатывает реле  $P_4$  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  $L$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ .** Так как все эти лампы зашунтированы сопротивлением  $ШС$  или  $ШС1$ , то если даже они перегорят, все же реле  $P_{17}$  и  $P_{18}$  сработают. Первое включит звонок, а второе — контрольную лампу  $L_5$ . Наличие этих общих сигналов без зажженной сигнальной лампы указывает дежурному на перегорание лампы. Определение перегоревшей лампы осуществляется испытанием. Если перегорит контрольная лампа  $L_5$ , 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  $L_1$ — $L_5$ , 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  $KnK$  (рис. 1). Кнопка управления  $KnU$  расположена внизу с правой стороны. Микротелефонных трубки две: одна из них может быть использована для прямой связи с диспетчером города.

В качестве релейного шкафа (рис. 3) используется 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-

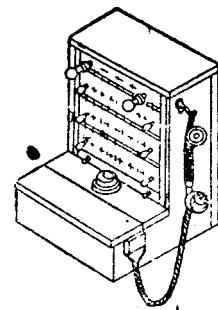
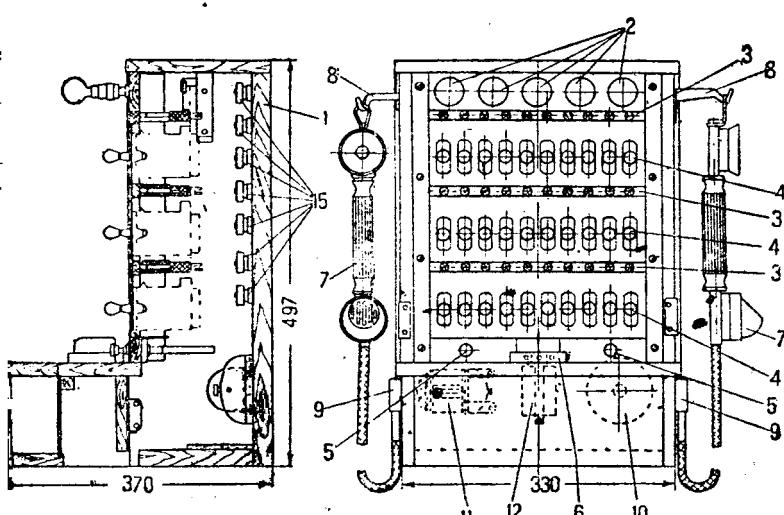


Рис. 2

Аппарат управления районного пункта. 1 — корпус стрелочного коммутатора; 2 — лампа «Сигнальная»; 3 — рамка с 10 сигнальных ламп; 4 — разговорно-вызывные ключи (30 шт.); 5 — кнопки; 6 — звонок; 7 — микрофон; 8 — рычажной переключатель; 9 — микротелефонное гнездо; 10-11 — зонки постоянного и переменного тока; 12 — 2-мкФ конденсатор; 13 — щечные катушки (30 шт.).

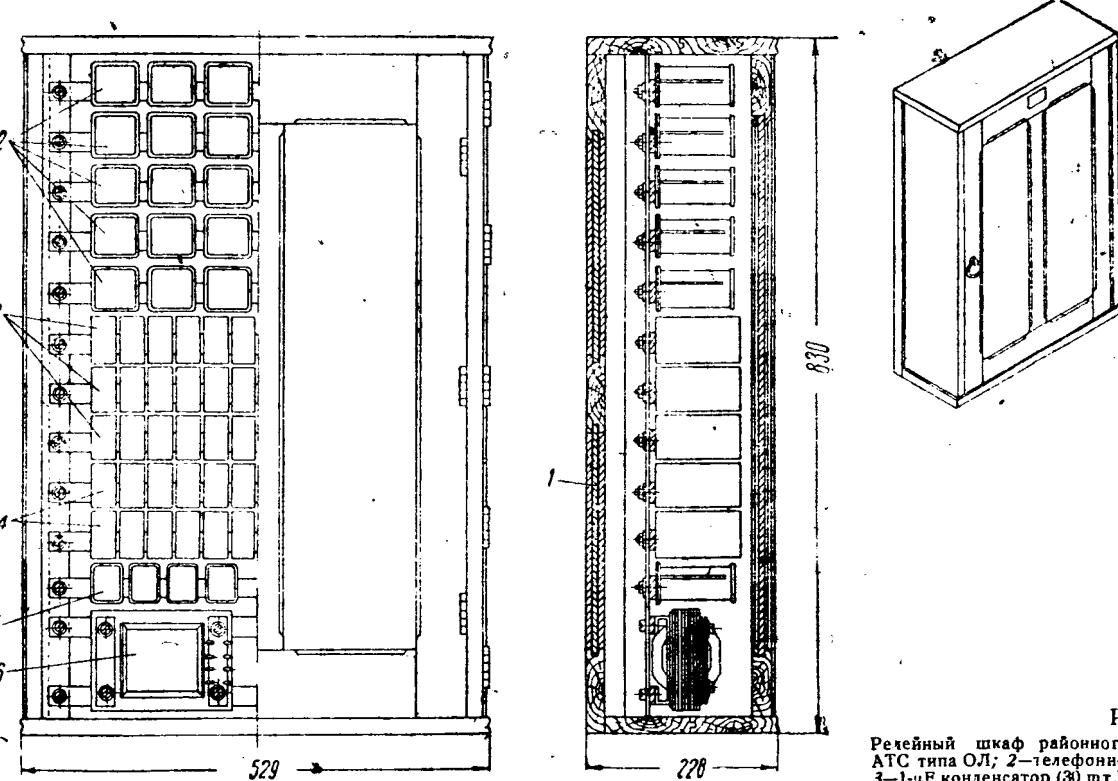


Рис. 3

Релейный шкаф районного пункта, 1 — корпус мат. АТС типа ОЛ; 2 — телефонное реле 2-катушечное (31 шт.); 3 — 1- $\mu$ F конденсатор (30 шт.); 4 — 2- $\mu$ F конденсатор (30 шт.); 5 — телефонное реле 1-катушечное; 6 — дроссель

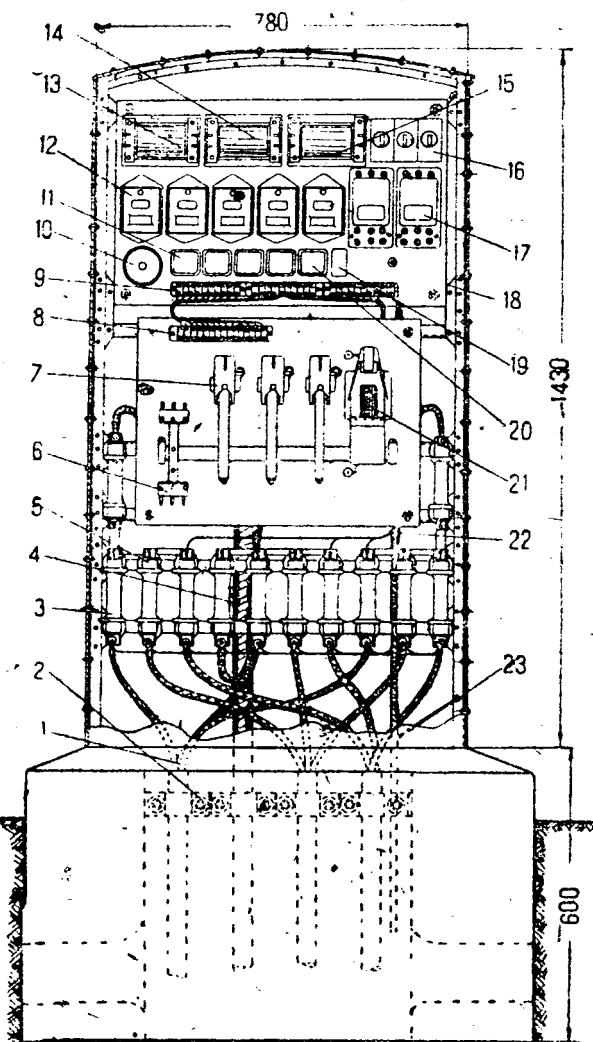


Рис. 4

Пункт включения. 1 — магистральный осветительный кабель; 2 — накладки крепления кабеля; 3 — предохранители силового типа СРО (12 шт.); 4 — питающий трехфазный кабель 220-380 В; 5 — шинки связи общих преохранителей с магистралью; 6 — блок контакты контактора (6 шт.); 7 — контактный токопровод КТ-33 завода ХЭМЗШ; 8 и 9 — контактные планки (по 15 и 10 шт.); 10 — контактный токопровод с предохранителем завода „Красная звезда“; 11 — телефонное реле 2-катушечное (4 шт.); 12 — промежуточное реле РП мом. завода ХЭМЗШ (5 шт.); 13 — разъемный дроссель; 14 — трансформатор контроля положения 220 В; 15 — питательный трансформатор Ш-2 завода „Красная звезда“ 0,48 В; 16 — преохранитель типа Н (3 шт.); 17 — рея типа АРЭ завода им. Казанского (2 шт.); 18 — микротелефонное гнездо завода „Красная звезда“; 19 — 4- $\mu$ F конденсатор завода „Красная звезда“; 20 — паяльное реле Сименса; 21 — амперомагнитный привод контактора; 22 — кабель телеконтроля; 23 — заземление; 24 — кирпичное основание; 25 — железный корпус; 26 — панель управления

овано на вертикальной панели и заключено нормальный киоск треста Ленсвет. В средней части установлен контактор завода ХЭМЗШ. Ниже расположаются магистральные предохранители на 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. Казинского 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, Коммунэнергостроя, Московского университета (от нескольких кафедр), Ленинградского химико-технологического института, Ленинградского института связи, Харьковского энергетического института, Новочеркасского индустриального института, и от профессоров, инженеров и научных работников: Бергера, Туника, Беляевского, Кошова, Равича, Захарова, Богословского Е. В., Мамеда, Слепяна, Сукачева, Скоморохова, Хрущева, Юровова А. А., Кальмана, Круга, Маренина, Баженова, Шейнина, Константинова, Толвина и Бобровского. Последний представил объемистый труд, котором затрагивается ряд принципиальных вопросов.

Наибольшее число замечаний получено по следующим отделам:

Часть 0,5 — Основные определения . . . . .	242 замечания
10 — Машины и трансформаторы . . . . .	183 "
15 — Щиты 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 привлек организованную по инициативе Л. С. Бобровского при ВНИТО электротехники и электросвязи особую комиссию по рационализации русской электротехнической терминологии, работающую под председательством проф. В. А. Беляевского. 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 письме.

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, приславшими свои замечания, и держать их в курсе работ комиссии, посыпая проекты замечаний, извлечения из протоколов и т. п.

Затем комиссия приняла план работ, в котором

на первую очередь выдвинуто рассмотрение предложенных замечаний по Международному словесному словарю для улучшения русской терминологии и уточнения определений. В связи с этим должны быть рассмотрены и перечисленные выше принципиальные вопросы. Эту работу необходимо выполнить в ближайшие месяцы, чтобы успеть сообщить заключения Словарному комитету Международной электротехнической комиссии, собирающемуся в мае 1937 г.

В дальнейшем комиссия имеет в виду занять 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 технической 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 обвещания 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 Хютте. Ответ должен быть отрицательным; даже те поправки, которые сделаны в русском издании, не изменили общего характера материала, так что и в 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 неправильно 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 собой 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 пороге 1937 г., этого слишком мало. Вместо того, чтобы в трех страницах излагать свойства свечи Гефнера, практическое значение которой невелико, следовало бы несколько подробнее изложить суть объективной фотометрии.

В рубрике «метод вспомогательных критовых» (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» называются ординатами, что совершенно запутывает 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. Специальными лампами, например, прожекторными, автомобильными, котельными, не уделено ни слова. Это существенный дефект раздела. При этом следует отметить следующие неточности: в тексте указывается, что распространены цоколи с юниковой нарезкой Эдисон и Голмса (стр. 1075). Нужно четко именовать цоколь. Примитив в немецких стандартах DIN и в русской литературе именовать цоколем Эдисона в зависимости от размера так: E-10, E-14, E-27, E-40. Соответственно цоколя 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: никакая нарезка не нормирована, и эта часть текста остается неясной даже для читателя-специалиста.

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

Таблица, на стр. 1036 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 общепринятым классификацией. На рис. 14 светильник никак не является светильником со средним светораспределением. Страницы являются заявлением такого порядка: светильники среднего светораспределения имеют свойство очень мало менять кривую

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

пределения сил света лампы. Не менее странным является присоединение светильникам на рис. 16 слепящего действия как отличительной черты такого типа светильников; ясно, что мы можем получить распределение по рис. 16 совершенно без блеска светильника (например в оптических арматурах Кертинга). Непонятно, почему светильник проинициативно отраженного света на рис. 19 не указывает примененияется не очень часто, будет противоположное заключение. Вообще всю книгу на стр. 1036 и 1037 следует признать неудачной,ющей привести больше вреда, чем пользы.

Все 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 специальныхлов освещения (фабрично- заводского, поездов, сцен и коротких, слишком общих и никакой помощи при проектировании не могут оказать. Их с успехом можно было исключить.

Подводя итоги, можно сказать, что в таком справочнике, каким является Хюйтте, можно требовать помещение ценного материала, чем данные главы IX, и, во всяком случае, материала без ошибок. Очень жалко, что справочник, изданный тиражем 60 000 экз., разнесет по СССР неточности и мало понятные отдельные места, перечисленные 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 две 2 номера своего библиографического журнала «Новости технической литературы», который издается отдельно по важнейшим отраслям тяжелой промышленности, в том числе и по энергетике и энергопромышленности. Журнал начал выходить в середине 1936 г. и пока имел библиографической фразею только началь 1936 г. работает очень большое количество русских и иностранных журналов и книг. В двух первых выпусках имеются аннотации на 2739 названий. Ростпись производится следующим разделам. А — Общие вопросы, Б — Механика и производство теплосного и силового оборудования, 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 решаются в редакционном предисловии к первому и второму следующим образом:

Задача нашего ежемесячника состоит в том, чтобы помочь 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 относится цитируемая 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 цитируемых журналов. Такого перечня в журнале нет, и читатель не может быть уверен в том, что охвачено действительно все. По первому это легко можно было бы проверить.

Было бы важно также иметь не только название книги или статьи, но и краткое содержание их. Это содержание указывается только по очень небольшому количеству наименований, что затрудняет использование всего материала.

Можно было бы также сделать ряд предложений в отношении классификации. Было бы, например, желательно выделение раздела гидростаций, 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 английскому библиографическому изданию Science Abstracts дает на иностранных языках только название журнала, название же статей дается на одном английском языке. Такое изменение сохранило бы много места, которое можно было бы использовать для аннотирования.

Второй выпуск рецензируемого журнала лучше первого. Надеюсь, 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. Физик общесоюзных стандартов. Вып. II. Л. — М., ОНТИ, 1936, 252 стр., черт., ц. 9 р. 50 к.

В II том сбераются сошли стандарты по линиям передач, установочным электроизделиям, химическим источникам тока, электрическим лампам, электроизмерительным приборам, электрохимическим материалам.

АРПОВ Ф. Ф., инж., Электрический расчет спредельных сетей и линий передач. Утверждено ГУУЗ НКТП в качестве учебника для технических техникумов. М. — Л., Главн. ред. энергетики, 1937, 310 стр. с черт., ц. 5 р. 25 к., перепл. 1 к.

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

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

Вологодская областная научная библиотека

www.booksite.ru

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 конструкто-ров.

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 литер., 1937, 426 стр., с илл., ц. б 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. Вое изложение основано, главным образом, на оборудовании и материалах, изготовленных на заводах СССР.

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

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

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

## РЕФЕРАТЫ

### МОТОРЫ (AUTOSYN) АВТОСИНЫ

(Сборник фирм Pioneer Aircraft Instruments USA 1936)

В Америке в числе разнообразного электрического оборудования современных самолетов применяются электромоторы, так называемые автосины, изготовленные 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 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. Одни моторы автосин соединяются механически с чувствительным элементом прибора, всякое изменение положения этого элемента вызывает смещение под определенным градусом ротора мотора автосина. Второй мотор прикрепляется механически к прибору, ирече 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 угла горючего чувствительный элемент прибора, опускаясь постепенном расходе горючего, посредством механизма передачи смещает ротор первого (приемного) автосина, смещение отмечается вторым автосином (передающим) циферблата прибора, который отградуирован в соответствии с назначением и характером измерения.

Автосины применяются для приборов, показывающих различные условия работы мотора, давление масла, скорость горючего, уровень горючего, температура для зажигания положения вентиляторных клапанов, положения крыла при посадке, положения руля высоты, плоскостей, дистанции 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 выраженным полем. Статор имеет трехфазную обмотку. Для питания этого мотора системы Autosyn применяется переменный напряжением  $\sim 32$  V, 50 Гц от специально установленного для этой цели умформера.

Электрические данные:  $P \sim 2$  W;  $E \sim 32$  V;  $I = 16$  A. Габаритные размеры: длина вала  $3\frac{15}{32}$  ", диаметр вала  $1\frac{1}{8}$  ", диаметр корпуса  $1\frac{7}{8}$  "; высоты  $2\frac{3}{8}$  ".

С. А. Копылов

### H. HANDRECK, КОНДЕНСАТОРЫ С КЕРАМИЧЕСКИМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

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-Schömburg. Приводим сводку свойств важнейших из этих материалов.

Название материалов	Диэлектрический коэффициент при нормальной температуре	Изменение диэлектрического коэффициента при повышении температуры на $10^{\circ}\text{C}$	Тангенс угла потерь при частоте		Диэлектрическая прочность, KV/mm	Удельное объемное сопротивление в $\Omega$ при температуре $20^{\circ}\text{C}$
			$10^6$ Hz	$5 \cdot 10^7$ Hz		
Calit . . . . .	$6,5 + 0,14$	$0,038$	$0,032$	$35$	$> 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$
Calan . . . . .	$6,6 + 0,14$	$0,032$	$0,025$	$35$	$> 10^{13}$	$4,5 \cdot 10^{-10}$
Condensa N . . .	$40,0 - 0,36$	$0,069$	$0,042$	$20$	$> 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$
Condensa C . . .	$80,0 - 0,72$	$0,056$	$0,028$	$15$	$> 10^{12}$	$2,5 \cdot 10^{-10}$
Tempa N . . . . .	$12,5 - 0,03$	$0,13$	$0,085$	$20$	$> 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$
Tempa S . . . . .	$14,0 + 0,04$	$0,008$	$0,007$	$20$	$> 10^{13}$	$3 \cdot 10^{-10}$

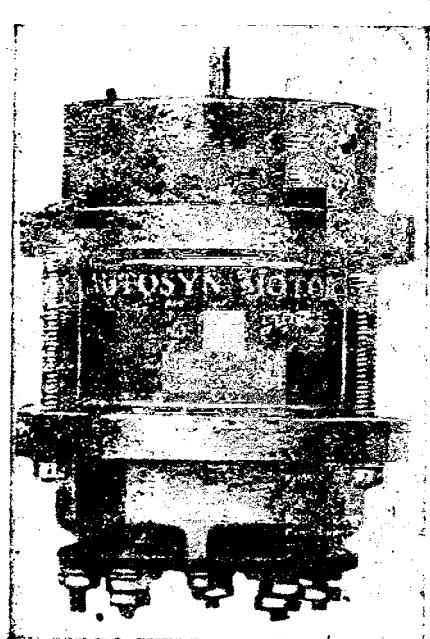


Рис. 1. Мотор *autosyn* типа 851B.

дабо следует выделить материалы типа Темпа, выпущенные фирмой в самое последнее время. Они имеют диэлектрическую проницаемость, лишь в ничтожной степени зависящую от температуры. Диэлектрические потери Темпа при высоких частотах весьма малы.

служивает внимание изготовление электродов, которые делаются в виде слоев серебра толщиной 2—10 мк, наложенных непосредственно на поверхность диэлектрика при температуре порядка 750°. Такие слои весьма прочны и дают тщательное прилегание к поверхности диэлектрика. Подложные провода припаиваются к серебряным слоям неизвестно или же после утолщения последних слоем, наносимым гальваническим путем или шоопированием.

Б. М. Тареев

### A. I. WILDSCHUT, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

India Rubber Journal № 18а, стр. 19—25, 1936

Реферируемая статья представляет изложение результатов исследований электрических свойств технических резиновых смесей, проведенных в лаборатории завода Holland Insulated and Cable Works в Амстердаме, а также в американском Bureau of Standards. Удельное сопротивление обычных резиновых смесей в прямом токе весьма велико — порядка 10<sup>15</sup> Ом·см. Большинство ингредиентов резиновых смесей является непроводником и на проводимость резины существенного влияния не оказывает. Исключением является сажа, которая при большом содержании в смеси сильно снижает электрическое сопротивление резины и даже может сделать ее полупроводящей. Это влияние сажи особенно сильно выражено у резин, в которых натуральный каучук заменен смесью, мицеллами или, в особенности, тиоколом. Так, на основе синтетического тиокольного каучука практически уже перестает быть электроизолирующим материалом при содержании сажи 15%, в то время как резина на основе натурального каучука с тем же содержанием сажи имеет сопротивление, лишь незначительно отличающееся от ротации резины, совершенно не содержащей добавки сажи. Полупроводящая резина с большой добавкой сажи поддается применению в особых конструкциях кабелей (енты Draka). При нагреве резины до 70° в течение нескольких дней удельное сопротивление ее повышается, а tg δ возрастает за счет удаления влаги, обычно содержащейся в резине в количестве нескольких десятых долей процента. Электрическая проницаемость чистого невулканизированного натурального каучука равна 2,40; серы — 3,40; тиокола — 4,60; дюпрена — 6,90; мицеллы — 3,42 (при нескольких часах герц). Как ε, так и tg δ при увеличении продолжительности вулканизации растут; влажность заметно увеличивает ε, выше зависимости ε и tg δ резины от содержания связанной влаги имеют резкий максимум (ε = 3,75; tg δ = 0,073) при содержании серы 11—13%. Диэлектрическая крепость резины на основе натурального каучука — 25—35 кВ/мм, дюпреновой 15—20, пурпурной — 20—25.

Б. М. Тареев

### H. NAT C., ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ПОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ

Journal of I. E. E. № 480, Dec., 1936

В первом исследование поведение слоистых образцов из полимагнитных материалов (сталь с 40% кремния, мицеллы, сплав), собранных из кружков толщиной около 0,3 мм диаметром около 9 мм, в диапазоне частот от 0 до 3·10<sup>6</sup> Гц для определения влияния частоты на потерю и магнитную проницаемость. Получен ряд кривых зависимостей,ящих к следующим выводам.

На низких частотах потери на токи Фуко составили от 10<sup>-15</sup> B<sup>2</sup>f<sup>2</sup> до 10·10<sup>-15</sup> B<sup>2</sup>f<sup>2</sup> в зависимости от материала<sup>1</sup>. Были гораздо выше теоретически вычисленных значений 2·10<sup>-15</sup> B<sup>2</sup>f<sup>2</sup> — 3·10<sup>-15</sup> B<sup>2</sup>f<sup>2</sup>). Повидимому, это было связа-

1 — максимальная плотность мгновенного потока; f — частота.

дано на случай надобности его формулу (в написании автора):  $W = AB_a^2 f^2$  W/kg, где W — полные потери, A — первый коэффициент; B<sub>a</sub> — кажущаяся (измеряемая) плотность мгновенного потока; f — частота.

но с возникновением эффективных поперечных магнитных потоков вследствие изменения проницаемости в зернах металла, что в свою очередь зависит от ориентирования кристаллов в направлении результирующей намагничивания. Кривые в общем следуют общезнанному эмпирическому закону потерь<sup>2</sup>, лишь несколько отклоняясь от него при повышенной максимальной плотности мгновенного потока.

Магнитная проницаемость остается постоянной и независимой от частоты по крайней мере до 10<sup>4</sup> Hz ( $\mu_{\text{нач}} = 880$ —9500 в зависимости от материала). Но она бесспорно зависит от нее — падает при частотах выше 10<sup>5</sup> Hz. При дальнейшем повышении числа периодов она или остается постоянной или медленно понижается, становясь значительно меньше первоначального значения ( $\mu$  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 VA 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. Степлих

### ВИНИФОЛЬ, KUNSTSTOFFE № 10, стр. 205, 1936

Германской химической фирмой I. G. Farbenindustrie выпущен новый эластичный листовой 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° С. Удельный вес — 1,47; прочность на разрыв — 650—750 kg/cm<sup>2</sup> при удлинении 4—5%. Диэлектрическая проницаемость — 3,1; tg δ = 0,0085; поверхностное удельное сопротивление более 10<sup>12</sup> Ω. По химическому составу винифоль представляет игелит с добавлением пластификаторов.

Б. М. Тареев

### H. WIERER, БЫСТРАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ПРИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

Siemens Zeitschrift № 11, т. 16, стр. 430, 1936

В реферируемой 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 *I* реле *e* обтекается током, пропорциональным векторной разности напряжений синхронизируемых частей сети

$$i_R = \frac{\Delta U}{R} = \frac{2U}{R} \sin \frac{\Delta \omega}{2f} t.$$

Здесь: *U* — напряжение сети;  $\Delta \omega$  — круговая частота скольжения; *R* — сопротивление цепи обмотки *I*.

К обмотке *I* того же реле *e*, соединенной последовательно

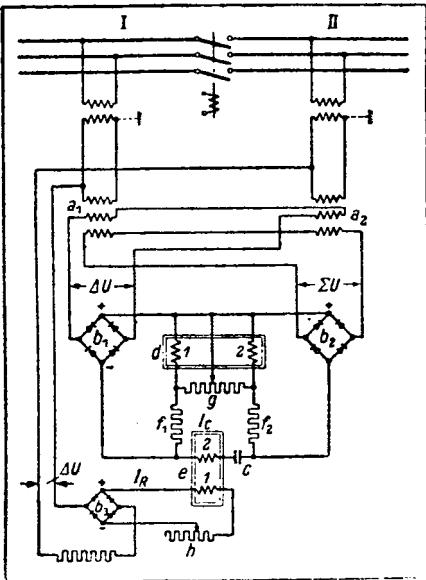


Рис. 1. Схема автоматического синхронизатора с неизменным временем опережения

с конденсатором  $C$ , подводится напряжение, пропорциональное  $\Delta U$  и сдвинутое относительно него по фазе на угол  $\frac{\beta}{2} = \pm 30^\circ$ . Для получения такого напряжения использована разность двух напряжений — выпрямленного  $\Delta U$  и выпрямленного суммарного  $\Sigma U$ , 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:

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} = 2CU \frac{\Delta\omega}{2} \frac{\cos \left( \frac{\Delta\omega}{2} t - \frac{\beta}{2} \right)}{\cos \frac{\beta}{2}}.$$

## ИЗДАТЕЛЬ ОНТИ

Технический редактор А. П. Александров

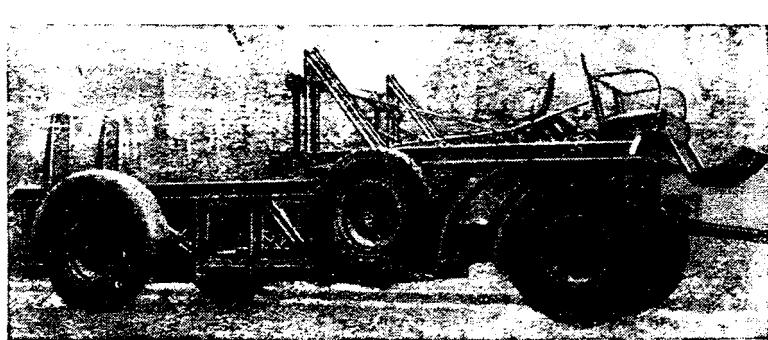
Зав. редакцией М. Г. Башкова

Сдано в набор 2/III 1937 г. Подписано в печати 4/IV 1937 г.

Уполн. Главлита Б-8096. 1-я Журнальная тип. ОНТИ НКПС СССР. Москва, Денисовский пер., 30. Заказ. 448. Тираж 10.932.

**РЕДАКЦИЯ:** В. И. Вейц, М. Н. Грановская, Я. А. Клиновиц  
Г. М. Кржижановский, И. С. Палицын, Н. А. Савонов, М. А. Шатен  
К. И. Шенфер, И. Г. Шипов.

**Ответ. редактор:** Я. А. КЛИНОВИЦКИЙ



Тележка для перевозки и прокладки кабелей

В момент срабатывания реле  $i_C = i_R$ , откуда

$$\operatorname{tg} \left( \frac{\Delta\omega}{2} t \pm \frac{\beta}{2} \right) \mp \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = RC \frac{\Delta\omega}{2} \frac{1}{\cos^2 \frac{\beta}{2}}$$

или приближенно

$$t = \frac{RC}{\cos^2 \frac{\beta}{2}}$$

независимо от величины  $1/\Delta\omega$ .

При этом, пока угол опережения  $\Delta\omega t$  не превосходит  $5^\circ$ , включение выключателя произойдет при любом скольжении, в надлежащий момент и с практической достаточностью — до  $5^\circ$ . Это позволяет производить включение параллельную работу даже при скольжении в  $1\%$  и мгновенном включении масляного выключателя 0,6 сек.

Второе изображенное на схеме дифференциальное позволяющее 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 автомата входят ряд вспомогательных реле:  
а) предотвращающих включение при неправильной очистке действия реле  $e$  и  $d$ ; б) включающих синхронизацию в работу и в) автоматически отключающих его после синхронизации.

Описываемый синхронизator, 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. Синхронизator практически не чувствителен к изменениям напряжения: надежная работа может быть получена в диапазоне напряжений от 60 до 120% номинального.

3. Небольшие отклонения напряжения синхронизируют 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 требуется минуты.

Б. И. Филиппов

<sup>1</sup> Во всех формулах не учтено, что  $\Delta\omega$  все время меняет знак. Прим. реф.

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

# БОЛЬШИЕ 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.

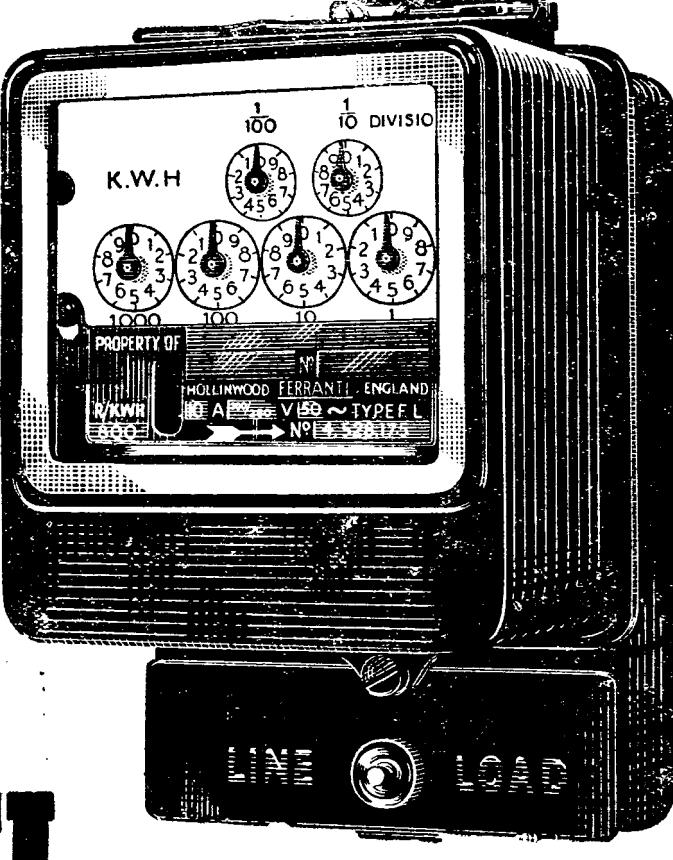
## СЧЕТЧИКИ **FERRANTI**

**МАШИНЫ БРИДЖА для кабельного производства**  
**современны по проектированию, солидны по конструкции**

### ● Полное оборудование для кабельных заводов

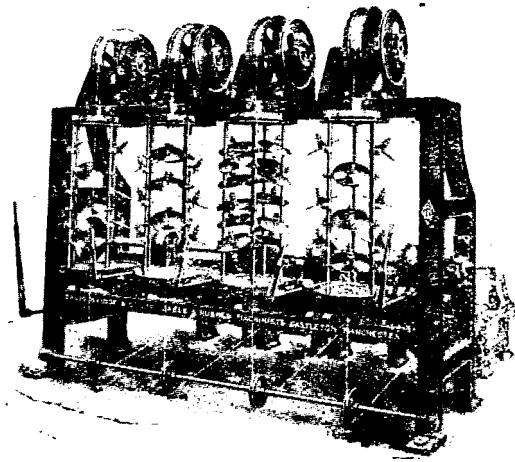
Фирма БРИДЖ строит машины для всех без исключения работ и производств в кабельной промышленности. Каждая машина воплощает ряд новейших улучшений, являющихся результатом непрерывных опытов и изысканий, и дает повышенную производительность и легкость в работе. На рисунке показана

**12-ти катушечная машина для покрытия кабелей бумагой, с вертикальным 4-х барабанным ординарным станком.**



FM40a

**FERRANTI Ltd., Hollinwood, LANCS - Англия**



**DAVID BRIDGE & Co Ltd.**  
ENGINEERS, IRON AND BRASS FOUNDERS  
Castleton, Ⓡ Manchester

а также  
**Aldwych House, ALDWYCH, LONDON W.C.2 (Англия)**

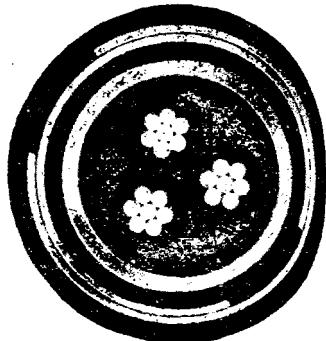
Построена для одновременного покрытия 4-х проводников небольшого сечения. Каждый барабан вмещает 12 бумажных дисков. Каждое головное и подъемное колесо по отдельности приводится в действие посредством патентованных фрикционных муфт Heywood à Bridge



Для передачи  
электрической энергии  
любого напряжения  
пользуйтесь  
**ПОДЗЕМНЫМИ КАБЕЛЯМИ**

производства

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS  
ÉLECTRIQUES DE CHARLEROI

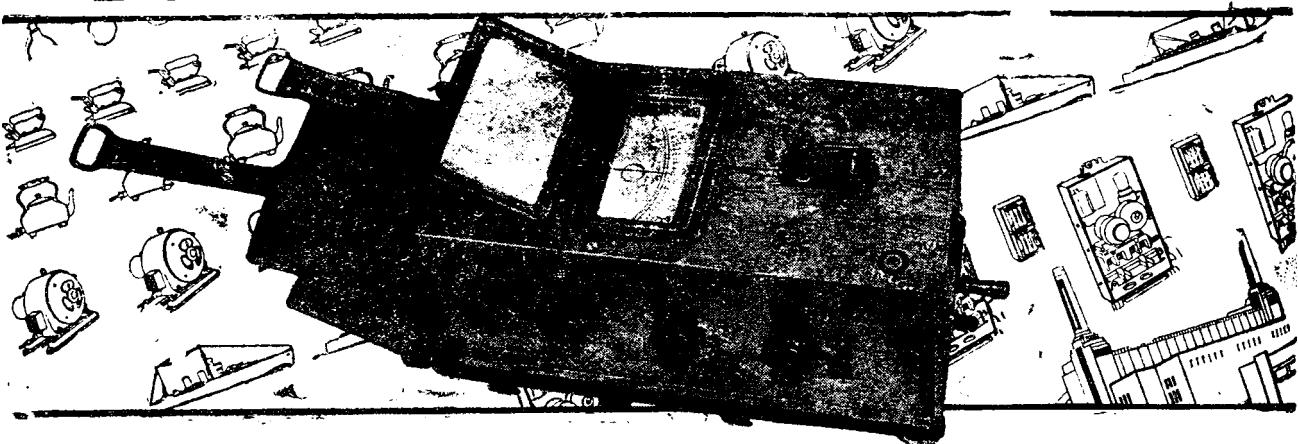


Cablerie  
Кабельный Завод



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 высыпаются 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 руб. 50 к.

## ДИЗЕЛЕСТРОЕНИЕ

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 18 руб.;  
на 6 мес.— 9 руб.;  
на 3 мес.— 4 руб. 50 к.

## МАШИНИСТ

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 6 руб.;  
на 6 мес.— 3 руб.;  
на 3 мес.— 1 руб. 50 к.

## Электрические станции

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 21 руб.;  
на 6 мес.— 10 руб. 50 к.;  
на 3 мес.— 5 руб. 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 руб. 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 руб. 50 к.

## СВЕТОТЕХНИКА

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 15 руб.;  
на 6 мес.— 7 руб. 50 к.;  
на 3 мес.— 3 руб. 75 к.

## Советское котлотурбостроение

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 18 руб.;  
на 6 мес.— 9 руб.;  
на 3 мес.— 4 руб. 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 руб. 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 руб. 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, Городища, 38, магазин № 1.
3. Харьков, ул. Свердлова, 46.
4. Горький, Октябрьская ул. 25, дом ИГР.
5. Свердловск, Дом промышленности, 4-й эт., 2-й блок, комн. 46.
6. Днепропетровск, проспект Карла Маркса, 84.
7. Ростов н/Д., ул. Энгельса, 79.
8. Новосибирск, Красный проспект, 17.
9. Сталин-Донбасс, 8-я линия, 28.
10. Тбилиси (Тифлис), проспект Плеханова, 88.
11. Одесса, ул. Ленина, 2.