

33

„Коммунизм — есть советская власть  
и электрификация всей страны“  
ЛЕНИН

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

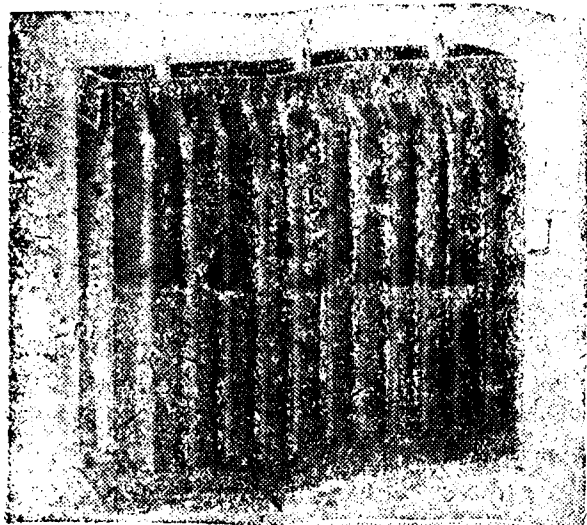
№ 5



МОСКВА  
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

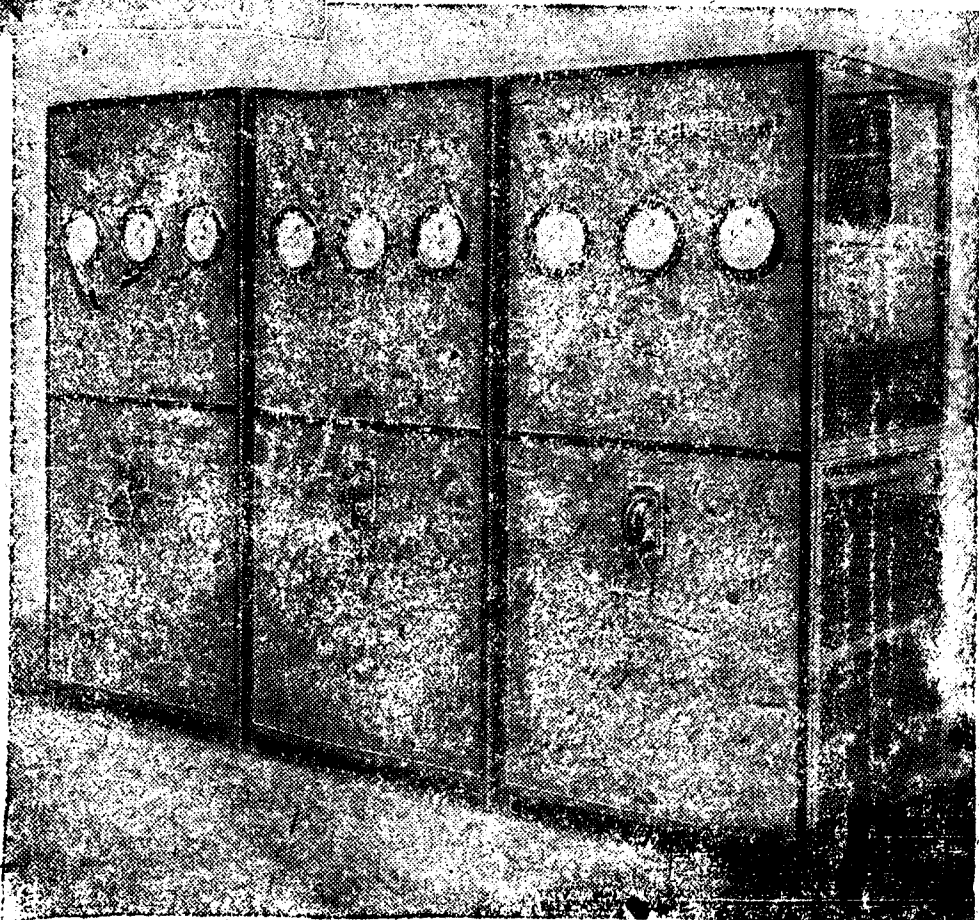
# Конденсаторы Сименса



Конденсатор низкого напряжения 380 В, 30 kVA с ребристым охлаждением



Три конденсаторных батареи класса до 330 kVA, 550 В 50 p/сек. со встроенным разрядным сопротивлением и выключателем



## с преимуществами батарейной системы:

Незначительность занимаемого места, небольшой вес. Простой монтаж без особых транспортных устройств. Приспособляемость к местным требованиям. Регулировка соответственно условиям нагрузки. Легкая и удобная расширяемость существующих установок. Серийное высококачественное производство.

## АКЦ. О-во СИМЕНС-ШУККЕР

Печатный материал по первому требованию

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE A.-G. ♦ Technisches Büro Ost ♦ BERLIN-SIEMENS

При всех заказах к иностранным фирмам с приложением каталога, образцов и презентаций просим обращаться по № 10 в Выходки заграничных товаров может восприниматься как нарушение действующих в СССР правил о монополии в сфере



# INDEX



## АВТОМАТ высокой производительности „ИНДЕКС 0“

Для прутков 11 мм  $\varnothing$

Строится заводом ИНДЕКС-ВЕРКЕ, Ган и Кольб, Эссlingen (Германия)

### Часовая производительность

Материал: латунь  
Масштаб 1:1

Под цифрами производительности указаны применяющиеся в отдельных случаях специальные приспособления.



1860 шт.

Приспособление для нарезания резьбы.



2400 шт.  
(Сталь: 900 шт.)

Приспособление для нарезания и зенковки гаек.



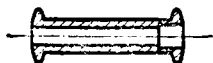
2340 шт.

Приспособление для обточки, нарезания резьбы и изготовления прореза.



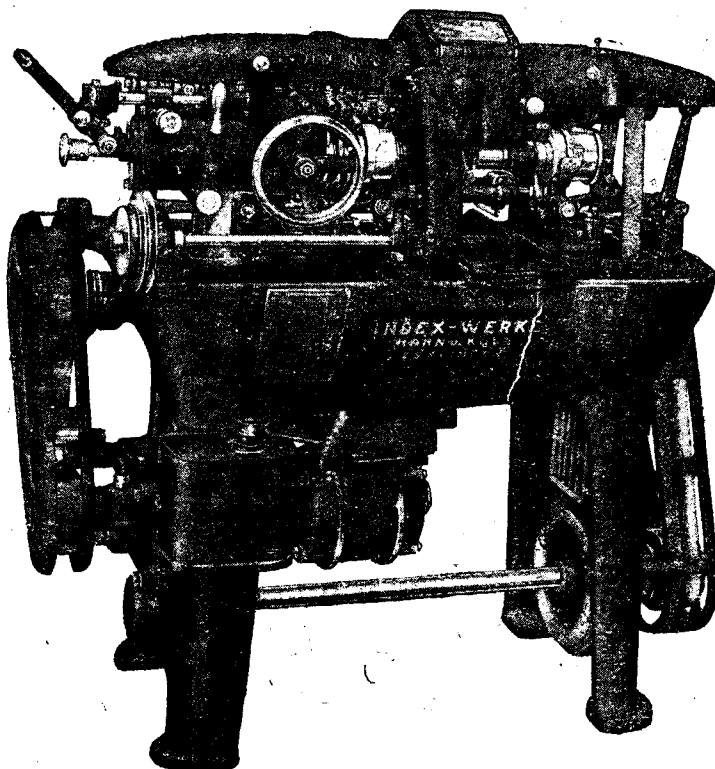
1200 шт.

Третья державка для резца, приспособление для нарезания резьбы.



1020 шт.

Быстродействующее сверловочное приспособление.



Более 70% автоматов высокой производительности „ИНДЕКС 0“ заказываются электротехнической промышленностью. Благодаря применению дополнительных устройств область работы этих машин становится чрезвычайно многосторонней и достигаются особенно достойные внимания преимущества для любого массового производства мелких деталей. Указанные дополнительные устройства отнюдь не являются задним числом пристроенными к машине. Они, наоборот, были особо тщательно проработаны с самого начала, еще при конструкции машины. Каждое дополнительное устройство образует вместе с машиной одно цельное конструктивное единство.

Наряду с превышающей все другие машины производительностью существенное преимущество автоматов „ИНДЕКС 0“ представляют собой простое обслуживание и краткие продолжительности переключений.

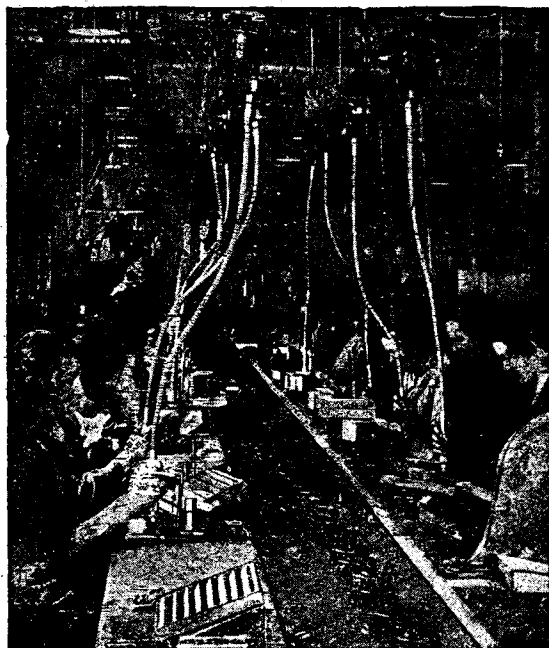
Потребуйте пожалуйста наш проспект на русском языке № А 563 и данные о производительности в отношении изготавливаемых Вами деталей.

6693

## HAHN & KOLB, STUTTGART ГАН И КОЛЬБ, ШТУТГАРТ

Всюду, где приходится свертывать шурупы одних и тех же размеров при серийной и поточной работе, с успехом применяются механические

**ОТВЕРТКИ ФЛЕКС**



**Ф  
Л  
Е  
К  
С**

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОТВЕРТКА ФЛЕКС  
на конвейере электротехнического завода

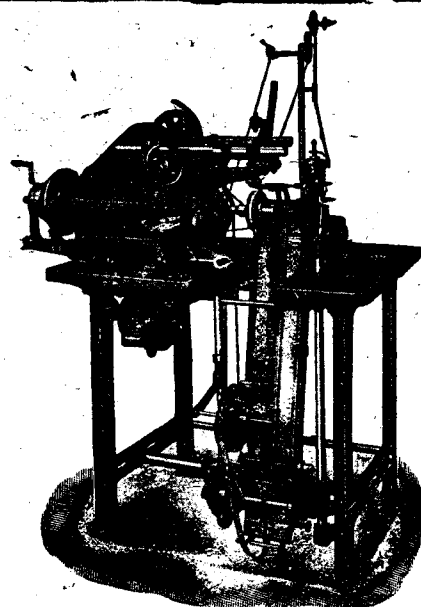
**ACKERMANN & SCHMITT**

SPEZIALMASCHINENFABRIK

Stuttgart 13, Postfach 28/35 (Германия)



6671



## Автоматические обмоточные станки

для намотки катушек для аппаратов,  
измерительных трансформаторов и пр.

**MICAFIL A.-G.**

**ZURICH-ALTSTETTEN (Швейцария)**

# КЛЕРИЧИ

**ТРЕХФАЗНЫЕ  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ  
САМОУРАВНИВАЮЩИЕСЯ  
ДВИГАТЕЛИ  
ТРАНСФОРМАТОРЫ**

★

Требуется рисунки и проспекты изделий,  
обычно поставляемые для С.С.С.Р.  
Вы получите этот материал  
бесплатно

★

Фабрика инж.

**Джампиеро Клеричи и Ко.**  
в Милане (Италия)

Officine Ing.

**Giampiero Clerici & Co.**

MILANO — VIA PERGOLESE NR. 11

## Катодные Осциллографы

с числом независимых катодных лучей  
от 1 до 6,

для одновременного регистрирования си-  
тока и напряжения во всех 3 фазах высо-  
вольтной сети.

Напряжения на отклоняющих пласти-  
нах 0,2 до 250 кв.

Одним катодным осциллографом со многи-  
независимыми катодными лучами можно од-  
новременно регистрировать такое же коли-  
чество цепей тока, при том как в одинаков-  
масштабе времени, так и в разных, так и  
для каждого луча отклонение во время,  
независимо от других.

Регистрирование производится в вакуу-  
на светочувствительной бумаге с ручн-  
механической или электрической подач-  
после каждой записи.

Формат диаграммы: 6 × 6 см на луч.

Емкость кассеты: до 500 диаграмм.

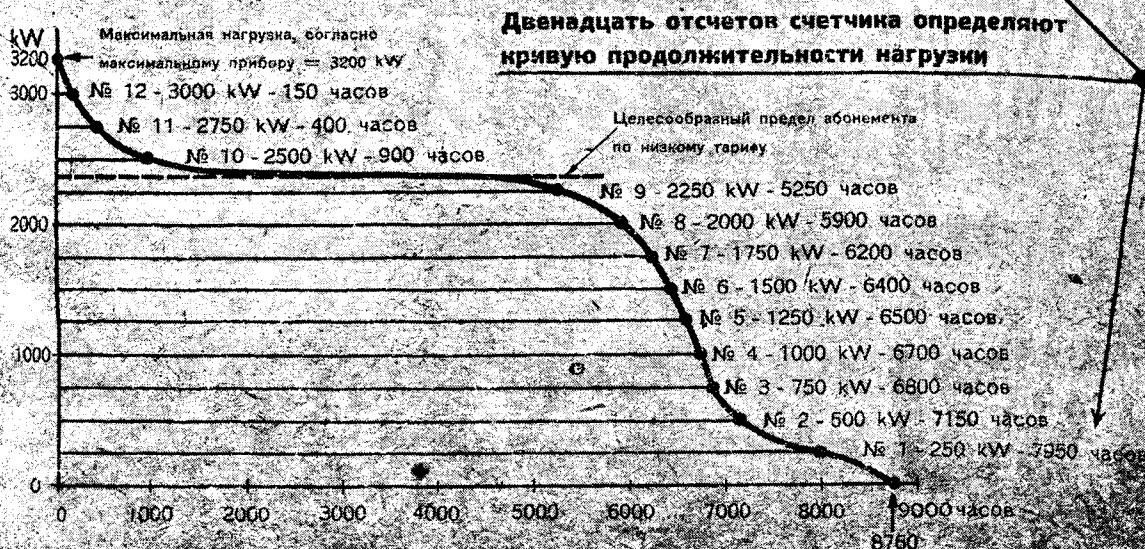
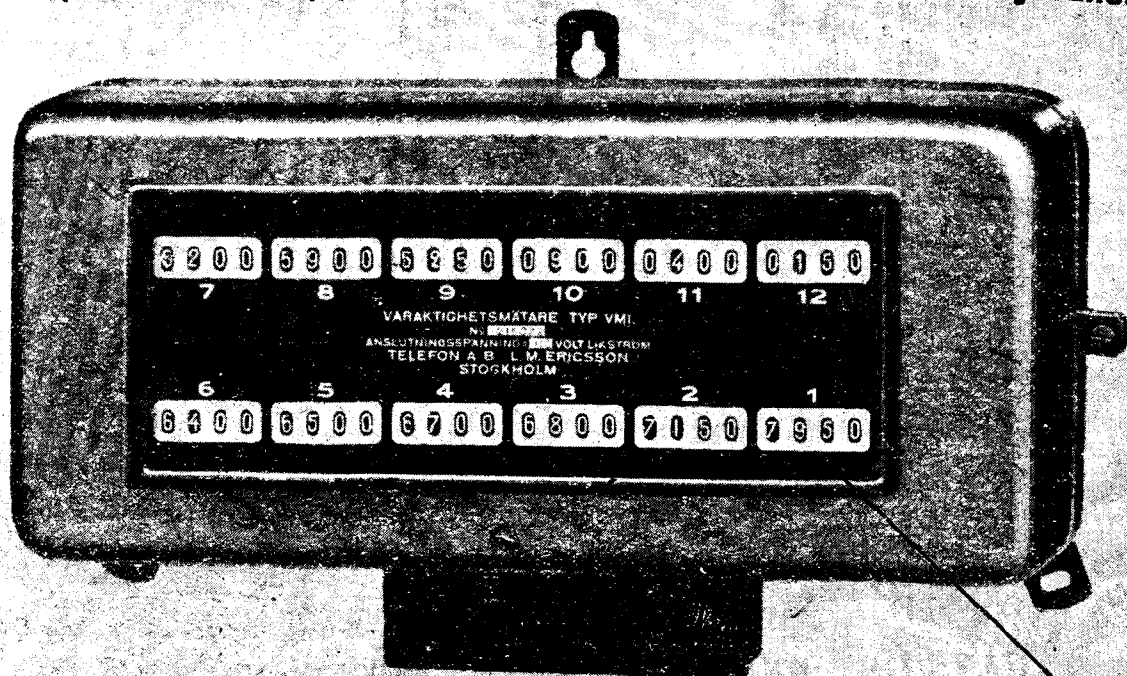
Требуется проспект № 321.

**Dr. Ing. HANS RUMPF**  
BONN a. Rh. (ГЕРМАНИЯ)

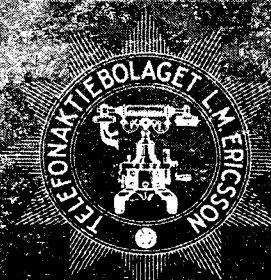


# СЧЕТЧИК ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НАГРУЗКИ

для определения коэффициента использования электрических установок



Счетчик продолжительности нагрузки системы Л. М. Эрикссон дает возможность производителю энергии и ее промышленному потребителю просто и дешево контролировать характер нагрузки и способствовать наиболее экономичному использованию энергии.



**ТЕЛЕФОННОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО Л. М. ЭРИКСОН**  
**СТОКГОЛЬМ - ШВЕЦИЯ**

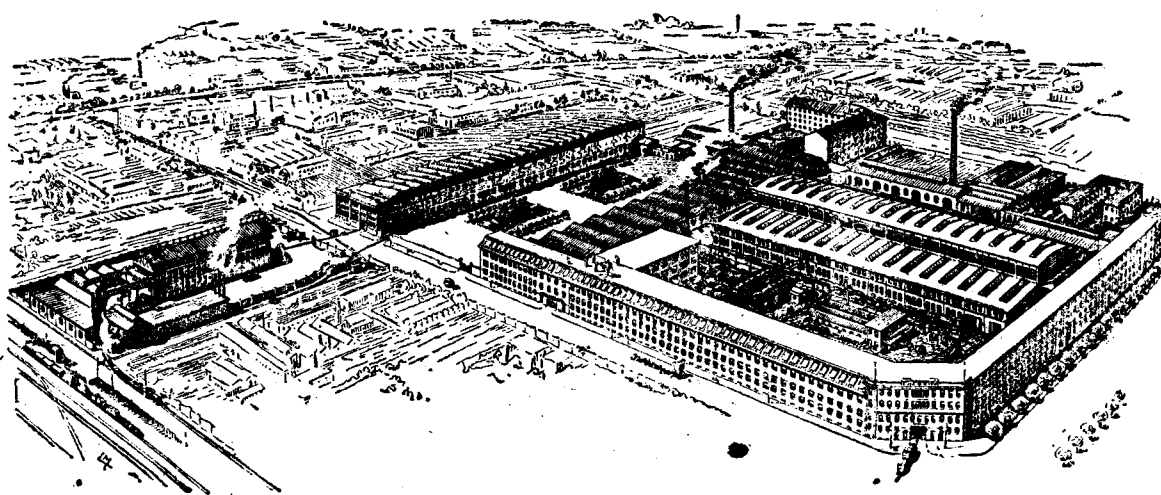
# ЭЛЕКТРОВОЗЫ

Генераторы

Моторы

Трансформаторы

Электрооборудование



ЗАВОДЫ В МИЛАНЕ

## COMPAGNIA GENERALE DI ELETTRICITÀ

VIA BORGOGNONE, 34 - MILANO,  
(ИТАЛИЯ)

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

5

1933

Орган ВЭО и ГЛАВЭНЕРГО НКТП, Энергетического института Академии наук СССР  
и Всесоюзного энергетического научного инженерно-технического общества (ВЭНИТО)

Адрес редакции: МОСКВА, Ильинка, Ипатьевский п., 2, 1-й эт. Тел. 72-46 и 1-57-19

50-летию со дня смерти вождя  
учителя пролетариата



**КАРЛ МАРКС**

1818—1883 г.

*„Учение Маркса всеильно потому,  
что оно верно“*

# Проблемы энергетики в освещении классиков марксизма-ленинизма

(К 50-летию со дня смерти К. Маркса)

Рабочий класс и трудящиеся всего мира отмечают 50-летие со дня смерти гениального основоположника и творца научного социализма, вождя и учителя пролетариата—Карла Маркса.

В великом революционном марксовом учении огромное место занимают проблемы техники, исследование закономерностей и тенденций ее развития, влияние техники на развитие производительных сил и производственных отношений и обратно—влияние производственных отношений на развитие материально-технической основы человеческого общества.

Орудиям производства, играющим крупнейшую роль во всем общественном развитии, их конкретному и всестороннему анализу Маркс уделяет в своих исследованиях важнейшее место, указывая, что «средства труда не только мерило развития человеческой рабочей силы, но и показатель тех общественных отношений, при которых совершается труд»<sup>1</sup>).

Уже в одной из своих ранних работ „Святое семейство“ (написанной вместе с Энгельсом) Маркс, исследуя основные законы развития капиталистического общества, со всей категоричностью устанавливает, что для понятия истории той или иной эпохи необходимо изучить и знать уровень развития состояния и непосредственные условия производства, материальные условия жизни человека, словом, весь механизм [материально-технических и производственно-экономических связей этого общества.

„Технология,—писал Маркс,—раскрывает активное отношение человека к природе, непосредственный процесс производства его жизни, а следовательно, и общественных отношений его жизни и вытекающих из них духовных представлений“<sup>2</sup>).

Этим положением Маркс подчеркивает, что человек, изготовляя и применяя средства труда для завоевания природы, этим самым становится в особое положение в ней, поднимаясь неизмеримо выше всего животного мира.

Глубоко исследуя историю технического развития, „историю образования производительных органов общественного человека, историю этого материального базиса каждой особой общественной организации“<sup>3</sup>), Маркс первым поставил задачу исторического анализа и изучения путей и закономерностей развития техники, создания „критической истории технологий“.

В крупнейших своих работах и в большом количестве своих писем Маркс неоднократно останавливается на технических факторах общественного развития.

Особо следует выделить главу XIII тома I „Капитала“, представляющую собой по своей философской глубине и практической значимости непревзойденный ярчайший анализ общих путей и тенденций развития техники.

Вместе с тем Маркс никогда не отрывал от экономики, от науки, от классовой борьбы рабочего класса.

В противоположность Прудону и другим апологам капитализма, извращающим правильное, научное представление о роли техники и об ее развитии, жестоко бичуя и ядовито высмеивая их, Маркс со всех сторон охватывая и анализируя технику, шину, берет их в органической связи и с производительными силами, и с производственными отношениями, и с наукой, и с классовой борьбой, и с рабочим классом—„величайшей производительной силой“ (Маркс).

С характерной для него большой настойчивостью и систематичностью Маркс изучает технику науки: он прорабатывает огромное количество технической литературы; тщательно ее конспектирует, делает „технологически-исторические выписки“,—Маркс различнейшие промышленные отрасли, технологические процессы и орудия производства.

При составлении и литературной обработке „О машинах в томе I „Капитала“ он специально занимается техникой, что видно из следующего его замечания Энгельсу:

„Я прибавлю кое-что к отделу о машинах. Есть несколько любопытных вопросов, на которые я не обратил внимания при первой обработке. Чтобы выяснить их себе, я перечитал свои тетради (записки) по технологии, слушаю практический (экспериментальный) курс проф. Виллиса для геологов (в Геологическом институте, где читал свои лекции также и Гексли)“<sup>4</sup>).

Этот отрывок из письма Маркса может служить примером исключительной требовательности и строгости, с которой относился к своему творчеству и к себе этот гигант мысли.

Центральная линия развития техники дана Марксом в сжатой, но очень четкой схеме в работе „Нищета философии“.

Эта схема выражена так:

„Простые орудия; собрания простых орудий в сложные орудия; приведение в действие простого орудия одним двигателем—руками человека; приведение этих инструментов в действие силой природы; машина; система машин, имеющая общий двигатель; система машин, имеющая автоматический двигатель,—вот ход развития машин“.

Этот ход развития техники развернут, как мы видели выше, в целом ряде работ Маркса, усиленно и обоснован многочисленными примерами из физики, механики, математики и других областей знания.

В широкой марксовской концепции технического развития, иллюстрирующей классические образцы применения метода материалистической ди

<sup>1</sup> К. Маркс, Капитал, т. I, стр. 136, изд. 7-е (оно же и дальше).

<sup>2</sup> Там же, стр. 312.

<sup>4</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, Письма, стр. 13, изд. 4-е (проф. Виллис—один из крупнейших английских геологов).

ки к области техники, в особенности подробно анализируется машинный базис энергетическое начало в производстве, тесная связь двигательного элемента с остальными частями машины и, главным образом, в период промышленного переворота XVIII столетия в Англии и после него, когда „двигательная сила приобретает самостоятельную форму“ (Маркс).

\* \* \*

Как известно, по Марксу „всякая вполне развитая машина состоит из трех существенно различных частей: двигательного механизма, трансмиссии (передаточного механизма), наконец, исполнительного механизма, или собственно рабочей машины“<sup>6)</sup>.

Маркс тут же определяет и специальные функции и характер каждого из этих элементов машины.

Исследуя предпосылки промышленного переворота XVIII столетия в Англии, Маркс детально останавливается на трансформациях и сдвигах в техническом базисе производства. Так, например, подробно характеризуя и разбирая все крупные двигательные силы, зачатые мануфактурным периодом, Маркс устанавливает их несоответствие и непригодность в условиях производства, опирающегося на машинную технику. И поэтому с такой определенностью экономическое развитие ставит задачу создать „...мотор, который, потребляя уголь и воду, сам производит двигательную силу, и действия которого находятся всецело под контролем человека“<sup>7)</sup>.

Установив, что „...промышленная революция идет не от движущей силы, но от той части машины, которую англичане называют *Werk machine* (делающей, рабочей машиной)...“, Маркс в ряде мест отмечает, что переход инструмента из рук рабочего к исполнительному механизму сперва создает реальную возможность, затем с развитием последнего (увеличением числа оборотов и т. д.) и острую необходимость применения в нарождающейся крупной машинной индустрии более совершенных источников энергии, чем человек, животные, ветер и вода (при том уровне техники ее использования).

С момента радикального усовершенствования движком Уаттом существовавших до него конструкций паровых двигателей (устройство конденсора „параллелограм Уатта“ и т. д.), с момента, когда „двигательная сила приобретает самостоятельную форму“ (Маркс, разрядка наша. <sup>8)</sup>), паровая энергетика завоевывает одну отрасль промышленности за другой, вызывая и обуславливая огромные, невиданные до того времени, технико-экономические и социальные сдвиги во всей структуре производительных сил.

Мы находим у Энгельса исключительно яркую характеристику большой и действенной роли паровой энергетике во всем развитии экономического базиса в период и после промышленного переворота.

Энгельс писал:

„Люди, которые в XVII и XVIII столетиях работали над созданием паровой машины, не представляли себе, что они создают орудия, которые в большей мере, чем что-либо другое, окажут револю-

ционизирующее влияние на общественные отношения мира, и, в частности, Европы, путем концентрации богатств в руках меньшинства, что обездоление громадного большинства сначала доведет социальное и политическое господство буржуазии, а затем, однако, вызовет классовую борьбу между буржуазией и пролетариатом, которая должна закончиться низвержением буржуазии и уничтожением классовых противоречий“<sup>8)</sup>.

Применение механического двигателя в производстве вызвало, как известно, не только количественный рост огромного числа новых промышленных предприятий, но в корне видоизменило и самую форму, масштаб, тип и структуру отдельных производственных единиц.

Новая в своем качестве энергетическая основа создала небывалый процесс концентрации промышленности, роста и укрупнения основной производственной единицы—фабрики.

„К фабрикам и заводам,—писал Ленин,—относятся все заведения, имеющие паровой котел или паровую машину. Признак, наиболее точный и наиболее удачно выбранный, так как применение пара действительно характерно для развития крупной машинной индустрии“<sup>9)</sup>. Революционизирующая роль паровой машины прослеживается Марксом в различных отраслях промышленности и областях хозяйства.

Так, характеризуя уровень развития и состояние тогдашнего (накануне промышленного переворота) транспорта, устаревшего и превратившегося в „...невыносимые пути для крупной промышленности с ее лихорадочным темпом производства, ее массовыми размерами, с ее постоянным перебрасыванием масс капитала и рабочих из одной сферы производства в другую и с созданными ею новыми связями, расширяющимися в мировой рынок“<sup>10)</sup>, Маркс выявляет, как применение паровой машины в сухопутном и водном транспорте создает в первом—паровоз, а во втором—пароход, новые мощные средства передвижения, отвечающие требованиям развивающейся крупной машинной промышленности, обеспечение быстрой и безопасной переброски все возрастающих масс сырья, готовой продукции и топлива.

Механический двигатель приводит в движение и создает уже разветвленную систему машин и, как это показывает Маркс, по новому ставит проблему технического единства.

„...Отдельная машина остается карликовой машиной, пока она приводится в движение только человеком...; система машин не могла получить свободного развития, пока на место уже применявшихся двигательных сил—животные, ветер и даже вода—не выступила паровая машина...“<sup>11)</sup>.

Уже на основе развития паровой энергетике, роста и совершенствования нового двигательного аппарата промышленности Маркс предвосхищает и устанавливает важнейшие принципы автоматизма как системы в производстве.

В томе I „Капитала“ совершенно четко формулируется принцип поточности в производстве, реализацию которого дает современная техника:

„...Предмет труда проходит последовательно ряд взаимно связанных частичных процессов, которые выполняются цепью разнородных, но взаимно дополняющих друг друга рабочих машин...“<sup>12)</sup>.

<sup>8)</sup> Ф. Энгельс, Дialeктика природы, стр. 73, изд. 3-е.

<sup>9)</sup> В. И. Ленин, Соч. т. II, стр. 347, изд. 2-е.

<sup>10)</sup> К. Маркс, Капитал, т. I, стр. 323.



Там же этот принцип освещается более полно: „Каждая частичная машина доставляет для непосредственно следующей за нею сырой материал, и так как все они действуют одновременно, то продукт непрерывно находится на различных ступенях процесса своего образования, постоянно переходит из одной фазы производства в другую“<sup>13)</sup>.

Внимание Маркса особенно привлекают мукомольная мельница и писчебумажное производство, ибо „на истории мукомольных мельниц можно проследить всю историю развития машин“ (Маркс), а „примером как непрерывности производства, так и проведения автоматического принципа может служить современная писчебумажная фабрика“ (Маркс).

Действительно, история развития мукомольной мельницы, в которой „с самого начала ... совершенно ясно выделились существенные части в организме машины...“ (Маркс) и на которой применялись различнейшие двигательные силы, представляет колоссальный (неисчерпаемый интерес для выяснения того, как менялась и преобразовывалась техника различных эпох.

В тетрадях подготовительных работ Маркса к „Капиталу“ содержится чрезвычайно характерное и меткое освещение принципов работы бумажной машины, свидетельствующее, как он оценивал „непрерывность производства“.

„Два великих принципа, обуславливающих успешность, сполна воплощены в этом удивительном автомате. Одним из наиболее важных факторов во всех отраслях индустрии является непрерывность производства. Наиболее совершенной и наиболее производительной машиной является та, которая способна к бесперывной производительности. Там, где изготовляемый предмет может проходить без перерыва (и, следовательно, без промедления) от первой до последней стадии своей обработки машинами, по всей вероятности, будет произведено лучшее изделие и с меньшими затратами, чем в том случае, когда предмет на каждой стадии своей обработки должен быть переносим с одного места на другое... Она (бумажная машина. И. Б.) действует совершенно автоматически. Она не получает помощи от человека, а совершает возложенную на нее задачу путем комбинирования и соответствующего действия частей, из которых она состоит. Если содействие и необходимо в каком-либо отношении, то лишь в смысле устранения случайных трудностей, а не для помощи самому производству. Работа машины отличается также чрезвычайной быстротой... одновременность операций“<sup>14)</sup>.

Блестящий образец применения метода материалистической диалектики к области технического развития, раскрытия диалектической связи техники, экономики и общественных форм мы находим в статье Энгельса „Начало конца Австрии“.

Энгельс показывает, что в основе тех коренных политико-экономических и классовых сдвигов, которые характеризовали все развитие Австрии в первой половине XIX века, лежит победное шествие машинной техники.

Мы приведем из этой блестящей статьи Энгельса небольшой яркий отрывок, где анализируется паровой энергетикой в этих бурных экономических трансформациях:

„...меня и Меттерниха она (Австрия) еще держит“, — сказал покойный император Франц. Она выдержала даже французскую революцию Наполеона, июльские бури. Но пара она не жать не может. Пар проложил себе путь от Альпы и Богемский лес, пар лишил Дунай роли; пар разорвал в клочки австрийское государство и тем самым вырвал почву из-под ног Габсбургского дома. Европейская и американская промышленность в настоящий момент удовольствие получает как Меттерних и весь Габсбургский дом разбиваются между колесами паровой машины австрийская монархия разрезается на куски собственными локомотивами. Это весьма интересное зрелище“<sup>15)</sup>.

Маркс показал, какое крупное влияние оказывает энергетика на географическое размещение промышленности.

Так, например, в период мануфактуры гидравлический двигатель, завоевавший центральное место в двигательном аппарате того времени сыграл руководящую роль в размещении промышленности.

Это нашло свое выражение в переходе промышленности в районы, обладающие значительными гидроресурсами, и в некоторой ее концентрации.

Цитируя Редгрейва, Маркс писал:

„В первое время существования текстильных мануфактур местонахождение производства зависело от существования потока с настолько точным падением, что он мог бы вращать такое колесо..., фабрики, по необходимости расположенные около потоков и зачастую на значительных расстояниях одна от другой, представляли элемент скорее деревенской, чем городской среды“<sup>16)</sup>.

В другом месте, говоря о роли энергии в пространственном размещении производства, Маркс указывал, что „водяное колесо распростирает промышленность по всей стране“.

Появление на хозяйственной арене новой универсальной энергетики — паровой — в корне все принципы географического размещения промышленности. Под влиянием энергетического фактора наметился решительный сдвиг промышленных центров в районы с мощными запасами минерального топлива и начался, как упоминалось, усиленный процесс концентрации производства.

Указывая на паровую машину, Маркс писал:

„Двигатель — и сам средство передвижения — позволяет концентрировать производство в узлах вместо того, чтобы рассеивать его по равнине“<sup>17)</sup>.

Цитируя Джона Фильдена, Маркс еще раз указывает, что „...паровая машина несла фабрики от уединенных сельских владений в центры городов...“<sup>18)</sup>.

Вместе с тем паровой двигатель способствовал преодолению пространственной зависимости, ибо „сила воды связана с местом, сила пара свободна“ (Энгельс).

<sup>15)</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. V, стр. 260.

<sup>16)</sup> К. Маркс, Капитал, т. I, стр. 316.

<sup>17)</sup> Там же.

<sup>13)</sup> К. Маркс, Капитал, т. I, стр. 319.

<sup>14)</sup> Приводим цитату по ст. М. Рубинштейна, „Большевик“.



Усилившееся со второй половины XIX века (частично уже и раньше) техническое противоречие между новыми запросами и задачами производства и ограниченными возможностями мировой техники способствовало форсированию исследования и разработки вопросов, связанных с техническим применением новой, наиболее совершенной формы энергии — электричества.

Электричество в период жизни и творчества Маркса делало лишь первые крупные шаги в развитии своего промышленного применения. Вспомним, что на европейском континенте не существовало ни одной электростанции при жизни Маркса и что ряд крупнейших технических изобретений, давших возможность поставить вопрос о широком применении электричества в производстве (например, трехфазный двигатель переменного тока, трансформатор и др.), появились или совсем незадолго до смерти Маркса или, главным образом, уже после его смерти.

Однако уже на основе этих первых шагов электрической техники Маркс и Энгельс гениально предвосхитили те неограниченные возможности, которые электричество открывает перед человечеством.

Вильгельм Либкнехт в своих воспоминаниях описывает свою встречу с Марксом и Энгельсом в Лондоне в 1850 г. В них в очень яркой форме характеризуются глубочайший интерес и прогноз Маркса относительно тенденций и перспектив развития электричества. Либкнехт пишет:

„Мы как-то коснулись области естествознания; Маркс иронически говорил о победоносно царящей в Европе реакции, которая воображает, что раздавила революцию, не подозревая, что успехи естествознания готовят новую революцию. Его величество „пар“, который в прошлые столетия все на свете перевернул вверх дном, ходит теперь со сцены и уступает свое место несравненно более сильному революционеру — электрической искре; при этом Маркс, весь охваченный пламенем энтузиазма, рассказал мне, что вот уже несколько дней в Регент-стрите выставлена модель электрической машины, приводящей в движение поезд железной дороги. „Теперь проблема решена; результаты неисчислимы. За экономической революцией должна неизбежно последовать политическая, так как вторая только слугит выражением первой“. („Большевик“ № 1—2, 1932 г., стр. 22).

Интерес к электричеству, проявленный Марксом, виден из ряда его работ и писем; так, например, в одном из них, адресованном Энгельсу, где идет речь о схеме и описывается установка с возмущенной и подземной проводкой для применения электричества к земледелию, Маркс писал: „Я посылаю тебе вслед за этим копию статьи о применении электричества к агрикультуре на английском языке. Будь столь добр и ответь мне сейчас же: 1) каково твое мнение об этой вещи; 2) объясни мне эту историю, так как я не вполне ее разбираю в plain German“<sup>19)</sup> (на простом немецком языке).

Энгельс быстро и живо откликнулся на это письмо Маркса, отвечая, что „электричество имеет благоприятное влияние на прорастание и рост растений... впрочем, — заканчивает Энгельс, — об этой вещи нельзя судить, пока она не будет испытана и не будет иметься налицо результаты; поэтому

скажи мне, где я могу найти более подробные указания об этом предмете“<sup>20)</sup>.

К. Маркс и Ф. Энгельс поразительно верно оценили значение поставленных Марселем Дебре опытов по передаче электрической энергии на расстояние.

Маркс внимательно следил за работами Дебре и за информацией о них в печати.

Будучи уже прикованным к постели, задыхаясь в приступах астмы, Маркс не оставлял мысли о передаче электричества на расстояние и в письме Энгельсу (8 ноября 1882 г.) он писал:

„Что скажешь ты об опыте Дебре на Мюнхенской электрической выставке? Уже около года Лонге обещал мне доставить работы Дебре (специально для доказательства, что электричество допускает передачу силы на большое расстояние при посредстве простой телеграфной проволоки). Близкий Дебре человек — д-р Д'Арсонваль состоит сотрудником „Justice“ и напечатал несколько статей об исследованиях Дебре“<sup>21)</sup>.

Энгельс, отвечая на это письмо, пишет (11 ноября 1882 г.):

„Меня очень интересуют подробности о произведенных в Мюнхене опытах Дебре..., открытие делает возможным использование всей колоссальной массы водяной силы, пропадавшей до сих пор даром“<sup>22)</sup>.

В 1882 г. Энгельс глубоко исследует ряд теоретических вопросов в области электричества, что отражено в его известном труде „Диалектика природы“, где дана стройная научная концепция развития природы.

Характеризуя электричество, Энгельс писал:

„Электричество, подобно теплоте, только в другом виде (хотя и в более высокой степени), в своем роде вездесуще. На земле не происходит почти ни одной перемены, не сопровождаемой каким-нибудь электрическим явлением... Чем тщательнее мы изучаем различные процессы в природе, тем чаще наталкиваемся при этом на следы электричества“<sup>23)</sup>.

В главе „Электричество“ цитированного выше труда Энгельс устанавливает ряд положений о природе и свойствах электричества, имеющих исключительно большой научный и практический интерес.

Он указывает также на взаимосвязь между химической и электрической энергией, подчеркивая „...своеобразное взаимодействие между химизмом и электричеством..., если прежде процессы в цепи казались нам химико-электрическими, то теперь мы видим, что они в этой же мере и электрохимические“<sup>24)</sup>.

Не будем приводить известного письма Энгельса к Э. Бернштейну (27 февраля 1883 г., см. Архив, кн. 1, стр. 342, где изложены общие взгляды Энгельса и Маркса) по поводу тех же опытов Марселя Дебре, отметим лишь, что в этом историческом документе, как в фокусе, отражена вся сила диалектического метода, позволившего Марксу и Энгельсу так верно и так полно на основе первых еще несовершенных попыток производственного применения электрического тока раскрыть всю технико-экономическую и социальную, революционизирующую роль электричества.

<sup>20)</sup> К. Маркс и Энгельс, Соч., т. XXI, стр. 201.

<sup>21)</sup> Там же, т. XXIV, стр. 584.

<sup>22)</sup> Там же, стр. 387.

<sup>23)</sup> „Диалектика природы“, стр. 206, изд. 2-е.

Это письмо Энгельса особенно ценно еще и тем, что в нем рисуется блестящая перспектива развития электроэнергетики, несмотря на то, что так называемое „общественное мнение“ (считало работы Дебре в этом направлении (передача энергии на расстояние) почти бесполезными из-за не совсем удачного разрешения их (что в большой мере объяснялось крупными конструктивными недостатками динамомашины и двигателей постоянного тока того времени, неудобством и неумением пользоваться током высокого напряжения и др.).

Приведем небольшой отрывок из речи Энгельса на могиле Маркса для того, чтобы понять, как относился этот величайший мыслитель и передовой революционер к развитию научных знаний, и в частности, в области электричества:

„Наука была для Маркса исторически движущей революционной силой. Какую бы живую радость ни доставляло ему каждое новое открытие в любой теоретической науке, о практическом применении которого пока еще не было и речи,—его радость была совсем иной, когда дело шло об открытии, немедленно оказывающем революционное воздействие на промышленность, на историческое развитие вообще. Так, он следил во всех подробностях за развитием открытий в области электричества и в последнее время, в частности, за открытиями Марселя Дебре.

Ибо Маркс был прежде всего—революционер“<sup>25)</sup>.

Как указывалось выше, Маркс рассматривает орудия труда не только как материальную базу любой экономической формации, но и как основу для формирования и развития технических наук.

Маркс в противоположность идеалистическому отрыву науки от техники диалектически освещает двухстороннюю связь их с ведущим началом техники в этой связи. На ряде характерных примеров из истории научных знаний Маркс иллюстрирует, что корнями наука уходит в технику, в накопленный человечеством практический опыт.

„Очень важную роль,—писал Маркс,—сыграло нерегулярное применение машин в XVII столетии, так как оно дало великим математикам того времени практические опорные пункты и побудительные мотивы для создания современной механики“<sup>26)</sup>.

„Учение о трении и вместе с тем исследование математических форм системы колес, зубцов и т. д.—все это было проделано на мельнице. Равным образом здесь же впервые была создана теория измерения напряжения движущей силы, наилучшего способа применений этой силы и т. д. Почти все великие математики, начиная с середины XVIII века, поскольку им приходилось касаться практической механики и теоретизировать по поводу ее, исходили из простой водяной мельницы“<sup>27)</sup>.

Взаимозависимость между развитием науки и техникой Энгельс демонстрирует на электричестве.

„Об электричестве,—писал он Штаркенбургу,—мы стали знать кое-что разумное только с тех пор, когда открыта была техническая применимость его. В Германии, к сожалению, привыкли писать историю наук так, как будто бы науки свалились с неба“<sup>28)</sup>.

Маркс показал, что область техники является ареной классовой борьбы и что методами и средствами техники и при помощи ее достижения капиталисты усиливают эксплуатацию рабочего класса, подавляют его попытки, направленные против гнета буржуазии.

Так, например, „сельфактор (автоматический молоток)—величайшее изобретение промышленной эпохи прогнал с поля битвы взбунтовавшихся рабочих“ (Маркс).

Известный конструктор парового молота Несмит (Nasmyth) целый ряд своих изобретений направляет как средство подавления рабочего движения, что он, не стесняясь, и декларирует в своих показаниях комиссии, на которую возложено обследование тред-юнионов:

„Теперь,—заявляет Несмит,—механическому рабочему приходится не самому работать, а наблюдать за прекрасной работой машины, доступно всякому подростку. В настоящее время устранен весь класс рабочих, которые исключительны от своего искусства... Следствием этого было значительное увеличение моей прибыли“.

Приводя эту весьма откровенную и циничную фразу инж. Несмита, Маркс писал: „Капиталист могласно и с обдуманым намерением возвестить о ней (паровой машине. И. Б.) как о силе, способной рабочему, и пользуется ею как таковой. Она становится самым мощным боевым орудием для подавления периодических возмущений рабочих, стачек и т. д., направленных против поддержания капитала... можно было бы написать целую историю таких изобретений с 1830 года, которые были вызваны к жизни исключительно боевыми средствами капитала против возмущений рабочих“<sup>29)</sup>.

Важнейшая задача, какую Маркс ставил перед собой, — критическая история технологии“,—это и есть то, „как мало какое бы то ни было изобретение XVIII столетия принадлежит тому или другому отдельному лицу“ и „...что всякое техническое изобретение обуславливается частью копией современников, частью использованием работ предшественников“.

Помимо отмеченных выше проблем — комбинированная рабочая машина“, „автоматическая система машин“, „принцип: непрерывная работа отдельных процессов“ и др.) Маркс предостерегает от одного из главнейших направлений современной техники — химизации и на базе и методами перспективу широчайшего использования отходов и отбросов производства, что создает реальную основу для комбинирования — наиболее высокого уровня производственно-технической деятельности.

В томе III „Капитала“ Маркс писал: „...общее превращение экскрементов производства, так называемых отбросов, в новые элементы производства той же самой или другой отрасли промышленности,—процессы, при помощи которых так называемые экскременты снова входят в кругооборот производства, а следовательно и потребления“...<sup>31)</sup>.

Решающие предпосылки для использования отходов и отбросов создает „...Усовершенствование машин..., успехи науки, в особенности химии, открывающей полезные свойства таких отбросов“.

<sup>25)</sup> Ф. Энгельс, „14 марта 1883 г.“, стр. 7—8, 1933 г.

<sup>26)</sup> „Письма“, стр. 128, изд. 4-е.

<sup>27)</sup> Там же.

<sup>29)</sup> К. Маркс. Капитал, т. I, стр. 371.

<sup>30)</sup> Там же, стр. 370.

более яркий пример применения отбросов,— подчеркивает Маркс,—дает химическая промышленность. Она потребляет не только свои собственные отбросы, находя для них новое применение, но также отбросы самых разнообразных других отраслей промышленности...<sup>82)</sup>

Ленин углубил и обогатил марксизм, внося в него исторически обобщенный богатейший опыт революционного движения пролетариата в условиях империализма.

Исходя из учения Маркса, Ленин открыл важнейший закон неравномерного развития капитализма в эпоху империализма, закона, который так значительно верно и глубоко обосновал и развил т. Сталин.

Эта неравномерность экономического развития капитализма в условиях империализма, которая в выражении Ленина „есть безусловный закон капитализма“ иллюстрируется Лениным на динамике и характере технического уровня производительных сил монополистического капитализма. Известно, какое огромное значение Ленин придал технике и техническим наукам.

Еще в 1901 г. в своей работе „Аграрный вопрос и критики Маркса“, направленной против Плеханова, Давида и др., Владимир Ильич писал: „Каждый экономист всегда должен смотреть вперед, в сторону прогресса техники, иначе он немедленно окажется отставшим, ибо кто не хочет смотреть вперед, тот поворачивается к истории задом: действительности тут нет и быть не может“<sup>83)</sup>.

Ленин внимательно и неослабно следил за развитием и достижениями техники, изучая и анализируя техническую и социально-экономическую роль новейших методов и приемов техники (например, проблема непосредственного добывания газа из угольных копей и др.), он неоднократно заявлял, что при составлении наших технических планов мы должны исходить из „завоеваний современной соответственной науки“.

Разгаданная Марксом и Энгельсом роль новейшей и наиболее универсальной энергетики—электротехники—Лениным была развита, исходя из дальнейших успехов внедрения электричества в различные отрасли производства.

Именно на основе глубочайшего критического анализа наиболее передовых путей развития мировой техники Ленин и определил электрификацию как основную линию нашего экономического развития, что сжато и совершенно ясно выражено всемирно известной ленинской формулой: „Коммунизм есть советская власть плюс электрификация всей страны“.

Уже через несколько месяцев после Октябрьского переворота в „наброске плана научно-технических работ“ Ленин предлагал Академии наук рассмотреть составление „плана реорганизации промышленности и экономического подъема России“.

В этом плане по директиве Ленина должно быть рассмотрено „обращение особого внимания на электрификацию промышленности и транспорта, применение электричества к земледелию. Использование непервоклассных сортов топлива (торф, плохих сортов) для получения электрической энергии с наименьшими затратами на добычу и перевоз горючего“<sup>84)</sup>.

Выдвигая электрификацию как основной стержень нашей технической политики, Ленин тесно, неразрывно связывал ее с решающими задачами технической реконструкции всех отраслей народного хозяйства и, в особенности, с задачей создания мощной машинной индустрии.

Ленинское понимание вопроса и состоит в учете органической связи, неразрывности „электрификации всей страны“ и создания мощного машинотехнического базиса, являющегося „единственной материальной основой социализма“ (Ленин).

Исключительно действенную роль Владимир Ильич придавал новейшей технике электрификации как могучему рычагу коренной перестройки мелкого крестьянского хозяйства.

Ленин в докладе на VIII Всероссийском съезде советов указывал на то, чтобы вырвать корни капитализма и подорвать „...фундамент, основу у внутреннего врага... есть одно средство—перевести хозяйство страны, в том числе и земледелие, на новую техническую базу, на техническую базу современного крупного производства. Такой базой является только электричество“<sup>85)</sup>.

Ленин жестоко бичевал тех, кто пытался ревизовать все огромное народнохозяйственное значение плана Гозлро и подменить его различными „планами“.

Тов. Сталин—лучший ученик Ленина—был верным его помощником в деле реализации первого народнохозяйственного плана—плана Гозлро.

В своем историческом письме к Ленину по поводу плана Гозлро т. Сталин писал:

„Последние три дня я имел возможность прочесть сборник „План электрификации России“. Болезнь помогла (нет хуже без добра!). Превосходная, хорошо составленная книга. Мастерской набросок действительно единого и действительно государственного хозяйственного плана без кавычек. Единственная в наше время марксистская попытка подведения под советскую надстройку хозяйственно-отсталой России действительно реальной и единственно возможной при нынешних условиях технической производственной базы. Помните прошлогодний „план“ Троцкого (его тезисы) „хозяйственного возрождения“ России на основе массового применения к обломкам довоенной промышленности труда неквалифицированной крестьянско-рабочей массы („трудармий“). Какое убожество, какая отсталость в сравнении с планом Гозлро! Средней вековой кустарь, возмнивший себя ибсеновским героем, призванным „спасти“ Россию сагой старинной... А чего стоят десятки „единых планов“, появляющихся то и дело в нашей печати на позор нам,—детский лепет пригостишек... Или еще: обязательский „реализм“ (на самом деле маниловщина) Рыкова, все еще „критикующего“ Гозлро и по уши погрязшего в рутине...“

Мое мнение:

1. Не терять больше ни одной минуты на болтовню о плане.

2. Начать немедленно практический приступ к делу.

3. Интересам этого приступа подчинить, по крайней мере,  $\frac{1}{8}$  нашей работы ( $\frac{2}{8}$  уйдет на „текущие“ нужды) по завозу материалов и людей, восстановлению предприятий, распределению ра-

К. Маркс, Капитал, т. III, ч. I, стр. 65—67.

В. И. Ленин, Соч. т. IV, стр. 208, изд. 3-е.

В. И. Ленин, „Об электрификации“ стр. 16, изд. 1932 г.

бочей силы, доставке продовольствия, организации баз снабжения и самого снабжения и пр.

4. Так как у работников Гоэлро при всех хороших качествах все же не хватает здорового практицизма (чувствуется в статьях профессорская импотентность), то обязательно влить в „Плановую комиссию“ к ним людей живой практики, действующих по принципу „исполнение донести“, „выполнить к сроку“ и пр.

5. Обязать „Правду“, „Известия“, особенно „Экономическую жизнь“ заняться популяризацией „Плана электрификации“ как в основном, так и в конкретностях, касающихся отдельных областей, памятуя, что существует только один „единый хозяйственный план“, это—„план электрификации“, что все остальные „планы“—одна болтовня, пустая и вредная.

Март 1921 г.<sup>87)</sup>

Ваш Сталин.

Тов. Сталин определяет электрификацию как один из основных и решающих факторов нашей окончательной победы.

„Нам нужно, — говорит т. Сталин, — миллионов 15—20 индустриальных пролетариев, электрификация основных районов нашей страны, кооперированное сельское хозяйство и высоко развитая металлическая промышленность. И тогда нам не страшны никакие опасности. И тогда мы победим в международном масштабе“<sup>88)</sup>.

Установка, данная т. Сталиным о решающем значении техники в период реконструкции и необходимости по-большевистски ею овладеть имеет глубокие исторические корни и поднимает высшую ступень марксистско-ленинскую теорию технического развития.

Вспомним, что писал Энгельс Бебелю о проблеме технически грамотных кадров после завоевания власти пролетариатом:

„Для того чтобы овладеть производительными силами и пустить их в ход, нам нужны технические подготовленные люди—и множество таких людей“<sup>89)</sup>.

Исходя из марксистско-ленинского анализа живаемого нами периода, т. Сталин находит совершенно конкретные пути большевистского овладения техникой.

Большевистское овладение техникой должно прежде всего опираться на революционное учение Маркса.

Поэтому сейчас с такой настойчивостью, как никогда, стоит задача изучения всего, что сказано Марксом, Энгельсом, Лениным по вопросам техники и ее развития.

Под руководством ВКП(б) и ее ленинскими во главе с лучшим марксистом-ленинцем т. Сталиным, овладевая революционной теорией протарской борьбы, мы поднимем еще выше то знамя, которое впервые в истории человечества поднял Карл Маркс—знамя коммунизма.

<sup>89)</sup> „Письма“, стр. 390.

<sup>87)</sup> В. И. Ленин, Об электрификации, стр. 66, изд. 1932 г.  
<sup>88)</sup> И. Сталин, Вопросы ленинизма, стр. 164, изд. 2-е, К итогам работ XIV конференции РКП(б), Доклад активу московской организации РКП(б) 9 мая 1925 г.

**„ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛИСТИЧЕСКОЙ ДИАЛЕКТИКИ к переработке всей политической экономии, с основания ее,—к истории, к естествознанию, к философии, к политике и тактике рабочего класса,—вот что более всего интересует Маркса. Энгельса, вот в чем они вносят наиболее существенное, наиболее новое, вот в чем их гениальный шаг вперед истории революционной мысли“.**

ЛЕНИН

ТАВИМ НА ОБСУЖДЕНИЕ

# Применение 100-периодного тока для электрификации СССР

Материалы к работам II Пленума ученого совета ЭИН Академии наук СССР

Проф. В. С. Кулебакин  
МЭИ

технические задачи электрификации СССР во втором пяти-летнем плане требуют для своего осуществления весьма тщательного изучения всех факторов, влияющих на экономиче-ские и технические стороны претворения в жизнь наме-ченных планов электростроительства. К числу весьма важных факторов, от которых зависят размеры капитальных вложений в электрооборудование, следует отнести частоту переменного тока, имеющегося в настоящее время основным видом элект-рической энергии как при генерации, передаче, распределе-нии, так и при потреблении последней.

Частота тока оказывает весьма существенное влияние на вес и стоимость электрических машин, трансформаторов, двигателей, а также на к. п. д. Кроме того, от частоты зависит закон и число ступеней скоростей вращения электродви-гателей, что имеет немаловажное значение при устройстве индивидуального и группового электромоторных приводов.

Настоящее время в качестве нормальной технической ча-стоты переменного тока в СССР и Европе принято 50 пер/сек; эта частота была установлена более 30 лет назад, и для на-стоящего этапа развития электротехники нормализация частоты в 50 пер/сек могла иметь свое оправдание в техническом отношении; но с момента установления такой частоты прошел достаточно длительный период времени; за три десятилетия, и в особенности за последние 10 лет, в области техники произошли большие сдвиги, которые не ставят под сомнение рациональность дальнейшего при-менения тока частотой в 50 пер/сек для электрификации СССР, и в особенности СССР.

Длительная работа электрических установок переменного тока возможна только при работе на одной частоте, поэтому возможность унификации частоты тока стала ощущаться уже в те же лет практического применения переменного тока. Первые установки переменного тока были выполнены на различных частотах — в 40, 41 2/3 (5 000 пер/мин), 45, 50 и 25 пер/сек. В начале развития техники переменных токов отмечалась тенденция к применению низких частот. Это явление оправдывалось желанием уменьшить магнитные размеры выгодною низкочастотных токов для питания тяго-вых электродвигателей, возможностью построения низкообо-ротных моторов для непосредственного сцепления с тихоход-ными машинами, как-то: поршневыми насосами, доменными двигателями и т. п.

Кроме того, до 1900 г. в качестве первичных двигателей электрических станций находили исключительное приме-нение тихоходные поршневые машины (паровые, нефтяные, газовые двигатели), вращающиеся со скоростью в 75—100 об/мин. Непосредственно соединенные с этими двигате-лями электрические генераторы могли давать переменный ток низкой частоты. Но за последние три десятилетия произошел большой прогресс в технике. Вращающиеся бы-строходные машины вытеснили тихоходные машины с воз-вратно-поступательным движением как на электрических стан-циях, так и в других силовых установках. Вместо паровых машин появились паровые турбины; громоздкие поршневые двигатели — центробежными, и целый ряд других машин, для производства, где ранее возвратно поступательное дви-жение являлось основой всей кинематики механизма, уступил место быстроходным вращающимся машинам. Появление быстроходных машин привело к необходимости повышения скорости вращения машин. Однако состояние металлургии прошлых лет было таково, что крепость материалов, идущих на изготовление электрических машин, ставила границы для повышения ско-рости вращения, так как при больших скоростях вращения от центробежных сил появлялись опасные для мате-риала напряжения.

Кроме того, качество динамной и трансформаторной стали было невысоко, и оно не позволяло применять высокие ча-стоты вследствие образования больших магнитных потерь. Но так же и изоляционные материалы, обладавшие тогда большими диэлектрическими потерями, создавали препятствие для повышения частоты. Поэтому для того времени, когда про-исходила нормализация частоты переменного тока, 50 пер/сек была той небольшой частотой, которая вполне соответствовала состоянию европейской электротехники. В Америке же до

нормализации частоты наибольшее распространение имели частоты в 40 и 60 пер/сек; но при проведении нормализации американцы не остановились на „золотой середине“ — на ча-стоте в 50 пер/сек, и не присоединились к предложению европейцев, а остановились на частоте в 60 пер/сек. Расхо-ждение Америки с Европой в установлении единой нормаль-ной частоты можно объяснить мотивами экономического по-рядка.

Как правило, повышение частоты переменного тока вызы-вает уменьшение веса электрических машин, трансформаторов, двигателей, что приводит в общем к большому сбережению материалов, средств и труда.

Для того чтобы проиллюстрировать, какое влияние оказы-вает частота тока на вес основных объектов электрооборудо-вания, приведены табл. 1 и 2.

Таблица 1

Удельные веса турбогенераторов на 1 500 об/мин 1)

Мощ- ность MVA	Название частей	f = 50 пер/сек		f = 25 пер/сек		Отношение весов
		kg/kVA	%	kg/kVA	%	
12,5 ÷ 20	1. Железо статора . .	1,127	25,8	1,955	38	0,855
	2. Медь статора . . .	0,147	3,4	0,215	4,2	
	3. Медь . . . . .	0,214	4,9	0,216	4,2	
	4. Общий вес . . . .	4,375	100	5,125	100	
25 ÷ 50	1. Железо статора . .	0,96	28	1,145	36	0,732
	2. Медь статора . . .	0,147	4,3	0,184	3,9	
	3. Медь . . . . .	0,177	5,2	0,1795	3,8	
	4. Общий вес . . . .	3,44	100	4,72	100	
60 ÷ 100	1. Железо статора . .	0,787	33,0	1,515	46	0,719
	2. Медь статора . . .	0,0918	3,9	0,123	3,7	
	3. Медь . . . . .	0,127	5,3	0,117	3,5	
	4. Общий вес . . . .	2,38	100	3,305	100	
125 ÷ 200	1. Железо статора . .	0,746	35,5	1,385	49	0,728
	2. Медь статора . . .	—	—	0,0812	2,8	
	3. Медь . . . . .	—	—	0,091	3,2	
	4. Общий вес . . . .	2,11	100	2,9	100	

Таблица 2

Общие веса трансформаторов на 22 kV 2)

Мощность kVA	1 000	1 250	1 667	2 000	2 500	3 333	5 000
50 пер/сек . .	3 600	4 200	4 800	5 900	6 300	8 000	10 000
25 пер/сек . .	5 700	6 700	6 900	8 600	10 500	12 700	18 200
Отношение ве- сов . . . . .	0,634	0,628	0,695	0,607	0,598	0,628	0,549

Общие веса трансформаторов на 66 kV

60 пер/сек . .	6 700	7 000	8 000	7 600	9 500	11 400	14 800
25 пер/сек . .	9 100	9 800	11 500	12 700	13 000	16 200	22 500
Отношение ве- сов . . . . .	0,634	0,713	0,695	0,677	0,730	0,705	0,658

Повышение частоты вызывает расширение диапазона скоростей и числа ступеней; об этом дает наглядное представление табл. 3.

Таблица 3  
Синхронные скорости вращения

$p$	1	2	3	4	5	6	8	10	12
$f = 25$ пер/сек	1 500	750	500	375	300	250	187,5	150	125
$f = 50$ пер/сек	3 000	1 500	1 000	750	600	500	375	300	250
$f = 100$ пер/сек	6 000	3 000	2 000	1 500	1 200	1 000	750	600	500
$f = 150$ пер/сек	9 000	4 500	3 000	2 250	1 800	1 500	1 125	900	750

Из этой таблицы видно, что, начиная со скорости вращения в 750 об/мин, число ступеней скорости с повышением частоты увеличивается пропорционально частоте (см. табл. 4).

Ступени скоростей вращения

Частота пер/сек	Скорость вращения в об/мин												Число ступеней
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	6 000	3 000	—	—	—	—	—	—
150	9 000	4 500	3 000	2 250	1 800	1 500	1 285,7	1 125	1 000	900	818,1	750	—

Расширенный диапазон скоростей и увеличение числа ступеней являются весьма важными факторами для внедрения электромоторного привода; они в значительной мере могут повысить к. п. д. установок и избежать всякого рода промежуточных передач и прочих сцепляющих механизмов.

Современная техника характеризуется всюду тенденцией к облегчению веса машин, к повышению скорости движения механизмов и ускорению производственных процессов. Эта тенденция приводит к необходимости использования при электрификации переменных токов более высоких частот. Тенденции к повышению частоты имеют место и в других установках, не связанных с использованием движущихся механизмов, в частности в электрических печах; вместо низких частот 5—25 пер/сек теперь применяются для индукционных печей частоты 500—1 000 пер/сек. При этих частотах получается более совершенная работа печей, и размеры последних значительно уменьшаются.

На основании последних достижений в области металлургии и изоляционной промышленности теперь имеется возможность применять для изготовления электрических машин, трансформаторов, аппаратов, кабелей и пр. более совершенные материалы, и это обстоятельство создает благоприятные предпосылки для практического применения переменных токов уже более высокой частоты, чем в 50 пер/сек.

Так как дальнейшее повышение частоты должно привести к сокращению веса и уменьшению стоимости электрических машин и трансформаторов, автор ставит вопрос о необходимости отказа от применения 50-периодного переменного тока для электрификации СССР и перехода на ток более высокой частоты, как более выгодной в экономическом отношении.

Подобные соображения были также высказаны проф. Нитгаммером на международной конференции по производству и распределению электрической энергии в Париже 1932 г.<sup>8)</sup>

Переход на новую частоту будет связан с определенными экономическими преимуществами и в техническом отношении не представит особых затруднений, то настоящее положение с электрооборудованием СССР не может служить препятствием к установлению другой частоты переменного тока для дальнейшей электрификации СССР.

За последние годы была выдвинута проблема передачи энергии постоянным током. Этой проблеме посвящается немало внимания и в СССР в связи с предстоящей задачей по созданию единой высоковольтной сети, но в данный момент еще не полностью разрешены технические затруднения, стоящие на пути практического осуществления этой проблемы, и на ближайшее пятилетие приходится ориентироваться на применение трехфазного тока. В случае же благоприятного разрешения проблемы передачи энергии постоянным током электрические установки в виде генераторов, трансформаторов, двигателей и целый ряд потребителей энергии останутся все

же на переменном токе, и актуальность вопроса об утилизации частоты тока также остается в силе.

Ниже дается сравнительный разбор основных деталей трифазного оборудования при применении 50- и 100-периодного тока как с точки зрения весовых соотношений и в отношении рабочего процесса. Автором выбрана частота 100 пер/сек, для того чтобы более наглядно показать, какой экономический эффект может получиться в данном конкретном случае, и какова техническая стоимость перехода на повышенную частоту при электрификации СССР. Частота в 100 пер/сек не является оптимальной во всех отношениях; для нахождения оптимума необходимо делать большую работу как исследователя, так и конструктора. Настоящей же работой автор ставит своей целью заострить внимание на необходимости пересмотра вопроса рациональности применения нормальной 50-периодной частоты для дальнейшей электрификации СССР.

Таблица

#### Синхронные машины

Синхронные генераторы являются в настоящее время одним из основных видов электрических машин, посредством которых производится электрическая энергия в тех крупных масштабах, которые требуются в централизованном производстве.

Для того чтобы выяснить влияние увеличения частоты на основные свойства синхронных машин, ниже приводятся данные о нормальных 50-периодных генераторах с 100-периодными в отношении их геометрических размеров, напряжений, синхронных реактансов, ударных и установившихся токов короткого замыкания, устойчивости параллельной работы и динамической прочности.

Геометрические размеры и стоимость машин. Как известно, зависимость между основными геометрическими размерами, мощностью, скоростью вращения и электрическими нагрузками выражается формулой

$$\frac{D^2 l_1 n}{P_n} = \frac{6 \cdot 10^6}{K_a B_p A S},$$

где  $D$  — внутренний диаметр статора (см),  $l_1$  — длина статора (см),  $n$  — скорость вращения (об/мин),  $P_n$  — номинальная мощность (кВА),  $K_a$  — коэффициент Кэпеля,  $B_p$  — коэффициент полюсного перекрытия,  $A$  — магнитная индукция в воздушном зазоре,  $S$  — линейная нагрузка (А/см). Из формулы видно, что частота на вес ротора не оказывает посредственного влияния, если скорость вращения при переходе на 100 пер/сек у синхронной машины остается такой же, что и при 50 пер/сек. Если же скорость вращения увеличится, то при той же мощности размеры и вес машины уменьшатся. Это наглядно показывает табл. 5, где приведены данные, относящиеся к единице мощности турбогенераторов на 50 и 60 пер/сек.

Применение частоты в 100 пер/сек позволяет в турбогенераторах со скорости вращения в 3 000 об/мин, что может привести к увеличению мощности данной модели машины почти вдвое. В этом случае турбина на 6 000 об/мин получается значительно меньших размеров. Таким образом агрегат турбогенератора (или генератор) при скорости вращения в 6 000 об/мин заданной мощности будет стоить гораздо меньше, чем занимаемое им, также значительно сокращается.

Однако переход на 6 000 об/мин возможен для турбогенераторов сравнительно небольших мощностей, так как в генераторах при такой большой скорости вращения механические напряжения в роторе от центробежных сил достигают чрезмерных величин. При современном состоянии металлургической промышленности, идущих на изготовление роторов и статоров, не вполне еще способна выдерживать столь высокие напряжения, которые могут получиться в материале ротора при 6 000 об/мин. Поэтому гораздо больший практический интерес представляет сравнение геометрических размеров 100- и 50-периодных турбогенераторов на оди-



Таблица 5

Вес в kg/kVA для турбогенераторов на 50 и 60 пер/сек.)

Активный материал и общий вес	2p = 4 n = 1 500 об/мин		2p = 4 n = 1 800 об/мин		Разность весов	
	kg/kVA	%	kg/kVA	%	kg/kVA	%
1. Железо статора . . . . .	1,127	25,8	1,000	30	0,127	13
2. Медь статора . . . . .	0,147	3,4	0,142	4,3	0,005	3,41
3. Медь ротора . . . . .	0,214	4,9	0,178	5,4	0,038	17,2
4. Общий вес .	4,375	100	3,320	100	1,055	24,15
1. Железо статора . . . . .	0,960	28	0,731	26	0,229	2,43
2. Медь статора . . . . .	0,147	4,3	0,121	4,3	0,026	17,7
3. Медь ротора . . . . .	0,177	5,2	0,1515	5,4	0,0255	14,5
4. Общий вес .	3,44	100	2,81	100	0,63	18,3
1. Железо статора . . . . .	0,787	33	0,767	34	0,020	2,54
2. Медь статора . . . . .	0,0918	3,9	0,0856	3,8	0,0062	6,75
3. Медь ротора . . . . .	0,127	5,3	0,121	5,4	0,006	4,72
4. Общий вес .	2,38	100	2,245	100	0,135	5,67
1. Железо статора . . . . .	0,746	3,55	0,694	41	0,050	6,7
2. Медь статора . . . . .	—	—	—	—	—	—
3. Медь ротора . . . . .	—	—	—	—	—	—
4. Общий вес .	2,11	100	1,705	100	0,315	18,7

скорость вращения. Если скорости вращения в обоих случаях машин одинаковы, то, очевидно, у 100-периодного генератора число полюсов должно быть в два раза больше, чем у машины в 50 пер/сек.  
 Если было указано ранее, основные размеры электрической машины, как-то — диаметр  $D_1$  и длина якоря  $l_i$ , определяются формуле

$$D_1^2 \cdot l_i = \text{const} \cdot \frac{P_n}{n}$$

$l_i$  выражает объем цилиндрической выточки якоря; эта величина хотя и является характерной для машины, но не дает точного представления о весе машины. Более точно о весе машины необходимо судить по объему, определяемому диаметром  $D_2$  и длиной  $l_i$  якоря. Как видно из рис. 1,

$$D_2 = D_1 + 2h_z + h_a$$

$h_z$  — высота зубцов или глубина паза,  $h_a$  — высота якоря;  $W_a$  — вес машины

$$G \equiv D_2^2 \cdot l_i$$

Плотность зубцов якоря может быть с достаточным приближением вычислена по поперечному сечению проводников, заложены в пазах. Пусть  $AS$  представляет собою линейную нагрузку машины, выраженную в А/см, тогда число ампер-витков якоря  $AW_a$  составляет

$$AW_a \approx \frac{m}{2} \pi D_1 AS = \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot AS.$$

Если допустимая плотность тока в сечении обмотки якоря  $i_s$ , то сечение всех проводников должно быть

$$S_k = \frac{\pi D_1 \cdot AS}{i_s}$$

Приняв  $z_k$  за коэффициент заполнения паза медью и  $z_s$  — за отношение площади всех зубцов к площади кольца, состоящего из пазов и зубцов, получают высоту паза равной

$$h_z = \frac{\pi D_1 \cdot AS}{i_s z_k (1 - z_s) \pi (D_1 + h_a)}$$

или

$$h_z = \frac{D_1}{2} \sqrt{\frac{4AS}{i_s D_1 \cdot z_k (1 - z_s)} + 1} - 1.$$

Если принять высоту сердечника якоря  $h_a$  равной около

$$(0,3 \div 0,4) \frac{D_1}{p} = \frac{\pi D_1}{4p} \cdot \frac{B_s}{B_a},$$

то внешний диаметр статора составляет

$$D_2 = D_1 + 2h_z + 2h_a = D_1 \left[ \frac{0,6 \div 0,8}{p} + \sqrt{\frac{4AS}{i_s D_1 z_k (1 - z_s)} + 1} \right].$$

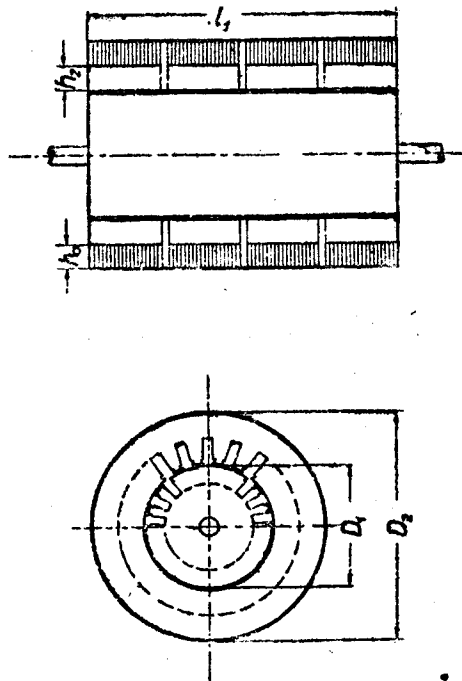


Рис. 1

Обычно в синхронной машине на заданную мощность величина

$$\frac{AS}{i_s D_1} = \frac{\text{const}}{p} \text{ в),}$$

поэтому

$$D_2 = D_1 \left[ \frac{0,6 \div 0,8}{p} + \sqrt{1 + \frac{\text{const}}{p}} \right].$$

На основании этих выводов следует, что

$$D_2^2 l_i = D_1^2 l_i \left[ \frac{0,6 \div 0,8}{p} + \sqrt{1 + \frac{\text{const}}{p}} \right]^2 = \text{const} \frac{P_n}{n} \left[ \frac{0,6 \div 0,8}{p} + \sqrt{1 + \frac{\text{const}}{p}} \right]^2,$$

или приближенно

$$D_2^2 l_i = \text{const} \frac{P_n}{n} \left[ 1 + \frac{0,8 \div 0,9}{p} \right]^2 = \text{const} \frac{P_n}{n} \text{ А.}$$

Таким образом приведенные формулы показывают, что вес машины уменьшается с увеличением числа полюсов, если  $n = \text{const}$ .

В табл. 6 приведены значения отношения величины

$$\frac{A'}{A} = \left[ \frac{1 + \frac{0,8 \div 0,9}{2p}}{1 + \frac{0,8 \div 0,9}{p}} \right]^2$$

для случая удвоения частоты.

Таблица 6

$2p/p =$	2/1	4/2	8/3	8/4	24/12	40/20	80/40
$\left( \frac{1 + \frac{0,8}{2p}}{1 + \frac{0,8}{p}} \right)^2$	0,666	0,729	0,802	0,835	0,945	0,96	0,98
$\left( \frac{1 + \frac{0,9}{2p}}{1 + \frac{0,9}{p}} \right)^2$	0,582	0,712	0,782	0,822	0,928	0,956	0,974

Эта таблица наглядно иллюстрирует, что в случае удвоения частоты более значительное уменьшение веса получается в быстроходных машинах, в наиболее распространенных турбогенераторах на 3000 и 1500 об/мин. Такое снижение веса доходит до 42÷27%. Общий же вес тихоходных машин изменяется очень мало.

Потери в железе статора. Эти потери пропорциональны объему железа статора и удельным потерям, зависящим от частоты и индукции.

Объем железа статора равен:

$$\begin{aligned} V_{ca} &= D_1^2 l_1 - D_2^2 l_1 - h_s \pi (D_1 + h_s) = \\ &= D_1^2 l_1 \left\{ \left[ \frac{0,6 + 0,8}{p} \sqrt{1 + \frac{\text{const}}{p}} \right]^2 - 1 \right\} - \frac{\pi D_1 \cdot AS \cdot l_1}{l_s s_k (1 - s_s)} = \\ &= D_1^2 l_1 \left\{ \left[ 1 + \frac{0,9}{p} \right]^2 - 1 - \frac{\text{const}}{p} \right\} \approx \frac{0,9}{p} \left( 2 + \frac{0,9}{p} \right) \cdot \frac{P_n}{n} \end{aligned}$$

Удельные потери в железе равны:

$$p_s = (\alpha f + \beta f^2) \left( \frac{B}{10000} \right)^2,$$

где  $\alpha = 4,4 \cdot 10^{-2}$ ,  $\beta = 5,6 \cdot 10^{-4}$  для динамной стали  $\Delta = 0,5$  мм и  $\alpha = 4,7 \cdot 10^{-2}$ ,  $\beta = 3,2 \cdot 10^{-4}$  для динамной стали  $\Delta = 0,35$  мм. На основании этого в конечном итоге получается, что потери в сердечнике якоря:

$$\begin{aligned} p_{ca} &= \text{const} \cdot \frac{P_n}{n} \cdot \frac{0,9}{p} \left( 2 + \frac{0,9}{p} \right) (\alpha f + \beta f^2) \left( \frac{B}{10000} \right)^2 \equiv \\ &\equiv \left( 2 + \frac{0,9}{p} \right) (\alpha + \beta f), \end{aligned}$$

или

$$p_{ca} = \text{const} \cdot p_n \left( 2 + \frac{0,9}{p} \right) (\alpha + \beta n_1 p),$$

где  $n_1$ —скорость вращения машины в об/сек.

Потери в сердечнике якоря достигают минимума при

$$n_1 = \frac{0,9 \alpha}{2 \beta p^2}$$

или

$$f = \frac{0,9 \alpha}{2 \beta p}.$$

Значения частот, при которых потери  $P_{ca}$  достигают минимума при различных скоростях вращения, приведены в табл. 7.

Таблица 7

$p$	1	2	3	4	6	
$\Delta = 0,5$ мм	$n$	2124	1062	708	531	354 об/мин
	$f$	35,4	17,7	11,8	8,85	5,09 пер/сек
$\Delta = 0,35$ мм	$n$	3978	1989	1326	994,5	663 об/мин
	$f$	66,3	33,15	22,1	16,58	11,05 пер/сек

Эта таблица показывает, что с точки зрения уменьшения потерь в железе якоря выгодно не увеличение, а уменьшение числа периодов в секунду.

При применении более высоколегированной динамной и уменьшении толщины листов ее оптимальная частота в отношении потерь приближается к 100 пер/сек.

Однако с возрастанием числа периодов потерь в якоре при  $p = \text{const}$  увеличиваются пропорционально  $\alpha + \beta f$ .

Если же скорость вращения машины оставить постоянным, то соотношение потерь при удвоенной и нормальной частоте составляет

$$x = \left( 2 + \frac{0,9}{2p} \right) (\alpha + 2\beta f) : \left( 2 + \frac{0,9}{p} \right) (\alpha + \beta f)$$

Величина  $\alpha + 2\beta f$  при  $f = 50$  пер/сек для железа  $\Delta = 0,5$  мм равна 1,39, для  $\Delta = 0,35$  мм—1,25. На основании этих данных подсчитаны значения соотношения потерь в железе сердечника якоря. Результаты подсчетов приведены в табл. 8.

Таблица 8

Соотношение потерь в железе сердечника стали

$2P/P$	2/1	4/2	3/8	20/10
$\Delta = 0,5$ мм	1,182	1,265	1,302	1,37
$\Delta_1 = 0,35$ мм	1,062	1,137	1,180	1,23

Объем железа зубцов может быть с достаточной приближенностью вычислен по формуле:

$$\begin{aligned} V_{ca} &= \pi \cdot D_1 \cdot h_s \cdot s_s \cdot l_1 = \pi D_1 \frac{AS \cdot l_1 s_s}{l_s s_k (1 - s_s)} = \\ &= \pi D_1^2 \cdot l_1 \frac{AS \cdot s_s}{D_1 \cdot l_s \cdot s_k (1 - s_s)} = \text{const} \cdot \frac{P_n}{n} \cdot \frac{AS}{D_1 \cdot l_s \cdot s_k (1 - s_s)} \\ D_1 l_s s_k (1 - s_s) &= \text{const} \cdot AS^2 \cdot p, \end{aligned}$$

поэтому

$$V_{ca} = \text{const} \frac{P_n}{AS} \frac{1}{pn} = \text{const} P_n \frac{1}{f},$$

т. е. объем железа зубцов обратно пропорционален частоте в машинах, обладающих одинаковыми электромагнитными грузками и процентным напряжением рассеяния.

Потери в зубцах получаются

$$\begin{aligned} p_{ca} &= V_{ca} \gamma_s (\alpha f + \beta f^2) \left( \frac{B_s}{10000} \right)^2 = \\ &= \text{const} \cdot P_n \left( \frac{B_s}{10000} \right)^2 (\alpha + \beta f). \end{aligned}$$

Следовательно, при удвоении частоты они возрастают в 1,39 (при  $\Delta = 0,5$  мм) или в 1,25 (при  $\Delta = 0,35$  мм).

Таким образом можно прийти к выводам, что с увеличением частоты общие магнитные потери в железе статора и якоря в 1,2÷1,4 раза (при  $\Delta = 0,5$  мм) или 1,1÷1,2 (при  $\Delta = 0,35$  мм), причем меньшие значения относятся к тихоходным машинам.

Объем меди статора равен

$$V_k = S_k \cdot l_k = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot AS}{l_s} \left( l_1 + \frac{S \cdot \pi D_1}{2p} \right),$$

где  $S_k$ —общее поперечное сечение проводников,  $l_k$ —длина витка,  $l_1$ —общая длина якоря,  $S$ —отношение площади головки обмотки к полюсному делению.

Ранее отмечалось, что

$$D_1 = \text{const} AS^2 \cdot p,$$

поэтому

$$l_1 = \text{const} \cdot \frac{P_n}{D_1^2 n} = \frac{\text{const}}{p^2}.$$

На основании этого получается

$$V_k = \frac{\text{const}}{p} + \text{const} \cdot 2 \cdot p.$$

В мощных турбогенераторах нормальной частоты

$$l_1 (2 \div 3) t_p = (2 \div 3) \frac{\pi D_1}{2p}, S = 2,5,$$

$$l_1 = \frac{1}{p} [(2 \div 3) + 2,5] = (4,5 \div 5,5) \frac{1}{p},$$

удвоения частоты

$$D_1' = 2 D_1, \quad l_1' = \frac{l_1}{4};$$

и следует, что

$$\frac{V_k}{V_k} = \frac{2 \left[ \frac{2,5}{4} + 2,5 \right]}{2,5 + 2,5} = 1,26,$$

уменьшение объема меди на 26%. В соответствии с этим растут и потери в меди.

Магнитный материал ротора складывается из веса магнитного материала обмотки. Так как  $D_1^2 l_1 = \text{const}$ , то вес магнитного материала ротора остается почти независимым от числа полюсов при одинаковой скорости вращения.

Число проводников обмотки ротора определяется намагничивающим ампер-витком и допустимой плотностью тока. Если  $l = \text{const}$ , то при удвоении частоты необходимое число полюсов возрастает в два раза, поэтому и намагничивающие ампер-витки приобретают двойное значение. Так ампер-витки якоря, ввиду увеличения диаметра вдвое, растут также в два раза больше, то легко понять, что значение намагничивающих ампер-витков к ампер-виткам на данном случае остается без изменения.

Увеличение намагничивающих ампер-витков вдвое приводит к необходимости взять двойное сечение проводников обмотки возбуждения. Но вследствие уменьшения длины якоря в 4 раза средняя длина витка уменьшается. В конечном результате это дает увеличение веса обмотки возбуждения и джоулевых потерь примерно в 1,6—1,7 раза.

Вышеприведенные соображения приводят к следующим выводам.

При удвоении частоты вес железа статора и общий вес его растут; веса обмотки статора и ротора увеличиваются; тепловые потери возрастают примерно на 20—40%, а джоулевые потери в статоре и роторе увеличиваются приблизительно на 70%. Таким образом к. п. д. синхронной машины в прочих равных условиях снижается.

Из этих выводов относятся к таким машинам, которые при высокой частоте обладают теми же электрическими и магнитными свойствами и нагрузками, что и машины нормальной частоты; причем для достижения одинаковости свойств в случае удвоения частоты внутренний диаметр статора был взят в 2 раза большим по сравнению с таковым машины нормальной частоты.

В некоторых случаях увеличение внутреннего диаметра статора создает и практические невозможности осуществления машины. Подобное может иметь место в быстроходных машинах большой мощности, когда линейная окружная скорость получается чрезмерно большой. Поэтому более приемлемым в практическом отношении является сравнительное рассмотрение синхронной машины, если исходить из ее линейных размеров при нормальной частоте и несколько изменить параметры, характеризующие свойства машины, как-то: тепловое напряжение рассеяния, соотношение между диаметрами ротора и статора.

При использовании основных нормальных размеров машины. Здесь необходимо рассмотреть два случая: когда внутренний диаметр статора остается постоянным, а внешний диаметр статора сохраняет свой размер, или при сравнительном рассмотрении принимаются постоянными магнитная индукция в воздушном зазоре ротора; тепловая нагрузка, скорость вращения и число пазов в статоре остаются одинаковыми как при удвоенной, так и нормальной частоте.

Как было отмечено ранее, стоимость и вес электрической машины зависят, главным образом, от внешнего диаметра статора; оставляя внешний диаметр постоянным, у 100-периодного генератора можно взять внутренний диаметр статора только большим, чем у 50-периодной машины, так как диаметр сердечника статора в радиальном направлении сокращается вследствие уменьшения потока полюса.

Здесь означают:  $D_2$  — внешний диаметр статора,  $l_1$  — осевую длину статора,  $h_s$  — высоту зубца,  $h_a$  и  $h_a'$  — высоту сердечника статора 50- и 100-периодных генераторов,  $D_1$  и  $D_1'$  — внутренние диаметры статоров 50- и 100-периодных генераторов.

$$D_2 = D_1 + 2 h_s + 2 h_a = D_1' + 2 h_s + 2 h_a'.$$

При условии одинаковой магнитной индукции в сердечнике статора должна быть равна

$$h_a' = h_a \cdot \frac{1}{D_1} \cdot D_1'$$

На основании этих соотношений легко установить, что

$$\frac{D_1'}{D_1} = \frac{1 + \frac{2 h_a}{D_1}}{1 + \frac{h_a}{D_1}}.$$

Так например, если взять турбогенератор завода „Электро-сила“, мощностью в 50 MVA на 1500 об/мин, у которого  $D_2 = 228$  см и  $D_1 = 142$  см,  $h_s = 18$  см,  $h_a = 24$  см, то при  $p' = 2p$  для 100 пер/сек получается

$$\frac{D_1'}{D_1} = 1,115.$$

При  $l_1 = l_1'$  мощности пропорционально квадрату внутреннего диаметра статора. Таким образом

$$\frac{P_n'}{P_n} = \left( \frac{D_1'}{D_1} \right)^2 = (1,115)^2 = 1,24,$$

т. е. мощность генератора при 100-периодном токе может быть увеличена на 24%.

Если же оставить внутренний диаметр статоров одинаковым, то внешний диаметр статора в рассматриваемом примере получается в 100-периодной машине равным  $D_2' = D_2 - h_a = 202$  см, что дает уменьшение веса железа сердечника статора на 47,5% и облегчение общего веса машины примерно на 20%.

При  $D_1' = D_1$ ;  $l_1' = l_1$ ,  $p' = 2p$  и, следовательно,  $\Phi_1' = \frac{\Phi_1}{2}$ , число витков в обмотке якоря оказывается одним и тем же, если машины рассчитаны на одинаковое фазовое напряжение. Действительно,

$$U_1 = 4 k \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_1 \cdot 10^{-8} = 4 k \cdot 2 f \cdot w_1' \cdot \frac{\Phi_1}{2} \cdot 10^{-8} = \text{const} \cdot n \cdot w_1' B_s D_1 l_1;$$

отсюда следует, что при  $n = \text{const}$

$$w_1' = w_1.$$

Общая длина одного витка вследствие уменьшения полюсного деления при удвоенной частоте несколько сокращается. Соотношение длины витков для 100- и 50-периодной машины составляет

$$\frac{l_k'}{l_k} = \frac{l_1 + s \frac{\pi D_1}{4p}}{l_1 + s \frac{\pi D_1}{2p}} = \frac{\lambda + \frac{s}{2}}{\lambda + s},$$

где  $\lambda$  — отношение длины якоря обмотки к полюсному делению. Обычно при  $f = 50$  пер/сек,  $\lambda = 2 + 3$ ;  $s = 2,5$ ; при этих условиях

$$\frac{l_k'}{l_k} = 0,763.$$

Для рассматриваемого примера турбогенератора мощностью в 50 MVA, имеющего  $l_1 = 376$  см и  $s = 2,5$ , это отношение составляет 0,786. Таким образом при увеличении числа полюсов с переходом на 100-периодный ток здесь вес меди статора уменьшается на 21,5%.

Если рассмотреть случай, когда  $D_2 = D_2'$ , а  $D_1' > D_1$  при  $p' = 2p$ , то легко доказать, что  $w_1' = w_1 \frac{D_1}{D_1'}$ , а поперечное сечение медных проводников статора при условии одинаковых допустимых плотностей тока

$$s_1' = s_1 \left( \frac{D_1'}{D_1} \right)^2.$$

Тогда соотношение весов меди статора получается равным

$$\frac{G_k'}{G_k} = \frac{w_1' s_1' l_k'}{w_1 s_1 l_k} = \frac{D_1'}{D_1} \frac{l_1 + s \frac{\pi D_1'}{4p}}{l_1 + s \frac{\pi D_1}{2p}} \approx 0,84,$$

т. е. обмотка статора получается легче на 26%.

Вес железа статора вследствие увеличения внутренней расточки делается меньше для данного генератора примерно на 20%.

Намагничивающие ампер-витки. С возрастанием числа полюсов вдвое намагничивающие ампер-витки ротора при условии холостого хода должны увеличиваться, так как, по-

Обмотка возбуждения рассчитывается по ампер-виткам, которые требуются для намагничивания при нагрузке. Из диаграммы рис. 2 видно, что эти ампер-витки равны

$$AW_{mt} = \sqrt{AW_{mt}^2 + 2AW_{ma}AW_a \cos \varphi + AW_a^2},$$

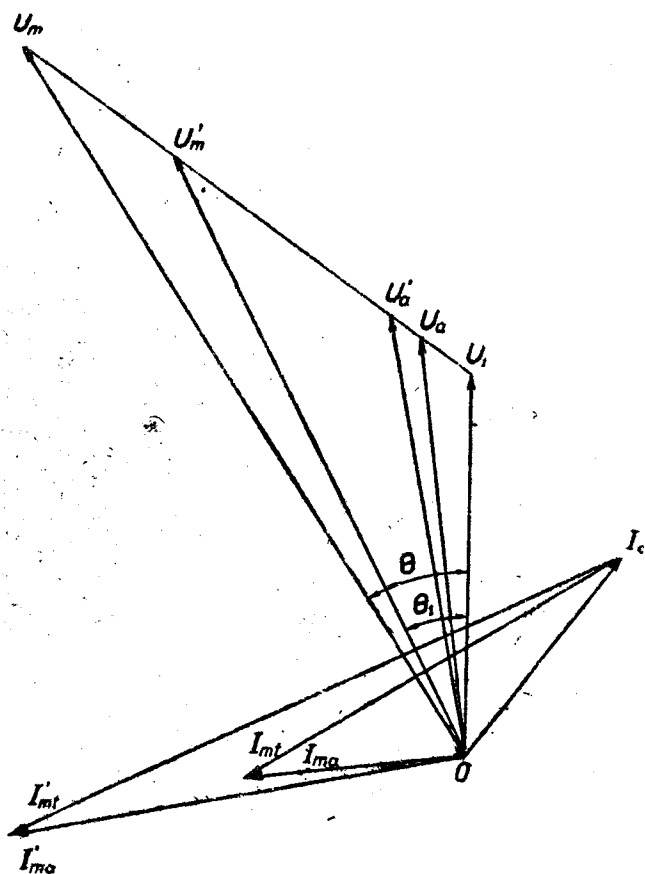


Рис. 2

где  $AW_{ma}$ —ампер-витки обмотки возбуждения,  $AW_{ta}$ —результатирующие ампер-витки якоря,  $AW_a$ —ампер-витки реакции якоря,  $\varphi$ —внутренний угол сдвига. Таким образом, если при  $p' = 2p$  результирующие ампер-витки должны быть в два раза больше, то во время полной нагрузки при  $\cos \varphi = 0,8$  и  $x = 15\%$  ампер-витки возбуждения возрастают лишь в 1,5 раза. С целью уменьшения намагничивающих ампер-витков можно уменьшить воздушный зазор. В табл. 9 и диаграмме рис. 3 показано, как уменьшаются ампер-витки при сокращении воздушного зазора для нагруженной машины.

Таблица 9

Соотношение ампер-витков при различной  $\delta/\delta_0$

$\delta/\delta_0$	0,5	0,75	1,0	Примечание
$\frac{AW_{mt}}{AW_{mo}}$	2,34	2,95	3,5	$AW_{mo}$ для нормальной частоты и полного зазора приняты за единицу
%%	100	126	150	

При удвоении числа полюсов вследствие сокращения полюсного шага головки обмотки возбуждения получаются в два раза короче, вследствие этого общая длина витка в мощных турбогенераторах сокращается примерно на 10—12%. Таким образом, если при переходе на 100 пер/сек в турбогенераторах взять воздушный зазор, равный 75% от такового в генераторах на 50 пер/сек, то вес активного материала обмотки возбуждения получается примерно на 10% больше, чем в нормальных генераторах.

Подводя итоги всем предыдущим выводам, можно прийти к следующим выводам:

Таблица

Вес активного материала	При 50 пер/сек	При 100 пер/сек	Ув. на
Железа статора . . . . .	33 т	19 т	+11
Обмотки . . . . .	5 200 кг	4 100 кг	+11
Обмотки возбуждения . . . .	8 300 .	9 130 .	-

Общий вес активных материалов статора и ротора генератора составляет для 50 пер/сек 90 т; в случае его на 100 пер/сек получается уменьшение веса этих на 15%, а от общего веса—на 10%. Если производственные подсчеты для турбогенераторов на 3 000 об/мин. номина в весе получается еще значительнее: до 20—15%.

Таким образом приблизительные подсчеты показывают, в случае применения 100 пер/сек активные материалы турбогенераторов при  $n = \text{const}$  становятся легче, примерно на 15÷20%, что почти такую же экономию в стоимости вложения машины.

Применение 2 000 об/мин. Ранее было указано, что в мощных генераторах применение скорости вращения 2 000 об/мин по соображениям механической прочности может вызвать затруднения. Подобные соображения могут относиться также и к 3 000-оборотным генераторам. При 50 пер/сек ступенью скорости является 1 500 об/мин, тогда при 100 пер/сек можно иметь скорость вращения в 2 000 об/мин, для чего машина должна быть снабжена шестью полюсами. Здесь путем подсчетов можно показать, что при соответствующих допустимых электромагнитных нагрузках на турбогенераторах повысится на 30—33%, при этом вес будет уменьшен на 8—10%; таким образом стоимость на единицу мощности сокращается до 65—70%.

Реактансы рассеяния и синхронные тангенсы. Реактансы рассеяния в синхронных машинах разбить на три части: 1) реактансы рассеяния паза  $x_p$ , 2) реактансы рассеяния головок ротора  $x_K$  и 3) реактансы рассеяния головок обмоток  $x_g$ . Первые две части реактансов могут быть вычислены по формуле

$$X_N + X_K = 0,158 \frac{f}{100} \left( \frac{\omega}{100} \right)^2 \frac{l_i}{pq} (\lambda_N + \lambda_K),$$

Реактансы рассеяния головок обмоток подсчитываются по формуле

$$x_g = 0,158 \frac{f}{100} \left( \frac{\omega}{100} \right)^2 \frac{l_g}{p} \lambda_g.$$

Таким образом общий реактанс рассеяния равен

$$X_{sa} = 0,158 \frac{f}{100} \left( \frac{\omega}{100} \right)^2 \frac{l_i}{pq} \left[ \lambda_N + \lambda_K + \frac{q \cdot l_g \cdot \lambda_g}{l_i} \right]$$

Здесь  $\lambda_N$ ,  $\lambda_K$  и  $\lambda_g$  означают удельные магнитные потоки паза, головок зубцов и головок обмоток.

Теперь можно посмотреть, как изменяются отдельные реактансы при удвоении частоты.

Если удвоение частоты достигается путем увеличения оборотов вдвое, и при этом геометрические размеры остаются теми же, то для получения той же наведенной в якоре требуется число витков в два раза меньше. В результате этого реактанс должен уменьшиться в четыре раза, если частота остается без изменения; увеличение же частоты вдвое приводит к тому, что реактансы рассеяния в общем в два раза меньше. Так как при удвоении скорости вращения от данной модели машины можно получить ту же мощность, то относительное напряжение рассеяния будет тем же, что и при 50-периодной машине.

Если при удвоении скорости вращения желательна та же мощность, что и при нормальной скорости, то должна быть сокращена в своих геометрических размерах. При условии, что такое сокращение достигается уменьшением осевой длины якоря вдвое, число витков обмотки якоря остается прежним; длина головок обмоток не изменяется. Обычно в мощных турбогенераторах отношение между  $X_N + X_K$  и  $X_g$  составляет около 3:1; таким образом при удвоении частоты и сокращении осевой длины вдвое реактансы рассеяния  $x_{sa}'$  получается примерно в 10 раз меньше.

Получение удвоенной частоты при сохранении скорости вращения связано с увеличением числа полюсов. Если последнее приводит к уменьшению длины головок обмоток, то при  $l = \text{const}$  то при  $l = \text{const}$  для данной машины  $pa = \text{const}$ , то при  $l = \text{const}$  для данной машины  $pa = \text{const}$ , то при  $l = \text{const}$  для данной машины  $pa = \text{const}$ .

рассеяния головок обмотки, наоборот, уменьшается в два раза. Это приводит в общем к увеличению реактанта рассеяния примерно в 1,5—1,7 раза.

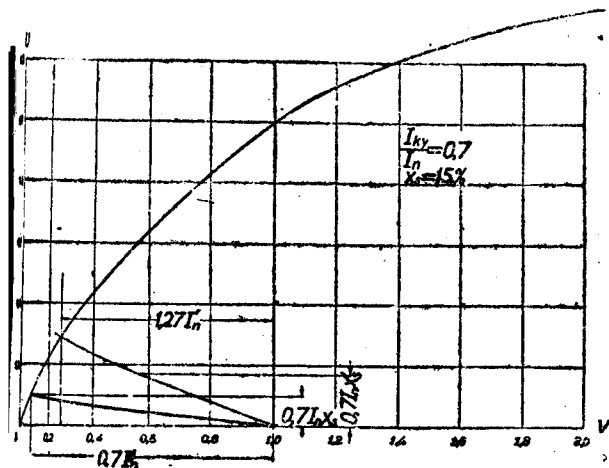


Рис. 3

Синхронный реактант. Для случая  $n_1 = 2n$  синхронный реактант, выраженный в процентах при  $P_n' = 2P_n$ , остается без изменения, а при  $p_n' = p_n$  несколько увеличивается. Если  $p = \text{const}$ , а  $p' = 2p$ , то в этом случае, вследствие увеличения числа намагничивающих ампер-витков не смотря на возрастание реактанта рассеяния, все же синхронный реактант уменьшается. На рис. 3 и 4 приведены диаграммы определения синхронных реактантов турбогенераторов в случаях, когда воздушный зазор остается без изменения тогда он сокращен; при этом принят реактант рассеяния для 50 пер/сек 15%, а для 100 пер/сек 22,5%.

Определенные по этой диаграмме синхронные реактанты сведены в табл. 11.

Таблица 11

Частота пер/сек	Отношение токов установившегося короткого замыкания	Синхронные реактанты в процентах	Примечание
50	0,7	143,5	
100	1,26	79,5	$\delta'/\delta = 1$
	0,98	102,0	$\delta'/\delta = 0,75$

Изменения напряжения. При  $p' = 2p$  соотношение между током возбуждения при холостом ходе и нагрузке уменьшается; это соотношение имеет для 100 и 50 пер/сек значения, указанные в табл. 12.

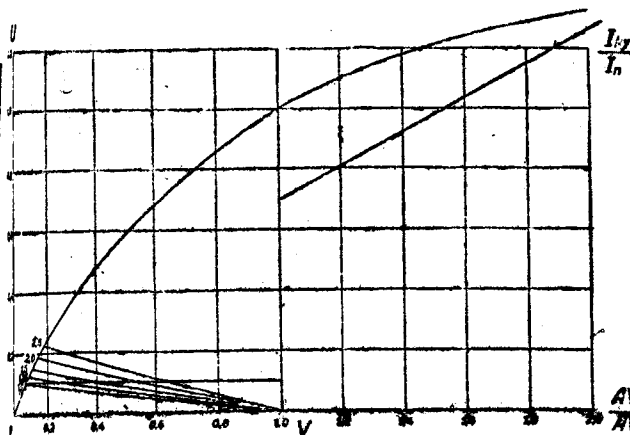


Рис. 4

Таблица 12

Соотношение ампер-витков  $\frac{AW_{mf}}{AW_{mo}}$

Частота	$\delta = 100\%$	$\delta' = 75\%$
100 пер/сек	1,75	1,98
50 пер/сек	2,34	1,95

От уменьшения отношения  $\frac{AW_{mf}}{AW_{mo}}$  уменьшаются и изменения напряжения.

Токи короткого замыкания. При  $n' = 2n$  и  $P_n' = 2P_n$  отношения установившегося тока короткого замыкания  $I_{y\phi}$  и ударного тока короткого замыкания  $I_{mk}$  к номинальному  $I_n$  остаются одинаковыми, как при одинарной и удвоенной частоте.

Для наиболее интересного в практическом отношении случая  $p = \text{const}$ , и  $p' = 2p$  ударный ток короткого замыкания уменьшается вследствие увеличения реактанта рассеяния, а установившийся ток короткого замыкания, наоборот, от уменьшения синхронного реактанта увеличивается.

Устойчивость параллельной работы усиливается с уменьшением синхронного реактанта. Таким образом при 100-периодном токе синхронная машина, вращаясь с той же скоростью, что и при 50 пер/сек, будет работать более устойчиво.

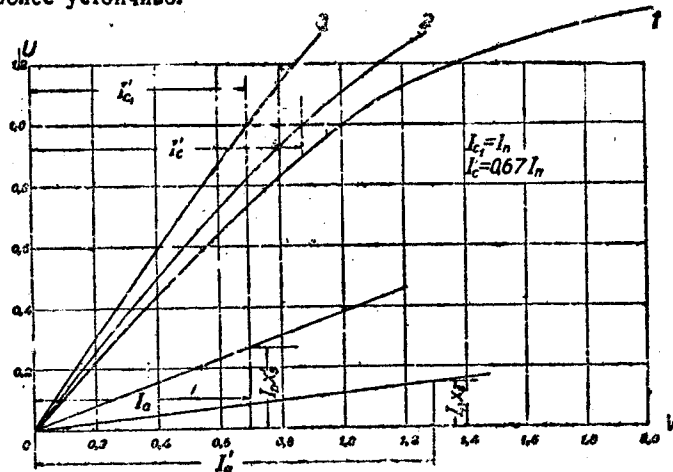


Рис. 5

Зарядная мощность генераторов. Для мощных установок высокого напряжения имеет большое значение достаточная зарядная мощность, количественно определяемая тем емкостным током, который генератор может отдавать в сеть при номинальном напряжении и отсутствии тока в цепи возбуждения. Для гидрогенераторов зарядная мощность нормально составляет 60—70% от номинальной. Хуже дело обстоит с зарядной мощностью в турбогенераторах, где таковая снижается до 50% в двухполюсных генераторах и до 60% в четырехполюсных. Зарядная мощность может быть увеличена за счет понижения использования машин путем увеличения воздушного зазора и понижения линейной нагрузки. Понятно, это понижение исполнения ведет к возрастанию стоимости генератора.

При применении же частоты в 100 пер/сек в машинах с удвоенным числом полюсов синхронный реактант уменьшается, поэтому зарядная мощность таких генераторов возрастает. Из диаграммы рис. 5 видно, что от 100-периодного генератора можно получить зарядную мощность примерно в два раза большую, чем при 50 пер/сек.

Динамическая прочность синхронной машины обычно рассчитывается по ударным токам короткого замыкания. Наиболее опасным механическим воздействием при коротких замыканиях обычно подвергаются головки обмоток. Электродинамические усилия на головке обмоток, как известно, вычисляются по формуле:

$$F_n = \text{const } I_{mk}^2 q^2.$$

Так как при  $p' = 2p$  число пазов на полюс и фазу  $q$  в два раза меньше,  $I_{mk}$  также сокращается вдвое, и  $I_{mk}$  уменьшается примерно в 1,5 раза, то все это, вместе взятое, дает уменьшение электродинамических сил, действующих на головки обмоток (между собой и железом статора) примерно в 20 раз. Сила же взаимодействия между головками обмоток возбу-

жделения и якоря ослабляется в 4,5—5 раз. Осуществление надежного механического крепления головок обмоток в турбогенераторах представляет собою довольно сложную задачу. В 100-периодном генераторе эта задача значительно упрощается, конструкция закрепления облегчается, и число болтов, накладок уменьшается.

Потери и коэффициент полезного действия. С увеличением частоты удельные потери в железе возрастают, при переходе с 50 пер/сек на 100 эти потери увеличиваются примерно в три раза. Поэтому для случая  $p' = 2p$  и  $n = \text{const}$  потери в зубцах увеличиваются в три раза, а в сердечнике якоря вследствие уменьшения объема его в  $2-2\frac{1}{2}$  раза, потери возрастают незначительно. Но путем применения более высоколегированного железа можно свести увеличение потерь в железе к нулю. Удельные джоулевы потери в обмотке якоря вследствие усиления скин-эффекта несколько возрастают. Но в современных машинах применяется для обмоток якоря слоистый проводник или кабель, где дополнительные потери от неравномерности распределения плотности тока по сечению не велики; а если принять во внимание, что при удвоении числа полюсов вес меди обмоток уменьшается, то можно притти к заключению, что джоулевы потери в якоре остаются без изменения или даже могут быть сокращены. Потери на возбуждение вследствие необходимости увеличения на намагничивающих ампервитках возрастают (примерно в 1,5 раза). Дополнительные потери короткого замыкания, которые пропорциональны квадратам частоты полного деления и линейной нагрузке ( $P_{\text{доп}} = f^2 \cdot t_p^2 \cdot AS^2$ ) при  $p' = 2p$  остаются без изменения.

Таким образом к. п. д. синхронной машины при удвоении частоты несколько уменьшается, но незначительно.

Тихоходные генераторы. Все предыдущие выводы в значительной мере могут быть распространены и на тихоходные генераторы (гидрогенераторы); при этом надо добавить еще положительное обстоятельство, которое имеет место при удвоении числа пар полюсов в случае перехода на 100 пер/сек, а именно—более равномерное распределение масс на ободе магнитного колеса, вследствие чего достигается лучшая статическая и динамическая уравновешенность вращающихся частей.

Период собственных колебаний, который с достаточным приближением может быть вычислен по формуле Розенберга,

$$T_e = 0,032 \sqrt{\frac{GD_1^2}{p_{y1} P_n}}$$

несколько уменьшается при  $p' = 2p$  и  $n = \text{const}$  (примерно в 1,7 раза). Но при явлениях качания во время параллельной работы играет роль относительный период колебаний  $\tau = T_e \cdot f$ . Значение этой величины при 100 пер/сек возрастает, что благоприятно отзывается на параллельной работе генераторов.

Коэффициент времени цепи возбуждения, от которого зависит скорость возбуждения, с увеличением частоты уменьшается. Этот коэффициент также уменьшается с увеличением мощности, идущей на возбуждение. Поэтому 100-периодный генератор должен обладать большей скоростью возбуждения (примерно в 1,5—2 раза), что является весьма ценным во всех случаях необходимости поддержания устойчивости параллельно работающих синхронных машин путем быстрого усиления возбуждения.

Нагрев синхронной машины при 100 пер/сек возрастает; наиболее неблагоприятным местом в отношении нагрева является зубцовый слой статора вследствие возрастания потерь в зубцах.

Общие выводы в отношении синхронных машин при применении частоты в 100 пер/сек кратко могут быть сформулированы так:

- 1) турбогенераторы получаются легче и дешевле, в среднем, на 20—15%;
- 2) ударный ток короткого замыкания вследствие увеличения реактанса рассеяния уменьшается примерно в 1,5 раза;
- 3) установившийся ток короткого замыкания возрастает, так как синхронный реактанс уменьшается;
- 4) относительное изменение напряжения уменьшается;
- 5) вследствие увеличения относительного периода собственных колебаний и уменьшения синхронного реактанса параллельная работа более устойчива;
- 6) зарядная мощность возрастает;
- 7) к. п. д. имеет тенденцию к снижению;
- 8) головки обмоток статора подвергаются значительно меньшим электродинамическим воздействиям, вследствие этого крепление их облегчается;
- 9) нагрев статора вследствие увеличения удельных магнитных потерь в сердечнике и зубцовом слое возрастает, поэтому для уменьшения его требуется более интенсивная вентиляция;
- 10) в отношении к. п. д. и возможных предельных мощностей турбогенераторов частоты в 100 пер/сек выигрывают.

Значения возможных предельных мощностей турбогенераторов на 100 и 150 пер/сек приведены в табл. 13.

Таблица

Возможные наибольшие мощности турбогенераторов

Число полюсов $2p$		2	4	6	8	10
$f=100$ пер/сек	$n$	6 000	3 000	2 000	1 500	1 200
	$P_{MVA}$	30	100	150	250	—
$f=150$ пер/сек	$n$	9 000	4 500	3 000	2 250	1 800
	$P_{MVA}$	15	60	90	120	180

Все это вместе взятое дает явное преимущество 100-периодного генератора над 50-периодным.

### Трансформаторы

Более разительные результаты в отношении снижения веса и стоимости изготовления при применении частоты в 100 пер/сек получаются и в отношении трансформаторов.

Для иллюстрации, насколько изменяется вес активных материалов в трансформаторе с удвоением частоты, и разобрать случай выполнения трансформаторов на удвоенной частоте при одном и том же соотношении между весом железа и медью.

Если обозначить посредством:  $G_K$  и  $G_K'$ —веса меди обмоток трансформаторов при нормальной и повышенной частоте,  $G_e$  и  $G_e'$ —соответственно веса железа,  $P_K$  и  $P_K'$ —удельные потери в меди,  $P_e$  и  $P_e'$ —удельные потери в железе, отношение веса железа к весу меди, то потери можно выразить так:

При нормальной частоте

$$G_K' \cdot P_K' + G_e \cdot P_e = G_K (P_K + \alpha P_e),$$

при удвоенной частоте

$$G_K' \cdot P_K' + G_e' \cdot P_e' = G_K' (P_K' + \alpha P_e').$$

Пусть потери в трансформаторе для удвоенной частоты представляют  $x$  долю от потерь в трансформаторе при нормальной частоте, т. е.

$$x G_K (P_K + \alpha P_e) = G_K' (P_K' + \alpha P_e').$$

Для того чтобы поставить сравнимые трансформаторы в одинаковые условия в отношении нагрева, необходимо чтобы удельная поверхностная нагрузка от потерь была одинаковой и той же. Внутренняя поверхность охлаждения трансформаторов пропорциональна  $1/3$  степени от веса активного материала. Приняв в среднем поверхность пропорциональной  $1/3$  степени от веса, получают

$$\frac{G_K' (P_K' + \alpha P_e')}{G_K'^{1/3}} = \frac{G_K (P_K + \alpha P_e)}{G_K^{1/3}},$$

отсюда следует, что

$$\frac{G_K'}{G_K} = \left( \frac{P_K + \alpha P_e}{P_K' + \alpha P_e'} \right)^{3/2},$$

$$x = \left( \frac{P_K + \alpha P_e}{P_K' + \alpha P_e'} \right)^{1/2}.$$

Если принять, например,  $\alpha = 3,35$ ,  $P_K = 27$  W/kg,  $P_e = 28,5$  W/kg,  $B_K = 14\,300$  Gauss,  $B_e = 12\,500$  Gauss,  $P_e' = 4,4$  W/kg, и  $P_e'' = 9,0$  W/kg,

то получается

$$\frac{P_K + \alpha P_e}{P_K' + \alpha P_e'} = \frac{27 + 3,35 \cdot 4,4}{28,5 + 3,35 \cdot 9,0} = 0,875,$$

$$\frac{G_K'}{G_K} = \left( \frac{P_K + \alpha P_e}{P_K' + \alpha P_e'} \right)^{3/2} = 0,555,$$

и

$$x = \sqrt{\frac{P_K + \alpha P_e}{P_K' + \alpha P_e'}} = 0,82.$$

Таким образом при удвоении частоты трансформаторы будут легче и к. п. д. его выше (потери снижаются на 18%).

Если поставить себе задачей выяснить, насколько можно увеличить мощность данной модели трансформатора при удвоенной частоте в случае сохранения тех же весов активных материалов, то можно притти к следующим выводам: в сердечниках трансформаторов магнитная индукция



от 14 000—14 500 G. Допуская по соображениям уменьшения потерь в железе снижение магнитной индукции с 14 500 до 12 500 G, получают магнитный поток

$$\Phi' = \frac{12\,500}{14\,500} \cdot \Phi = 0,865 \Phi.$$

В этом потоке для наведения при 100 пер/сек одинаково, что и при 50 пер/сек, напряжения необходимо иметь

$$w' = \frac{1}{0,865 \cdot 2} \cdot w = 0,57 w.$$

В одних и тех же ампер-витках сила тока получается

$$I_n' = \frac{1}{0,57} \cdot I_n = 1,75 I_n.$$

Мощность трансформатора возрастает на 75% по сравнению с таковой же при частоте в 50 пер/сек. Следовательно, активных материалов трансформатора, приходящийся на одну мощность, уменьшается на 48%.

Иные потери, если принять для  $f = 50$  пер/сек

$\alpha = 2$ , возрастают при  $f = 100$  пер/сек примерно на

то при увеличении номинальной мощности на 75% растут все же к повышению к. п. д.

Самая значительная мощность, выраженная в процентном отношении к номинальной, при 100 пер/сек уменьшается примерно в 1,5 раза.

Число витков рассеяния, выраженный в омах, от уменьшения числа витков и увеличения частоты в 2 раза уменьшается в конечном итоге приблизительно в  $1\frac{1}{2}$  раза, что приводит к несколько большему значению (на 12%) напряжения рассеяния, если таковое отнести к мощности в 1,75 раза.

Изменение формы кривой напряжения, вследствие того что при 100 пер/сек приходится уменьшать магнитную индукцию, получается очень малое, что весьма благоприятно отражается на электрических установках.

На основании сказанного можно прийти к выводам, что увеличение частоты приносит несомненные положительные результаты: создает экономию в весе активных материалов примерно на 45%, увеличивает к. п. д., уменьшает искажение кривой.

### Передача энергии

Для того чтобы установить, как может отозваться увеличение частоты на передаче электрической энергии, необходимо рассмотреть все основные факторы, характеризующие электрические свойства линий передач, и также выяснить влияние частоты на главнейшие явления в линиях передач. К числу основных линий передачи относятся: эффективное сопротивление  $r$ , индуктивное сопротивление, волновое сопротивление.

Эффективное сопротивление с возрастанием частоты вследствие скин-эффекта увеличивается, однако при применении стального или специального полого проводника это увеличение незначительно.

Индуктивное сопротивление  $x = a \omega L$ , где  $a$ —длина линии,  $\omega$ —угловая частота,  $L$ —индуктивность единицы длины, возрастает при  $f = 2f$  в два раза; вследствие изменения напряжения при колебаниях нагрузки получается при частоте в 100 пер/сек более резкое, нежели при частоте в 50 пер/сек.

Волновое сопротивление линии (если пренебречь влиянием активного сопротивления, утечки) представляется равным

$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ . Это сопротивление не зависит от частоты, поэтому естественная мощность линии передачи получается при 100 пер/сек одинаковой, что и при частоте в 50 пер/сек.

В передаче мощности, равной натуральной, сдвиг фаз между векторами напряжений в начале и конце линии составляет  $\theta = \frac{\omega a}{v}$ , где  $v$ —скорость распространения электромагнитной волны вдоль линии.

Синусный ток всей линии равен  $I_e = \omega C$ , а  $U = \frac{1}{\omega} \cdot I_n$ .

Индуктивное падение напряжения вдоль всей линии  $\Delta U_i = \frac{\omega a}{v} \cdot U$ . Эти формулы показывают, что при удвоении частоты  $I_e$  и  $\Delta U_i$  возрастают вдвое.

Если передаваемая мощность  $P$  не равняется так называемой натуральной  $P_n$ , то для компенсации влияния зарядных токов на линии необходимо искусственно изменить постоянные

линии. Это искусственное изменение постоянных достигается путем параллельного или последовательного включения конденсаторов и катушек индуктивности, причем мощность этих добавочных компенсирующих искусственных реактивных устройств, согласно выводам Рюденберга, составляет:

$$P_r = P_n \cdot \frac{\omega \cdot a}{v} \left[ \left( \frac{P}{P_n} \right)^2 - 1 \right],$$

где  $\omega$ —угловая частота,  $a$ —длина линии,  $v$ —скорость распространения электромагнитных волн вдоль линии. Положительное значение компенсирующей мощности соответствует емкостному характеру искусственно добавляемых постоянных, а отрицательное—индуктивному.

Формула Рюденберга показывает, что добавочная компенсирующая мощность с увеличением частоты вырастает; в частности при переходе с частоты в 50 пер/сек на 100 это увеличение получается вдвое. Но так как реактивные мощности добавочных компенсирующих устройств равны

$$P_r = I^2 X_{доб},$$

или

$$P_r = U^2 \omega \cdot C_{доб},$$

то

$$L_{доб} = -\frac{a}{v I^2} \left[ \left( \frac{P}{P_n} \right)^2 - 1 \right],$$

$$C_{доб} = \frac{a}{v U^2} \left[ \left( \frac{P}{P_n} \right)^2 - 1 \right].$$

Последние формулы показывают, что значения добавочной индуктивности и емкости для искусственной компенсации зарядных токов не зависят от частоты. Обычно размеры и стоимость реактивных катушек определяются током и индуктивностью, а размеры конденсаторов и стоимость последних—напряжением и емкостью, поэтому можно считать, что стоимость компенсирующих устройств для обоих случаев (при  $f = 100$  пер/сек и  $f = 50$  пер/сек) будет почти одинаковой. Здесь необходимо отметить, что потери в компенсирующих устройствах при частоте в 100 пер/сек должны быть несколько большими.

Особый интерес представляет нивелировка линии передачи, которая получается при одновременном применении параллельной и последовательной компенсаций, т. е. компенсаций индуктивности линии последовательно включенными конденсаторами, а емкости линии—посредством параллельного присоединения реактивных катушек. В этом случае

волновое сопротивление  $R_w = \sqrt{\frac{L}{C}}$  становится неопределенным, и линия разгружается от реактивных токов при любых значениях нагрузки. Подобная нивелированная линия требует

двойной мощности компенсирующих аппаратов, при этом общая установленная емкость всех конденсаторов и общая индуктивность реактивных катушек, а следовательно, стоимость их и размеры остаются постоянными, независимыми от частоты.

Компенсация линии передачи может осуществляться не только включением в отдельные пункты линии конденсаторов и реактивных катушек, но и посредством присоединения синхронных или асинхронных двигателей-компенсаторов, как это предложено Баумом. Мощность этих компенсирующих устройств, если разбить линию на одно и то же число участков, оказывается при частоте в 100 пер/сек той же величиной, что и при частоте в 50 пер/сек.

В случае применения для компенсации синхронных двигателей имеется возможность осуществлять более широкую регулировку реактивной мощности при  $f = 100$  пер/сек, нежели при  $f = 50$  пер/сек, так как при повышении частоты вследствие увеличения числа намагничивающих ампер-витковое возбуждение индуктивная мощность синхронных машин, как это было отмечено ранее, получается большей (при частоте в 50 пер/сек индуктивная мощность синхронных двигателей составляет всего лишь 0,5—0,6 от емкостной).

Устойчивость параллельной работы синхронных систем. Одной из наиболее серьезных проблем передачи электрической энергии большой мощности на большое расстояние является вопрос об устойчивости параллельной работы отдельных станций, связанных единой сетью.

В том случае, когда осуществляется обмен мощностями на определенном участке линии передачи, обладающей активным сопротивлением  $r_e$  и реактансом  $x$ , передаваемая мощность, как известно, может быть определена по формуле

$$P = \frac{U^2}{\omega L} \cdot \frac{\sin \theta}{1 + \left( \frac{r}{\omega L} \right)^2},$$

или, с достаточным приближением,

$$P = \frac{U^2}{\omega L} \sin \theta,$$

где  $\theta$ —угол фазового расхождения между векторами напряжения в начале и конце участка линии. Как следует из приведенной формулы, передаваемая мощность достигает наибольшего значения при  $\theta = 90^\circ$  и становится равной

$$P_{\max} = \frac{U^2}{\omega L} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{\omega L}\right)^2} \approx \frac{U^2}{\omega L}.$$

Последнее выражение показывает, что при применении двойной частоты  $P_{\max}$  уменьшается вдвое, однако, на практике по соображениям устойчивости приходится ограничиваться передачей гораздо меньших мощностей, чем это определяется предыдущей формулой, так при  $\theta = 90^\circ$  синхронизирующая мощность становится равной нулю. Из формулы видно, что при передаче одинаковой мощности токами двойной частоты синус угла получается вдвое больше, что приводит при прочих разных условиях к менее устойчивой параллельной работе синхронных установок. Однако при исследовании устойчивости работы синхронных машин необходимо учитывать не только индуктивность линии, но также и реактансы трансформаторов и самих синхронных машин. С точки зрения увеличения передаваемой мощности при заданной устойчивости необходимо иметь, по возможности, меньший общий реактанс. Так как синхронный реактанс синхронных машин на двойную частоту тока примерно в 1,5—1,7 раза меньше, чем в машинах нормальной частоты, то устойчивость параллельной работы при одной и той же передаваемой мощности в случае применения 100 пер/сек может быть не меньшей, чем при 50 пер/сек.

Потери и коэффициент полезного действия передачи. Джоулевы потери в линиях передачи при частоте тока в 100 пер/сек получаются несколько больше вследствие большего проявления скинэффекта; однако это увеличение потерь невелико.

Потери на корону с увеличением частоты возрастают. Эти потери в трехфазной линии, как известно, с достаточной точностью могут быть вычислены по эмпирической формуле, предложенной Пиком:

$$P_k = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} \cdot [U - U_k]^3 \cdot 10^{-5} \text{ kW/km},$$

где  $U$ —междуфазовое напряжение (kV),  $U_k$ —критическое междуфазовое напряжение (kV),  $\delta = \frac{3,92 b}{273 + t}$  — коэффициент, учитывающий давление  $b$  и температуру воздуха  $t$  (плотность воздуха),  $r$ —радиус провода (cm),  $D$ —расстояние между проводами (cm).

Таким образом, при  $f' = 2f = 100$  пер/сек потери на корону увеличиваются лишь в  $\frac{2f + 25}{f + 25} = \frac{100 + 25}{50 + 25} = 1\frac{1}{3}$  раза.

Однако посредством соответствующего подбора значений величин  $r$  и  $D$ , оказывающих влияние на критическое напряжение короны, можно легко добиться уменьшения потерь на корону до уровня, соответствующего потерям при частоте в 50 пер/сек. Кроме того, необходимо заметить, что потери на корону при современных устройствах высоковольтных линий передачи электроэнергии бывают небольшими.

Коэффициент полезного действия трехфазной линии, передающей мощность, равную натуральной, определяется по формуле

$$\eta = e^{-2\beta a} \approx 1 - 2\beta a,$$

где  $e = 2,71$  (основание натуральных логарифмов),  $a$ —длина линии (km),  $\beta$ —постоянная затухания, равная

$$\sqrt{\frac{1}{2} \left\{ -\omega^2 LC + r \cdot g + \sqrt{(r^2 + \omega^2 L^2)(g^2 + \omega^2 C^2)} \right\}};$$

здесь  $g$ —проводимость утечки.

Последняя формула показывает, что с увеличением частоты  $\beta$  несколько увеличивается, что должно повести к снижению к. п. д.

Однако, если принять во внимание, что при рациональном устройстве линии передачи  $g \approx 0$  и  $\frac{r}{\omega L} = 0$ , постоянная затухания получается равной  $\beta = \frac{1}{2} r \sqrt{LC}$ , т. е. почти неза-

висящей от частоты, насколько сама частота тока не оказывает существенного влияния на  $r$  (что имеет место при полном или многожильном проводе). Таким образом можно считать, что к. п. д. линии передачи при удвоении частоты (т. е. при  $f = 100$  пер/сек) хотя и падает, но это падение легко довести до весьма малых, не имеющих практического значения пределов.

Влияние линий передач на провода связи.

работе мешающее действие на линии связи, а во время могут вызывать опасные перенапряжения в самих проводах. Мешающее действие трехфазной линии, как известно, обуславливается тем, что практически можно осуществить совершенную транспозицию; hence самое тщательное выполнение транспозиции, все же действие фазного смещения векторов напряжения и ток линии получается несимметрично. В современных линиях последнее обстоятельство особенно заметно при чии высших гармоник.

Ранее было отмечено, что фазное смещение тока и напряжения возрастают с увеличением частоты; таким образом переход с 50 пер/сек на 100 усилило бы мешающее действие линии передачи на провода связи. Но при частоте 100 пер/сек в трансформаторах приходится допускать большие магнитные насыщения, вследствие чего искажение кривой напряжения получается гораздо меньшим; мешающее действие 100-периодной линии передачи вается от основной волны вдвое, а от высших гармоник может быть даже слабее, чем в современных 50-периодных устройствах.

Опасность влияния электростатической индукции от напряжения и возрастает при повышении частоты.

Опасное влияние электромагнитного характера имеет большее значение при однофазном коротком замыкании, влияние пропорционально току короткого замыкания, взаимной индуктивности и коэффициенту связи.

При применении частоты 100 пер/сек вследствие увеличения реактанса линии ударный ток короткого замыкания будет меньше, чем при 50 пер/сек. Увеличение же вдвое способствует повышению наведенных напряжений, увеличению коэффициента связи, но в то же время и к усилению экранирующего действия; последнее обстоятельство уменьшает взаимную индуктивность. В конечном итоге все эти взаимно противоречащие факторы приводят к торому постоянству результатов влияния независимой частоты.

## Аппаратура

Влияние частоты тока на коммутационную и токоограничивающую аппаратуру (выключатели, реакторы). При применении тока в 100 пер/сек ударные токи короткого замыкания будут меньше, чем при 50 пер/сек, вследствие этого аппарат подвергается меньшим электродинамическим и термическим воздействиям, и вся выключательная аппаратура может выбрана на меньшую разрывную мощность. Что касается влияния частоты на процесс выключения, то теоретически в низких частотах дуги должна прекращаться скорее, и в высокой частоте, лишь в случаях чисто омической нагрузки. В практике же во время коротких замыканий выключатель приходится разрывать ток, главным образом, в индуктивной цепи; в этом случае переход тока через нуль происходит в момент амплитудного напряжения в цепи, а потогасание дуги происходит немедленно. Тенденции в выключении направлены к тому, чтобы создать выключатель, посредством которого разрыв тока можно было произвести за один полупериод после разведения контактов. В подобном совершенном выключателе энергия дуги уменьшается с увеличением частоты. В большинстве практических случаев разрыв тока происходит за несколько полупериодов, и общая длительность процесса разрыва повышенных частотах может быть и меньше, чем при 50 пер/сек.

Обращаясь к реакторам, которые выключаются для ограничения токов и получения более эластичной связи между отдельными элементами цепи, приходится отметить, что одним и тем же проценте значение реактанса для 100-периодного тока должно иметь индуктивность в 2 раза больше; поэтому геометрические размеры, количество витков и стоимость 100-периодных реакторов получается примерно в 1,5 раза меньше. Вследствие уменьшения активного сопротивления в этих аппаратах и потери в них снижаются.

Измерительные и релейные трансформаторы тока и напряжения при применении частоты в 100 пер/сек получаются легче и дешевле.

## Преобразователи электрической энергии

Однофазные синхронные преобразователи переменного тока, частотой в 100 пер/сек в своих размерах, но коммутация в этих аппаратах значительно ухудшается. Но применение однофазных преобразователей все более и более ограничивается, и машины заменяются теперь грунтовыми выпрямителями.

Ионные и электронные выпрямители на 100 пер/сек работают более успешно, связанные с ними трансформаторы, делители напряжения и отсекающие дроссельные катушки получаются гораздо

### Потребители электрической энергии

Лампы накаливания горят при частоте в 100 пер/сек лучше, чем при 50 пер/сек, и срок службы их должен быть больше.

Газосветные лампы дают при частоте в 100 пер/сек более ровный и спокойный свет.

Дуговые лампы при повышении частоты также горят более спокойно.

Дуговые печи для электрометаллургии при более высокой частоте работают надежнее и спокойнее.

Электроварочные аппараты переменного тока при частоте в 100 пер/сек дают более устойчивую дугу; сам аппарат в виде специального трансформатора получается проще, и стоимость его ниже.

Переносные и ручные электроприборы и орудия (сверлилки, молотки, бормашинки, пилы, шлифовальные машины и т. д.) при применении 100 пер/сек получаются значительно легче, что делает обращение с ними более удобным, и оперативность от этого улучшается. В настоящее время эти приборы во многих случаях строятся специально на 100 или 150 пер/сек и питание их осуществляется от особых преобразователей.

Асинхронные бесколлекторные двигатели являются наиболее распространенными. Синхронная скорость вращения этих двигателей, как известно, зависит от частоты тока и числа полюсов ( $n = \frac{60f}{p}$ ). Выше были приведены шкалы синхронных скоростей  $n$  для случаев 100 и 50 пер/сек.

Из табл. 7 показывают, что при 100 пер/сек скорость вращения асинхронных двигателей имеет более широкие пределы. Верхний предел скорости для асинхронных двигателей, питающихся 50-периодным током, ограничивается лишь 3000 об/мин, тогда как при частоте в 100 пер/сек максимальная скорость доходит до 6000 об/мин. В некоторых специальных случаях электромагнитного привода применение высококачественных двигателей является экономически выгодным (шлифовальные машины, центробежные пилы, бурильные машины, центробежные насосы, веретена и пр.), так как здесь отпадает необходимость устройства промежуточных передач или изготовления двигателей особой конструкции (при 50 пер/сек). Из табл. 1 видно также, что в пределах от 3000 до 1000 об/мин асинхронные двигатели на 100 пер/сек имеют 6 ступеней (6000, 3000, 2000, 1500, 1200, 1000) скорости, тогда как при 50 пер/сек получаются лишь 3 ступени (3000, 1500, 1000). Это обстоятельство имеет важное практическое значение для электромоторного привода, так как оно позволяет подобрать двигатели на скорость, экономически выгодную для приводимых машин-орудий, станков и пр.

Частота тока оказывает влияние и на использование мощности асинхронного двигателя.

Исходя из основной расчетной формулы

$$\frac{D_1^2 l_1 \cdot n}{P_n} = \text{const},$$

можно увидеть, что в случае одинакового числа пар полюсов для  $f = 100$  пер/сек, так и  $f = 50$  пер/сек от увеличения скорости вращения вдвое мощность двигателя возрастает также вдвое при тех же электрических и магнитных нагрузках ( $B$ , и  $AS$ ). Если же двигатели одной и той же мощности на 100 и 50 пер/сек, имеющих одинаковую скорость вращения, то при частоте в 100 пер/сек двигатель должен иметь число пар полюсов в два раза более; в этом случае поток полюса должен быть уменьшен в 2 раза, а следовательно, и размеры сердечника якоря в радиальном направлении могут быть сокращены. Вследствие этого вес активного железа двигателя уменьшается.

Число витков в обмотке статора и ротора, при условии питания двигателя от одного и того же напряжения, остается неизменным от частоты.

Таким образом вес двигателя на 100 пер/сек должен быть меньше, чем при 50 пер/сек.

Коэффициент полезного действия двигателя на 100 пер/сек, вследствие увеличения потерь в железе, несколько снижается.

Весьма важными факторами, характеризующими свойства режима работы асинхронного двигателя, являются намагничивающий ток, коэффициент мощности, начальный пусковой и прокидывающий моменты. Для того чтобы установить влияние частоты на все эти факторы, ниже рассматриваются два случая, когда асинхронный двигатель работает при частоте 100 пер/сек с двойной и одинарной скоростями.

Случай двойной скорости ( $n' = 2n$ ;  $p' = p$ ). Сравнимые двигатели имеют одни и те же геометрические размеры ( $D$ ,  $l$ ) и магнито-электрические нагрузки ( $B$ ,  $AS$ ); при этих условиях намагничивающие ампер-витки одинаковы. Так как число витков статора 100-периодного двигателя должно быть в два раза меньше, чем у двигателя на 50 пер/сек, то следовательно, намагничивающий ток по своему значению полу-

чается в два раза больше. Но 100-периодный двигатель развивает двойную мощность, таким образом относительный ток возбуждения (выраженный в процентах от номинального) остается без изменения.

Реактанс рассеяния у асинхронного двигателя на 100 пер/сек вследствие уменьшения числа витков вдвое меньше в два раза:

$$x_{s2}' = K f_1' \cdot w_2'^2 \lambda = K \cdot 2 f_1 \cdot \left(\frac{w_2}{2}\right)^2 \lambda = \frac{x_{s1}}{2}.$$

На основании этих выводов следует, что коэффициенты мощности двигателей получаются одинаковыми.

Начальный пусковой момент двигателя, как известно, определяется по формуле:

$$M_a = \frac{p m_2}{2\pi} \cdot U_2^2 \frac{r^2}{f_1 [r_2^2 + (2\pi f_1 L_2)^2]}.$$

Если пуск в ход происходит при короткозамкнутом роторе, то  $\frac{r_2}{2\pi f_1 L_2} \approx 0$ , и тогда начальный пусковой момент получается равным

$$M_{a1} = \frac{p m_2}{2\pi} U_2^2 \frac{r_2}{f_1^3 (2\pi L_2)^2} = \text{const} \cdot \frac{r_2}{n_1 w_2^3}.$$

Так как при заданном сечении проводников ротора отношение  $\frac{r_2}{w_2^3} = \text{const}$ , то  $M_{a1} = \frac{\text{const}}{n_1}$ , т. е. обратно пропорциона-

льно скорости вращения. Следовательно, при  $n' = n$  начальный момент получается в два раза меньше, если сопротивление обмотки ротора и проводимость его потоков рассеяния 100-периодного двигателя меньше таковых же у обмотки ротора 50-периодного двигателя. Для получения того же крутящего момента очевидно необходимо уменьшить сечение проводников обмотки ротора 100-периодного двигателя или добиться уменьшения реактанса рассеяния вдвое. При пуске в ход с добавочным сопротивлением в цепи ротора начальный крутящий момент, если для этого случая принять  $\frac{w_1 L_r}{r_2} \approx 0$ , приблизительно равен

$$M_a' = \frac{p m_2}{2\pi} \cdot U_2^2 \frac{1}{r_2 f_1} = \text{const} \cdot \frac{f_1}{r_2}.$$

Начальный пусковой момент прямо пропорционален частоте. Таким образом для получения одного и того же пускового крутящего момента необходимо иметь при 100 пер/сек сопротивление в цепи ротора примерно в два раза больше, чем при 50 пер/сек.

Опрокидывающий момент, как это видно из приводимой ниже формулы, не зависит от частоты

$$M_{\max} = \frac{p m_2 \cdot k_2 \cdot w_2^2 \Phi_1^2 \cdot 10^{-6}}{4 L_2} = \frac{p \cdot m_2 \cdot k_2 \Phi_2^2 10^{-6}}{4 \lambda_2} = \text{const}.$$

Если же данная модель асинхронного двигателя используется на ту же скорость, то при питании двигателя током частотой в 100 пер/сек необходимо число полюсов увеличить вдвое. Поток полюсов уменьшается вдвое ( $\Phi' = \frac{\Phi}{2}$ ), число витков в обмотках статора и ротора остается без изменения ( $w' = w$ ).

Намагничивающие ампер-витки возрастают при 100 пер/сек в 2 раза, вследствие этого увеличивается и намагничивающий ток вдвое.

Реактанс рассеяния паза и головок зубцов увеличивается вдвое, реактанс же рассеяния головок обмотки, наоборот, уменьшается вдвое

$$x \equiv \frac{1}{p} \cdot l_s \cdot \lambda_s \equiv \frac{f_1}{p} \cdot \frac{s \pi \cdot D_1}{2 p} \cdot \lambda_s = \text{const} \cdot \frac{f}{p^2};$$

таким образом при  $f_1' = 2 f_1$  и  $p' = 2 p$ ;

$$x_s' = 0,5 x_s.$$

Обычно соотношение индуктивности от потоков рассеяния части обмотки, заключенной в железо, и головок обмотки составляет 1:1,15; при удвоении числа полюсов это соотношение видоизменяется в 2:0,57; таким образом, при двойной частоте получается увеличение общего реактанса в  $\frac{2+0,57}{1+1,15} = 1,2$ , т. е. на 20%.

Начальный пусковой момент при короткозамкнутом роторе составляет

$$M_{a1}' = \text{const} \cdot \frac{p' \cdot \Phi}{f_1' \lambda_2'^2} = \text{const} \cdot \frac{2 p \left(\frac{\Phi}{2}\right)^2}{2 f_1 \cdot \lambda_2^2 \left[ \frac{1 + \frac{1,15}{4}}{1 + 1,15} \right]^2} = 0,69 M_{a1},$$

т. е. примерно на 30% меньше.

Начальный пусковой момент при введении в цепь ротора добавочного сопротивления

$$M_{a'} = \text{const} \cdot p' \frac{\Phi_2^2 f_1^2}{r_2} = \text{const} M_{a1}$$

т. е. одинаковый, что и при номинальной частоте.

Опрокидывающий момент получается равным:

$$M_{\max}' = \text{const} \cdot p' \frac{\Phi_2^2}{\lambda_2} = \text{const} \frac{2p \left(\frac{\Phi_1}{2}\right)^2}{\lambda_2 \cdot 0,604} = 0,83 M_{\max}$$

Последние выводы показывают, что при удвоении частоты механические свойства двигателя несколько ухудшаются (уменьшаются пусковой и опрокидывающий моменты), но повышение механических качеств асинхронного двигателя на удвоенную частоту не представляет особых конструктивных затруднений; увеличение диаметра и сокращение длины якоря, уменьшение индуктивности от рассеяния потоков паза и головок зубцов путем выполнения соответствующей формы паза дают средства для увеличения крутящих моментов.

Вес двигателя пропорционален произведению квадрата наружного диаметра на длину якоря, т. е.  $D_2^2 l$ . Ранее было указано, что

$$D_2^2 = D_1^2 \left(1 + \frac{0,9}{p}\right)^2$$

$$\text{и } D_2^2 l = D_1^2 \cdot l \left[1 + \frac{0,9}{p}\right]^2 = \text{const} \frac{P_2}{n} \left[1 + \frac{0,9}{p}\right]^2,$$

таким образом общий вес с увеличением числа полюсов в случае удвоения частоты уменьшается. Вес обмотки также уменьшается, так как длина головок при увеличении числа полюсов сокращается вдвое.

Потери и коэффициент полезного действия. Если магнитная индукция в железе статора остается той, что и при 50 пер/сек, то при удвоении частоты потеря в сердечнике увеличивается лишь в 1,5 раза, потери же в зубцах примерно в 3—3,3 раза; джоулевые потери в обмотках статора и обмотке ротора (если последняя выполнена не в виде беличьего колеса) уменьшаются. В общем же потери возрастают, и к. п. д. снижается. Но путем применения более высоколегированной стали, вместо обычной динамоной, и частичного снижения магнитной индукции можно уменьшить потери в железе и поднять к. п. д.

Ток короткого замыкания асинхронного двигателя, рассчитанного на двойную частоту, уменьшается примерно в 1,5 раза по сравнению с таковым при 50 пер/сек. Вследствие этого пуск в ход асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором происходит меньшим толчком тока, что позволяет избежать применения переключателя на треугольник.

За последние годы появился целый ряд новых конструкций асинхронных короткозамкнутых двигателей, обладающих большими начальными пусковыми моментами при ограниченных пусковых токах. В основу устройства этих двигателей положен принцип экранирования и вытеснения тока (двигатели Бушера, двигатели с узкими и двойными пазами в роторе, двигатели с массивными роторами по системе Шенфера и др.). С увеличением частоты тока экранирующее действие и поверхностный эффект усиливаются, вследствие чего при удвоении частоты двигателя вышеуказанной конструкции будут работать значительно лучше, и вес этих двигателей будет меньше, чем при нормальной частоте.

Компенсирующие устройства. Для улучшения коэффициента мощности электрических установок с асинхронными двигателями применяются различные компенсирующие устройства в виде синхронных конденсаторов, специальных конденсаторов. В виду того что при удвоении числа периодов намагничивающие ампер-витки увеличиваются почти вдвое (при условии, что  $n = \text{const}$ ), то реактивная компенсирующая мощность также возрастает вдвое. Поэтому компенсация посредством синхронных конденсаторов требует двойной установленной мощности. При применении же статических конденсаторов установленная емкость таковых остается независимой от частоты.

На основании вышеприведенных соображений можно сделать следующие общие выводы.

#### Общие выводы

1. При применении 100 пер/сек диапазон скоростей вращения и число ступеней скоростей увеличиваются, что позволяет во многих случаях осуществлять непосредственный моторный привод при наиболее выгодных в экономическом отношении скоростях.

2. При 100 пер/сек имеется возможность получить высокооборотные двигатели (на 6 000 об/мин), каковые находят большое распространение для привода перетягивальных машин, центрифуг, деревообделочных машин и пр.

3. При сохранении той же скорости вращения двигателя на 100 пер/сек получается легче, чем при 50 пер/сек.

4. 100-периодный двигатель требует двойных намагничивающих ампер-витков, и реактанс рассеяния получается больше вследствие чего коэффициент мощности ( $\cos \phi$ ) ухудшается.

5. Потери в железе 100-периодного двигателя больше, чем у асинхронного двигателя на 50 пер/сек.

6. Опрокидывающий момент, начальный пусковой момент при короткозамкнутом роторе у 100-периодного двигателя меньше.

7. Путем применения высоколегированной стали меньшей толщины, посредством уменьшения проводимости потоков рассеяния имеется возможность сконструировать асинхронный двигатель на 100 пер/сек, аналогичный к. п. д. и механическим свойствам.

8. Асинхронные двигатели, устроенные по принципу вытеснения и вытеснения тока (системы Бушера, Рюдера, Шенфера и др.), должны обладать лучшими пусковыми свойствами.

9. Установленная емкость компенсирующих статических конденсаторов получается той же, что и при 50 пер/сек.

10. При удвоении частоты пуск в ход короткозамкнутого двигателя происходит при меньшем толчке тока, что дает возможность непосредственного приключения двигателя к сети без применения переключателя со звезды на треугольник или каких-либо токоограничивающих или понижающих приспособлений.

#### Коллекторные двигатели

Эти двигатели в настоящее время не являются широко распространенными; область применения этих двигателей ограничивается теми установками, где требуется широкое регулирование скорости вращения. Наибольшее применение коллекторные двигатели получили в качестве тяговых.

Коммутация в коллекторных двигателях оказывает весьма существенное влияние на рабочий процесс. При переменном токе условия коммутации ухудшаются вследствие того, что в короткозамкнутой секции действует не только реактивное напряжение  $e_r$ , но и трансформаторная ЭДС  $e_t$ , и результирующее напряжение в короткозамкнутой секции коллекторного двигателя определяется, как геометрическая сумма действующих напряжений, т. е.

$$e_k = \sqrt{e_r^2 + e_t^2}$$

Под влиянием последней в короткозамкнутой секции возникает добавочный ток, ухудшающий коммутацию.

Как известно трансформаторная ЭДС в короткозамкнутой секции определяется по формуле

$$e_t = 4,44 \cdot f \cdot \omega_k \cdot \Phi_b \cdot 10^{-8} \text{ В},$$

где  $\omega_k$ —число витков короткозамкнутой секции,  $\Phi_b$ —магнитный поток возбуждения.

При удвоении числа периодов, если увеличить число полюсов вдвое, произведение потока на частоту остается неизменной постоянной, следовательно, трансформаторная ЭДС при 100 пер/сек может быть той же, что и при 50 пер/сек.

Реактивное напряжение  $e_r$  зависит от мгновенного значения переменного тока, который подвергается коммутации и от проводимости потоков рассеяния. Проводимость потоков рассеяния короткозамкнутой секции уменьшается при удвоении числа полюсов, вследствие сокращения длины головок обмотки. Поэтому общее напряжение в короткозамкнутой секции при удвоении числа полюсов с удвоением числа периодов несколько уменьшается.

Напряжение на коллекторе равняется:

$$E_r = \frac{\Delta e_r v_k}{\pi \cdot f \cdot b}$$

где  $\Delta e_r$ —среднее напряжение между крайними гранями щетки,  $b$ —ширина щетки,  $v_k$ —окружная скорость коллектора.

Эта формула показывает, что с увеличением частоты напряжения  $E_r$  уменьшается; однако уменьшение  $E_r$  вызывает увеличение тока в щетках и, следовательно, и потери энергии в контакте. Кроме того, больший ток влечет за собой увеличение выходящей и регулирующей аппаратуры и потерь в других частях. Однако последние недостатки могут быть значительно уменьшены, если регулирование напряжения осуществляется на стороне высокого напряжения.

Мощность коллекторного однофазного двигателя выражается так:

$$P_1 = \frac{2 p \cdot \Phi_e}{\sqrt{2}} (vAS) \cdot 10^{-9} \text{ kW},$$

где  $v$ —линейная скорость ротора.

При заданных диаметре и длине ротора величина

$$\frac{2 p \Phi_e}{\sqrt{2}} = 2 p \frac{\pi \cdot D_a \cdot \beta x}{2 p} = \text{const}$$

зависит постоянной, мощность двигателя с увеличением частоты, при условии соответствующего увеличения числа полюсов, остается без изменения.

Формула, служащая для выражения мощности, может быть преобразована в следующий вид:

$$P_1 = 2 p \cdot v \cdot AS \cdot \frac{\text{const}}{f} = e_i \cdot \frac{f_r}{f} \cdot ASD.$$

где  $f_2 = \frac{P_n}{60}$  так называемая частота вращения.

Эта формула показывает также, что в случае увеличения числа полюсов при удвоении частоты отношение  $\frac{f_r}{f}$  остается постоянным. Таким образом видно, что при заданных размерах ротора двигатель при удвоенной частоте может развивать мощность ту же, что и при нормальном числе полюсов.

В общем опыт показывает, что с увеличением частоты коммутация ухудшается. Поэтому для питания тяговых двигателей применяется пока ток исключительно низкой частоты. Но настоящий момент стоит на очереди разрешение проблемы применения 50-периодного тока для тяговых коллекторных двигателей. Так как на электровозах обычно устанавливается трансформатор для понижения троллейного напряжения, то применение тока в 100 пер/сек вызовет значительное сокращение веса понизительного трансформатора.

Вес самого же двигателя, вследствие увеличения числа полюсов при удвоении частоты также уменьшается в отношении

$$\left( \frac{1 + \frac{0,9}{2p}}{1 + \frac{0,9}{p}} \right)^2, \text{ расход меди на обмотки также сокращается.}$$

Все эти обстоятельства являются положительными факторами.

За последнее время при постановке новых типов электровозов наметились тенденции применения многомоторного привода; эти типы электровозов характеризуются относительно большим числом быстроходных двигателей, из которых каждый работает на соответствующую ось. При применении же быстроходных двигателей уменьшение веса двигателя при удвоении частоты происходит значительнее, чем в тихоходных многополюсных двигателях. Этот факт также говорит в пользу применения удвоенной частоты.

Потери в железе от удвоения частоты возрастают, а потери в меди, вследствие уменьшения длины головок обмотки несколько уменьшаются.

Принимая во внимание, что с коллекторным двигателем связан трансформатор, который при удвоенной частоте обладает меньшими потерями, можно считать, что общий к. п. д. всей установки остается при удвоенной частоте почти тем же, что и при нормальной.

## Общие выводы

На основании вышеприведенных соображений можно сделать следующие выводы.

1. На современном этапе развития электротехники 50-периодный переменный ток не является экономически выгодным для электрификации, поэтому необходимо отказаться от дальнейшего применения его и перейти на использование переменных токов более высокой частоты (100 и 150 пер/сек).

2. Переход на повышенную частоту в 100 пер/сек не представляет особых технических затруднений.

3. Для применения переменного тока повышенной частоты при дальнейшей электрификации СССР имеются весьма благоприятные условия; установленная в настоящее время в СССР мощность электрических станций и прочих устройств представляет собою небольшую долю по сравнению с тем, что предполагается к установке в дальнейшем и запроектировано генпланом. Поэтому существующее электрооборудование в СССР, работающее на токе нормальной частоты, не может тормозить введения для дальнейшей электрификации другой частоты.

4. При применении переменного тока повышенной частоты получается, помимо облегчения всех электрических машин, трансформаторов, аппаратов, еще целый ряд преимуществ перед установками нормальной частоты, а именно: повышение устойчивости, уменьшение токов короткого замыкания, расширение диапазона скорости вращения, повышение надежности механической прочности, уменьшение изменений напряжений на зажимах машины, уменьшение искажения кривой тока и напряжения и др.

5. Повышение частоты тока вызывает увеличение магнитных, электрических и диэлектрических потерь; однако посредством подбора материалов более высокого качества можно довести эти потери до уровня, соответствующего частоте в 50 пер/сек.

В результате перехода с 50 на 100 пер/сек сберегаются тысячи тонн остродефицитного материала—меди и специальных сортов стали.

Вследствие значительного уменьшения веса и размеров электрических машин, трансформаторов и аппаратов, облегчается транспорт, монтаж и сокращается в объеме кубатура зданий, в которых должны помещаться предметы электрооборудования, что ведет также к дальнейшей экономии.

Переход с 50-периодного тока на 100-периодный будет не затруднять, а наоборот облегчать разрешение целого ряда стоящих проблем, а именно, передачи энергии постоянным током, построения трехфазных мощных трансформаторов или применения каскадных сверхвысоковольтных трансформаторных установок. Никаких технических особенностей не представляет собою и выполнение связи между существующими электрическими системами на 50 пер/сек с устройствами, которые будут выполнены на 100 пер/сек. Посредством установки соответствующих преобразователей частоты (на мощность обмена) эта связь может быть легко достигнута.

Необходимо всесторонне и детально обсудить этот сложный и большой вопрос и, в случае признания полной целесообразности введения для дальнейшей электрификации СССР переменного тока повышенной частоты, наметить конкретные мероприятия по его реализации.

## НОВОЕ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОСВАРКИ

### Выбор рода тока для электродуговой сварки<sup>1)</sup>

Инж. Ф. И. Кислюк  
ВЭИ

В развитии той или другой отрасли хозяйства, пользующейся электроэнергией, немаловажную роль играет рациональный выбор рода тока, отвечающий всем технико-экономическим требованиям в данной области. До последнего времени еще ведутся дискуссии по вопросу выбора рода тока для электрификации железных дорог, питания металлургических заводов, а также для электродуговой сварки.

Электродуговая сварка была изобретена петербургским инженером Славяновым в 1891 г. и осуществлялась автором на постоянном токе. В то время это изобретение не получило широкого применения, главным образом, из-за отсутствия специальных сварочных машин. В дальнейшем изобретательская мысль была направлена на конструирование специальных сварочных генераторов. В начале XX в. уже было несколько типов сварочных машин (Кремер в 1907 г., машина с поперечным полем Розенберга и др.), которые дали большой толчок в деле внедрения электрической дуговой сварки не только в ремонтном деле, но и как самый эффективный и передовой из существующих методов соединения металлов. Главные вкратце пути развития сварки на постоянном токе

Сварка переменным током стала развиваться лишь с 1920 г., но по сравнению с постоянным током она еще мало исследована, и поэтому применение переменного тока в промышленности, естественно, встречало большие опасения.

Каковы же преимущества переменного тока?

Преимущества электросварочной аппаратуры переменного тока перед агрегатами постоянного тока делятся на неоспоримые и спорные

Основные аргументы в пользу переменного тока, очевидно для всех и никем не отрицаемые, являются следующие:

а) При одинаковой производительности активный вес сварочного трансформатора переменного тока в 3—4 раза меньше активного веса агрегата постоянного тока;

б) портативность в эксплуатации;

в) сварочный трансформатор не требует за собой почти никакого ухода и текущего ремонта, в то время как агрегат постоянного тока требует частой чистки коллектора, периодической обточки его, смазки подшипников, смены ш-



г) лучшее использование рабочей площади цеха; габариты сварочного трансформатора примерно в два раза меньше, чем у агрегатов постоянного тока;

д) сварочный трансформатор может быть установлен на любой неиспользованной площади цеха и не требует ограждений, необходимых при вращающихся агрегатах постоянного тока;

е) при переменном токе имеется возможность получить многопостовую сварку от одного трансформатора (рис. 1) со значительно меньшими потерями энергии в цепи, которые имеют место при многопостовой сварке на постоянном токе, где две трети электрической энергии тратится в балластных реостатах;

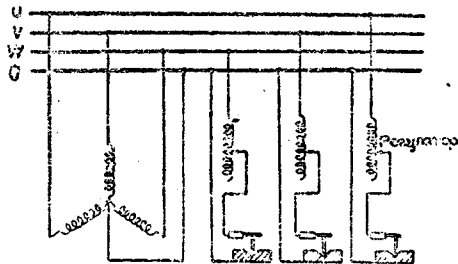


Рис. 1. Схема многопостовой сварки на переменном токе

ж) себестоимость (заводская) сварочного трансформатора в 3—4 раза меньше стоимости сварочного агрегата;

з) к. п. д. сварочного трансформатора примерно в 2 раза выше, чем у агрегата постоянного тока, и, естественно, что потребление энергии также в два раза меньше при равной производительности.

К спорным моментам относятся, главным образом, качество сварочного шва и низкий  $\cos \phi$  сварочного трансформатора, о которых ниже будет идти речь.

Различные авторы в периодической иностранной литературе также указывали на целесообразность применения электросварочной аппаратуры переменного тока (Wörtmann, Michel, Gross и др.), однако в капиталистических условиях выбор рода тока для электродуговой сварки диктуется исключительно теми фирмами, которые производят электросварочную аппаратуру.

В качестве иллюстрации приводим выдержку из статьи инж. Michel (Schmelz schweißung, 1928, № 5), который пишет следующее: „Совершенно очевидно и для всех почти ясно, что тот и другой род тока дают равноценные результаты сварки при применении электродов с хорошей обмазкой. Несмотря на это, некоторые фирмы публикуют (или платят за публикацию) статьи, предназначенные доказать преимущества постоянного тока. Авторы подобных статей,—пишет он дальше,—всегда оказываются фабрикантами электросварочных машин, и электросварка интересует их постольку, поскольку она ведет к сбыту их собственной продукции“.

Таким образом, несмотря на очевидные преимущества переменного тока, преобладающее положение на зарубежных заводах занимает все же сварка постоянным током. Переход к производству аппаратов переменного тока потребовал бы нового оборудования, смены инструмента и освоения новых процессов производства. Эти обстоятельства вызвали бы моральный износ имеющегося оборудования, что противоречит интересам монополистического капитализма.

Гигантское развитие сварки в нашем Союзе и внедрение ее в основной технологический процесс соединения металлов (замена клепочных конструкций и литья сварными) предъявляют большие требования к выпуску сварочной аппаратуры, который неразрывно связан с проблемой выбора рода тока для электродуговой сварки. Например, потребность промышленности в электросварочной аппаратуре в 1932 г. выразилась в 17 000 постов, а заводом „Электрик“ выпущено в 1932 г. только 6 000 сварочных постов. Производство же сварочных трансформаторов на заводе „Электрик“ может быть развито примерно до 1 500 в месяц. Таким образом в условиях народного хозяйства СССР, кроме эксплуатационных преимуществ, сварка переменным током еще разрешает трудности с аппаратурой. Существующие различные мнения о качествах сварки переменным током побудило поставить в 1932 г. исследование сварки на постоянном и переменном токах во Всесоюзном электротехническом институте (ВЭИ) в кооперации с НКПС для всестороннего изучения проблемы рода тока для дуговой сварки.

#### Порядок исследования

Необходимо было поставить такое количество опытов, по которым можно было с полной уверенностью судить о качествах сварного шва для различных родов тока.

Из большого количества типов сварочных процессов опытным путем было установлено, что для исследования сварки в стык опыты производились на двух сечениях стали—12 мм и 8 мм, а сварка извлеклась при двух положениях шва в пространстве—нижнем и вертикальной. Сравнительные исследования извлеклись на пяти системах тока, а именно:

1) постоянный ток,  $E_0 = 60-65$  В (машина СМГ-1);

2) переменный ток,  $E_0 = 65$  В,  $f = 50$  пер/сек (трансформатор СТ-2);

3) переменный ток с применением осциллятора  $E_0 = 65$  В,  $f = 50$  пер/сек (трансформатор СТ-2);

4) переменный ток с применением осциллятора  $E_0 = 65$  В,  $f = 50$  пер/сек;

5) переменный ток повышенной частоты (200—400 пер/сек от индуктивной машины).

Сварка исследовалась при силах тока: 130, 150, 170 А, и переменного тока эти ступени были взяты соответственно с учетом коэффициента искажений кривых напряжения и силы тока в вольтовой дуге при сварке).

Сварка производилась электродами из белорецкой проволоки № 1 от одной бухты, при этом часть проволоки была покрыта специальной обмазкой № 3 ВЭО. Химический анализ электродного металла был следующий: С—0,005; Si—0,0048; S—0,005; P—0,017.

Из каждой сварной пластины ( $300 \times 300$  мм) вырезаются образцы как для механических испытаний (временное сопротивление разрыву, угол загиба и твердость), так и для исследований микро- и макроструктуры. Таким образом количество образцов получилось около 600 шт. Результаты исследования качества шва по механическим испытаниям сравнивались затем с данными, полученными при просвечивании стержней рентгеновскими лучами, и лишь при совпадении данных данных можно было делать вывод о том или ином роде тока.

#### Результаты механических испытаний<sup>2)</sup>

До последнего времени механическое испытание сварного шва является самым распространенным, наиболее характерным и общепринятым методом для определения качества. Для наглядности были построены из полученных данных кривые „рассеяния“ результатов механической прочности швов по отношению к общему количеству разрывов швов для каждого рода тока, в зависимости от силы в дуге.

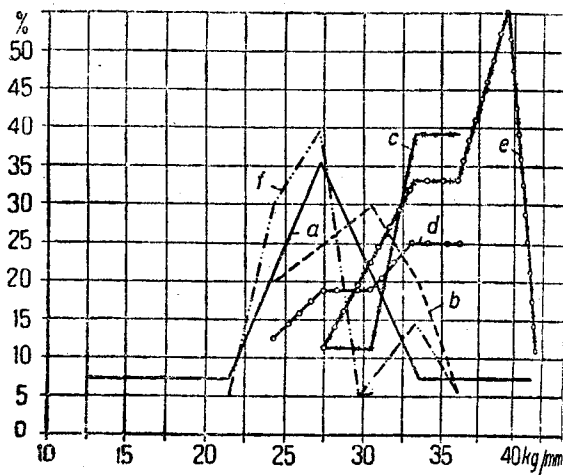


Рис. 2. Кривые „рассеяния“ результатов испытания на временное сопротивление образцов, сваренных нижним швом: а—постоянный ток, голые электроды; б—постоянный ток, покрытые электроды; в—переменный ток, голые электроды; г—переменный ток, схема с осциллятором, покрытые электроды; д—переменный ток, схема с осциллятором, голые электроды; е—переменный ток различной частоты

Сварка постоянным током голыми электродами. Как показывает кривая рассеяния или частоты (рис. 3), 35% всех образцов имеют прочность 25,5 кг/мм². Большого количества образцов, дающих низкое значение временного сопротивления, результаты характерны также и для швов с наибольшим рассеянием в пределах от 12 до 42 кг/мм².

Сварка постоянным током покрытыми электродами. Результаты, полученные при сварке постоянным током при покрытых электродах, являются повышенными в сравнении с прочностью образцов, сваренных голыми электродами на этом же роде тока. Здесь мы наблюдаем, что рассеяние результатов как при нижней сварке, так и вертикальной меньше, чем у предыдущей кривой, что одно из

<sup>1)</sup> Произведенное ранее исследование показывает, что для сил тока 150—250 А поправочный коэффициент получается равным 1,05—1,2 (здесь этот же №, статья автора „Осциллятор улучшает сварку на переменном токе“).

<sup>2)</sup> Механические исследования были произведены НКПС инж. И. Ф. М.



имеет на лучшее качество шва. Так, мы видим, что при сварке 30% образцов разорвалось при напряжении  $30 \text{ kg/mm}^2$ , а при вертикальной 30% при  $32-35 \text{ kg/mm}^2$ . Таким образом полученная прочность является удовлетворительной согласно норм Наркомтруда. Сопоставляя полученные данные для нижней и вертикальной сварки, замечаем, что нижняя дает максимальный процент образцов при большей прочности, что указывает на лучшее качество шва, имеющее место при вертикальном положении шва по сравнению с нижней. Следует заметить, что непровар и шлаки преобладают при низких силах тока, а раковины встречаются как при низких, так и высоких силах тока.

Сварка переменным током покрытыми электродами. Кривая, изображающая результаты испытаний образцов, сваренных покрытыми электродами на переменном токе, на том же рис. 2, имеет еще меньше рассеяния, чем сварка постоянным током покрытыми электродами. Кроме того, кривая определенно сдвинута в сторону увеличения прочности образцов. Например, образцы в количестве 38,9% разорвались при временном сопротивлении  $32-35 \text{ kg/mm}^2$ , причем процент сохраняется и для образцов, разорвавшихся при  $35-38 \text{ kg/mm}^2$ . Таковы результаты, полученные при нижней сварке. Что касается прочности вертикальной сварки, то оказывается, что 38% всех образцов дают временное сопротивление  $35-38 \text{ kg/mm}^2$ . Это указывает, что механические свойства шва на разрыв при переменном токе получаются отнюдь не хуже, чем при сварке постоянным током, а имеют даже повышенные данные.

Сварка переменным током с осциллятором голыми электродами. Результаты, получаемые при сварке переменным током с осциллятором голыми электродами, имеют наиболее высокие механические качества как при нижней, так и вертикальной сварке. Большинство образцов характеризуется хорошим проваром, отсутствием раковин и шлаковых включений, а также мелкозернистостью структуры.

Физическая сторона процессов, происходящих при сварке с осциллятором, еще недостаточно изучена. Надо полагать, что повышение результатов получается за счет интенсивного перемешивания и, следовательно, лучшего соединения расплавленного металла между собой наподобие того, что имеет место в индукционных высокочастотных печах. Применение голых электродов уменьшает количество шлаков, попадающих во швы при сварке обмазанными электродами. Данные показывают, что 55,5% образцов при нижней сварке разорвалось при временном сопротивлении  $38,41 \text{ kg/mm}^2$  и 38% разорвалось при вертикальной сварке при  $35-38 \text{ kg/mm}^2$ . Почти все образцы имеют малое рассеяние результатов и крутые кривые. Такое постоянство временного сопротивления при сварке голой проволокой, но с осциллятором способствует получению шва одинаковой крепости, почти неизменной при других родах тока.

Сварка переменным током осциллятором голыми электродами. Сравнивая кривые, полученные для сварки переменным током с осциллятором и голыми электродами, с результатами сварки покрытыми электродами, замечаем некоторое снижение процентного количества образцов при сварке покрытыми электродами. Кривые при нижней сварке, так и вертикальной не так круты. Все же наблюдается, что они сдвинуты в сторону увеличения прочности. При нижней сварке максимум образцов в количестве 25% разорвался при временном сопротивлении  $35 \text{ kg/mm}^2$ , а при вертикальной 26,7% при  $35-38 \text{ kg/mm}^2$ . В кривых видно также, что как для нижней сварки, так и вертикальной соответствующий процент остается без изменения и для напряжения  $35-38 \text{ kg/mm}^2$ . Большинство образцов имеет мелкозернистую структуру и значительное уменьшение количества шлаковых включений.

Сварка переменным током напряжением  $E_0 = 36 \text{ В}$  с применением осциллятора<sup>3)</sup>. Пониженное напряжение для целей сварки заманчиво в том отношении, что оно, во-первых, позволяет уменьшить размеры катушки, которая включается последовательно с дугой для ограничения тока короткого замыкания. Во-вторых, применение пониженного напряжения, естественно, позволяет использовать сварочного трансформатора в отношении  $E_0 : E_{\text{н}}$  при пониженном напряжении, но с применением осциллятора производилась покрытыми электродами диаметром 4 мм при силах тока 190, 210 и 240 А; имея в виду, что при низких силах тока в дуге, порядка  $120-160 \text{ А}$ , сварка протекает как в обыкновенных условиях. Как показали полученные результаты, сварка получилась весьма удовлетворительной и отвечающей требованиям, предъявляемым к электродуговой сварке.

Сварка на индуктивной машине при различных частотах. Полученные результаты в этом слу-

чае являются неудовлетворительными как для нижней, так и вертикальной сварки. Большинство образцов в количестве 40% при нижней сварке имеет крепость  $26-29 \text{ kg/mm}^2$ , а при вертикальной сварке (53,2%) — крепость  $29-32 \text{ kg/mm}^2$ . Первые результаты являются безусловно неудовлетворительными, вторые — дают только среднее значение прочности. Почти все образцы имеют плохой провар, шлаковые включения и крупнозернистую структуру. Пониженные результаты могут быть объяснены недостаточной силой тока и, следовательно, недостаточной мощностью в дуге, связанной с большим искажением кривых тока и напряжения.

На табл. 1 представлены средние данные временного сопротивления образцов в процентах в зависимости от силы и рода тока. Эти данные получены при испытании образцов, сваренных в нижнем и вертикальном положении при толщине стали 12 мм. Условно прочность сварки на постоянном токе покрытыми электродами принято за 100%. Данные механических исследований приводят к следующим выводам:

1. Сварка на переменном токе при всех силах и родах тока является не ниже, чем на постоянном токе покрытыми электродами и даже в большинстве случаев имеет несколько повышенные результаты.

2. Лучшие результаты дает сварка на переменном токе с осциллятором голыми электродами.

3. В большинстве случаев прочность сварки при вертикальном расположении шва больше на 10—20% по сравнению с прочностью сварки при нижнем расположении шва.

4. Сварка голыми электродами на постоянном токе дает низкие результаты.

Таблица 1

Процентное соотношение значений временного сопротивления при различных силах и родах тока

Диаметр электродов 4 мм. Нижняя сварка. Толщина свариваемых листов 12 мм.

Род тока	Сила тока					
	130—136 А		150—158 А		170—178 А	
	Временное сопротивление $\text{kg/mm}^2$	Процентное соотношение временного сопротивления	Временное сопротивление $\text{kg/mm}^2$	Процентное соотношение временного сопротивления	Временное сопротивление $\text{kg/mm}^2$	Процентное соотношение временного сопротивления
Постоянный ток, покрытые электроды . . . . .	26,2	100	28,1	100	28,8	100
Переменный ток, покрытые электроды . . . . .	29,7	113,3	33,8	120	31,3	108,7
Переменный ток с осциллятором, голые электроды	33,6	128,3	34,6	123	34,4	119,5
Переменный ток с осциллятором, покрытые электроды . . . . .	26,2	100	32,2	114,8	31,6	109,7

Механические свойства наплавленного металла. Исследование самого наплавленного металла производилось на специально изготовленных образцах из наплавленного для этого электродного металла. Образцы при этом изготовлялись двояким образом: часть вытачивалась вдоль шва, а другая часть поперек шва, как указано на рис. 3. При всех видах тока, за исключением сварки повышенной частотой, полученные результаты временного сопротивления и удлинения можно считать равноценными. Сварка голыми электродами как на постоянном, так и на переменном токе с осциллятором дает вообще несколько повышенные результаты. Поперечные образцы имеют меньшую прочность на 16—20% по сравнению с продольными и меньшее удлинение.

Испытание при помощи рентгеновских лучей<sup>4)</sup>. Из существующих на сегодня методов испытания сварных соединений без разрушений рентгеновский метод привлекает наибольшее внимание сварщиков. Интерес к рентгеновскому методу испытания объясняется тем, что он является единственным, дающим наиболее точную и в некоторых случаях незаменимую оценку качества сварного соединения без разрушения последнего. Рентгеновское испытание, несмотря на громоздкость аппаратуры и дороговизну, начинает применяться не только в лабораториях, но и в цеху для контроля ответственных сварных изделий. Еще большее значение рент-

<sup>3)</sup> Подробное исследование этого вопроса см. также ст. "Осцилляторы для сварки на переменном токе" (статья автора).

геновский метод приобретает в деле исследования сварных швов совместно с другими видами исследований (например, металлографическими, механическими и др.), где имеется возможность всесторонне изучить различного рода факторы, влияющие на качества соединения.

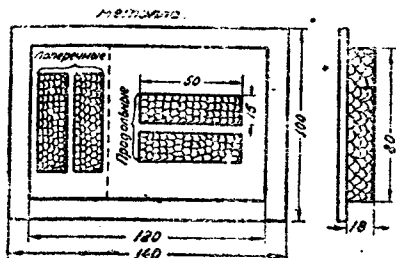


Рис. 3. Вырезка образцов из наплавленного металла

При помощи рентгеновского снимка можно обнаружить такие недостатки сварного соединения, как газовые поры различной величины, до микроскопической включительно, при небольших толщинах шва, шлаковые включения, окислы, трещины вследствие усадки, непровар, изменения в шве от последующей обработки (проковки), пережог, различного рода неплотности, посторонние включения и т. д. Указанные недостатки, если они имеются в сварном шве, видны на рентгенограмме довольно отчетливо. Следовательно, по рентгеновскому снимку можно судить о механической прочности соединения и плотности наплавленного металла.

Электрические и технологические данные сварки. Количество электроэнергии, употребляемой при сварке, определялось при помощи включения в цепь дуги или сети счетчика и регистрирующего ваттметра. Опытные данные расхода электроэнергии для отдельных систем токов представлены в виде графиков на рис. 4. По этим кривым видно, что для обеих толщин стали и разных положений шва в пространстве потребление энергии при постоянном токе примерно в два раза больше, чем при переменном токе.

Вычисление необходимой электроэнергии на единицу изделия может быть произведено при условии, если известны: вес наплавленного металла в шве, режим сварки (сила тока, напряжение на дуге, время чистого горения дуги и холостой работы), к. п. д. агрегата  $\eta$  и коэффициент производительности сварочного поста  $\zeta$ , зависящий от организации технологического процесса и характера свариваемых деталей. Последний колеблется от 0,3 до 0,7. Коэффициентом производительности  $\zeta$  называется отношение времени, идущего на чистое горение дуги, к общему времени, необходимому для сварки детали. Расход энергии на 1 кг наплавленного металла может быть найден по следующей формуле:

$$P_c = \frac{A_1}{m} + T_g P_g \left[ \frac{1}{\zeta} - 1 \right] \text{ kWh/kg,}$$

где  $A_1$ —расход энергии непосредственно во время горения дуги,  $m$ —вес наплавленного металла (кг),  $T_g$ —время горения дуги (h),  $P_g$ —потери холостого хода (kW).

#### Производительность сварки

Производительность сварки, т. е. вес наплавленного металла в килограммах, отнесенный к полному времени сварки, зависит, главным образом, от коэффициента производительности  $\zeta$  и силы сварочного тока. В табл. 2 дается производительность для постоянного тока покрытыми электродами.

Таблица 2

Режим сварки	Сила тока А	Производительность (kg/h)	
		$\zeta = 0,4$	$\zeta = 0,7$
Постоянный ток . . . . .	130	0,665	1,165
Покрывые электроды . . . . .	150	0,768	1,345
Электроды диаметром 4 мм . . . . .	170	0,872	1,53

При переменном токе производительность сварки для соответствующих режимов ниже приведенных в табл. 2 цифр на 15—20%. Это снижение объясняется тем обстоятельством,

что при переменном токе тепловой эффект вольтовой выше, чем при постоянном, и принятая в начале исследования поправка для сварки переменным током оказалась некорректной, так как она учитывала лишь необходимую поправку на несинусоидальность кривых тока и напряжения (наличие высших гармоник). Для равного теплового действия дуги переменного тока по сравнению с постоянным необходимо учесть поправочный коэффициент  $\mu$  на величину, учитывающую также и уменьшение температуры в дуге, которое имеет при периодическом прохождении силы тока через нуль. Фактором нельзя пренебречь. Для получения равной производительности необходимо увеличить силу тока при сварке переменным током на 15—20%. Только в этом случае можно считать, что тепловой эффект дуги переменного тока будет по своей производительности равноценен постоянному (теоретическое). Экспериментальное подтверждение этого вопроса должно быть найдено при исследовании фактических свойств вольтовой дуги.

#### Проблема $\cos \varphi$

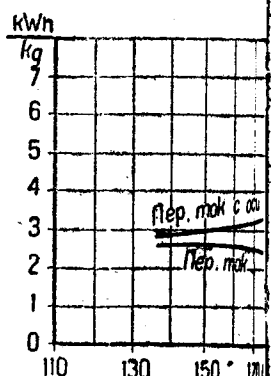
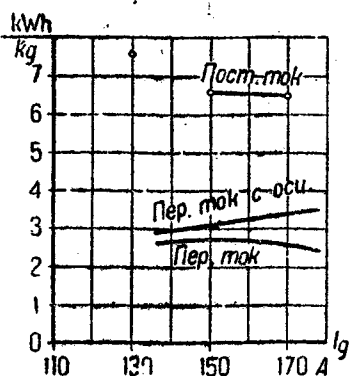
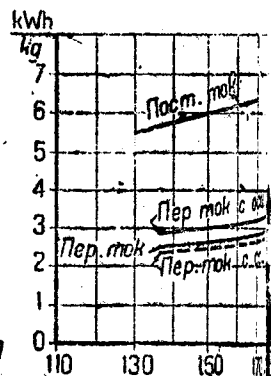
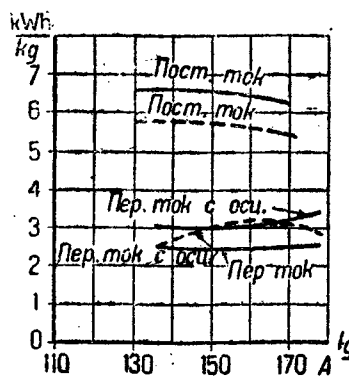
Наличие индуктивной катушки в цепи сварочного трансформатора (необходимая для ограничения тока короткого замыкания и регулирования силы сварочного тока в дуге) действительно понижает коэффициент мощности установок примерно до 0,4. Этот факт расценивается отдельными сторонами сварки на постоянном токе как достаточный аргумент для применения переменного тока вследствие увеличения тарифов на потребление реактивной энергии.

Но учитывая, что сварочный цех, имеющий  $\cos \varphi = 0,4$ , потребляет примерно 5% активной энергии (что весьма мало по сравнению с действительностью), а в остальных цехах завода коэффициент мощности равен 0,7, то легко убедиться, что общее значение  $\cos \varphi$  понизится на едва заметную величину. Проведенное аналитическое исследование показывает, что при этих условиях общезаводской  $\cos \varphi$  понижается с 0,7 до 0,69, а уменьшение  $\cos \varphi$  вызывает повышение штрафных накладных при  $\cos \varphi = 0,7$  до 5,5% при  $\cos \varphi = 0,69$ . Более подробные сравнительные подсчеты, произведенные для сварочного цеха в 120 постов, оборудованного аппаратами переменного или агрегатами постоянного тока, показывают, что увеличение стоимости электроэнергии сварочного цеха на величину штрафных перерасходов (понижение общего  $\cos \varphi$  с 0,7 до 0,69) почти не влияет на соотношение расходов по электроэнергии (2:1) между постоянным и переменным токами.

Однако нельзя соглашаться и на такое даже незначительное понижение общего  $\cos \varphi$ . Более правильным решением проблемы является компенсация потребляемой реактивной энергии.

а—нижний шов, толщина стали 12 мм

б—вертикальный шов, толщина стали 12 мм



а—нижний шов, толщина стали 8 мм

б—вертикальный шов, толщина стали 8 мм

Рис. 4. Зависимость удельного расхода энергии от силы и рода тока

ним цехом до общезаводского  $\cos \varphi$  при помощи статических конденсаторов, включаемых параллельно со сварочными трансформаторами.

#### Исследования экономические исследования сварки переменным и постоянным токами

В цехе были уже перечислены преимущества применения электрической дуговой сварки переменным током, но для полной картины следует еще произвести подсчет стоимости оборудования и эксплуатации сварочного цеха для постоянного и переменного.

Сравнения производились для цеха в 120 сварочных постов, работающего в две смены. Исследования велись для трех типов: постоянный ток—однопостные генераторы (СМГ-1); переменный ток—многопостные генераторы (СМГ-4/1 500); переменный токоварочный трансформатор (СТ-2). Вся аппаратура собственного производства.

Во всех подсчетах имелось в виду, что сварка переменным и постоянным токами получается доброкачественной лишь при определенных электродах, поэтому стоимость их не была принята во внимание. Далее, стоимость оплаты сварщиков также не учитывалась, так как она одинакова для любого рода тока. Что же касается стоимости аппаратуры, то в этих подсчетах были приняты во внимание существующие коммерческие цены, видимо ухудшающие преимущества переменного тока. Дело в том, что себестоимость сварочного трансформатора в производстве завода „Электрик“ колеблется около 350 руб., а сварочного агрегата примерно 1 500 руб., что касается коммерческих цен, то они установлены для трансформатора 950 руб. (80% накладки) и 2 700 руб. для агрегата постоянного тока (СМГ-2) (80% накладки). Более правильным было бы в этих подсчетах учесть себестоимость аппаратуры на заводе, но при неблагоприятных накладках на сварочные трансформаторы все же преимущество, как видно будет ниже, остается за переменным током.

В капиталовложениях входят (табл. 3):

- стоимость аппаратуры,
  - стоимость рабочей площади цеха, занимаемой аппаратурой,
  - расходы на устройство и подводки электроэнергии.
- В эксплуатационные расходы входят (табл. 4):
- стоимость электроэнергии как при сварке, так и холостной работе,
  - расходы по уходу и обслуживанию аппаратуры,
  - для сварочных трансформаторов были приняты во внимание также штрафные перерасходы на электроэнергию из-за понижения общего  $\cos \varphi$ .

Таблица 3

#### Расходы на капиталовложения

Наименование аппаратуры	Стоимость аппаратуры	Количество аппаратов	Суммарная стоимость аппаратов	Стоимость площади цеха	Стоимость электро-подводки	Полная стоимость
<b>Постоянный ток</b>						
Сварочный агрегат СМГ-2 . . .	2 710	120	326 000	19 200	12 000	357 200
Сварочный агрегат СМГ-4/1 500	9 860	10	98 600	3 200	12 000	163 000
Балластный реостат для многопостной сварки	410	120	49 300	„	„	
<b>Переменный ток</b>						
Сварочный трансформатор СТ-2	990	120	119 000	2 900	12 000	133 900

В ежегодных эксплуатационных расходах срок амортизации принимался при двухсменной работе в 8 лет; процент на капитал взят 10%.

Из табл. 3 и 4 совершенно очевидно, что оборудование сварочного цеха трансформаторами переменного тока, даже при таком несоответствии между себестоимостью и коммерческими ценами, является наиболее экономичным как в отношении капитальных затрат, так и годовых эксплуатационных расходов.

Произведенные технико-экономические исследования указывают на громадную экономию, получающуюся при оборудовании сварочных цехов аппаратами переменного тока вместо агрегатов постоянного тока. Например, если учесть, что в конце пятилетки соотношение числа установок на переменном и постоянном токах будет порядка 9:1, то по запросам электротехники к количеству сварочных постов электродов в расчет не входят.

Таблица 4

#### Ежегодные эксплуатационные расходы сварочного цеха в 120 постов без учета стоимости оплаты сварщиков

Наименование аппаратуры	Капиталовложения	Ежегодные амортизационные расходы	Проценты на капитал	Стоимость электроэнергии в год в две смены	Уход и обслуживание	Полная стоимость
<b>Постоянный ток</b>						
Сварочный агрегат СМГ-2 . . .	357 200	44 500	35 720	206 000	33 250	320 000
Многопостный агрегат СМГ-4/1 500 . . . .	163 000	20 000	16 300	246 000	3 500	282 000
<b>Переменный ток</b>						
Сварочный трансформатор СТ-2	133 900	16 600	13 400	96 000	—	126 000

(70 000) годовая экономия от замены агрегатов постоянного тока трансформаторами переменного тока достигнет по капиталовложениям на оборудование сварочных цехов 104 млн. руб. (в исчислении экономии не были учтены дальнейшие усовершенствования сварочных трансформаторов, что, конечно, еще увеличивает экономию). Далее, экономия в потреблении электрической энергии выразится в  $930 \cdot 10^6$  kWh в год, что составляет примерно среднюю полугодовую выработку энергии Волховской электростанцией или, переводя на уголь, 930 000 t угля, равное пятисуточной добыче угля по всему Союзу.

Таким образом вопрос выбора рода тока для электродуговой сварки должен найти свое практическое разрешение в построении электросварочной аппаратуры уже в 1933 г., ибо нельзя допустить, чтобы в плановом социалистическом хозяйстве имела место непроизводительная растрата природных богатств в виде металла и топлива.

#### Выводы

Комплексное сравнение качества сварки отдельных систем тока по механическим, рентгеновским и металлографическим исследованиям позволяет утверждать, что сварка переменным током несколько не уступает сварке на постоянном токе. В обоих случаях удовлетворительные качества шва достигаются при хороших электродах и средней квалификации сварщика.

Сварка с осциллятором. Совершенно новые горизонты в деле внедрения сварки на переменном токе приобретает применение осциллятора для дуговой сварки. Помощью осциллятора удается варить голым (необмазанным) электродом на переменном токе (например, от СТ-2) при этом механические качества шва превосходят даже сварку на постоянном токе. Сварка с осциллятором возможна при любом положении шва в пространстве. Применение осциллятора с индуктивной связью обеспечивает полную безопасность работы с ним.

Сварка пониженным напряжением. Применение осциллятора позволяет производить сварку переменным током пониженного напряжения, преимуществами которой является, во-первых, естественное увеличение  $\cos \varphi$  сварочного поста и, во-вторых, значительное уменьшение веса реактивных катушек (регулятора тока). При этом качество сварочного шва не уступает подобному при нормальном напряжении переменного тока.

Потребление электроэнергии. Результаты произведенных опытов сварки различными системами тока указывают, что расход электроэнергии для наплавления 1 kg металла при постоянном токе в 2 раза больше, чем при переменном токе ( $5 \div 6$  kWh/kg против  $2,5 \div 3$  kWh/kg).

Угар и разбрызгивание. При сварке одинаковыми электродами потери металла на угар и разбрызгивание не зависят от рода тока. Как показали опыты, этот расход колеблется в пределах 8—20%.

Производительность. При одинаковых силах сварочного тока производительность сварки (количество наплавленного металла в час) при постоянном токе получается на 10—15% больше, чем на переменном токе.

Стоимость сварки. При оборудовании сварочных цехов аппаратами переменного тока достигается экономия по капиталовложениям и эксплуатационным расходам примерно в  $2\frac{1}{2}$  раза по сравнению с агрегатами постоянного тока. Удельный расход на 1 kg наплавленного металла зависит от типа аппаратуры сварочного цеха. Оплата сварщиков и стоимости электродов в расчет не входят.

Тип аппаратуры	Удельный расход
СМГ-2	86 коп/kg
СМГ-4/1 500	75 "
СТ-2	34 "

Дальнейшие сдвиги в развитии электро-сварочной аппаратуры для дуговой сварки. Широкое внедрение сварки переменным током выдвигает новые проблемы в развитии электросварочной аппаратуры:

- а) применение трансформатора переменного тока для однофазной сварки;
- б) разработка новой конструкции сварочного регулятора совместно с осциллятором;
- в) разработка вопроса применения автоматической дуговой сварки на переменном токе с осциллятором;
- г) применение алюминиевых обмоток с оксидной изоляцией в построении сварочных трансформаторов;
- д) разработка новой конструкции однофазного сварочного трансформатора в виде целого агрегата—трансформатор-регулятор и осциллятор;
- е) питание дуги пониженным напряжением в целях экономии  $\cos \varphi$  сварочного поста.

## Применение осциллятора для улучшения сварки на переменном токе<sup>1)</sup>

Инж. Ф. И. Кислюк  
ВЭИ

Как известно, сварка переменным током нормальной частоты в промышленной практике производится в большинстве случаев покрытыми электродами (обмазанными). С точки зрения действия дуги роль обмазки электродов сводится, главным образом, к сохранению тепла в зоне сварки на свариваемой детали. Стекая при сварке вместе с жидким металлом в виде шлака, она удерживает тепло вокруг жидкой "ванны" (кратера дуги) и тем самым облегчает образование катодного пятна на детали при периодической смене полярности при переменном токе и, следовательно, облегчает ионизацию воздушного промежутка между электродом и деталью каждый раз, когда сила тока периодически проходит через нуль.

Невозможность сварки голым электродом при переменном токе объясняется тем, что температура на детали все время ниже, чем на электроде, вследствие большой теплоотдачи с поверхности детали по сравнению с электродом. Кроме того, при небольшом удлинении дуги (что часто имеет место при ручной сварке) сила тока уменьшается; а в момент прохождения через нуль дуга совсем гаснет и охлаждает место сварки. Повторное зажигание дуги возможно лишь при такой величине напряжения холостого хода, которое могло бы ионизировать воздушный промежуток между электродом и деталью в достаточной степени. Как показывают опыты, периодическое прохождение силы тока через нуль настолько охлаждает место дуги на детали, что горение ее при голых электродах возможно только при достаточном напряжении холостого хода (120—150 В). На рис. 1 представлены примерные кривые для двух амплитуд напряжений нормального и повышенного холостого хода, по которым легко заметить, что при большей амплитуде напряжения время восстановления дуги  $t$  меньше<sup>2)</sup>.

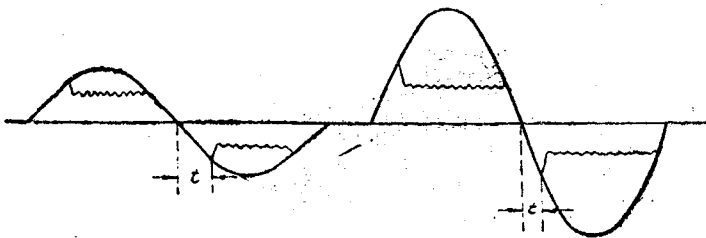


Рис. 1.

Однако повышение напряжения встречает возражения, касающиеся безопасности сварщика, а также необходимость увеличения индуктивного сопротивления в цепи дуги для ограничения тока короткого замыкания. Поэтому в широкой практике предпочитают пользоваться обмазанными электродами.

Устойчивое горение вольтовой дуги при сварке переменным током можно получить также при посторонней ионизации места сварки. Подобного рода ионизация может быть достигнута, вообще говоря, следующими способами:

- а) подогревом места сварки (например, сварка двумя электродами—угольным для подогрева и металлическим для целей сварки);
- б) интенсивным освещением места сварки сильными ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами;
- в) наложением высокой частоты достаточного напряжения от постороннего источника на сварочную дугу. Высокая ча-

стота необходима для устранения опасности работы с высоким напряжением.

Число периодов в секунду выбирается такой величиной, которой высокое напряжение становится безопасным для жизни человека, т. е. порядка  $10^5$ .

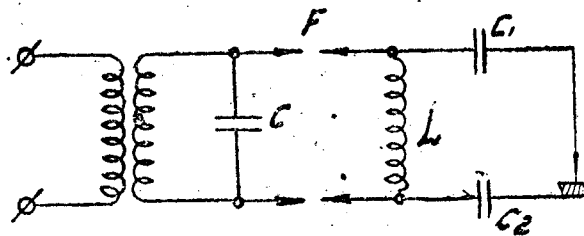


Рис. 2

За последнее время для улучшения качества сварки переменным током был предложен добавочный ионизатор высокочастотного контура, так называемый осциллятор. Идея не новая, так как подобные опыты производились еще в 1930 г. проф. Вологдиным в Ленинграде совместно с зам. "Электрика", а в настоящее время фирма Westinghouse выпускает комбинированный сварочный трансформатор с осциллятором<sup>3)</sup>. Представленный на рис. 2 осциллятор состоит из трансформатора, колебательного контура и защитных конденсаторов. Первичная катушка трансформатора подключена к сети 120—220 В, а вторичная катушка подключена к колебательному контуру.

### Действие осциллятора

Высокое напряжение трансформатора заряжает конденсатор. Последний разряжается на небольшое индуктивное сопротивление  $L$  и через искровые промежутки  $F$ . Электроническая энергия, сосредоточенная в конденсаторе  $\frac{CE^2}{2}$ , переходит в электромагнитную энергию  $\frac{LI^2}{2}$ .

Искровой промежуток  $F$  после пробоя напряжением  $E_0$  представляет небольшое сопротивление, которое все же разряд конденсатора делает затухающим.

Частота собственных колебаний для случая, когда сопротивление  $R$  достаточно велико, может быть найдено из следующего выражения:

$$t = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2C}{4L}}$$

Если же  $R$  незначительно, то им можем пренебречь, и

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ пер/сек.}$$

В этих выражениях  $C$ —емкость конденсатора в фарадах,  $L$ —коэффициент самоиндукции в генри.

Необходимая частота регулируется самоиндукцией и емкостью колебательного контура.

Сравнительно высокое напряжение (2 500 ÷ 3 000 В) и высокой частоты колебательного контура передается на сварочную дугу, которая ионизирует воздушный промежуток между электродом и деталью в виде искровых разрядов до тех пор, пока не будет достигнута необходимая температура для горения дуги.

<sup>1)</sup> Из работ электросварочной лаборатории машинного отдела ВЭИ, произведенных под руководством проф. Е. Б. Митусова.

<sup>2)</sup> Кислюк, Сварка переменным током повышенной частоты, "Электротехника", 1931, № 12.

то зажигание сварочной дуги становится возможным при наличии некоторого расстояния ( $1 + 2$  мм) между электродами.

Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  (рис. 2) являются защитными и не входят в сварочную цепь высокого напряжения низкой частоты, а также низкое напряжение сварочного трансформатора в колебательный контур. Наоборот, самоиндукция сварочной цепи сварочного трансформатора (регулятор и трансформатор) не пропускает токов высокой частоты. В этом отделе ВЭИ было произведено исследование следующих вопросов:

какой тип колебательного контура наиболее подходит для ионизатора осциллятора для целей сварки; величина необходимой мощности осциллятора; выбор частоты колебательного контура; влияние токов высокой частоты на качество сварки; опасность работы с осцилляторами и выбор специальной схемы.

### Необходимая мощность осциллятора

Исследования работы осциллятора была построена опытная конструкция (рис. 3) с большим запасом меди и железа в качестве высокочастотного контура трансформатора (трансформатор имел незначительное рассеяние). В качестве критерия удовлетворительной работы осциллятора на сварку была принята мощность или размеры разрядной искры, позволяющей оторвать голым электродом от трансформатора переменного тока. Произведенные опыты показали, что для возбуждения колебательного контура достаточно мощности в  $150 \div 200$  VA. Действительная мощность, развиваемая при этом в колебательном контуре, равна примерно  $5 \div 6$  kVA. Напряжение высокой частоты удалось измерить при помощи специального амплитудного вольтметра с предварительной ионизацией вольтовой цепи. Сила тока в первичной катушке  $2 \div 3$  А; сила тока в частоте (50 пер/сек) во вторичной катушке  $0,1 \div 0,2$  А; сила тока в колебательном контуре  $2,5 \div 3$  А; сила тока, идущая в цепь сварочной дуги, 2 А.

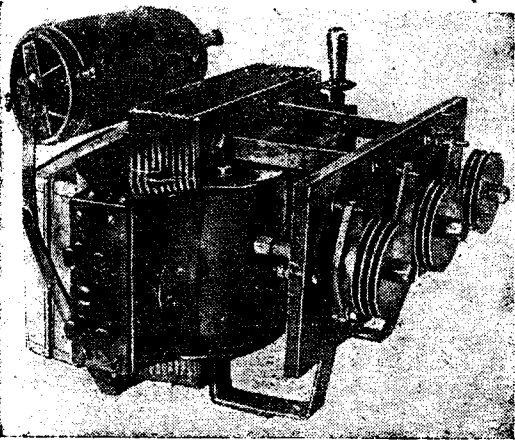


Рис. 3. Общий вид опытного осциллятора

При дуговой сварке переменным током, но с осциллятором, полная ионизация от высокой частоты в месте возникновения вольтовой дуги возможна лишь при такой величине напряжения низкой частоты, при которой искровые промежутки в осцилляторе пробивались за время полупериода в достаточном количестве. Для данной конструкции осциллятора наимыгоднейшим напряжением питания колебательного контура является  $2000 \div 2500$  V.

Для иметь представление о количестве импульсов в разрядниках колебательного контура, была снята осциллограмма напряжения низкой частоты на трехшлейфовом осциллографе при работе осциллятора. Представленная на рис. 4 осциллограмма показывает, что колебательные импульсы возникают не с нуля, а при наличии напряжения, достаточного для пробоя искровых промежутков, — в разрядниках. Видно из этой же осциллограммы, число импульсов за период (0,01 сек.) колеблется от 25 до 30. Эффективное напряжение трансформатора при этом  $E_2 = 2500$  V.

Большой интерес представляет также характер кривой напряжения высокой частоты колебательного контура. Кривые напряжения высокой частоты удалось снять только при помощи катодного осциллографа с холодным катодом. Следует отметить, что известную трудность при съемке осциллограмм напряжения высокой частоты представляет синхронизация всей цепи, так как колебательные импульсы осциллятора получа-

ются через известные промежутки времени. Катодный луч, пробегающий по экрану, должен успеть записать колебательный импульс с самого начала и до конца. Это достигалось соответствующим подбором параметров и выбором схемы времени катодного осциллографа.

На осциллограмме (рис. 4) снята кривая импульса колебаний для напряжения высокой частоты  $E_{\max} = 2600$  V при  $f = 158000$  пер/сек. Как видно из рис. 5, кривая напряжения высокой частоты представляет собой чистую синусоиду, декремент затухания которой  $\delta = 0,19$ . Длина волны измерялась волномером.



Рис. 4. Кривая высокого напряжения, питающего колебательный контур.

Зная частоту тока данного контура можно было найти масштаб времени. Время одного периода равно  $\frac{1}{158000} = 6,3 \cdot 10^{-6}$  сек., откуда 1 см соответствует  $4,5 \cdot 10^{-6}$  сек. На осциллограмме (рис. 5) видно, что с уменьшением амплитуды напряжения уменьшается также время полного периода.

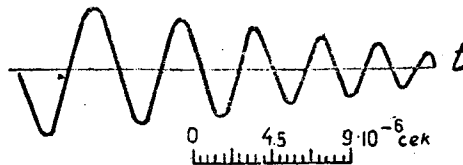


Рис. 5. Осциллограмма напряжения колебательного контура осциллятора;  $E = 2500$  V

В действительности же время одного периода до полного затухания не меняется, и получающаяся картина сокращения кривой на осциллограмме объясняется временной разверткой катодного осциллографа по закону экспоненциальной кривой.

Далее была снята на том же катодном осциллографе осциллограмма напряжения на дуге при сварке переменным током технической частоты (от СТ-2) с наложением токов высокой частоты. На рис. 6 показана осциллограмма напряжения при сварке, снятая два раза. В этом случае кривая напряжения имеет характер «биений».



0 4,5 9,10^-6 сек

Рис. 6. Осциллограмма напряжения высокой частоты при сварке

Из сравнения осциллограмм рис. 5 и 6, снятых в одних и тех же масштабах, видно, что напряжение высокой частоты на дуге вследствие короткого замыкания (через дугу) падает до  $E_{\max} = 1000$  V, а частота при этом повышается (рис. 6). Повышение частоты при сварке объясняется наличием второго колебательного контура с добавочным возбуждением через сварочную дугу и защитными конденсаторами. Снятые осциллограммы опровергают версию о необходимости питания трансформатора повышенной частотой, чтобы обеспечить достаточное количество импульсов в колебательном контуре, так как дуговое возбуждение в разрядниках достаточно поддерживает колебательный процесс в контуре.

Возникает вопрос, нельзя ли изменить схему осциллятора таким образом, чтобы потребляемая им мощность была значительно меньше. Для решения этого вопроса была исследована схема искрового генератора (рис. 7). Этот генератор заманчив тем, что вес его и габариты могут быть во много раз меньше, так как диаметр шариковых разрядников незначителен (10 мм). Однако произведенные опыты показали, что искровые разряды между электродом и деталью все же незначительны по мощности и не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к осциллятору (невозможность сварки голым электродом). Достаточная ионизация получается лишь в том



чаются в виде „жирной“ искры, диаметр которой равен примерно диаметру электрода, что достигается только при дуговом возбуждении генератора высокой частоты.

### Схема с ламповым генератором

Кроме разобранных выше схем колебательных контуров с искровыми промежутками представляет также интерес схема высокочастотного колебательного контура с ламповым генератором (рис. 8).

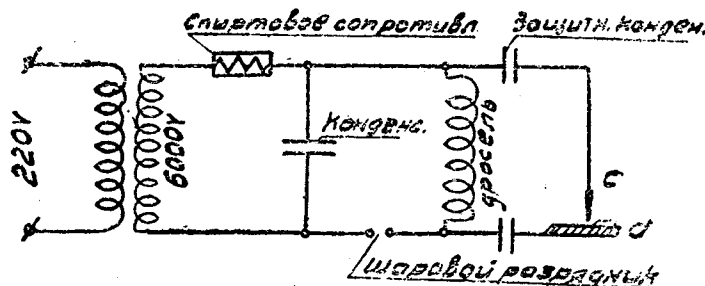


Рис. 7. Схема осциллятора с искровым возбуждением

В этой схеме возбудителем высокой частоты является ламповый генератор. В опробованной нами схеме лампового генератора анодное напряжение регулировалось в пределах от 3 до 3,5 кВ. Питание лампы производилось от сети переменного тока при помощи автотрансформатора ( $I_{\text{нак}} = 8 \text{ A}$ ,  $E_{\text{нак}} = 17 \text{ V}$ ). Лампа применялась мощностью в 500 W (BT-500) завода „Светлана“.

Наивыгоднейшие параметры колебательного контура при данном анодном напряжении следующие: дроссельная катушка с самодушкой  $L = 0,35 \text{ мГн}$ , конденсатор емкостью  $C = 0,004 \text{ мкФ}$ . При этом получалась частота  $f \approx 100 \text{ 000}$  пер/сек. Опыты, произведенные ламповым генератором, убедили нас в том, что при анодном напряжении  $E_{\text{ан}} = 3 \text{ 000 V}$  мощность лампы в 500 VA недостаточна, так как при этом удалось лишь вызвать искровой разряд между электродами  $a$  и  $b$ .

Сварка с наложением токов высокой частоты от этого генератора нам, однако, не удалась ввиду необходимости включения добавочного защитного конденсатора  $C_2 = 0,0005 \text{ мкФ}$  перед сварочными электродами (рис. 8), и связанные с этим дополнительные потери напряжения высокой частоты мешали возникновению необходимого искрового разряда между электродом и деталью. Таким образом наложение токов высокой частоты для целей сварки от лампового генератора практического значения не имеет вследствие громоздкости схемы (два источника питания—анодное напряжение 3 000 V и низкое напряжение для накала—и добавочная защитная аппаратура). Необходимая мощность лампы, повидимому, равна 1 kVA. Кроме того, подобные установки будут крайне неудобны в условиях производства из-за возможных частых поломок стеклянных ламповых генераторов.

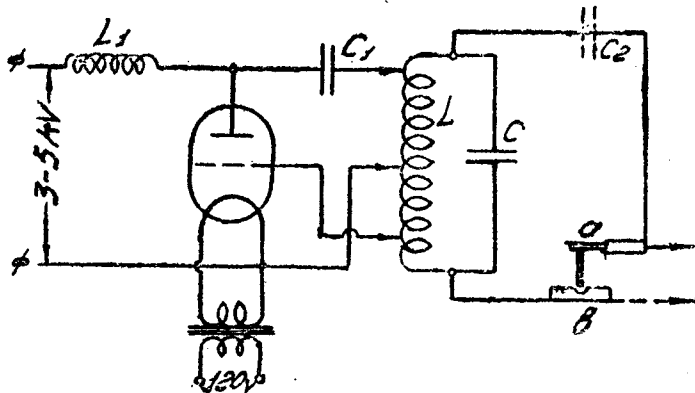


Рис. 8. Схема колебательного контура с ламповым генератором:  $L = 0,35 \text{ мГн}$ ,  $L_1 = 0,75 \text{ мГн}$ ,  $C = 0,004 \text{ мкФ}$ ,  $C_1 = 0,0085 \text{ мкФ}$ ,  $C_2 = 0,0005 \text{ мкФ}$ .

За последнее время были предложены и другие видоизмененные схемы осцилляторов, например осциллятор Рентгеновского завода<sup>5)</sup> или так называемый „активизатор“ завода „Буревестник“, но окончательная конструкция сможет быть выработана лишь после длительной проверки осциллятора в эксплуатации.

<sup>5)</sup> Необходимо указать, что конструкция первой версии осциллятора Рентгеновского завода является далеко не совершенной по своему весу, по потребляемой энергии (800 VA) и, в особенности, по технико-экономическим показателям.

### Сварка при пониженном напряжении сварочного трансформатора

Сварка переменным током при пониженном напряжении холостого хода 35–40 V без осциллятора не удается при специальной обкатке электродов. Если же наложить дугу токи высокой частоты, то сварка удается даже электродом при напряжении холостого хода  $E_0 = 36 \text{ V}$ . Включение осциллятора позволяет повысить низкий коэффициент мощности сварочного трансформатора без добавочных потерь реактивной энергии. Возможность понижения напряжения на вторичной стороне сварочного трансформатора естественно, повышает  $\cos \varphi$ , что видно из следующего:

$$\cos \varphi = \frac{E_d}{E_2};$$

следовательно, чем меньше  $E_2$ , тем больше возрастает  $\cos \varphi$  при сварке.

Опыты показали, что при силе сварочного тока  $I_s = 200 \text{ A}$  диаметре электрода 4 мм (голый) и напряжении холостого хода  $E_0 = 36 \text{ V}$ ,  $\cos \varphi = 0,6$  (рис. 9). Дальнейшее увеличение силы сварочного тока до 200 A вызывает повышение  $\cos \varphi$  до 0,76 (рис. 10). Выпрямляющее действие тока на этой осциллограмме видно по величинам амплитудных значений кривой (272 A—верхняя полуовна и 173 A—нижняя полуовна той же осциллограммы ясно, что процесс повторного зажигания дуги при обратной полярности (т. е. плюс на электроде и минус на детали) происходит весьма длительно ( $t = 0,0018 \text{ сек}$ ), как амплитуда напряжения мала. Обычно при сварке переменным током технической частоты от трансформатора  $t = 0,0007 \text{ сек}$ . Ток в это время совершенно отсутствует.

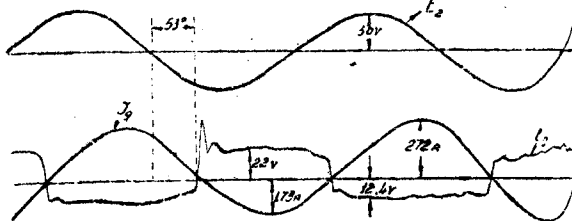


Рис. 9. Осциллограмма сварки от СТ-2 с осциллятором. Электрод диаметром 4 мм. Показания приборов:  $E_0 = 36 \text{ V}$ ,  $E_d \approx 13 \text{ V}$ ,  $\cos \varphi = 0,6$ .

Чем же объяснить, что при сварке переменным током пониженного напряжения с наложением токов высокой частоты получается такое сильное выпрямляющее действие?

Чтобы ответить на этот вопрос надо вспомнить, что для существования вольтовой дуги необходимым условием является накаливание в достаточной степени катод, являющийся обильным источником электронов. Высокая температура катода достигается при наличии катодного падения потенциала, благодаря которому положительные ионы протекать значительную скорость, и, ударяясь об его поверхность, отдают свою энергию и поддерживают высокую температуру. Механическое действие потока электронов, производимое на поверхности анода в вольтовой дуге, является функцией напряжения между электродами и определяется уравнением

$$Ei = \frac{1}{2} N m v^2,$$

где  $N$ —число электронов, вылетающих из поверхности катода в 1 сек.,  $E$ —напряжение между электродами,  $m$ —масса электронов,  $v$ —скорость электронов,  $i$ —сила тока.

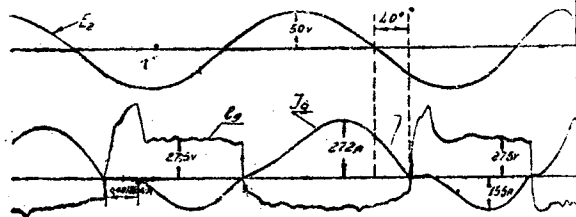


Рис. 10. Осциллограмма сварки от СТ-2 с осциллятором, электрод диаметром 6 мм. Показания приборов:  $E_0 = 36 \text{ V}$ ,  $I_s \approx 200 \text{ A}$ ,  $\cos \varphi = 0,76$ .

При низком напряжении  $E$  и уменьшенной температуре катода (имеющей место, когда минус на детали, а плюс на электроде) и вследствие большой теплоотдачи с детали интенсивность излучения электронов падает, а за ним и значение силы протекаемого тока. Периодическое изменение полярности на электроде и детали перемещает катодное пятно после каждого полупериода в зоны разогретой поверхности, что сказывается на увеличении силы тока.



ной полярности (минус—электрод, плюс—деталь) и на величине силы тока при обратной полярности.

Из того, из снятых осциллограмм явствует, что при сварке с приключенным осциллятором даже при нормальном сечении сварочного трансформатора имеет место несколько иное выпрямляющее действие кривой тока, чем при обычной сварке переменным током. Причина большего выпрямления кривой кроется в том, что при сварке переменным током без осциллятора мы имеем покрытые электроды. Под влиянием температуры вольтовой дуги обмозка электродов распадается и в расплавленном и газообразном виде окутывает электроды на детали, благодаря чему теплоотдача окружающей среде уменьшается.

Высокая температура в месте возникновения дуги облегчает повторное зажигание ее, а расплавленная обмозка в виде газа и пара создает также электрическую проводимость. При сварке же с осциллятором, как мы видели, мы пользовались голыми электродами, и повторное зажигание дуги после каждого разрыва ее при периодическом изменении тока через нуль происходит благодаря предварительной ионизации токами высокой частоты. Различные температурные условия на электроде и детали порождают, как мы видели, в случае, асимметрию кривой тока.

Эта асимметрия кривой тока при работе с осциллятором на качество сварки, видно из работы по выбору тока для дуговой сварки.

Сварочный коэффициент для сварки переменным током можно как из практики, так и литературных источников (Schwabach, Wortmann и др.), что сварка на переменном токе в равных условиях с постоянным током (одинаковые сорта электродов, равные толщины деталей и т. д.) требует несколько меньшую силу сварочного тока. До последнего времени нет в литературе установленных коэффициентов для сварки переменным током, и часто при сварочных работах на переменном токе применяют для того или иного диаметра электрода ту же силу тока, что при постоянном токе. Это обстоятельство приводит часто к недостаточному провару и уменьшению прочности шва.

Работа поправочных коэффициентов связана со многими факторами практики (характер свариваемой детали, химический состав электродов, сорта обмозки и др.) и возможна только при определенных конкретных данных. Теоретическое решение вопроса дает, однако, исходную точку в этом направлении. Дело заключается в том, что в сварочной вольтовой дуге переменного тока имеет место своеобразный фактор искажения, а именно „коэффициент искажения“. Его нельзя смешивать с общепринятым коэффициентом мощности  $\cos \varphi$ .

Величину коэффициента искажения можно обнаружить при сварке переменным током даже по включенным приборам: амперметр, амперметр и ваттметр), где имеет место следующее равенство:

$$P_0 < E_0 I_0$$

При синусоидальных кривых тока и напряжения суждения о реальной мощности получают из коэффициента мощности: активная мощность  $P$

эффективное напряжение  $E_{эфф}$  эффективный ток  $I_{эфф}$

При любой форме кривой тока и синусоидальной кривой напряжения коэффициент мощности состоит из двух множителей:

$$\delta = \mu \cos \varphi,$$

1) коэффициент искажения. Он показывает влияние искажения кривой тока по отношению к синусоиду, а также величину добавочной нагрузки меди, так как высшие гармоники составляющие не участвуют в создании действующей величины.

2) подобное искажение кривой имеет место при прохождении переменного тока через газы (ртутные выпрямители, неоновые лампы и т. д.), и как оказывается, также и в сварочной дуге переменного тока, где  $\cos \varphi$  практически равен единице. Таким образом коэффициент мощности

$$\mu = \frac{P}{E_{эфф} \cdot I_{эфф}},$$

$$E_{эфф} = \sqrt{\frac{\int_0^T e^2 dt}{T}},$$

$$I_{эфф} = \sqrt{\frac{\int_0^T i^2 dt}{T}},$$

$$P = \frac{\int_0^T e i dt}{T}$$

Так как законы изменения кривых тока и напряжения неизвестны, то для определения коэффициента искажения мощности мы прибегли к графическому методу. Коэффициент искажения  $\mu$  был найден по средним квадратичным значениям тока, напряжения и мощности, полученных из осциллограмм сварки на переменном токе при нормальном напряжении холостого хода трансформатора с осциллятором, без осциллятора, а также при пониженном напряжении ( $E_{02} = 36$  V), но с осциллятором.

Полученные значения  $\mu$  для различных режимов сварки должны приниматься во внимание при выборе силы тока. Если для данного сечения железа и диаметра электрода сила тока при сварке от генератора постоянного тока равна  $I$ , то для тех же условий, но при переменном токе сила тока должна быть увеличена в  $\frac{1}{\mu}$  раз. В табл. 1 даны значения для различных режимов сварки, полученных экспериментальным путем).

Таблица 1

Режим работы	Напряжение холостого хода V	Сила тока А	Диаметр и обмозка электрода мм	$\mu$
Сварка от СТ-2 . .	60	до 150	3 и 4	0,97 ÷ 0,92
„ „ „ . .	60	„ 150	4	0,95 ÷ 0,9
„ „ „ . .	60	„ 200	4 и 5	0,95 ÷ 0,85
„ „ „ . .	60	„ 250	6	0,9 ÷ 0,80
То же с осциллятором . . . . .	55	„ 180	—	0,9 ÷ 0,95
То же с осциллятором . . . . .	36	„ 200	—	0,75 ÷ 0,7

Эти коэффициенты были приняты во внимание при сварочных работах по исследованию вопроса „выбора рода тока для дуговой сварки“.

### Выбор частоты

Известно, что высокое напряжение становится безопасным при увеличении частоты тока до ста и выше килоциклов. Дальнейшее повышение частоты в колебательном контуре осциллятора позволило бы значительно уменьшить мощность и параметры колебательного контура.

Необходимо, однако, иметь в виду два весьма важных обстоятельства: во-первых, напряжение более высокой частоты создает добавочные условия в дуге, ухудшая при этом качество сварки<sup>8)</sup>; во-вторых, надо учесть, что с увеличением частоты тока возрастает также тепловое воздействие высокочастотного тока на сварщика, что безусловно нежелательно. Дело в том, что кажущееся сопротивление человека токам высокой частоты неодинаково и зависит от различных факторов (одежды, контакта, влажности, состояния здоровья и др.), поэтому токи высокой частоты параллельного ответвления от дуги к сварщику, в особенности в момент холостого хода, могут оказать довольно ощутимое тепловое воздействие при частотах, близких, например, к 800 килоциклам. При частотах же порядка 200 килоциклов длительное тепловое воздействие почти никакого влияния не оказывает<sup>9)</sup>. С этой точки зрения рекомендуется при проектировании осциллятора ограничиться пока частотой, не превышающей 200 000 пер/сек.

Произведенные опыты с вышеуказанным вольтметром показали, что подобные осцилляторы не создают мешающего действия для радиопередатчиков; в особенности при хорошем экранировании колебательного контура.

### Сварка<sup>10)</sup>

Наложение токов высокой частоты осциллятора на переменный ток технической частоты при электродуговой сварке значительно улучшает качество сварки на переменном токе, а в некоторых случаях даже превосходит качество сварки на постоянном токе.

Благодаря предварительной ионизации воздушного промежутка между электродом и деталью токами высокой частоты, возникновение вольтовой дуги для сварки происходит даже

<sup>7)</sup> Эта таблица является показателем и для отдельных случаев практики (в зависимости от сорта и обмозки электрода, толщины деталей) потребует дополнительных поправок.

<sup>8)</sup> Нормальная сварка получается при расстоянии между электродами в 2—3 мм.

<sup>9)</sup> Этот вопрос требует еще тщательного наблюдения и специального исследования о физиологическом влиянии токов подобных частот на здоровье человека.

<sup>10)</sup> Более подробное освещение вопроса качества осциллятора будет дано в следующей статье. Осцилляторы для дуговой сварки.

при расстоянии между электродами в  $1 \div 2$  мм без короткого замыкания, необходимого при обычной сварке. Выявлена возможность варить голым электродом, но с лучшими качествами шва, чем при постоянном токе. Сварку можно производить так же, как на постоянном токе, при любом положении шва в пространстве.

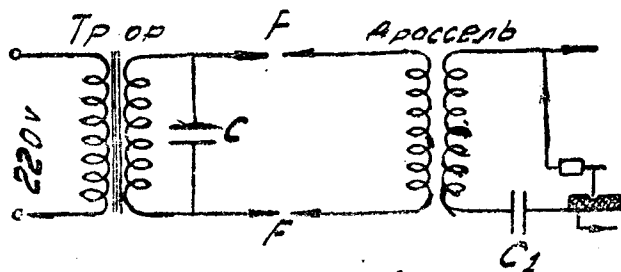


Рис. 11. Принципиальная схема осциллятора с индуктивной связью

Временное сопротивление разрыву сваренных образцов при помощи осциллятора показали лучшие результаты, чем при сварке в тех же условиях на постоянном токе. Если при этом учесть, что расход на электроэнергию в два раза меньше, а первоначальные затраты примерно в три раза меньше по сравнению с постоянным током, то становится вполне очевидным, что идея применения комбинированных агрегатов—трансформатор-осциллятор—должна найти свое место в народном хозяйстве СССР.

#### Об опасности сварки с осциллятором.

Весьма важным вопросом при сварке с осциллятором является степень опасности для жизни сварщика в случае повреждения в самом осцилляторе. Рассмотрим, при какой аварии осциллятора высокое напряжение низкой частоты попадет к сварочной дуге и, следовательно, подвергнет опасности жизнь сварщика. Для этого обратимся к рис. 2 и проанализируем каждый случай возможных аварий в отдельности.

1. Пробой главного конденсатора в колебательном контуре С. В этом случае колебательный контур перестает работать, так как проводимость конденсатора настолько увеличивается, что мы имеем случай отключения колебательного контура коротким замыканием трансформатора, и напряжение на обкладках конденсатора настолько мало, что не способно больше пробивать искровой промежуток. Таким

образом к вольтовой дуге напряжение осциллятора не идет.

2. Случай одновременного замыкания вых разрядников. Замыкание искровых разрядников прерывает генерирование высокой частоты и замыкает вторичную обмотку трансформатора накоротко через дроссель. Напряжение низкой частоты в контуре понизится так как индуктивность дросселя невелика для низкой частоты и вторичная обмотка трансформатора замкнута накоротко.

3. Пробой защитного конденсатора. В последнем случае из возможных аварий является пробой защитных конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ . В этом случае высокое напряжение низкой частоты трансформатора падает на дугу и представляет большую опасность для сварщика. Для избежания подобной опасности была разработана схема с индуктивной связью дросселя (рис. 11). В этой схеме высокое напряжение низкой частоты не может перейти на дугу даже при пробое конденсатора  $C_1$ . За счет индуктивной связи дала хорошие результаты и при коэффициенте трансформации, равном единице, и комков сечении проволоки в дросселях, интенсивность осциллятора на сварку вполне достаточная. Эта схема в большей степени гарантирует безопасность работы осциллятора.

#### Выводы

1. Из рассмотренных выше схем генераторов высокой частоты (осциллятор с искровыми промежутками, осциллятор с шаровыми разрядниками и, наконец, с ламповым осциллятором) мы убеждаемся в том, что самым удобным осциллятором для целей сварки, обеспечивающим достаточную мощность в месте шва и гарантирующим полную безопасность сварщика при работе, является схема осциллятора с индуктивной связью (рис. 11), где возможны еще некоторые конструктивные изменения разрядников и конденсатора колебательного контура.

2. Желательная частота порядка 200 000 пер/сек.

3. Опыты показали, что качество сварки с осциллятором несколько не уступает сварке с постоянным током при прочих условиях. Это обстоятельство позволяет производить осцилляторы с индуктивной связью в количестве, чтобы снабдить все выпущенные сварочные трансформаторы осцилляторами, а дальнейшее производство сварочных трансформаторов перевести на комбинированное производство, где трансформатор и осциллятор смонтированы вместе.

В заключение считаю своим долгом поблагодарить Н. В. Олехновича за ценные указания в работе.

## Сварка токами повышенной частоты по методу акад. К. И. Шенфера<sup>1)</sup>

Инж. Д. С. Фокни

#### Описание метода

Есть основание полагать, что при дуговой сварке на переменном токе с повышением частоты сварка улучшается в связи с увеличением устойчивости горения дуги.

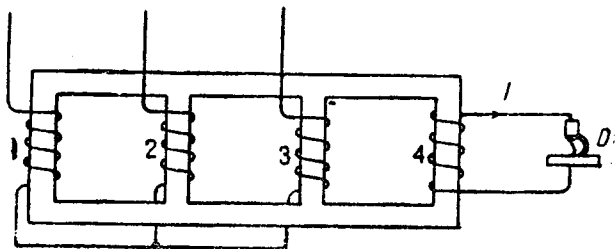


Рис. 1. Схема получения тока тройной частоты от трансформатора с 4 кернами

В соответствии с этим в машинном отделе ВЭИ проделаны опыты получения тройной частоты по схемам, предложенным академиком К. И. Шенфером. Действие их состоит в следующем. Если взять трансформатор с 4 кернами (рис. 1), причем на первых трех кернах расположить трехфазную

(первичную) обмотку, соединенную в звезду, четвертый керн поместить отдельную (вторичную) обмотку и дать пересыщение железу трансформатора, пропустив в первичную обмотку ток большой

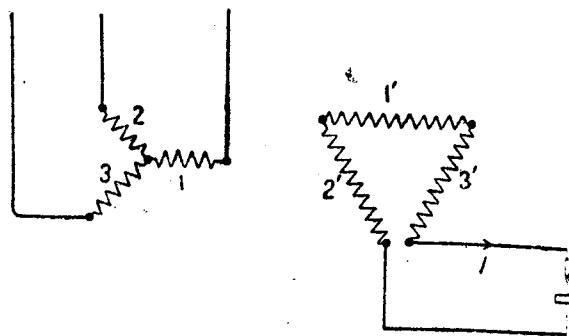


Рис. 2. Схема получения тока тройной частоты от трехфазного трансформатора

мального, то во вторичной обмотке появятся высшие гармоники. Соединив вторичную обмотку трансформатора на сварочную дугу и приложив электроды к соприкосновению, получим во вторичной цепи ток тройной частоты.

<sup>1)</sup> Работа проведена в электросварочной лаборатории Маш. отд. ВЭИ

Тройную частоту можно получить и иначе. Можно взять трехфазный трансформатор (рис. 2), первичная обмотка которого соединена звездой, а вторичная — треугольником, причем в рассечку

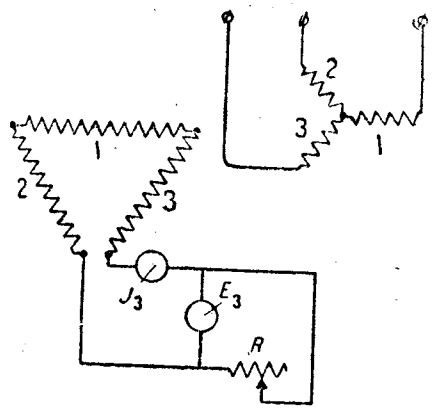


Рис. 3. Получение тока тройной частоты от трехфазного трансформатора (статическая нагрузка трансформатора током тройной частоты)

треугольника включается сварочная дуга; если дать пересыщение железу трансформатора, то во вторичном контуре при этом появится ток тройной частоты.

Опыты получения тройной частоты были проведены с обычным трансформатором мощностью 3 kW, напряжением 500/190/110 V, 23,1/60,7 A по схеме рис. 3. Первичная обмотка трансформатора включена на сеть переменного тока, вторичная об-

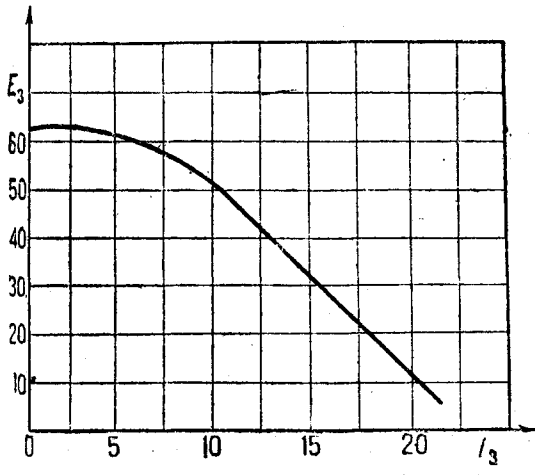


Рис. 4. Внешняя характеристика трансформатора  $E_3 = f(I_3)$ , снятая по схеме рис. 3

мотка соединена открытым треугольником, в рассечку которого включено регулируемое омическое сопротивление  $R$ . По этой схеме снята и построена внешняя характеристика (рис. 4). Кривая получи-

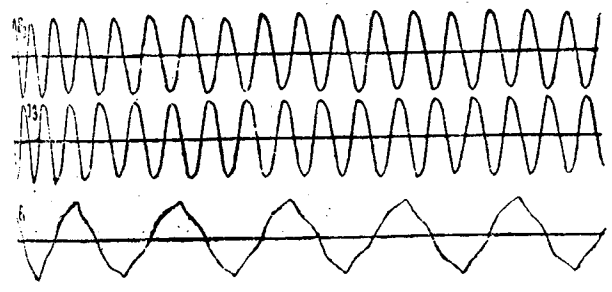


Рис. 5. Осциллограмма, снятая по схеме рис. 3. Кривые тока  $I_3$  и напряжения  $E_3$  тройной частоты и напряжения  $E_1$  основной частоты 50 пер/сек. Показания приборов:  $E_1 = 220$  V,  $E_3 = 2$  V,  $I_3 = 17,4$  A

лась падающей формы, что для целей (однополюсной) сварки является необходимым условием. Для разомкнутой цепи тока  $I_3$  и при повышении

напряжения на 16% выше номинального вольтметр  $E_3$  показывает напряжение около 60 V при частоте  $f = 3 f_1 = 150$  пер/сек. Наибольший ток, который возможно было получить по схеме рис. 3, был равен  $I_3 = 21,75$  A при напряжении  $E_3 = 4,6$  V.

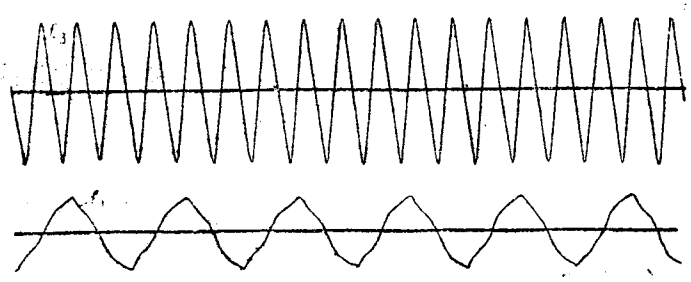


Рис. 6. Осциллограмма, снятая при холостом ходе (по схеме рис. 3). Показания приборов:  $E_1 = 220$  V,  $E_3 = 64$  V

Из опыта видно, что полученная сила тока для сварки (при данных размерах трансформатора) недостаточна<sup>1)</sup>.

### Осциллограммы

Осциллограмма рис. 5 снята по схеме рис. 3. На этой осциллограмме видны кривые тока  $I_3$  и напряжения  $E_3$  с частотой, в три раза большей основной частоты (т. е. равной 150 пер/сек.). Значение силы тока и напряжения при снятии осциллограммы были следующие:  $I_3 = 17,4$  A и  $E_3 = 2$  V. Осциллограмма рис. 6 снята при холостом ходе трансформатора (т. е. когда в рассечку треугольника нагрузка не включалась). Кривая напряжения  $E_3$  получилась тройной частоты.

### Модификация схемы (рис. 3)

Если составить схему (рис. 7) из двух трансформаторов, причем первичную обмотку первого трансформатора присоединить к сети, а вторичную соединить с вторичной обмоткой второго

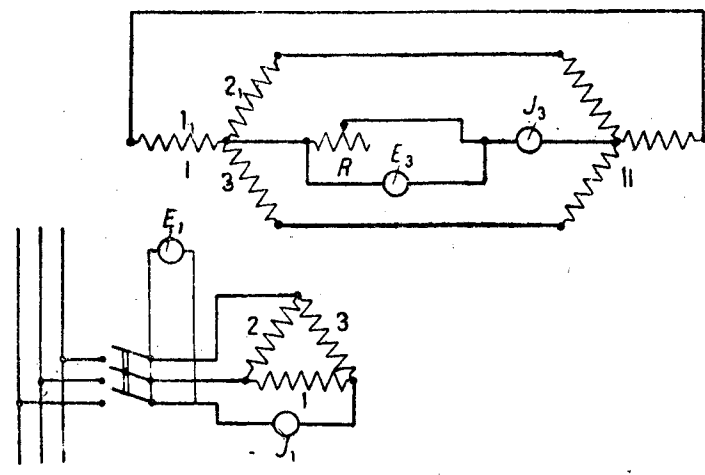


Рис. 7. Модификация схемы по рис. 3. Получение тока тройной частоты от группы двух трехфазных трансформаторов

трансформатора, соединив каждую из них звездой, и если к нулевым точкам присоединить сварочную дугу или какую-либо статическую нагрузку, то по цепи  $I_3$  потечет ток тройной частоты. Осциллограмма холостого хода, снятая по схеме рис. 7, аналогична осциллограмме рис. 6, поэтому здесь не приведена. Напряжение холостого хода в этом случае получено было при опыте 52 V.

<sup>1)</sup> Объяснить это можно следующим: в цепи тока  $I_3$  имеется весьма большое реактивное сопротивление в виде трех фаз обмоток трансформатора включенных последовательно.

## Выводы

Приведенные опыты показывают, что вышеуказанный метод получения тройной частоты оказался пригодным. Однако мощность, полученная

от имевшихся трансформаторов, оказалась недостаточной. Для осуществления сварки необходимо взять трансформатор более мощный, что и возможность выяснить практическую пригодность этих схем для целей сварки.

## Осциллятор конструкции завода „Буревестник“

Инж. В. А. Петров  
Завод „Буревестник“

Основным недостатком сварки на переменном токе технической частоты является то, что ток периодически переходит через нуль, причем вблизи этого момента имеет место разрыв дуги и, как следствие, охлаждение. Изменение температуры в дуге тем значительнее, чем больше времени длится отсутствие тока.

зало, что большая часть энергии, отдаваемой осциллятором, бесполезно теряется вследствие большой емкости сварочного трансформатора и дросселя, составляющих как бы паразитный путь утечек по отношению к сварочной дуге.

Для устранения этих вредных потерь лабораторией завода „Буревестник“ разработана новая схема осциллятора, изобра-

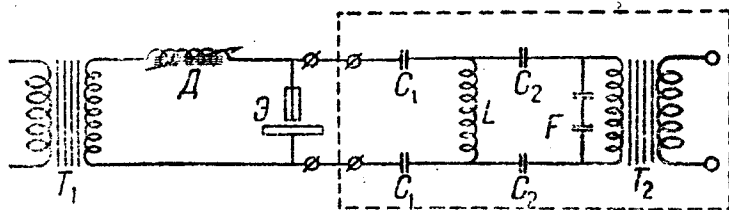


Рис. 1. Схема осциллятора { завода „Буревестник“ Московского рентгеновского завода

- $T_1$  — сварочный трансформатор;
- $D$  — дроссель;
- $\mathcal{E}$  — электроды;
- $C_1, C_2$  — конденсаторы осциллятора;
- $L$  — катушка самоиндукции;
- $F$  — разрядник с двумя искровыми промежутками;
- $T_2$  — трансформатор осциллятора.

Наиболее простым средством против этого явления оказалось действие токов высокой частоты на дуговой промежуток.

Для практического разрешения задачи достаточно на дуговой промежуток приложить напряжение высокочастотного тока порядка 300—1000 килоциклов напряжением 1000—2000 В. Высокочастотные токи очень благоприятно действуют на процесс сварки. Дуга легко зажигается, и самый процесс сварки протекает ровно, без шипения и без разбрызгивания металла. Возможно применение электродов без смазки. Дуга зажигается до прикосновения электрода к детали, таким образом прилипание электрода исключено.

Для этой цели служит осциллятор, схема включения которого дана на рис. 1.

Элементы этого осциллятора имели следующие величины: трансформатор мог присоединяться к сети переменного тока напряжением 110 или 220 В. Напряжение на вторичной обмотке—2000 В. Мощность трансформатора 700 Вт. Разрядник (рис. 2) с двумя искровыми промежутками. Электроды разрядника—вольфрамовые диски диаметром 18 мм. Охлаждение воздушное через ребристую поверхность радиации площадью 750 см<sup>2</sup>. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  емкостью первый 23 000 см и второй 18 000 см. Диэлектрик—слода толщиной 0,2 мм.

Подобного рода осциллятор, разработанный Московским рентгеновским заводом, имеет большие габаритные размеры, большой трансформатор и дает относительно слабую активизацию. Исследование работы электросварки с подобного рода осцилляторами, проведенное на заводе „Буревестник“, пока-

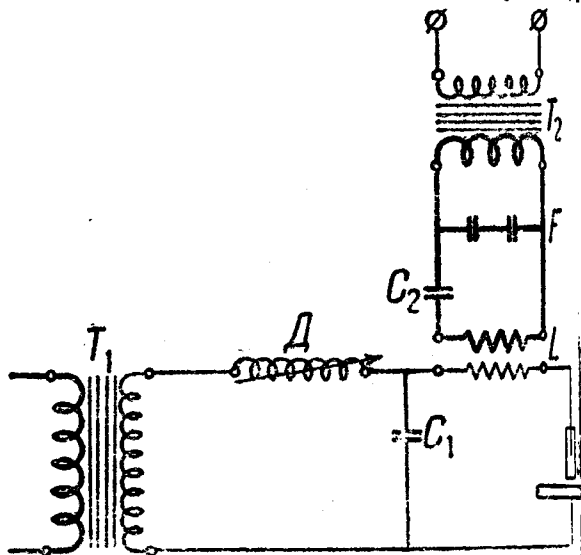
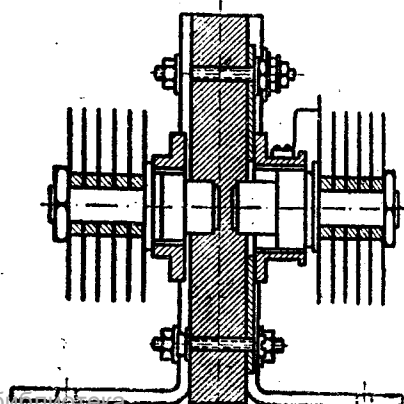
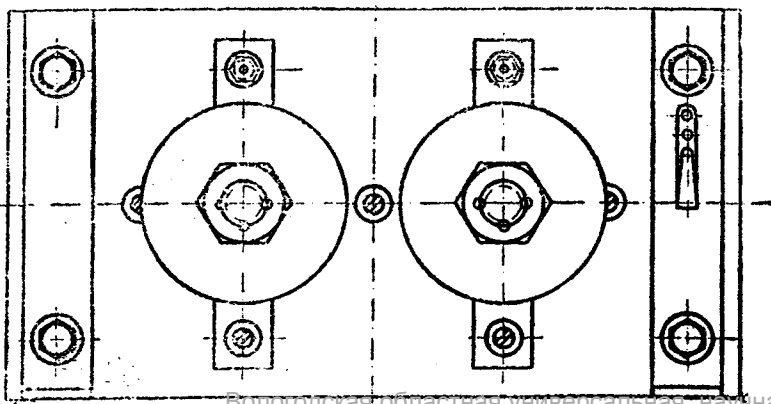


Рис. 3. Схема осциллятора, разработанная заводом „Буревестник“  
 $C_1$  — конденсатор телефонного типа на 0,25  $\mu F$ ;  
 $C_2$  — конденсатор контура емкостью 4 500 см;

зая на рис. 3. Для индуктируемого к катушке связи высокочастотного тока на емкость  $C_1$  можно смотреть как на развещающую; следовательно, вся энергия высокочастотного тока пойдет на активизирование сварочной дуги независимо от состояния левой части сварочного трансформатора. Выход к подобной схеме позволял уменьшить мощность трансформатора осциллятора до 150 Вт (вместо 750 Вт в предыдущем типе). Разрядник значительно также упрощен. Диаметр фрамовых дисков уменьшен до 9 мм. Кроме того, этот тип осциллятора удалось достигнуть большой экономии в металлах—он целиком изготовлен из железа.

Новый тип осциллятора, несмотря на значительные изменения в конструкции и сокращение размеров, отдает на активизацию дугового промежутка больше энергии и делает процесс сварки более стабильным. На рис. 4 дана фотография осциллятора, выпускаемого заводом „Буревестник“.

К трансформаторам осциллятора предъявляют особые требования, исходящие из условий работы искрового генератора.



лучшей работы и большей отдаче генератора необходимо быстрый обрыв искры между электродами разрядника. Для этой цели необходимо, чтобы трансформатор, питающий разрядник, имел сильно падающую характеристику. Из условий работы необходимо предусмотреть также возможные закоротки вторичной обмотки трансформатора при случайном прикосновении электродов разрядника. С целью создания такой характеристики трансформатора делают рассеяние трансформатора возможно большим, для чего в первичную обмотку трансформатора можно вводить добавочное сопро-

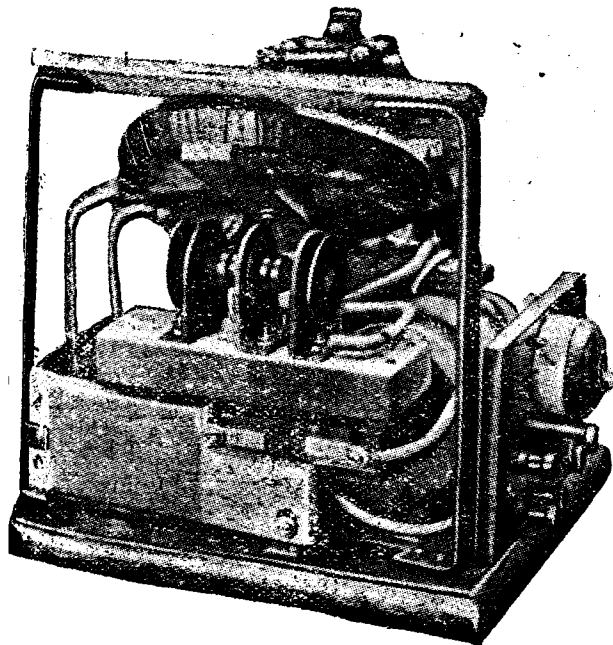


Рис. 4. Общий вид осциллятора завода „Буревестник“

тением, что, вообще говоря, нежелательно. Делая катушки трансформатора круглыми, а керн — четырехугольным, получают большие зазоры между железом и обмоткой, чем также достигается необходимое рассеяние. Но из анализа работы этого трансформатора замечено, что разрядники благодаря своему слабому падению напряжения принимают на себя основную работу и значительно лучше предыдущего трансформатора. Такой трансформатор обладает большим к. п. д., разрядники работают в более благоприятных температурных условиях.

Одним из важных элементов осциллятора является разрядник. В нем поглощается значительная доля энергии трансформатора. Между его дисками проскакивает искра, обладающая высокой температурой (свыше 3000°С). В большинстве

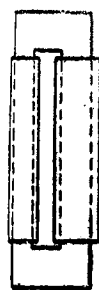


Рис. 5. Схематическое изображение трансформатора с падающей характеристикой:  $n_1 = 420$ ,  $n_2 = 3600$

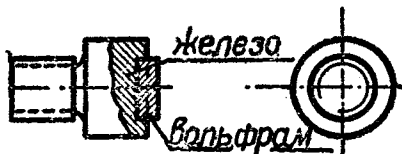


Рис. 6. Вольфрамовый диск разрядника, впаянный в головку железного болтика

случаях разрядников предусматривается поэтому возможность сменить вольфрамовые диски. В таких случаях сменная деталь представляет собою болтик с сваренным в головку диском из вольфрама (рис. 6).

Правка вольфрама требует особого внимания. От качества приварки зависит нормальная работа разрядника и длительность его службы. Известно, что вольфрам очень трудно сваривается и припаявается. Обыкновенно припайка вольфрама делается в среде, исключающей окисление (например, в вакууме или в атмосфере водорода). Наиболее хорошо припайка вольфрама удается к железу. Для пайки употребляют специальные молибденовые горелки, позволяющие поддерживать температуру, близкую к плавлению железа. Пайка вольфрама к железу или серебром в атмосфере воздуха дает в большинстве

случаев отрицательные результаты, тем более, что применяемые припой часто создают плохопроводящую прослойку, что в конечном итоге ведет к выгоранию вольфрама. Для характеристики качества припайки вольфрама даны кривые нагревания разрядника в месте спаивания (рис. 7).

При работе осциллятора вхолостую разрядник несет самую большую работу, энергия рассеивается, главным образом, в разряднике. Это хорошо видно из кривых, данных на рис. 8.

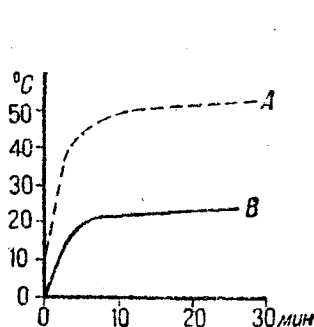


Рис. 7. Кривые зависимости температуры места пайки вольфрамового диска разрядника от времени: кривая А — пайка серебром; В — пайка медью в среде водорода

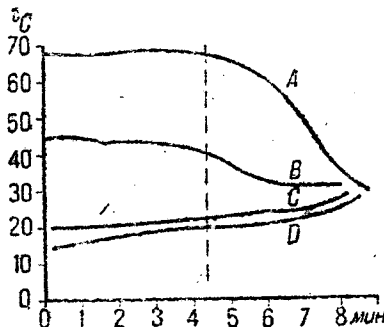


Рис. 8. Зависимость температуры разрядника от времени при различных режимах работы: кривая А — холостой ход; В — нагрузка одной угольной лампой; С — то же двумя лампами; Д — то же тремя лампами

Вольфрамовые диски должны быть хорошо отшлифованы и строго параллельны между собою. Непараллельность ведет к тому, что искра будет проскакивать между наиболее близкими точками дисков, что в свою очередь вызовет местные перегревы и выгорание вольфрама, а вместе с тем и к нарушению нормальной работы установки. Весьма важно также прочно фиксировать положение дисков в отрегулированном разряднике.

Касаясь вопроса безопасности, все относящееся к сварочному трансформатору, т. е. токов низкого напряжения и нормальной частоты, мы не будем затрагивать. Особой опасностью можно ожидать со стороны осцилляторного трансформатора, имеющего напряжение от 2000 до 3000 В. Но в последней модели осциллятора завода „Буревестник“ эта опасность несколько уменьшается, так как мощность трансформатора снижена до 150 W. Уменьшению опасности со стороны трансформатора способствует также его падающая характеристика, которая не позволяет развиваться большим силам тока. Все же осциллятор должен проектироваться таким образом, чтобы прикосновение к частям, находящимся под напряжением со стороны вторичной обмотки трансформатора, было невозможно, поэтому при снятии кожуха осциллятора или при открытии дверцы для осмотра разрядника должна быть предусмотрена блокировка.

Ток высокой частоты, протекающий по электродам при сварке, имеет напряжение около 2000 В. В условиях работы в обстановке сварочной опасности попадания высокочастотного тока в организм сварщика вполне вероятно.

В 1908 г. Нернст дал закон разражения, по которому сила тока, нужная для получения первого возбуждения, пропорциональна квадратному корню из частоты:

$$I = K\sqrt{N},$$

где  $K$  — постоянный коэффициент. В последнее время академиком Лавревым внесены поправки и доказано, что при частотах выше 50 000 пер/сек справедливо другое соотношение:

$$I = K_1 N.$$

При разработке аппаратов диатермии мы убедились, что при возможных действиях токов различных частот (а в случаях пользования осциллятором мы, как правило, имеем дело с суммарным действием высокочастотного тока и тока нормальной частоты) будет справедливо следующее соотношение:

$$I = K_1\sqrt{N_1} + K_2\sqrt{N_2}.$$

При определении частоты, развиваемой осциллятором, обыкновенно руководствуются этим положением и выбирают частоту такую, чтобы отодвинуть порог раздражения. Высоко-частотные токи в пределах плотностей, не вызывающих раздражений в организме, не несут разрушения организма, а лишь вызывают его нагревание.

Попадание высокочастотного тока в организм сварщика при различных случайных прикосновениях весьма ничтожно и не вызывает какой-либо опасности.

# ИЗ РАБОТ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ ЛЕНЭНЕРГО

## Испытание междувитковой изоляции обмоток

Инж. А. В. Калантаров  
Ленинград, Высшая  
лаборатория  
«Электроток»

Помимо испытания изоляции обмотки относительно корпуса или другой обмотки, которое производится довольно легко простым прикладыванием напряжения нормальной частоты между испытываемой обмоткой и корпусом или другой обмоткой, следует производить также испытание изоляции между отдельными элементами обмотки (витками, катушками). Необходимость в производстве такого рода испытания диктуется тем, что даже с точки зрения рабочих напряжений нормальной частоты следует производить контроль самой изоляции и качества намотки и выявлять случаи полного или почти полного металлического короткого между витками. Но кроме этого, в аппаратуре, содержащей обмотки (трансформаторы, машины), при всякого рода неустойчивых режимах, возникающих в сети, образуются значительные внутренние перенапряжения в обмотке, благодаря которым изоляция между частями обмотки и в первую очередь между витками должна выдерживать напряжения, значительно превосходящие нормальные. Для того чтобы быть уверенным в прочности этой изоляции, необходимо производить испытание ее достаточно высоким напряжением. Такое испытание в собранной обмотке или намотанной катушке обычными способами не может быть произведено и требует специальных методов.

Если мы имеем катушку из  $n$  витков и хотим при испытании получить между витками напряжение  $e$  вольт, то это можно произвести двумя методами: 1) методом непосредственного прикладывания напряжения к катушке и 2) индуктивным методом. При первом методе напряжение, прикладываемое к катушке, должно быть равно падению напряжения в ней. Пренебрегая омическим сопротивлением и считая распределение напряжения по катушке равномерным при синусоидальности приложенного напряжения  $e_n = i\omega L = en$ , откуда

$$e = \frac{i\omega L}{n}$$

Так как величины  $L$  и  $n$  заданы размерами катушки, а допустимый ток определяется из условий нагревания катушки, то для получения достаточного испытательного напряжения необходимо идти на повышение частоты.

При индуктивном методе напряжение, индуцируемое в испытываемой катушке (как во вторичной обмотке), определяется выражением

$$e_n = k\Phi f n = en,$$

где  $k$  — постоянный коэффициент,  $\Phi$  — поток, пронизывающий обмотку,  $f$  — частота. Отсюда  $e = k\Phi f$ .

Для получения желаемого испытательного напряжения опять-таки необходимо повышать частоту, так как при 50 пер/сек. удается получить только несколько вольт на виток.

Указанные два метода и лежат в основе применяемых в настоящее время установок для испытания междувитковой изоляции как отдельных катушек, так и собранных аппаратов и машин в Америке (Westinghouse, GE) и в Германии (SSW) [2, 3, 4, 5, 6].

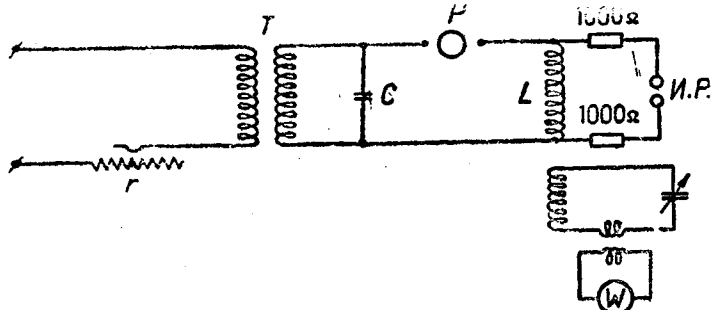


Рис. 1 Схема для испытания катушек методом непосредственного прикладывания напряжения

Автором было произведено в Высоковольтной лаборатории «Электроток» (Ленинград) исследование обоих этих методов испытания и изготовлена опытная установка для трансформаторной мастерской «Электроток». Результаты этой работы и приводятся ниже.

Метод непосредственного прикладывания напряжения

На рис. 1 приведена схема испытания по этому методу. Испытываемая катушка  $L$  составляет с конденсатором  $C$  колебательную цепь, в которую включен также разрядник  $P$ . Кон-

денсатор  $C$  заряжается трансформатором  $T$  до тех пор, не произойдет разряда на разряднике  $P$ , следовательно является возникновение затухающих колебаний в колебательной цепи  $LC$  с частотой собственных колебаний

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Напряжение на испытываемой катушке имеет вид затухающего высокочастотного колебания, возникающего в точке плутуды пятидесятипериодного напряжения. Наибольшая плутуда напряжения на катушке равна величине разряда напряжения установленного искрового промежутка в разряднике  $P$ .

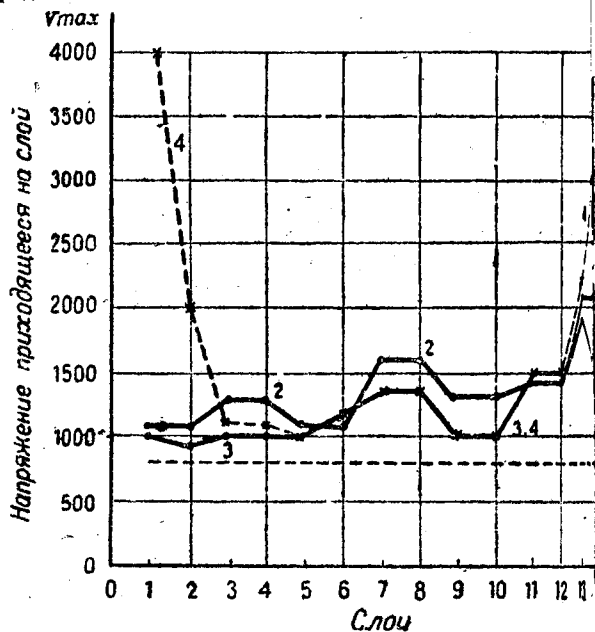


Рис. 2. Распределение напряжения между слоями катушки из 12 при испытании по методу непосредственного прикладывания напряжения

- 1 — кривая равномерного распределения напряжения;
- 2 — кривая действительного распределения напряжения для случая разряда между концами катушки и при разряде через 1000Ω; 30 000 пер/сек;
- 3 — то же, что и кривая 2, 100 000 пер/сек;
- 4 — кривая действительного распределения напряжения при разряде концами катушки без добавочных сопротивлений, 100 000 пер/сек.

Для того чтобы разряд на разряднике не переходил в дугу, надо применять либо обыкновенный шаровой разрядник с дутьем от вентилятора или компрессора, чем достигается охлаждение электродов, так и деионизация разрядного промежутка, либо можно применить вращающийся разрядник. На рис. 10 виден такой разрядник с зубчатым вращающимся диском и с двумя разрядными промежутками, предназначенный для напряжений до 60 ÷ 70 кВ, и со скоростью вращения 1400 об/мин. В первичную цепь трансформатора включается сопротивление  $r$ , которое служит для регулирования напряжения, а также органичивает ток при разряде, так в этот момент трансформатор оказывается замкнутым на коротко. Емкость конденсатора  $C$  должна быть порядка 0,02 ÷ 0,03 мкФ. Необходимая емкость определяется из условий, чтобы разряд получался достаточно мощным. Конденсатор должен быть рассчитан на напряжение, несколько превышающее испытательное напряжение катушек. В таком случае ограничение в испытательном напряжении обусловлено разрядным напряжением между концами самой испытываемой катушки.

При испытании следует иметь в виду характер распределения испытательного напряжения. Для выяснения этого были произведены исследования распределения напряжения между витками испытываемой катушки. В качестве последней была взята катушка из 60 витков (15 слоев, по 4 витка в слое). Производились измерения напряжений на всей катушке и на отдельных слоях с помощью шарового разрядника диаметром шаров 10 мм освещаемой дугой.



Испытания производились при напряжении 11,9 kV (тах) и вей катушке. Так как в первый момент после разряда катушка подвергается импульсному воздействию и только затем устанавливаются высокочастотные затухающие колебания, то следует ожидать неравномерного распределения напряжения между слоями. Результаты испытания приведены на рис. 2. Частота затухающих колебаний составляла 100 000 пер/сек. Прямая соответствует равномерному распределению. Кривая 2 дает действительное распределение наибольших напряжений, приходящихся на каждый слой за весь процесс. Кривая 3 дает то же для частоты 100 000 пер/сек. Как видно, действительно получается весьма неравномерное распределение: на крайних витках напряжения оказываются почти в 3 раза больше тех, которые получились бы при равномерном распределении. Надо отметить, что расстояние между конденсатором  $C$  и катушкой были взяты наименьшими, практически достижимыми в такого рода установке, а именно ворядка 2 м, вследствие этого возможные повышения напряжения от отражения от катушки разрядных волн сводятся к минимуму. При выборе необходимого испытательного напряжения следует учитывать выявившуюся неравномерность распределения напряжения, причем для катушек с малым числом витков, порядка 10, эта неравномерность будет меньше, и, наоборот, для многослойных катушек с несколькими слоями витков, вероятно, неравномерность будет еще больше. При измерении испытательного напряжения можно воспользоваться или шаровым разрядником, или статическим вольтметром. При измерении напряжений при помощи шарового разрядника наиболее желательным было бы непосредственное подключение без добавочных сопротивлений, так как добавочные сопротивления могут увеличить коэффициент импульса разрядника. Но возникает опасение, что при разряде без сопротивления может получиться очень неравномерное распределение напряжения по катушке. Для выяснения этого было произведено исследование таким образом, что при разряде на измерительном шаровом разряднике, подключенном без добавочных сопротивлений, производилось измерение напряжений по катушке указанным выше способом. Кривая 4 (рис. 2) дает результаты этих измерений при частоте затухающих колебаний 100 000 пер/сек. Как видно из этой кривой, на крайних витках возникают напряжения, превышающие в 5 раз напряжения равномерного распределения и почти в 2 раза напряжения, имеющие место без разряда на измерительном разряднике. Таким образом ясно, что без добавочных сопротивлений измерительным шаровым разрядником пользоваться нельзя.

Подбор сопротивлений (постепенное увеличение от нуля) показал, что уже сопротивление  $1000+1000 \Omega$  оказывается достаточным и в то же время дает правильные результаты измерений. Кривые распределения напряжения между слоями при разряде на измерительном разряднике с добавочными сопротивлениями  $1000+1000 \Omega$  практически уже совпадают с кривыми 2 и 3 рис. 2. Сопротивления могут быть выполнены в виде трубочек с раствором медного купороса в воде, или с подкисленной водой, или в виде проволочных безындукционных сопротивлений. Схема включения измерительного шарового разрядника (УР) показана на рис. 1.

Метод измерения испытательного напряжения с помощью шарового разрядника достаточно прост, но имеет тот недостаток, что во время испытания нет постоянного показания прибора. Другой метод — метод статического вольтметра не имеет этого недостатка, но несколько более сложен. Схема включения статического вольтметра показана на рис. 3. В этой схеме кенотрон  $C$  должен быть подключен к незаземленному концу катушки, иначе измерения будут ошибочными вследствие стекания зарядов в землю с пластин вольтметра. Предварительно всю измерительную схему следует проградировать на постоянном токе.

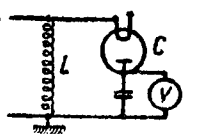


Рис. 3. Схема включения статического вольтметра

Для регистрации пробоя между витками при испытании лучше всего применять обычную схему волномера, состоящую из конденсатора переменной емкости, набора катушек самоиндукции и теплового ваттметра (рис. 1). При начале испытания волномер настраивается в резонанс с частотой колебаний в испытываемой катушке, следствием чего получается некоторое отклонение стрелки ваттметра. В случае пробоя в катушке получается один или несколько короткозамкнутых витков и вследствие этого меняется самоиндукция катушки и нарушается резонанс. Кроме того, сильно уменьшается, вследствие наличия короткозамкнутых витков, ток в испытываемой катушке. Благодаря этим причинам отклонение стрелки ваттметра уменьшается. В случае неполного пробоя при проскакивании только отдельных искр между витками испытываемой катушки стрелка ваттметра будет давать только небольшие толчки. Для того чтобы уловить эти толчки, надо чтобы при испытании без пробоя стрелка

крайней мере в случае работы с вращающимся разрядником, и для получения относительно устойчивого отклонения стрелки следует питающий трансформатор возбуждать на напряжение большее, чем испытательное, с тем чтобы разряды происходили обязательно каждые полперіода. Таким образом приходится трансформатор выбирать примерно на полторное наибольшее испытательное напряжение. Мощность трансформатора  $5-10 \text{ kVA}$ .

За неизменением чувствительного ваттметра ( $\approx 0,3 \text{ W}$ ) можно применить для регистрации пробоя схему волномера с чувствительным прибором постоянного тока.

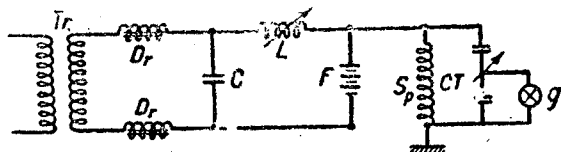


Рис. 4. Схема испытательной установки юрибергского завода

Эти схемы для регистрации пробоя, к сожалению, не очень чувствительны. При пробое испытываемой катушки в виде отдельных разрядов между витками стрелка указателя волномера дает заметные изменения в отсчете только при разрядах между примерно двумя процентами всех витков катушки. Поэтому если желательно иметь возможность регистрировать отдельные разряды на одном витке, то можно производить испытание методом непосредственного прикладывания напряжения только маловитковых катушек, имеющих приблизительно не больше 50 витков.

Особенностью и для некоторых целей и недостатком этих схем для регистрации пробоя является и то, что они основаны на сравнительном методе. Момент пробоя регистрируется тем, что уменьшается показание волномера и изменяется частота. Вследствие этого надо иметь возможность произвести испытание заводом хорошей катушки и для остальных катушек производить сравнения с полученными данными для хорошей катушки. Поэтому, например, испытания возможны только в случае прохождения через испытание большего количества однотипных обмоток.

В заграничной практике испытательные установки, работающие по методу непосредственного прикладывания напряжения, находят применение у ряда фирм. Так, у SSW (6) на динамо-строительном заводе работает такая установка по схеме, подобной изображенной на рис. 1; она служит для испытания катушек всех машин вплоть до самых больших размеров и самых высоких рабочих напряжений.

На юрибергском заводе той же фирмы работает установка по несколько измененной схеме (рис. 4), предназначенная для испытания, главным образом, катушек статоров трехфазных двигателей средней мощности. Испытываемая катушка  $S_p$  включается не в основную колебательную цепь, а в цепь, гальванически с ней связанную, образованную этой катушкой и конденсатором  $CT$ . При помощи настраивающей катушки  $L$  обе цепи,  $LC$  и  $S_p CT$ , настраиваются в резонанс. Конденсатор  $CT$  является переменным емкостным делителем напряжения, к одной из частей которого приключается тлеющая лампа  $G$ , которая начинает светиться при вполне определенном напряжении. По соотношению плеч потенциометра  $CT$  можно установить общее напряжение, приходящееся на испытываемую катушку. Пробивное напряжение разрядника  $F$  и соотношение плеч потенциометра таковы, что при резонансе лампа горит на пороге своего свечения. Всякое отклонение от точки резонанса, которое происходит при разряде или пробое в испытываемой катушке, вызывает по меньшей мере ослабление свечения, а в большинстве случаев потухание лампы. Таким образом тлеющая лампа является одновременно измерителем напряжения и указателем повреждения.

У фирмы Westinghouse работает установка по схеме, подобной изображенной на рис. 1. Эта установка была впервые применена для испытания катушек индукционных регуляторов. Результаты оказались настолько хорошими, что испытание было распространено на намотанные статоры и роторы однофазных и трехфазных регуляторов, а также на катушки асинхронных моторов, турбогенераторов и синхронных моторов и на якоря машин постоянного тока, причем при испытании этих последних напряжения прикладывается к двум точкам коллектора, соответствующим точкам касания щеток, и затем якорь вращается.

#### Индуктивный метод

На рис. 5 приведена схема испытания по этому методу. Вспомогательные (возбуждающие) катушки  $L_1$  и  $L_2$ , одетые на железный сердечник  $A$ , составляют с конденсатором  $C$  колебательную цепь, в которую включен также разрядник  $P$ . Катушки  $L_1$  и  $L_2$  являются первичными катушками трансформатора.



приложенных порядка нескольких вольт на виток, причем эта чувствительность, конечно, не зависит от числа витков в испытуемой катушке. Трудностью при пользовании этим методом является наличие посторонних мешающих шумов, фонов громкоговорителя, которые особенно сильны при больших значениях напряжений (вольт/виток) и при большом числе витков в испытуемой катушке. Наличие этих фонов объясняется, с одной стороны, рассеянием в катушках  $L_1$  и  $L_2$ , с другой стороны, тем, что в испытуемой катушке даже без пробоя имеют, по видимому, место емкостные токи, которые при большом числе витков становятся настолько большими, что дают шумы в громкоговорителе. Мерами борьбы с этими фонами является, во-первых, заземление сердечника  $B$  для уничтожения электростатического влияния, во-вторых, удлинение сердечника  $B$ , в-третьих, симметричное расположение улавливающей катушки  $I$  относительно катушек  $L_1$  и  $L_2$  (как показано на рис. 5) и, наконец, в-четвертых, подавление этих фонов усилителем, а именно таким образом, что в усилителе, вместо обычной подачи на сетку отрицательного потенциала, следует подавать незначительный положительный потенциал. Приняв эти меры, удалось производить испытания катушек до 1500 витков и доводить до испытательных напряжений порядка 700 В на виток.

Испытательная установка, работающая по индуктивному методу, применена на заводах фирмы GE в Америке (3). Схема этой установки подобна изображенной на рис. 5. Таким образом можно установить следующие особенности индуктивного метода испытания: этот метод пригоден для испытания катушек с любым числом витков, и с его помощью можно производить испытание единичных катушек, так как не требуется производить сравнения с заводом хорошей катушкой. Кроме того, распределение напряжения по катушке практически равномерно.

На рис. 10 показана фотография собранной опытной установки, работающей по индуктивному методу. Установка изготовлена в высоковольтной лаборатории "Электроток" для трансформаторной мастерской.

В этой установке конденсаторами служат барабаны 35-kV обода, помещенные за стеной. Сердечник (А на рис. 5) сделан из вращающихся ярма. На установке удалось получить испытательное напряжение до 650 В при питающем напряжении 13 kV.

Испытания катушек на этой установке начали производиться с 1931 г., и через нее прошло уже более 2000 катушек. Из этого числа пробился при испытании около 4%. Испытанием удается контролировать как качество изоляции, так и качество намотки. С трансформаторами, обмотки которых прошли через испытание, аварий до настоящего времени еще не было. Между тем были случаи пробоев при испытании напряжением относительно земли, а также в первые дни работы после выхода из ремонта в трансформатор, обмотки которых не были испытаны.

#### Прочность изоляции катушек при высокочастотных затухающих колебаниях

Для того чтобы можно было установить, надлежащее испытательное напряжение для катушек, были произведены сравнительные испытания некоторых материалов при переменном токе 50 пер/сек и при высокочастотных затухающих колебаниях. Для испытания переменным током 50 пер/сек служил трансформатор 110/6600 В, 500 VA. Испытание производилось таким образом, что давалось определенное напряжение и выдерживалось либо до пробоя, либо некоторый промежуток времени, смотря по роду материала.

Для испытания при высокочастотных затухающих колебаниях была применена схема рис. 7, подобная схеме индуктивного метода, только без железного сердечника А. Первичная колебательная цепь, питаемая трансформатором Т, состояла из катушки  $L_1$ , конденсатора  $C_1$  и вращающегося разрядника Р. Вторичная колебательная цепь, индуктивно связанная с первичной, состояла из катушки  $L_2$ , конденсатора  $C_2$ , испытуемого образца О, катушки  $n$  и устройства для измерения напряжения, состоящего из освещенного шарового разрядника и статического вольтметра, питаемого через кенотрон.

Статический вольтметр градуировался первоначально на переменном токе; эта градуировка может быть произведена с весьма большой точностью. Затем он градуировался на постоянном токе, будучи включен через кенотрон, т. е. так, как и включался для измерения при высокой частоте.

Измерения на высокой частоте производились обоими методами. Можно считать, что такой двойной метод измерения дает точность порядка  $\pm 5 \div 7\%$ . Эту точность надо признать удовлетворительной, тем более, что зажигания производились вращающимся разрядником, который сам давал небольшие колебания в напряжении. Вологодская областная университетская библиотека

Для определения момента пробоя был применен громкоговоритель (рис. 11). Испытываемый образец О подключался к конденсатору  $C_2$  через катушку  $n$  из нескольких витков, надетую на железный сердечник, на котором помещена еще улавливающая катушка  $I$ , включенная через радиоусилитель на громкоговоритель. В случае пробоя образца через катушку  $n$  идет ток, который создаст поток в железном сердечнике; в катушке  $I$  индуцируется некоторая э. д. с., дающая потрескивание в громкоговорителе. До пробоя образца через катушку  $n$  проходит колебательный ток, но недостаточный для вызывания потрескивания в громкоговорителе. Частота колебаний измерялась волномером. Методика испытания при высокочастотных затухающих колебаниях была такой же, как и при испытании переменным током 50 пер/сек.

#### Результаты испытаний

Обмоточный провод. Был испытан провод круглого сечения с хлопчатобумажной изоляцией (ПБД) диаметром 0,6 мм и 2,9 мм без изоляции и соответственно 0,8 и 3,28 мм с изоляцией. Провод испытывался непровитанным. Образцы изготовлялись согласно рис. 8. Для того чтобы пробой не происходил у края, концы образцов парафинировались или пропитывались маслом. Благодаря этому пробой происходил у края очень редко; эти точки в расчет не принимались. Результаты испытания приведены на рис. 9а и 9б. По осям ординат отражены пробивные напряжения изготовляемых образцов, т. е. для двух слоев изоляции; по оси абсцисс—время, в течение которого было приложено напряжение. При испытании высокой частотой было некоторое колебание напряжения вследствие неравномерности работы вращающегося разрядника, поэтому производилось измерение наибольшего значения напряжения и наименьшего во время испытания, соответственно чему отмечены точки и кривые на рис. 9. Некоторые напряжения выдерживались образцами без пробоя в течение 10 мин.; эти напряжения отмечены стрелками с указанием числа точек.

Как видно из полученных результатов, пробой носит как при 50 пер/сек, так и при высокочастотных затухающих колебаниях чисто электрический характер: зависимости от времени установить нельзя. Это можно объяснить тем, что собственно изоляцией является воздух, а хлопчатобумажная пряжа представляет только механическую перегородку, выдерживающую определенное расстояние между медью. При высокочастотных затухающих колебаниях получились несколько более высокие пробивные напряжения, чем при 50 пер/сек. Это можно объяснить запаздыванием разряда, дающим некоторый коэффициент импульса.

Пергамент. Пергамент применяется в некоторых трансформаторных катушках в качестве дополнительной изоляции между слоями. Был испытан пергамент толщиной 0,075 + 0,080 мм; пробой производился между плоскостью и диском диаметром 35 мм с закругленными краями (радиус закругления 2 мм, вес 750 г). Пробой происходил в большинстве случаев не у края. В случае пробоя у края эта точка не принималась в расчет. Результаты испытания приведены на рис. 9с.

Как видно из кривых, пробой при 50 пер/сек носит тепловой характер: получается довольно отчетливо выраженная зависимость пробивного напряжения от времени. При высокой частоте уловить тепловой характер пробоя не удастся. Это можно объяснить двойным образом. Во-первых, при испытании высокой частотой происходят небольшие колебания напряжения, которые, находясь примерно в пределах возможной зависимости пробивного напряжения от времени, запутывают картину. Во-вторых, может быть, при высокой частоте и не следует теплового пробоя, так как в области теплового пробоя определяющей величиной является эффективное значение напряжения, а не максимальное. В случае же применяемых затухающих колебаний эффективное напряжение во много раз меньше величины наибольшей амплитуды, и потому пробой носит уже не тепловой характер, а электрический. Но в таком случае пробивные напряжения при высокочастотных затухающих колебаниях должны быть примерно равны мгновенным значениям пробивного напряжения при 50 пер/сек и превосходить длительные значения при 50 пер/сек. В действительности подобные данные и получились, как это видно из рис. 9с.

Прессшпал. Был испытан тонкий прессшпал толщиной 0,205 + 0,210 мм, применяющийся в качестве дополнительной изоляции между слоями. Пробой производился так же, как и для пергамента. Результаты приведены на рис. 9д. Как видно из диаграммы, пробой при 50 пер/сек и при высокочастотных затухающих колебаниях не носит теплового характера.

На основании полученных результатов можно сделать заключение, что для материалов, пробой которых при 50 пер/сек не носит теплового характера, при высокочастотных затухающих колебаниях, подобных тем, которые имеют место при испы-

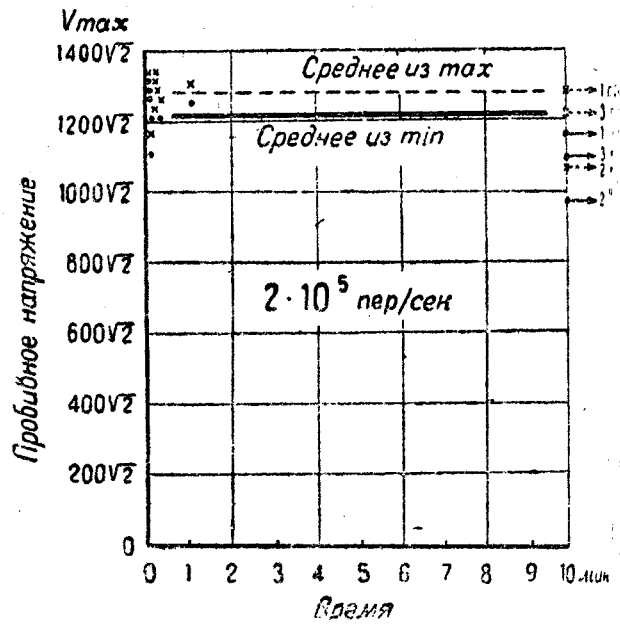
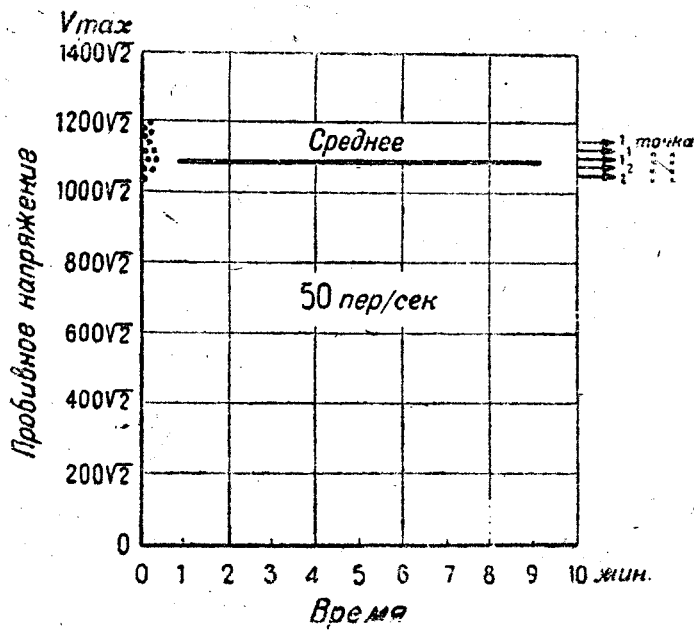


Рис. 8а. Провод диаметра 0,6 мм без изоляции и 0,8 мм с изоляцией

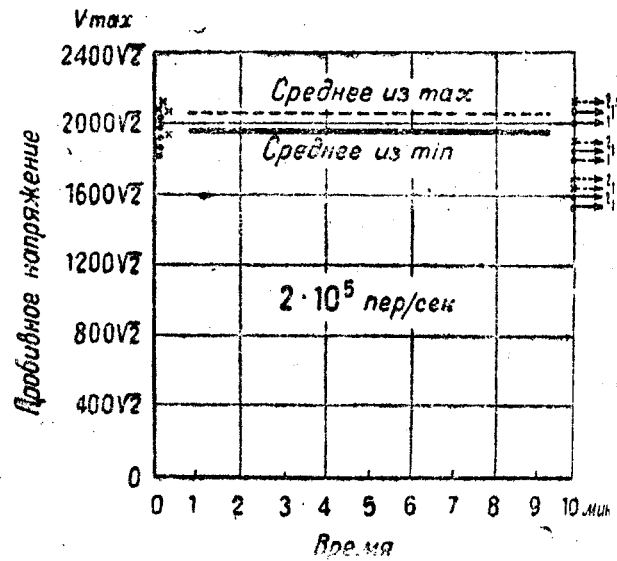
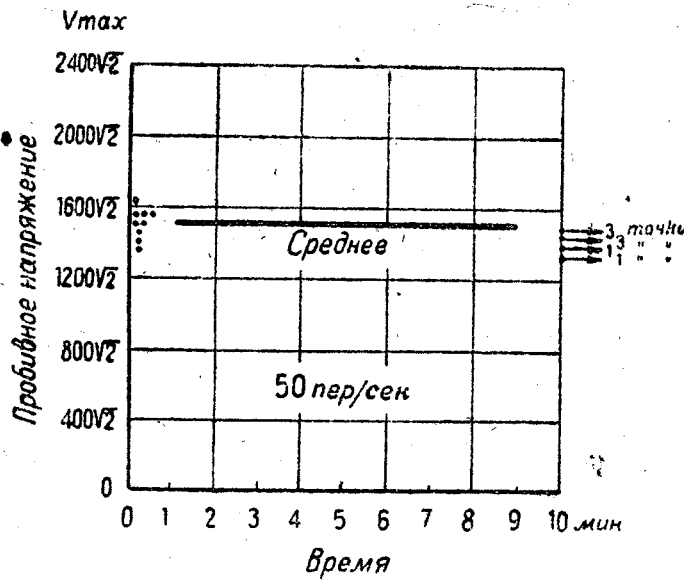


Рис. 8б. Провод диаметра 2,9 мм без изоляции и 3,28 с изоляцией

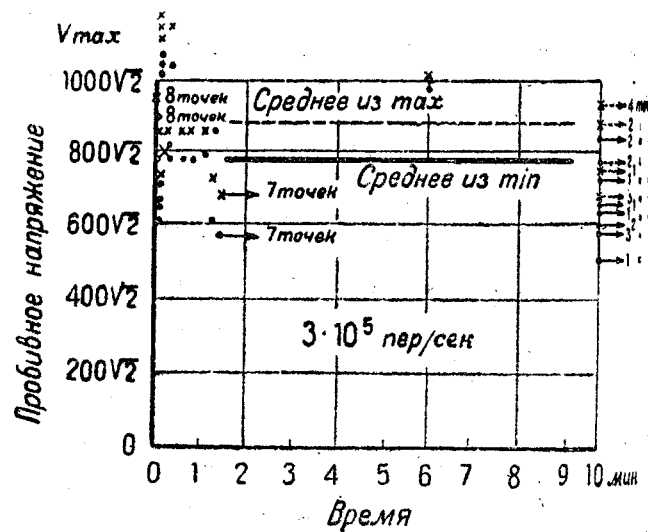
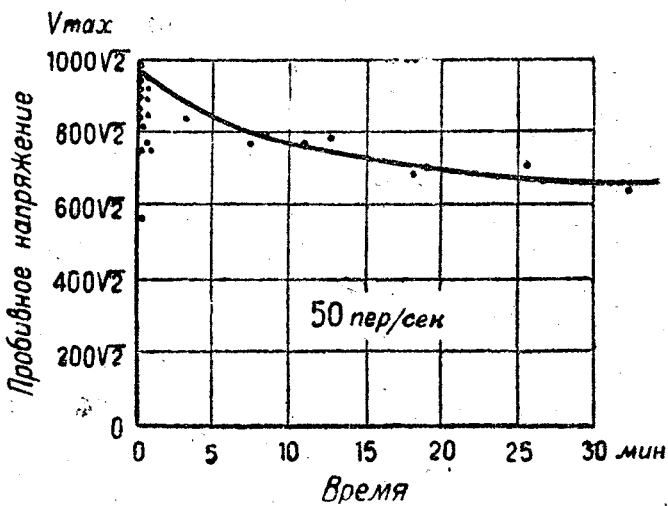


Рис. 8в. Провод диаметр 0,076—0,080 мм

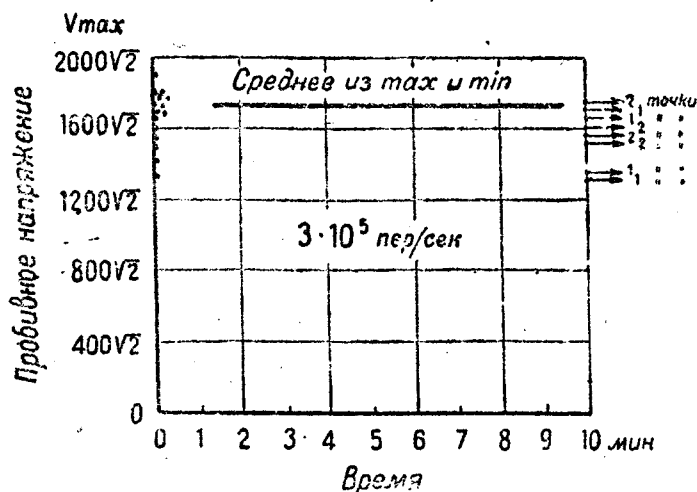
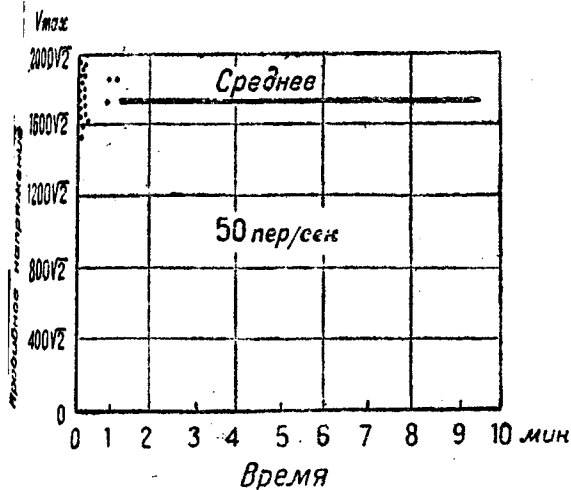


Рис. 9d. Прессшпан 0,206—0,210 мм

междувитковой изоляции катушек не следует также ожидать тепловое характер пробоя и связанного с этим понижения электрической прочности. Более того, для материалов, пробой которых при 50 пер/сек не носит теплового характера, при высокочастотных затухающих колебаниях теплового пробоя может и не быть. Таким образом для материалов, применяемых для изоляции трансформаторных катушек, ориентировочную достаточно правильную величину пробив-

для пробивные напряжения слюды при разных видах напряжения и, в частности, при высокочастотных затухающих колебаниях (по схеме трансформатора Тесла). Он получил, что при такого рода колебаниях пробивная прочность слюды уменьшается почти в два раза. С другой стороны, Вальтер [9] нашел, что даже при незатухающих высокочастотных колебаниях прочность слюды почти не уменьшается, и пробой остается чисто электрическим. Других данных о прочности изолирующих материалов при незатухающих высокочастотных колебаниях нам неизвестно. Есть данные о прочности материалов при незатухающих высокочастотных колебаниях, но они не применены, так как коэффициент затухания при высокочастотных затухающих колебаниях изменяет все соотношения.

В заключение автор выражает благодарность инж. Е. В. Калинин, предложившему провести настоящую работу, за ряд ценных указаний при выполнении работы.

#### Библиография

1. Бранд и Палуев, Изучение перенапряжений в трансформаторе с помощью катодного осциллографа, „Trans. AIEE“, т. 48, июль 1929, стр. 998.
2. Рильер, Испытание изоляции вращающихся электрических машин посредством высокочастотного напряжения, „JAIEE“, 1926, стр. 217—221.
3. Монтинджер, Выступление в дискуссии, „JAIEE“, 1926, стр. 768—770.
4. Рильер, Испытание изоляции высокой частоты, „Fl. Journ.“, январь 1928.
5. Рильер, Испытание катушек с помощью радиоволн, „Power“, 1 мая 1928, стр. 769—770.
6. Либшер и Циглер, Испытание междувитковой изоляции катушек посредством высокочастотного напряжения, „Siemens Zeitschrift“ № 10, 1928, стр. 581.
7. Терман, Изменение неустановившихся режимов, „JAIEE“, май, 1923, стр. 462—466.
8. Грюневальд, см. Флоренский, Диэлектрики и их техническое применение, 1924, стр. 322.
9. Брагин, Вальтер и Семенов, Теория и практика пробоя диэлектриков, 1929, стр. 257.

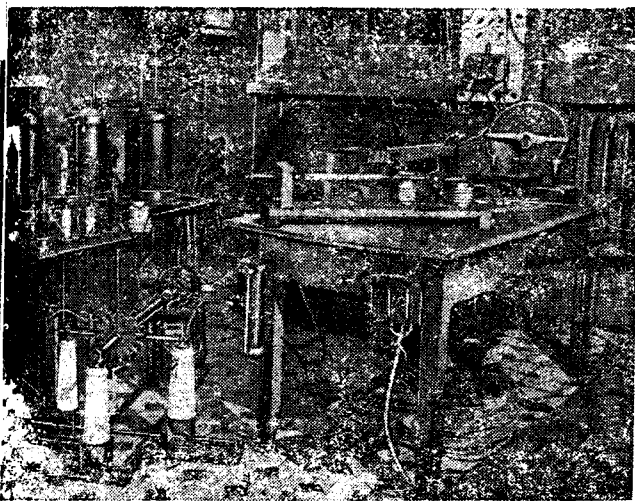


Рис. 10.

ного напряжения при высокочастотных затухающих колебаниях можно получить, производя мгновенное испытание на пробой при 50 пер/сек.

Что касается литературных данных по вопросу о прочности изолирующих материалов при затухающих высокочастотных колебаниях, то их почти не имеется. Грюневальд [8] опреде-

# ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ

## Техника высокого напряжения и линии передач

MARKT и. MENGEL, Передача энергии трехфазным током на большие расстояния по линиям передачи с расщепленными проводами, «Е и. М» № 20, 1932, стр. 293—298

При передаче электрической энергии часть ее, расходуемая на нагревание проводов, может быть снижена в том случае, когда  $\cos \varphi$  близок к единице и индуктивная и емкостная составляющие реактивной мощности равны между собою, т. е.

$$I^2 \omega L = \frac{U^2}{3} \omega C_b, \quad (1)$$

где  $I$  — ток (А),  $U$  — рабочее линейное напряжение (В),  $L$  — индуктивность провода (Н/км),  $\omega$  — круговая частота,  $C_b$  — рабочая емкость провода (Ф/км).

Соотношение:

$$\frac{U}{\sqrt{3}I} = \sqrt{\frac{L}{C_b}} = Z \quad (2)$$

называется волновым сопротивлением. Обычно волновое сопротивление имеет значение от 285 до 415  $\Omega$ .

При этих условиях передаваемая мощность по каждому проводу выражается

$$N_n = \frac{UI}{\sqrt{3}} = \frac{U^2}{3Z} 10^{-6} \text{ MW.} \quad (3)$$

Эта мощность названа Рюденбергом „натуральной мощностью“.

Уравнение (3) указывает нам путь для повышения передаваемой мощности по линии передачи—это повышение напряжения. Авторы указывают, что переход на линиях передачи к рабочим напряжениям порядка 400 kV вызовет много технических затруднений, поэтому для увеличения передаваемой мощности они предлагают уменьшать волновое сопротивление  $Z$ . Это уменьшение волнового сопротивления может быть достигнуто или уменьшением индуктивности, или увеличением емкости системы передачи [уравнение (2)].

Для трехфазных обыкновенных проводов индуктивность каждого провода выражается следующим образом:

$$L = \left( 2 \ln \frac{d}{r} + 0,5 \right) \cdot 10^{-4} \text{ Н/км,}$$

где  $d$  — среднее расстояние (см) между проводами,  $r$  — радиус провода (см). Это же выражение с большим приближением справедливо для двух цепей линий передачи.

Скорость распространения волны по воздушным проводам

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC_b}}.$$

Поэтому уравнение (2) может быть переписано в следующей форме:

$$Z = Lv. \quad (4)$$

Для воздушных линий передачи обычной конструкции со скручиванием скорость распространения волны  $v = 290\,000$  км/сек. Отсюда уравнение (4) может иметь следующий вид

$$Z = 58 \ln \frac{d}{r} + 14,5 \, \Omega. \quad (5)$$

Из этого выражения следует, что волновое сопротивление может быть снижено за счет увеличения радиуса проводов. Практическая реализация этого условия достигается расщеплением провода каждой фазы на несколько параллельных (рис. 1) с радиусом  $r$  и с средним геометрическим расстоянием  $a_1$ . „Действующий радиус  $r_1$ “ такого расщепленного провода, состоящего из  $n$  отдельных проводов, будет

$$r_1 = r \frac{1}{n} a_1^{\frac{n-1}{n}}.$$

Если, например, взять 4 провода, каждый сечением 95 мм<sup>2</sup>, и расположить по углам квадрата со стороной  $a = 25$  см, то

$$a_1 = \sqrt[4]{25 \cdot 25 \cdot 25 \cdot \sqrt{2}} = 28 \text{ см,}$$

$$r_1 = 12,2 \text{ см.}$$

Волновое сопротивление отдельного провода линии передачи с расщепленным проводом в фазе

$$Z_1 = 58 \ln \frac{d}{r_1} + \frac{14,5}{n}.$$

В табл. 1 указано увеличение передаваемой мощности, благодаря применению расщепленных проводов.

Таблица

Трехфазная 2-цепная воздушная линия передачи	Конструкция проводов	
	Пустотелый провод диаметром 30 мм	Расщепленный провод 4×95 мм полное сечение
Волновое сопротивление при среднем расстоянии между фазами 6,5 м . . . . .	368 $\Omega$	242 $\Omega$
„Натуральная мощность“ каждого провода при линейном напряжении 220 kV . . . . .	44 MW	66 MW

## Критическое напряжение расщепленных проводов

Особое значение для высоковольтных линий электропередачи имеет определение критического напряжения, так как исходя из этого устанавливается наивысшее допустимое рабочее напряжение. Критическое напряжение  $U_c$  обычного выполнения проводов линии электропередачи является следующим образом

$$U_c = \frac{r}{C_b} m \cdot 2,03 \cdot 10^{-6} \text{ kV,}$$

где  $m$  — коэффициент, характеризующий состояние провода ( $m = 1$  — для абсолютно гладких цилиндрических проводов сравнительно больших диаметров,  $m = 0,83$  — для обычных расщепляемых проводов). Критическое напряжение для расщепленных проводов

$$U'_c = \frac{r}{C_b} \frac{n}{1 + \frac{r}{a\beta}} m \cdot 2,03 \cdot 10^{-6} \text{ kV.}$$

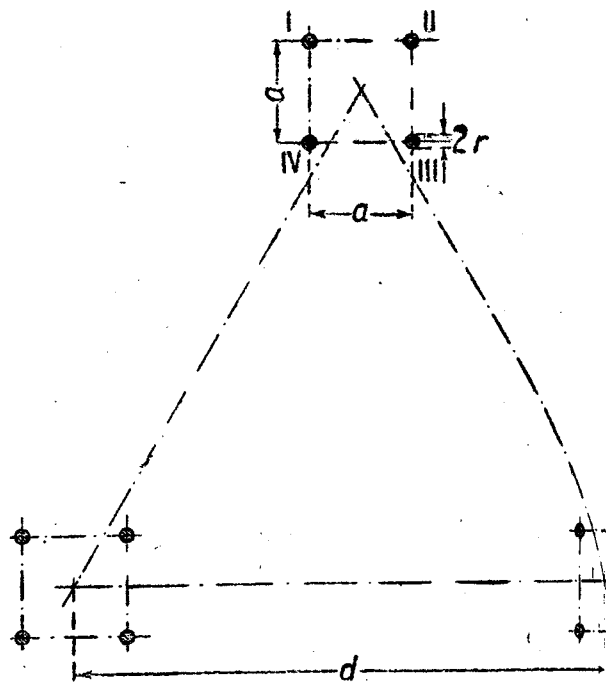


Рис. 1. Трехфазная линия передачи с расщепленными проводами

Оно отличается от критического напряжения  $U_c$  для одного провода в фазе членом  $\frac{n}{1 + \frac{r}{a\beta}}$ , а также тем, что радиус  $r$  заменяется  $r_1$ .

емкость  $C_b' > C_b$ . Для 4 проводов в фазе  $\beta = 4,24$ .

На рис. 2 даны кривые значений критического напряжения для различных величин диаметров отдельных проводов в зависимости от расстояния между отдельными расщепленными проводами. Кривые даны для 200-kV двупольной трехфазной линии передачи с 4 расщепленными проводами в фазе. Величина  $m = 1$ . Для сравнения приведены значения критического напряжения проводов диаметром  $r$ .



...расположенных по одному в фазе. Линия передачи ... конструкции.  
...пустотелых проводов или проводов из Aldrey ... алюминия в качестве расщепленных проводов дает ... преимуществе системе с расщепленными про- ... . Благодаря увеличению диаметра проводов увеличива- ... критическое напряжение или же при данном крити- ... напряжении возможно более экономичное использова- ... сечения.

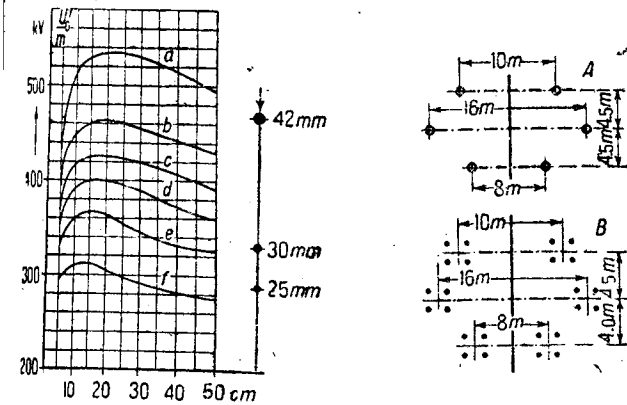


Рис. 2. Критическое напряжение для двухцепной трех- ... линии передачи на 200 кВ с расщепленными про- ... (n=4) в зависимости от расстояния a между ... . Точки справа — наружный диаметр пустотелых про- ... проводов обычной линии передачи:  
... a — для расщепленного провода 2r — 20,3 мм  
... b — " " " 2r — 17,5 " "  
... c — " " " 2r — 15,8 " "  
... d — " " " 2r — 14,0 " "  
... e — " " " 2r — 12,5 " "  
... f — " " " 2r — 10,5 " "

Рис. 2 приведены значения критического напряжения ... заземленных проводов. При заземлении одной из фаз ... поверхности других незаземленных проводов происходит ... силов поле. Требование, чтобы при заземлении од- ... из проводов другие не коронировали, может быть легче ... выполнено в линиях передачи с расщепленными прово-

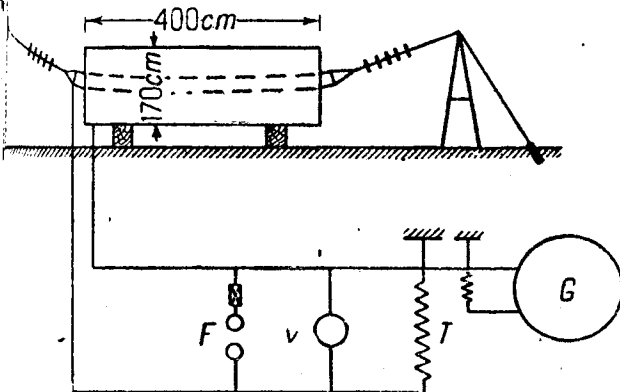


Рис. 3. Испытательное устройство для измерения критического напряжения

- G — генератор
- T — испытательный трансформатор
- V — статический вольтметр
- F — измерительные шаровые разрядники

Рис. 3. Расчетная величина критического напряжения может ... проверена. Авторы описывают испытательное устройство. ... помещаются в середине круглого цилиндра из ли- ... стового железа. Длина цилиндра 4 м, диаметр 1,7 м. Подве- ... жаются провода к гирляндам изоляторов. Натяжение про- ... должно быть таково, чтобы средняя линия расщеплен- ... проводов не отклонилась от оси цилиндра более чем на ... (рис. 3). Железный цилиндр соединен с заземленным по- ... лем испытательного трансформатора. Напряжение на рас- ... щепленные провода подается с другого полюса трансформа- ... . Частота 50 пер/сек. Измерение напряжения производится ... статическим вольтметром. Максимальное значение напряжения ... контролируется шаровым разрядником.

Рис. 3. Расчетное критическое напряжение для двух концентриче- ... ских цилиндров

$$U_o = 21,1mr \ln \frac{R}{r},$$

... R — внутренний радиус железного цилиндра (см), r — ра- ... диус провода, расположенного в середине цилиндра (см).

Аналогичное значение для расщепленных проводов согласно ... уравнению (8)

$$U_o' = 21,1 \text{ мr} \ln \frac{R}{r_1 + \frac{r}{a}}$$

Авторы указывают на то, что ошибка между расчетным и на- ... блюденным значением критического напряжения достигла 70%. ... Далее, авторы рассматривают конструктивное выполнение

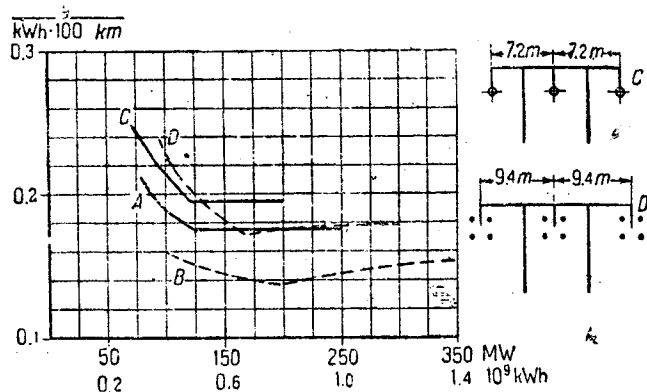


Рис. 4. Годовая стоимость передачи 1 kWh на расстояние 100 км

линии передачи с расщепленными проводами и дают несколько ... чертежей.

В заключение авторы рассматривают вопрос экономического ... сравнения линии передачи обычной конструкции с линией пе- ... рдачи с расщепленными проводами.

На рис. 4 приведены кривые годовой стоимости передачи ... 1 kWh электрической энергии на 100 км для различных кон- ... струкций линий передачи, показанных на том же рисунке ... зависимости от максимальной передаваемой мощности или от ... количества передаваемой электрической энергии (число часов ... использования максимума мощности авторы приняли  $n_b =$  ... = 4 000 час.). Как видно из рис. 4, линии с расщепленными ... проводами экономичнее. Но, конечно, их главное преимуще- ... ство лежит в снижении волнового сопротивления, а вследст- ... вие этого в увеличении передаваемой мощности.

В табл. 2 приведены значения волнового сопротивления и ... «натуральной мощности» линии передачи для конструкций ... данных на рис. 4.

Таблица 2

Конструкция передачи (рис. 4)	Волновое со- противление Z, Ω	Натуральная мощность N <sub>n</sub> , MW
A . . . . .	368	132
B . . . . .	243	198
C . . . . .	398	120
D . . . . .	276	174

Увеличение передаваемой мощности при одном и том же ... расстоянии или увеличение длины линии передачи при одной ... и той же передаваемой мощности составляет при расщепле- ... нии около 50%.

Инж. К. И. Пяртман

W. W. LEWIS, Z. TIPPET. Дистанционная защита „El. Engh., ... июнь, 1931, стр. 420

Идеальная система защиты линии, состоящей из нескольких ... участков (секционированной линии), должна обладать спо- ... собностью подразделять все аварии на два класса: 1) аварии, ... происходящие в пределах защищаемого участка (данной сек- ... ции) и 2) аварии вне этого участка. В случае аварии первого ... класса масляник производит выключение мгновенно, что обе- ... спечивает возможность работы вблизи предела устойчивости ... и уменьшает последствия аварии в месте короткого замыка- ... ния. При аварии второго класса масляник или вовсе не вы- ... ключает спустя известный промежуток времени, который ... больше в сравнении с собственным временем действия вы- ... ключателя.

В случае защиты одиночной линии кроме систем с кон- ... трольным проводом (pilot wire) и метода наложения высокой ... частоты 1) защита посредством дистанционных реле ближе ... всего подходит к идеальной. При защите параллельных линий ... несколько лучшие результаты дают уравновешенные реле тока, ... однако необходимость иметь особую защиту на случай вы- ... падения одной из линий делает их применение нецелесооб- ... разным.

... Сл. Электричество, № 16 1931, реферат 1909.

Так как практически дистанционные реле не могут реагировать абсолютной точностью на расстояние до места аварии, то приходится вводить промежуточный класс аварий, к которому надо отнести аварии, происходящие на участке вблизи

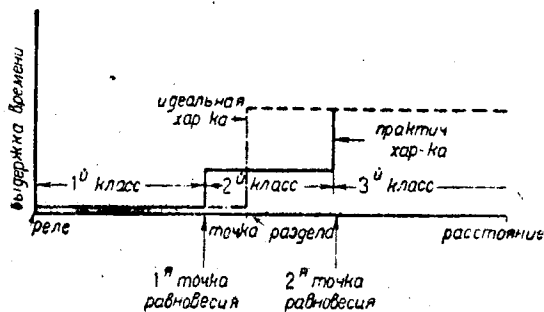


Рис. 1

точки раздела по обе стороны от нее (рис. 1). Если авария произойдет на участке, отнесенном к первому классу аварий, то реле произведет мгновенное выключение масляника. Если авария случилась до точки раздела, но на участке, отнесенном ко второму классу, то реле произведет выключение с некоторой выдержкой времени. Если авария случилась за точкой раздела, но еще на участке второго класса, то прежние реле будет действовать с той же выдержкой времени, но зато второе реле, установленное за точкой раздела, подействует мгновенно и осуществит селективное выключение участка за точкой раздела.

Полное и реактивное сопротивления, учитываемые соответственно импеданс- и реактанс-реле, приблизительно пропорциональны расстоянию от реле до точки короткого замыкания. Однако вследствие ряда причин эти сопротивления для данного расстояния могут претерпевать изменения, выражающиеся в перемещении точек равновесия характеристики вдоль линии. Чем значительнее эти перемещения, тем больше приходится делать промежуточный класс аварий, тем меньше точность дистанционной защиты. Поэтому чрезвычайно важно знать факторы, определяющие сдвиг точек равновесия. В случае короткого замыкания между фазными проводниками и тока через землю или какие-либо другие пути, имеющие сообщения с землей. Обычные способы присоединения реле для этого случая защиты используют линейное напряжение и линейный ток. Влияние последних двух причин можно исключить, если вместо линейного тока использовать фазовый ток, т. е. соединить вторичные обмотки трансформаторов тока треугольником или соединить треугольником последовательные обмотки

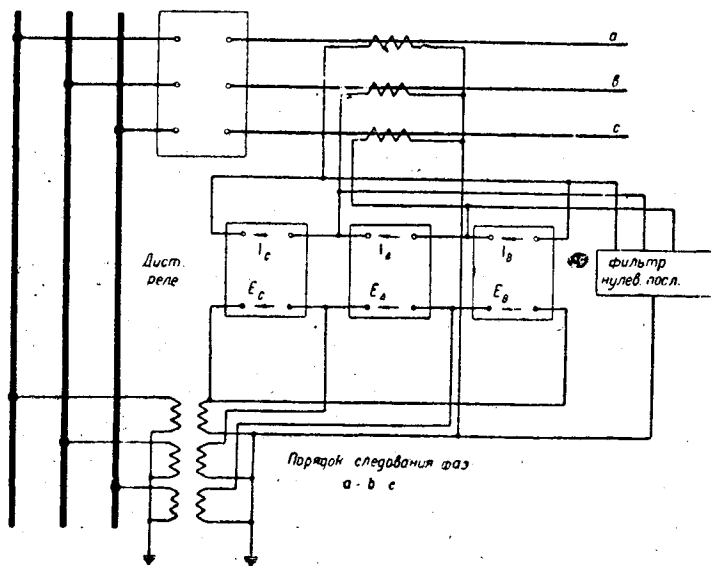


Рис. 2

реле, введя в схему фильтр нулевой последовательности фаз (рис. 2).

При защите от заземлений обмотки обыкновенных реле питаются фазовым напряжением и линейным током. Анализ явлений при авариях этого рода показывает, что сопротивления, учитываемые дистанционным реле, зависят от активного сопротивления контакта заземления тока питающего аварийную сторону, тока в здоровых проводниках, сопротивления

взаимной индукции между двумя параллельными линиями, разности между полными сопротивлениями тока положительных и нулевой последовательности фаз. Влияние всех этих факторов кроме первых двух может быть исключено посредством компенсации потери тока или падения напряжения в месте соединения для последнего случая дана на рис. 1.

Влияние остальных факторов, т. е. сопротивления короткого тока, питающего аварийу с другой стороны, представить путем геометрического прибавления к сопротивлению линии двух величин: вектора, изображающего сопротивление контакта, и некоторого вектора, представляющего произведение из сопротивления контакта на сумму некоторых функций токов, питающих аварийу с другой стороны. Поскольку сопротивление линии по существу реактивно, эти величины прибавляются почти под прямым углом, создавая лишь небольшое увеличение сопротивления. Импеданс-реле реагирует на сумму упомянутых величин. Последняя увеличивается с возрастом сопротивления места короткого замыкания и перемещением равновесия по направлению к реле. Реактанс-реле и

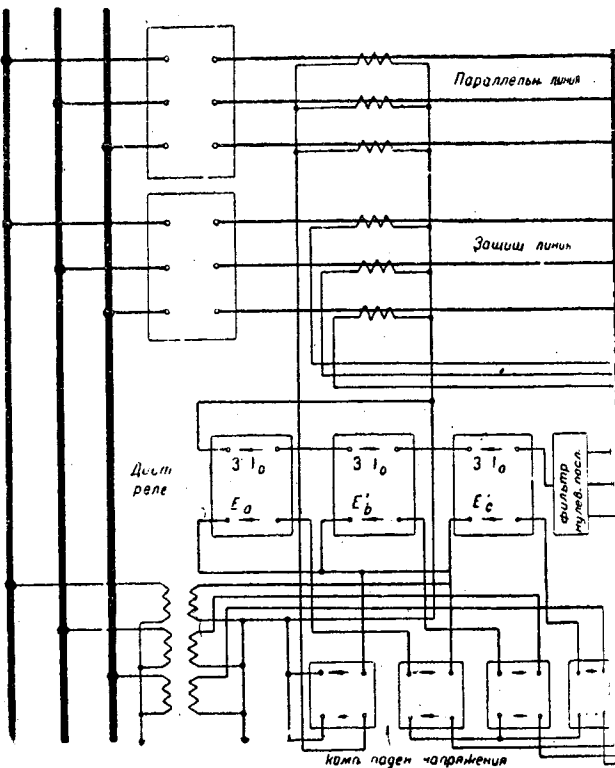


Рис. 3

дается реактивной слагающей этой суммы и свободно от влияния сопротивления места аварии. Однако, если ток, идущий в третьем слагаемом, не находится в фазе, оно может быть как положительным, так и отрицательным, что вызывает перемещение точек равновесия в том или другом направлении.

При междофазовых коротких замыканиях сопротивление контактов и величины смещения точек равновесия для обоих реле — одного порядка. При заземлениях реактанс-реле дает более надежную защиту, так как сопротивление контакта в этом случае значительно выше; при этом приходится мириться с точностью защиты, которая получается меньше, чем в первом случае.

Инж. О. Тихий

Е. Т. NORRIS, Новый метод регулирования напряжения в сетях переменного тока, „The El. Rev.“, 9 декабря, стр. 846—847

По новому методу напряжение сети регулируется с помощью „ходовой“ катушки (рис. 1). По концам сердечника из плеч двухплечевого сердечника монтируются две катушки  $a$  и  $b$  и закороченная катушка  $s$ , свободно передвигающаяся между ними по плечу сердечника. Катушка  $s$  совершенно изолирована, и поэтому не требует каких-либо соединений с кольцом или контактами. Если напряжение приложено к катушке  $a$ , то ток зависит только от импеданса этой катушки, определяемого ее положением. Чем ближе „ходовая“ катушка к катушке  $a$ , тем сильнее проявляется закорачивающее влияние и тем меньше становится действующий импеданс катушки  $a$ . Следовательно, когда катушка  $s$  находится в положении  $I$ , то у катушки  $a$  импеданс падает почти до нуля, а у катушки  $b$  возрастает до максимума. Если приложить напряжение к обоим катушкам, то ток будет делиться между ними, и импеданс катушки  $a$  будет зависеть от положения катушки  $s$ .

последовательно, то катушка *b* окажется под сильным напряжением, нежели катушка *a*. В положении катушек обмениваются местами, т. е. под сильным напряжением окажется катушка *a*.

Указанных на схеме данных и при изменении импеданса в отношении 20:1, напряжение катушки *b* можно менять в пределах от 5 до 95 V, лишь перемещая ходовую катушку.

Широкий диапазон колебаний напряжения требуется в случае измерительных трансформаторов. В сетях же распределения достаточен диапазон в 10—20%, для которого можно получить, комбинируя регулятор с индуктированным трансформатором или же вводя в регулятор дополнительные катушки.

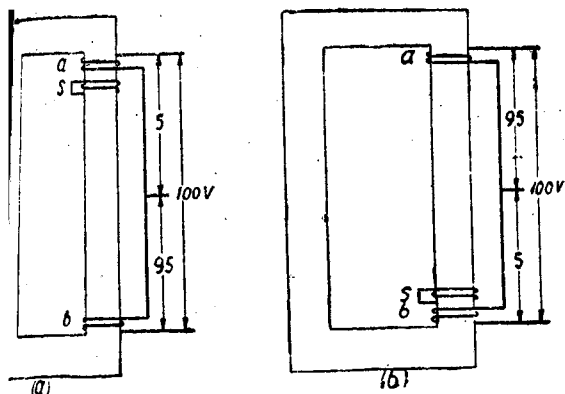


Рис. 1. Схема нового регулятора напряжения

Регулятор напряжения с ходовой катушкой строится по типу нормальных статических трансформаторов, и, следовательно, регулятор может быть построен на высокие напряжения и сильные токи.

Катушки наматываются секциями. По мере надобности вводятся катушечные держатели, прокладки и охлаждающие провода.

Большинство регуляторов для внутренней установки могут быть оборудованы воздушным охлаждением и воздушной защитой, а все остальные обычно погружаются в баки с маслом.

Трехфазные регуляторы выполняются с разделенным сердечником, т. е. состоящим из 3 плеч, причем обмотка вводится по одному на каждое плечо.

В небольших регуляторах ходовая катушка монтируется на магнитной раме, приводимой в движение валом с квадратной резьбой. Для автоматического действия механический привод осуществляется индукционным электродвигателем (на шарикоподшипниках) через коническую или червячную передачу. В крупных регуляторах ходовая катушка приводится в движение двумя вертикальными валами.

Трехфазные регуляторы состоят из прямоугольного трехплечего сердечника с катушками на каждом плече. Все катушки монтируются на общей раме, приводимой в движение вертикальным валом. Электродвигатель ставится перед сердечником и вращает горизонтальный вал, в свою очередь вращающий вертикальный вал через червячную или коническую передачу. Рабочий механизм обычно погружается в масло. Широко применяются шарикоподшипники. Весь регулятор опускается в стандартный бак трансформаторного типа.

В регуляторах не имеется непрерывно движущихся или скользящих частей, и для них не требуется смазки.

Регулятор обладает такими же характеристиками, как и обычный трансформатор, причем для данного положения катушки регулятора может быть выражена в тех же единицах, что и для нормального трансформатора при той же векторной диаграмме.

Потери в железе обычно невелики, так как железо сердечника работает при очень небольшой плотности магнитного потока, и большая часть магнитного сопротивления приходится на воздушный путь. Для уменьшения силы тока в замкнутых витках, катушки *a* и *b* соединяются накрест, причем наводимые ими индуцированные токи взаимно нейтрализуются. При отключении нагрузки в замкнутой катушке нет тока при любом ее положении. Под нагрузкой ток в катушке пропорционален нагрузке, но не зависит от ее положения. Все потери меняются в зависимости от тока, плотности магнитного потока и веса железа и меди.

При данном первичном напряжении ток холостого хода трансформатора остается постоянным для любого положения регулятора. От тока холостого хода трансформатора он отличается тем, что при низкой плотности магнитного потока и в больших размерах воздушного промежутка магнитной цепи индуцируемый ток получается синусоидальным.

Для выяснения механической и электрической стойкости регулятора при напряжениях, вызываемых резким коротким, было произведено испытание регулятора на 5 kVA, дававшего изменение напряжения в сети в размере  $\pm 10\%$  при 460/230 V.

С первичной стороны регулятор присоединялся к сети 6 600 V через понизительный трансформатор. Короткое замыкание вызывало незначительное падение напряжения, и на регуляторе поддерживалось полное первичное напряжение. Выходная сторона регулятора закорачивалась небольшим переменным сопротивлением.

В течение девяти опытов при разных положениях подвижной катушки были получены токи короткого замыкания в 10—19,5 раз более сильные, чем при нормальной полной нагрузке. По осциллограмме, снятой при токе короткого замыкания, в 15 раз превышавшем нормальный, видно, что короткие замыкания не имеют влияния на работу регулятора и не вызывают повреждений.

Инж. М. Коган

Ф. В. РЕЕК, Молния. Доклад на международном конгрессе по электричеству в Париже в 1932 г.

Автор указывает, что длина фронта индуктивных блуждающих волн равна двойной высоте облака над землей. Продолжительность и форма хвоста волны зависит от времени и закона разряда облака. На основании многочисленных наблюдений выяснено, что длина фронта волн колеблется в пределах от 1 до 7  $\mu$ sec, высота облака над землей изменяется от 152 до 1067 m (в среднем 457 m). Продолжительность разряда облака наблюдалась в пределах от 5 до 400  $\mu$ sec, причем 50% всех зарегистрированных волн было короче, чем 30  $\mu$ sec. Большинство перенапряжений с умеренной амплитудой (очевидно, индуктированные перенапряжения) положительны, перенапряжения с большой амплитудой (очевидно, при непосредственных ударах молнии) отрицательны. На основании этого автор приходит к заключению, что облака преимущественно заряжены отрицательно. Величина тока молнии может быть измерена непосредственным определением падения напряжения на части опоры, на основании плавления медных проводов линии передачи и, наконец, исходя из формы и продолжительности блуждающих волн. Ток молнии может достигать нескольких сотен ампер. Энергия молнии колеблется в пределах от 3 до 1 000 kWh. Градиент электрического поля над поверхностью земли  $g = 328$  kV/m. Величина индикаторного напряжения равна  $gh\alpha$ , где  $h$  — высота провода над землей и  $\alpha$  — коэффициент, зависящий от продолжительности разряда и пространственного распределения связанного количества электричества. При применении заземленных тросов коэффициент  $\alpha = 0,5$  и даже меньше. Для высоковольтных линий электропередачи с заземленными тросами не приходится опасаться разрядов вследствие индуктированных перенапряжений. Непосредственные удары молнии в опору или заземленный трос вблизи опоры создают падения напряжения в опоре плюс сопротивление заземления, равное  $V = kIR$ . Из этой формулы видно необходимость иметь наименьшее сопротивление заземлений опор и т. д. Где сопротивление заземления велико, значительно благоприятнее является прокладка проводов в земле, направленных радиально от фундамента опоры.

С. L. FORTESCUE, Молния и ее воздействие. Доклад на том же конгрессе.

В последние годы при исследованиях на высоковольтных линиях передачи были зарегистрированы волны с амплитудой до 5 000 kV. Учитывая расстояние от места удара молнии до места измерения помощью катодного осциллографа, можно предполагать, что амплитуда в месте удара была не менее 10 000 kV (снизилась она до 5 000 kV благодаря затуханию при движении по проводам). Затухание волн тем больше, чем выше напряжение, но это действительно только в случае, когда волна имеет напряжение большее, чем критическое напряжение короны. Короткие волны затухают гораздо сильнее, чем длинные; положительные волны затухают сильнее, чем отрицательные. Автор указывает на возможность величины нарастания фронта волны от 10 до 15 000 kV/ $\mu$ sec.

Инж. К. И. Пяртман

## Электрификация транспорта

OVERHOLM, Защита телефонных линий на электрифицированных железных дорогах Швеции<sup>1)</sup>, ASEA—Revue, Sept. 1931, т. IV, стр. 66—80.

В Швеции электрифицированы две главных железных дороги: Северная—от Свартома до Рикенгресена и Южная—от Стокгольма до Готенбурга. Общая длина их составляет 916 km, или 17,7% всей железнодорожной сети страны. Эта электри-

Автор указывает на пользу однофазной системы переменного тока низкой частоты  $A$  и  $B$ .

фикация была осуществлена по системе однофазного тока в 16 kV низкой частоты.

При передаче переменного тока для электрификации железных дорог получаются явления воздействия на телефонные провода, идущие параллельно железной дороге. Решение вопроса в двух данных случаях различно вследствие разницы в способе питания этих линий. Воздействие имеется двоякое: одно—электростатическое влияние высоковольтных линий и второе—индуктивное. Для устранения первой причины необходимо либо заменить воздушную линию телефонного сообщения подземными кабелями, либо удалить их по меньшей мере на 20 м от линии контактных проводов. Воздействие же от индукции устранить труднее. Как показывает практика, индуктивные напряжения пропорциональны длине линии и силе тока, который в них циркулирует. Кроме того, они зависят от сопротивления между рельсами и землей и от сопротивления самой земли. В этом случае целесообразно соединить медью стыки рельсов.

На линии Свартом-Рикенгрэзен были испытаны различные компенсационные приборы. В результате испытаний остановились окончательно на приборе, основанном на действии трансформатора высокого напряжения с двумя одинаковыми обмотками, из которых одна присоединена к контактной линии, а другая—к отсасывающему фидеру. При этой системе индуктивное напряжение на линиях, находящихся на расстоянии в 50 м от железной дороги, получается 0,2 V при силе тока в 100 А на километр. Уменьшая расстояние между подстанциями на 40 км (максимум), получим индуктивное напряжение в 12 V.

Эта система не совсем свободна от недостатков, которые проистекают от характера стыковых соединений рельсов в точках включения трансформаторов. Стыковые соединения являются более чувствительными и могут при различных условиях давать короткое замыкание, приводя к короткому замыканию трансформатора соответствующего пути: в этом случае действие компенсации аннулируется. С другой стороны, если электрическая сеть проведена в виде подземных кабелей, она будет находиться ближе к рельсам, чем к контактной линии. В этом случае действие компенсации также будет несовершенным.

На основании новых изысканий и опытов стали применять на линии Стокгольм—Готенбург новый компенсационный прибор, установленный, главным образом, у проводника на тех же опорах, на которых укреплен контактный прибор с трансформаторами высокого напряжения, включенными в отсасывающий кабель и в контактную линию. Устанавливается он с правильными интервалами в 3 км. Таким путем достигли уменьшения напряжения интерференции в подземных кабелях телефонного сообщения в 0,02 V при силе тока 100 А на километр.

Несмотря на удовлетворительные результаты работы описанного прибора, необходимо было испытать прибор для будущей электрификации соответственно большему расстоянию между подстанциями. Можно было бы разрешить эту проблему увеличивая напряжение в контактной линии, но по различным мотивам она не должна превышать 16 kV. Это затруднение преодолевается путем повышения напряжения отсасывающего кабеля таким образом, что разность потенциалов между ним и контактной линией будет равна 32 kV при напряжении в 16 kV между контактной линией и рельсами; это значит, что электрические локомотивы находятся всегда под напряжением в 16 kV. С этой целью проводники соединяются не непосредственно с рельсами, а через посредство автотрансформаторов, в которых напряжение снижается с 32 на 16 kV, причем один провод соединяется с рельсами, а другой—с контактным проводом.

Результаты, полученные на железнодорожной сети Швеции, показывают, что возможно устранить все случаи воздействия на телефонные линии, и что электрификация постоянным током не представляет с этой точки зрения никакого преуменьшения.

Более того, устройства, описанные выше, позволяют определять расстояние между подстанциями, учитывая только снижение напряжения на контактных линиях. Таким образом возможно значительно уменьшить число подстанций, особенно по сравнению с системой постоянного тока, и питать линию тяги из общей распределительной сети, в которой синхронные моторы подстанций, кроме всего прочего, играют роль регуляторов напряжения.

Инж. П. Алисов и Т. Виницкая

Комбинированная электротяга на бурогольных разработках. „ETZ“, № 36, сентябрь, 1932, стр. 868.

На одной из бурогольных разработок Средней Германии введена электрическая тяга, при которой электровозный парк скомбинирован из электровозов нормального промышленного типа и электровозов, работающих на зубчатой рейке. Соответствующий подъем на электрифицированном участке состав-

ляет 67‰. Верхний участок линии оборудован этой рейкой. До начала этого участка состав подается ным электровозом; как только состав переходит на оборудованной зубчатой рейкой, специальный электровоз ботающий только на этом участке, принимает на толкача, и состав ведется двойной тягой. Аналогично зован спуск к баггерам. Электровозы, работающие на той рейке, имеют сцепной вес 25 т, скорость на этом подъеме—7,2 km/h при усилии тяги 15 000 kg. Ние в контактном проводе—1 200 V постоянного тоа ность электровоза 258 kW.

Инж. Е. Ал

Новые электровозы типа BO+BO Южнофранж. д. и их механические характеристики, „EJ“, июнь 1932

Первые электровозы постоянного тока (1 500 V), ные для Южнофранцузских ж. д. в период времени 1928 гг., были снабжены групповыми контакторами (ковым валом). Хотя эта система в общем вполне удовлетельна, однако, несмотря на принимаемые меры, на напряжения в проводе сильно сказываются на работе ров управления. Поэтому Южнофранцузские ж. д. реш свои новые электровозы (90 товарных и 50 пассаж снабдить электропневматическим оборудованием, при работа цепи управления совершенно не зависит от на напряжения в контактном проводе, так как она, пта аккумуляторной (щелочной) батареи.

Важнейшие данные (одинаковые для обоих видов ввозов кроме зубчатой передачи) таковы:

Общая длина по буферам . . . . .	12 870 mm
Общая база . . . . .	8 950 „
База каждой тележки . . . . .	2 950 „
Диаметр колес . . . . .	1 400 „
Давление на ось . . . . .	19 t
Полный вес (сцепной) . . . . .	76 „
Вес механической части . . . . .	42 „
Вес электрической части . . . . .	34 „
Длительная мощность электровоза . . . . .	1 600 л. с.
Часовая . . . . .	1 860 „

	Пассажирский	Товар
Зубчатая передача . . . . .	73:21 = 3,47	78:16 = 4,87
Максимальная скорость . . . . .	95 km/h	75 km/h

Продольная устойчивость двухосной тележки с двумя тележками трамвайного типа

Введем обозначения (рис. 1):  $e$  — база тележки,  $R$  — колеса,  $r_1$  — радиус начальной окружности зубчатого колеса,  $r_2$  — радиус начальной окружности шестерни,  $d$  — расстояние между ведущей осью и точкой опоры мотора в раме тележки,  $\delta$  — горизонтальное расстояние между точками опоры

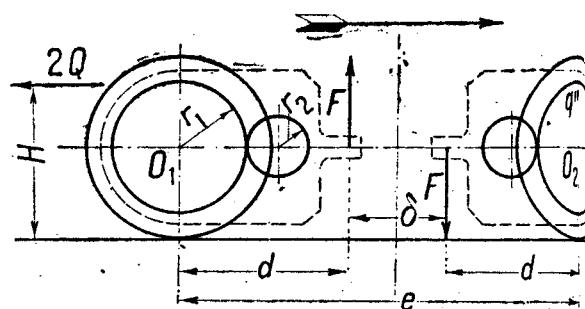


Рис. 1

торов,  $P$  — вес, приходящийся на тележку,  $Q$  — сила, приходящаяся на каждую пару колес (на обод),  $q$  — нагрузка на две рессоры каждой оси,  $H$  — высота приложения силы тяги над головкой рельса,  $p$  — вес мотора + вес мотора, передаваемый через моторно-осевые шипники.

Силе тяги  $Q$  на ободу движущего колеса соответствует давление в зубцах  $\frac{QR}{r_1}$ , которое через опорные точки  $B_2$  корпуса мотора передается траверсам. Реакция траверсы на корпус мотора выразится отношением  $F = \frac{QR}{d}$ . Для

деленного направления движения рельс нагружается той силой  $F$  под задним колесом (по направлению движения в то время как под передним он в той же мере разгружается; кроме того, рама тележки подвергается действию крутящего момента  $F\delta$ , который стремится поднять тележку на переднюю ось и опустить на заднюю.

### Условия равновесия рамы тележки

Тележка подвергается действию веса  $P$ , который имеет приложения в шкворневом пятнике тележки, сил  $q'$  и  $q''$  (силы тяги рессор), горизонтально действующей силы тяги в плоскости шкворневой пяты на высоте  $H$  над головкой и опрокидывающего момента  $F\delta = \frac{QR\delta}{d}$ .

Применение моментов для точки  $O_1$ , которая должна рассматриваться как принадлежащая раме тележки, будет

$$\frac{P\delta}{2} - q''e - 2Q(H-R) + \frac{QR\delta}{d} = 0. \quad (1)$$

Если рама не изменяет своего положения при действии силы тяги, нагрузка рессор должна оставаться одинаковой, т. е.

Подставляя эту величину в уравнение (1), получаем:

$$H = R \left(1 + \frac{\delta}{2d}\right).$$

Величина  $\frac{\delta}{2d}$  — величина порядка 0,1; поэтому приближенно

$$H = 1,1 R.$$

Сила тяги должна, следовательно, прилагаться лишь не- выше плоскости движущей оси. В этом случае рессоры имеют равные нагрузки, однако оси дают на путь с раз- ной силой. Передняя ось в данном случае передает рельсу величину  $\frac{P}{2} + p - F$ , а задняя  $\frac{P}{2} + p + F$ .

Линия нагрузок осей тележки от теоретической статиче- ской нагрузки для электровоза ВО + ВО достигает приблизи- тельно 9%.

Условие должно быть выполнено также условие одинакового давления колес обеих осей, то очевидно, что  $H$  должно быть равно нулю. Значит, нужно точку приложения силы тяги пе- ренести в плоскость рельсов.

Условия сцепления достаточно, однако, если давления на обеих осей возможно мало различаются между собой. Точка приложения силы тяги расположена на высоте  $H$  и передняя ось будет разгружена на величину  $X$ , причем  $X = \frac{2QH}{e}$ , откуда  $X = \frac{2QH}{e}$ . Наоборот, задняя ось на ту же величину будет перегружена.

На том же образом можно определить, что передняя рессора нагружается на величину  $X - F$  или  $Q \left(\frac{2H}{e} - \frac{R}{d}\right)$ , в то вре- мя задняя на ту же величину перегружается. Из всего этого следует, что величина  $H$  должна быть возможно меньше, т. е. необходимо располагать шкворневые опоры воз- можности ниже.

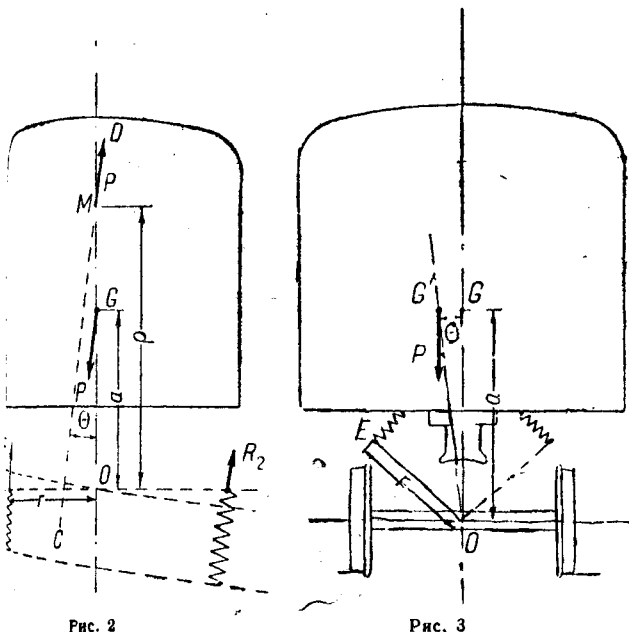


Рис. 2

Рис. 3

### Поперечная устойчивость электровоза

Рессорная часть электровоза может быть рассматри- ваться как сложный маятник, ось качаний которого есть линия сцепления продольной вертикальной плоскости электровоза с рельсами, проходящей через основания рессор. Период колебаний кузова выразится величиной:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{P(r-a)}}$$

где  $J$  — момент инерции кузова относительно оси колебаний  $K$  — жесткость рессор,  $r$  — половина расстояния между рес- сорами (рис. 2 и 3),  $P$  — вес кузова электровоза,  $a$  — рассто- яние центра тяжести кузова от оси колебаний.

Линия  $CD$  дает направление равнодействующей давления рессор  $R_1$  и  $R_2$ , которая проходит под углом  $\theta$  к средней ли- нии кузова. Линия  $CD$  пересекает линию  $GC$ , соединяющую центр тяжести кузова с осью колебаний, в точке  $M$ . Пусть  $\rho = OM$ . Момент сил рессор относительно точки  $O$  выразится:

$$\cos \theta \sin \theta \Sigma 2Kr^2 = P\rho \sin \theta.$$

Если угол  $\theta$  мал, то  $\cos \theta$  может быть принят равным еди- нице. Отсюда следует, что

$$\Sigma 2Kr^2 = P\rho$$

и время колебаний будет

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{P(r-a)}}.$$

Эта формула идентична с формулой для устойчивости ко- рабля;  $\rho$  означает высоту метacentра  $M$ .

Можно видеть, что увеличение времени  $T$  достигается только уменьшением величины  $\rho - a$ , а именно: или уменьшением метacentрической высоты, или поднятием центра тяжести ку- зова. Увеличение продолжительности колебаний дает два пре- имущества: прежде всего оно благоприятствует вписыванию электровоза в кривые, смягчая толчки на путь и уменьшая износ рельсов. Кроме того, при высоком положении центра тяжести кузова при проходе небольших неровностей с незна- чительной амплитудой, но большой частотой (как, например, удары на стыках), не происходит раскачивания кузова. Практи- чески кузов остается неподвижным, удары поглощаются рессорами тележек, и достигается плавный ход локомотива.

Продольную ось колебания располагают возможно ниже, опуская шкворневые опоры и устраивая их в виде опроки- нутых чашек (вогнутая сторона обращена книзу). Получаю- щееся при этом неустойчивое равновесие выравнивается по- средством боковых лис- тых рессор (рессоры равновесия) (рис. 3). При наклоне кузова на элементарный угол  $d\theta$  опро- кидывающий момент относительно точки  $O$  равен  $Pa d\theta$ . Для поглощения этого момента достаточно устройства одной пружины с жесткостью  $K$ , помещенной на расстоянии  $r$  от  $O$  и дающей момент  $Kr^2 d\theta$ . Возвращающая сила выразится тогда через  $Kr^2 d\theta - Pa d\theta$ .

Продолжительность колебания будет тем больше, чем меньше эта сила. Практически пружины нагружены 20 ÷ 30% веса кузова и расположены так, что их направление движения при сжатии совпадает с перпендикуляром к лучу  $OE$  и имеет не- значительный наклон к горизонтальной плоскости. Жесткость рессор отрегулирована с таким расчетом, чтобы период ко- лебания их равнялся примерно 0,8 сек.

Сообразно с этим для электровоза имеется два независи- мых друг от друга рода опор: 1) вертикальная подвеска, ко- торая образуется из обычных рессор, воспринимающих вер- тикальные толчки пути, 2) боковые опоры посредством "рес- сор равновесия", предназначенных для смягчения влияющих движений тележки и боковых толчков при въезде в кривые.

Инж. В. Коновалов

P. Lo BULBO, Об электрической аккумуляторной тяге, „Е и М“ № 46, 1932, стр. 636

Электрическая тяга с аккумуляторами стала испытываться на трамваях и на железных дорогах, начиная с 1900 г., в Италии, в Бельгии и во Франции. Но тогда она везде была оставлена из-за увеличения веса вагона, быстрого износа ба- тарей и неудобств, причиняемых пассажирам газами, выделяе- мыми батареями. Однако с 1908 г. благодаря опытам, которые были проведены в Германии, электрическая аккумуляторная тяга снова стала применяться.

Судя по реферируемому докладу, на V Международном электротехническом конгрессе, состоявшемся в Париже в 1932 г., в настоящее время в Германии аккумуляторная тяга применяется уже в значительном масштабе. Общая длина экс- плоатируемых подобным образом участков доходит до 7 500 km. Кроме этого, она применяется еще на узкоколейных железных дорогах во Франции, а также в Италии, где общая длина экс- плоатируемых таким образом участков, трамваев и железных дорог местного значения уже достигла около 400 km. Батареи теперь служат значительно лучше прежних. Район действия в Германии доходит до 280—300 km, а годовой пробег — до 90 000 km. Пластины аккумуляторов служат гораздо дольше, а именно: положительные — до времени пробега в 100 000 km, а отрицательные — 200 000 km. Зарядка аккумуляторов произ- водится на станциях, снабженных ртутными выпрямителями, большей частью автоматически и в ночное время при вы- годных для поставщика электроэнергии условиях.

Употребление в настоящее время в Германии (на государ- ственных и частных железных дорогах) аккумуляторной

трехосные, весом в 70 t, число мест—155; моторов—2 по 1 000 л. с., батарея состоит из 168 элементов; емкость ее 180 А/ч при разряде в 5 час.; пробег—до 200 km, а скорость—до 60 km/h.

Работающие в Италии (на линии от Турина до Салуццо) автомоторы весят по 28 t и имеют 70 мест. Они снабжены камерой и четырьмя моторами по 70 л. с. Батарея состоит из 1 480 элементов и имеет емкость в 180 А/ч при разряде в течение 3 час. Эксплуатационные расходы по данным о службе указанных выше итальянских автомоторов по сравнению со службой при тех же условиях работы, выражаются цифрой в 2,870 франков на поезд-километр для обыкновенной перевозочной тяги и в 1,82 франка при аккумуляторной тяге.

Вообще, надо сказать, что аккумуляторная тяга, в известной мере правильно поставленная, весьма выгодна.

Инж. И. Н. Тихонов

Н. L. ANDREWS, Электрические автомоторы с тепловыми двигателями в САСШ „Е и М“ № 46, 1932, стр. 635.

В САСШ в последние годы особенно распространены автомоторы с бензиновыми двигателями и электрической системой передачи вращающего момента, а также локомотивы по такой же системе, но с двигателями Дизеля. На железных дорогах уже имеется 116 таких локомотивов, причем 45 из них снабжены также батареями аккумуляторов. Мощность машин приблизительно от 300 до 1 000 л. с. Локомотивы же применяются, главным образом, для маневровой службы. По данным автора локомотивы с моторами Дизеля имеют значительные преимущества перед обыкновенными паровозами, что видно, например, по расходу в 1 час на 1 машину: для электрических локомотивов, работавших в промышленных предприятиях, расход равнялся 1,667 доллара, тогда как для обыкновенных паровозов он был равен 4,325 доллара; для паровозов же, работавших на железных дорогах, он составлял 2,511 доллара против 5,897 доллара для обыкновенных паровозов.

Разница в цифрах экономии зависит от условий работы, причем надо заметить, что так как машина с мотором Дизеля стоит дороже, то при небольшой нагрузке (примерно до 1 500 час. в год) обыкновенные паровозы оказываются выгоднее, а при более высокой нагрузке наиболее экономны электрические локомотивы; так, при 4 200 час. работы они дают 20% экономии, а при 7 000 час.—40%.

Что касается автомоторов с бензиновыми двигателями и электрической передачей, то с 1906 по 1916 г. их было всего 90 единиц. Начиная же с 1922 г., число их на железных дорогах САСШ не увеличивалось, причем было пущено в работу 600 новых. Мощность моторов—от 135 до 900 л. с.

Был сделан опыт замены бензиновых двигателей дизелями, но успеха он не имел, так как у автомоторов с двигателями Дизеля мощность на единицу значительно больше, чем у бензиновых, а именно 13 600 kg против 8,2—9,1 kg и, кроме того, цены на топливо (тяжелое) высокие.

Подобные автомоторы употребляются, главным образом, для обслуживания веток и оказались вообще очень экономными вследствие меньшего расхода на воду и топливо, на ремонт, зарплату обслуживающему персоналу, на очистку топки и т. п.

По статистическим данным о службе на одной железной дороге 57 автомоторов с бензиновыми двигателями оказалось, что подобные моторы дают от 25 до 32% экономии на паре по сравнению с обыкновенными паровозами.

Опыт показал, что передача вращающего момента для подобных мощностей должна быть электрическая, и что механическая передача годится только при моторах менее мощных.

Инж. И. И. Тихонов

## Электрометаллургия

Новая электрическая печь высокой частоты, The Electrical Review, Sept. 9, 1932; Nov. 11, 1932

Устранение железного сердечника в печах высокой частоты (обусловленное практическими и металлургическими соображениями) связано с уменьшением полезного магнитного потока вследствие понижения проводимости магнитной цепи. Кроме того, наличие значительных потоков рассеяния понижает к. п. д. печи и не допускает применения магнитных материалов для конструкции печи; впрочем для возможности применения стальной конструкции предложено паллиативное средство, заключающееся в введении магнитного экрана из листового меди, защищающего стальной корпус от перегрева благодаря концентрации тепла в меди.

Недавно в Ньюкестле демонстрировалась плавка стали в новой индукционной печи высокой частоты Witton, изготовленной фирмой GEC по патенту Stobie, в которой указанные выше недостатки устранены. Характерной особенностью печи Witton является наличие в средней части печи под тиглом

разрезу). Та часть магнитного потока, которая не проходит через шихту, поглощается тонкими пластинами из спеченного стального сплава, магнитная проводимость которых вышает в несколько тысяч раз проводимость воздушного промежутка в печах без сердечника. Путь магнитного потока идет через стальной сплав к упомянутому выступу (ось которого совпадает с осью индукторной катушки), и в тигле создается сильный центральный поток. Наличие „част сердечника“ уменьшает поток рассеяния до ничтожной величины и позволяет применить железный или стальной и стальную конструкцию, образующую жесткую опертку тигля и его шихты, индукторной катушки и кожуха.

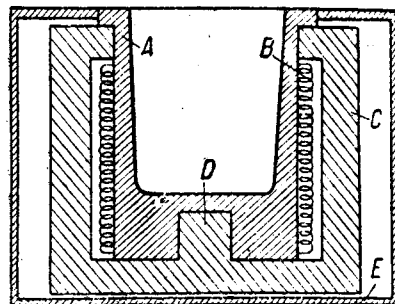


Рис. 1. Схематический разрез печи Witton

Печь Witton в основном состоит из:

- 1) тигля, построенного из огнеупорного материала A;
- 2) изолированной, охлаждаемой водой, специальной индукторной катушки B, окружающей тигель;
- 3) магнитной заземленной конструкции C из стального сплава, поддерживающей катушку B и тигель A;
- 4) внешнего металлического кожуха E, прикрепленного к конструкции C.

Тигель изготовлен или из кислого или основного или из огнеупорного материала, утрамбованного в форму.

Увеличение магнитного потока благодаря ферромагнитному пути дало возможность работать с пониженной частотой, повышенным напряжением; пониженная частота уменьшает потери на вихревые токи и гистерезис и улучшает коэффициент мощности, а повышенное напряжение уменьшает омические потери.

В печах без сердечника ток, индуцируемый в металле тигля, не распределяется равномерно по всему сечению тигля и при высоких частотах, применяемых для плавки, не проникает глубоко внутрь тигля; широкий тигель со шихтой в печи без сердечника нагревается, главным образом, около стенок. В печи Witton вся шихта нагревается равномерно, так как ее сердечник усиливает магнитный ток, проходящий через центральную часть тигля, и распределяет его по всей шихте (рис. 2).

Поверхность расплавленного металла выпучивается вследствие взаимного отталкивания между противоположными полюсами, возникающими благодаря токам в шихте и индукторной катушке. Наибольшее выпучивание имеет место в центре в печи Witton благодаря сравнительно низкой частоте и радиусу выпучивания ограничены.

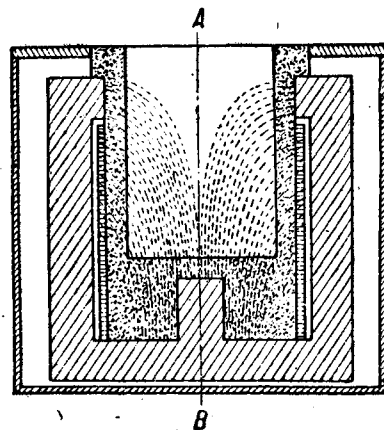


Рис. 2. Распределение магнитного потока с шихтой (справа от AB) и шихты (слева от AB)

Конструкция печи Witton облегчает применение широкого тигля, в котором предотвращается выпучивание металла, что необходимо, для того чтобы получить автоматическое перемешивание, свойственное печам высокой частоты и обеспечивающее равномерность состава в каждой шихте. По-



то передачу. К оборудованию печной установки от мотор-генератор, конденсаторы и аппаратура для электрического управления. Главной задачей аппаратуры является поддержание постоянства мощности и высокого напряжения. В сравнении с другими печами в описываемой печи вместо более устойчивая нагрузка и более быстрая реакция на изменение напряжения, что дает высокую производительность. При уменьшении скорости мотор-генератора реле приводит в действие реостат возбуждения, вследствие значения тока и напряжения доводятся до заданных величин.

Автоматически регулируется включением и выключением конденсаторов. Выключатель заблокирован с отдельными частями установки таким образом, что отключение печи происходит при повреждении охлаждающего устройства или перегрузке мотор-генератора, резком повышении напряжения в высоковольтной системе или заземлении цепи своей частоты.

Более важным применением печи Witton является плавление сплавов и углеродистой инструментальной стали, чугуна и стали и других специальных стальных сплавов; меньшее распространение эта печь может иметь в неметаллической промышленности, например, для плавки никель-хромовых и подобных ему сплавов. Расход энергии на 1 т индустриальной, мнлибденовой стали в 5 kW печи составляет 1 kWh. Сталь приводится от холодного состояния до температуры плавления при расходе в 485 kWh/t.

Важнейшая часть печи, требующая периодической замены — это тигель. Быстрая плавка, позволяющая получить большую производительность от небольшой печи, и незначительное количество огнеупоров, которое здесь требуется сравнительно с печами других типов, дает возможность применять печь для работы с перерывами без большого увеличения текущих расходов. Работоспособность обслуживания печи доведена до минимума.

Компания, выпустившая печь Witton, утверждает, что в этой печи получается сталь, превосходящая по качеству лучшую сталь при половинной стоимости.

Инж. Р. Хайнер

## Электроматериалы

«Новый изоляционный материал для электрических целей», „Revue générale de l'électricité“, 15 окт. 1932.

Пермали производятся из дерева и синтетической резины. Встречается в двух видах: один совсем похож на обыкновенное дерево, слегка окрашенное, а другой — на очень темное дерево. Этот препарат, сочетающий свойства дерева и синтетической резины, обладает совершенно исключительными свойствами. По отношению к обыкновенному дереву он находится в таких же отношениях, в каких сталь

и др., которые при изготовлении пермали применяются в виде растворов в спиртовом лаке. Исследования под микроскопом показывают, что резина находится в этом препарате в виде отдельных капелек, не связанных друг с другом и разделенных тканями дерева. Таким образом получается материал, в котором соединены наиболее важные свойства дерева, резины и мелкой древесной массы. По аналогии с железобетоном можно считать, что пермали представляет собой синтетическую резину, армированную (очень солидно) древесной тканью или наоборот.

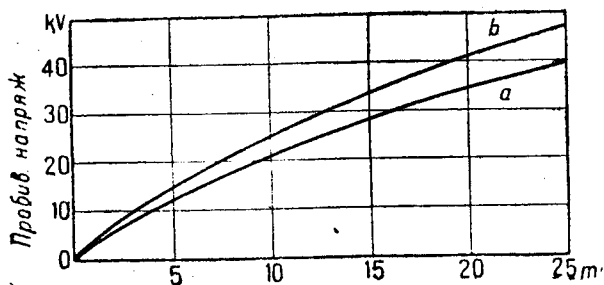


Рис. 2

Пермали делается различных сортов, так как способ его изготовления дает возможность использовать в той или другой степени свойства чистой резины, а также натурального дерева или же его молотой массы. Поэтому имеется пермали различных марок: 11 С, 12 С, 13 С, 11 Н, 12 Н, 13 Н, 51 Н, 61 Н и др.

## Электрические свойства пермали

1. Электрическая крепость на пробивание. На рис. 1 и 2 приведены на выдержку данные о пробивном сопротивлении пермали некоторых марок в образцах толщиной до 25 мм (находящихся в масле): на рис. 1 — в направлении волокон, на рис. 2 — поперек волокон. О величине поверхностного сопротивления можно судить по рис. 3, где приведены, опытные данные для следующих марок пермали: а — 121 Н, б — 121 Р, с — 113 Н, д — 134 Н, е — 513 Н. При этом надо заметить, что приведенные в диаграмме данные относятся к образцам диаметром 25 мм при температуре масла 17° С.

2. Диэлектрическая постоянная. Многочисленные измерения показали, что эта постоянная для пермали в среднем равна 2,7.

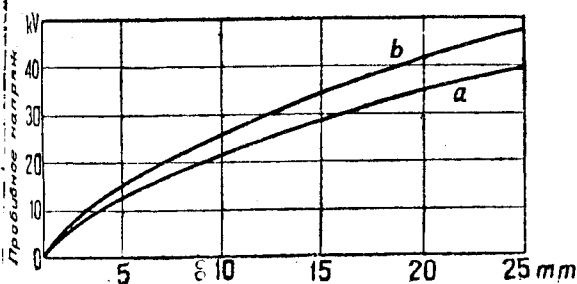


Рис. 1

сопротивлением разрыву в 120 kg/mm<sup>2</sup> находится к обыкновенной мягкой стали с сопротивлением разрыву 40 kg/mm<sup>2</sup>. Несколько десятилетий назад была сделана попытка улучшить электрические качества дерева, употребляемого в электротехнике, путем пропитки его парафином, льняным маслом и т. п. Однако все эти средства приносят мало пользы, так как обладают одним и тем же недостатком: они проникают в дерево по его каналам, не вступая в связь с этими каналами. Вследствие этого при всяких изменениях температуры или давления, которым подвергается дерево, эти вещества выходят (частично) из дерева, то опять вступают в него вместе с влагой, которую они впитывают из массы дерева и окружающей его атмосферы.

Для улучшения дела дерево до пропитки подвергают искусственному старению. Эта операция не уничтожает движение жидкости, о которых мы только что говорили, но все же стабилизирует дерево, закрепляя его соки.

Очень хорошие результаты получаются при пропитке пермали или древесной массы синтетической резиной в форме порошка или же (более дешевого препарата) трикрезола

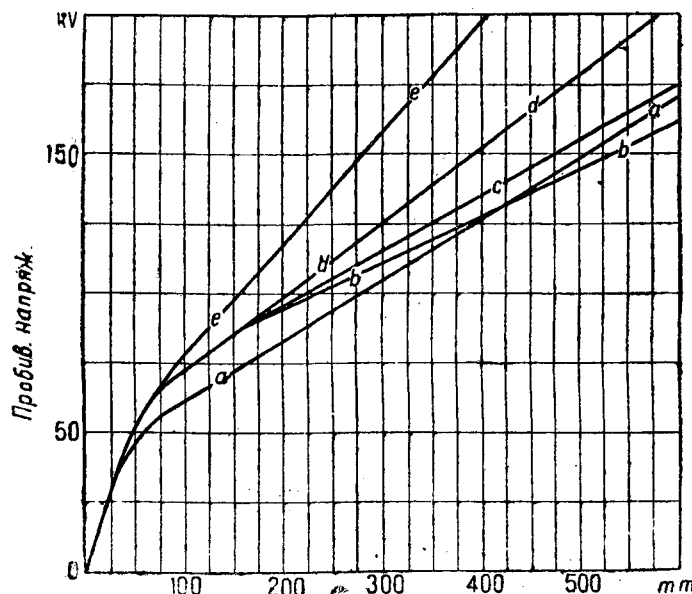


Рис. 3

3. Диэлектрические потери. В табл. 1 даны для сравнения цифры потерь (kV/cm<sup>3</sup>) совершенно одинаковых образцов дерева, но обработанных различными способами. При этом надо заметить, что образцы находились под напряжением 1000 V на 1 см толщины образца, притом в сухой атмосфере ток был бимпульсный (50 пер/сек.).

Таблица 1

Образец	После 2 дней	После 4 дней	После 10 дней
Дерево, пропитанное маслом .	1,43	14,30	39,00
Дерево парафинированное . .	1,50	15,40	42,00
Пермали . . . . .	0,10	0,10	0,10

При сравнительных испытаниях пермали и некоторых других материалов токами высокой частоты, употребляемыми в радиотелефонии, получились следующие цифры диэлектрических потерь:

кварц . . . . .	0
пермали . . . . .	6
изоляционная бумага . . . . .	10
изоляционный каучук . . . . .	8

Из этих данных видно, что пермали не теряет с течением времени своих высоких первоначальных качеств.

4. Поверхностное сопротивление. При испытаниях, сделанных при совершенно одинаковых атмосферных условиях, одинаковыми методами и в одно и то же время, получаются результаты, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Материал	Испытание в сухом воздухе		
	После 1 дня	После 4 дней	После 30 дней
Изоляционная бумага . . . .	250	600	280
Изолированный каучук . . . .	2 000	8 300	4 500
Пермали . . . . .	18 000	26 000	16 000

Материал	Испытание на воздухе с 80% влажности		
	После 1 дня	После 2 дней	После 4 дней
Дерево, пропитанное маслом .	140	60	42
Изоляционная бумага . . . .	186	171	144
Изоляционный каучук . . . .	800	560	480
Пермали . . . . .	1 325	1 425	1 445

Испытания эти, как видим, показывают, что свойства пермали остаются практически постоянными.

5. Сопротивление высоким температурам. Во время приготовления пермали подвергается в течение нескольких часов действию температур около 130°С и не испытывает никаких изменений в свойствах при температуре до 140°С.

6. Механические свойства пермали также весьма высоки.

### Общее заключение

Только что описанные данные, а также и другие, полученные из практики с пермали уже почти в течение 4 лет, с несомненностью показывают, что этому новому изоляционному материалу предстоит занять в электротехнической промышленности совершенно исключительное положение решительно во всех областях, где нужны такие материалы, т. е. в генераторах и трансформаторах, в распределительных устройствах и т. п.

Инж. И. И. Тихонов

## Электросварка

Т. R. BATCHELLER, Электромагнитный метод сварки сварочных швов, „Electrical Engineering“, ноябрь, стр. 781—783

Для испытания качества сварочных швов обычно применяются методы, дающие довольно удовлетворительные результаты, а именно: стетоскопический метод, рентгеновские и различные электрические и магнитные методы, но их применение ограничивается, главным образом, лабораторными условиями и трудно применимы в условиях эксплуатации. Многие изыскания пришли, наконец, к заключению, что идеальный прибор должен обладать следующими характеристиками: во-первых, он должен быть переносным; во-вторых, он должен давать непосредственные указания о наличии трещин или других повреждениях. После исследования выяснилось, что всеми этими данными

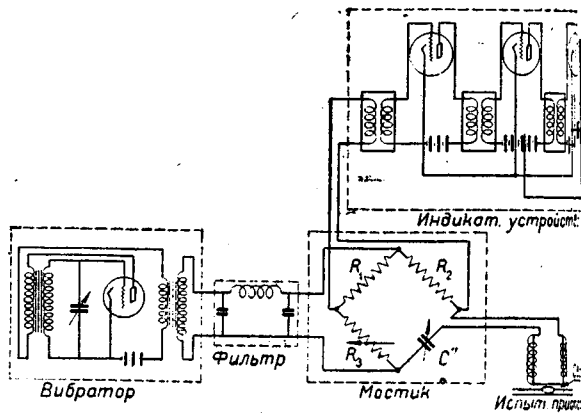


Рис. 1

спроектированный автором мостик переменного тока: зательным прибором, дающим отсчет непосредственно на шкале. Теория этого метода чрезвычайно проста. Из того, что индуктивное и эффективное сопротивления шва имеют железный сердечник, зависит от магнитной цепи, если в нее введен воздушный зазор, то индуктивное сопротивление получают другие значения; свойство и основывается метод этого мостика.

Схема мостика дана на рис. 1. Как видно, мостик состоит из следующих частей: 1) вибратора, питающего мостик переменным током; 2) собственно мостика, при помощи которого производится измерение; 3) особого приспособления для исследования сварочных швов; 4) указательного прибора, шкала которого можно получить указание о состоянии шва.

Вибратор состоит из электронной лампы с индуктивной связью между анодом и сеткой и трансформатора с анода для получения необходимой мощности. Переменный конденсатор, соединенный через катушку сетки, контролирует частоту. Переходный фильтр употреблен для исключения гармоник в вибраторе. В импедансном мостике  $R_1$  и  $R_2$  ставят собою отношение плеч совершенно одинаковых индуктивных сопротивлений. Переменное сопротивление уравнивает эффективное сопротивление испытуемого шва, а конденсатор  $C$  уравнивает индуктивное сопротивление. Этот последний состоит из нескольких постоянных конденсаторов, включенных параллельно со стандартным переменным конденсатором.

Испытующее устройство состоит из двух катушек с тонкими витками из тонкой проволоки, намотанных на два магнитной цепи, имеющей U-образную форму; эта магнитная цепь замыкается на испытуемый шов.

Индикаторное приспособление представляет собой чувствительный ламповый вольтметр. Высокая чувствительность достигается при помощи усилителя, состоящего из трансформаторов и первых двух ламп (см. схему); усиления первой лампы—30, второй—8. Такой усилитель увеличивает напряжения в отношении приблизительно 20 000 к 1. Детектирующая лампа с миллиамперметром анода шунтируется большим конденсатором; анодная батарея шунтирует невыпрямленный переменный ток.

Миллиамперметр с шунтом  $S$  дает возможность увеличить шкалу в 10 раз во время предварительного уравнивания при первоначальном возбуждении накала лампы. Высокое переменное сопротивление соединяется последовательно с батареей, дающей ток миллиамперметру в направлении обратного тока, генерируемому лампой. Прибор имеет мерную шкалу.

Инж. Л. Бра

Разное

SUTHERLIN and A. J. HARCHER. Новые катодные трубки „The Electric journal“, Vol. 29, Aug. 1932

Компанией Westinghouse выпущены две новых катодных трубки, представляющие большую ценность для исследовательской работы в промышленных сетях. Эти трубки, одна из которых отклоняет луча магнитным полем, а другая—электростатическим, дают непрерывный видимый след на экране экраном 152 мм (6 дюймов). Эти трубки уже получили широкое применение при исследовании высокочастотных явлений в сетях. Наблюдения низкочастотных явлений (резонансные петли, работа сетевых выключателей и др.) могут быть осуществлены в нормально освещенной комнате без какого затемнения. Трубки также используются как основной элемент в осциллокопе, портативном осциллографе для непрерывного изучения всех повторяющихся явлений.

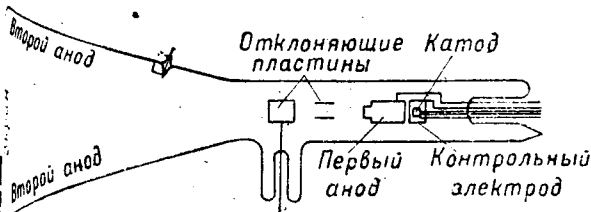


Рис. 1. Трубка с электростатическим отклонением

В обеих трубках поток электродов проектируется на флуоресцирующий экран в виде маленького пятна. При прохождении потока электронов через магнитное поле или между электростатическими пластинами он отклоняется от прямого пути и оставляет след на экране в виде волны, соответствующей модулируемому напряжению. Источником электронов является оксидный слой на нагреваемом катode. Электроны, нагретые к первому аноду, пролетают через него и, получая второе ускорение, вылетают из окошечка в передней части анода, называемой пистолетом. Стенки пистолета за пистолетом покрыты серебром, присоединенным к электрической цепи как второй анод. Этот второй анод сообщает электронам добавочное ускорение, вследствие чего они попадают в центр экрана. Последний состоит из слоя виллигита, кристаллического вещества, содержащего цинк и излучающего яркий зеленый цвет при ударах электронов. Он устроен слабопроводящим и имеет контакт с серебром, вследствие чего электроны стекают на второй анод. Отклоняющее поле, магнитное или электростатическое, подводится к трубке в месте, где электроны оставляют пистолет. При помещении второго поля под прямым углом к этому первому луч движется назад и вперед под углом 90° к первому направлению. Комбинация этих двух движений дает волну контролируемого движения. Синусоида волны совершенно отчетливо представляется глазу на наружной стороне задней стенки пистолета, внутренняя сторона которой покрыта виллимитом. В сравнительно черном экране синусоида имеет приятный фиолетовый оттенок. Между нитью и первым анодом помещается контрольный электрод, служащий для получения более резкого пятна и контролирующий его интенсивность.

Трубка с отклонением луча магнитным полем (RC-590) и трубка с отклонением луча электростатическим полем (RC-593) по внешнему виду весьма сходны. Последняя имеет на дюйм длиннее и имеет два отростка, несущие отклоняющие пластины. Трубка с магнитным отклонением действительно работает при нескольких тысячах периодов в секунду, трубка с электростатическим отклонением—при многих тысячах килопериодов в секунду. Например, одна трубка применялась для получения изображения волны в осциллокопе при подведении к одной паре пластин 100 в. пер/сек и к другой 15 млн. пер/сек. Чувствительность трубки с магнитным отклонением, применяемой в осцилло-

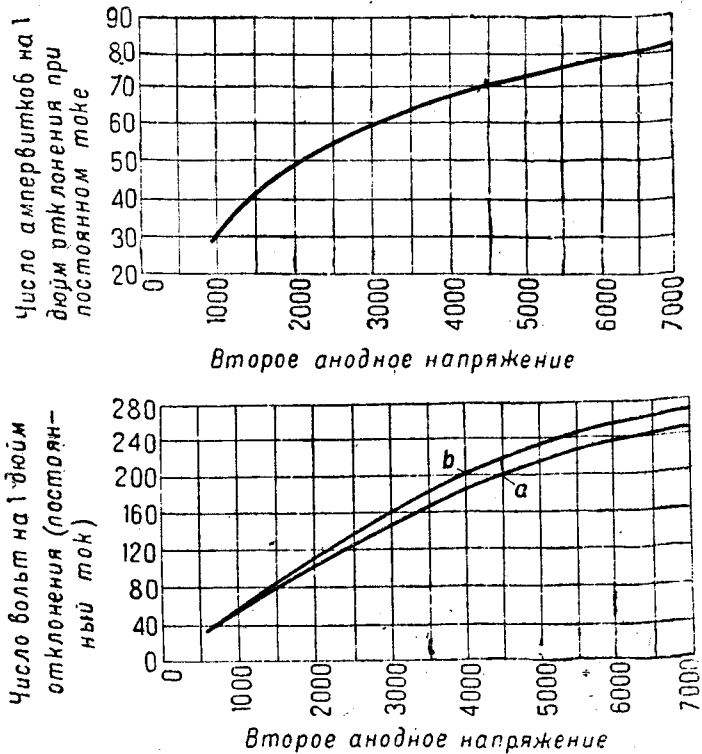


Рис. 2. Типичные кривые чувствительности трубок с магнитным и электростатическим отклонением

Кривые а—отклоняющие пластины № 1 (ближайшие к первому аноду); кривые б—отклоняющие пластины № 2

скопе при условиях, данных в табл. 1, составляла 60 ампер-витков на 1 дюйм отклонения, у трубки с электростатическим отклонением при тех же условиях—150 V постоянного тока на 1 дюйм.

Таблица 1

Показатели	Пределы	Обычный режим
Напряжение для подогрева . . .	2,5 V	2,5 V
Ток для подогрева . . . . .	2 A	2 A
Напряжение контр. электрода . .	+50—250 V	0—100 V
Первое анодное напряжение . .	100—1 500 V	425 V
Первый анодный ток . . . . .	—	0,5 mA
Второе анодное напряжение . . .	500—3 000 V	3 000 V
Второй анодный ток . . . . .	—	7 μA

При употреблении трубок второй анод работает при заземленном потенциале. В каждой из трубок пятно меняется по величине и резкости при изменении первичного или вторичного анодного напряжения; если последние увеличиваются, яркость пятна увеличивается и чувствительность понижается. В электростатической трубке напряжение подводится к одной или обоим парам пластин. При употреблении только одной вторая—заземляется. Если необходимо, трубки с электростатическим отклонением, применяется и магнитное отклонение. Часто удобно применять магнитное отклонение в одной плоскости и электростатическое в плоскости под прямым углом. Емкость между двумя пластинами каждой пары около 2 μF. В заключение следует отметить, что полученная в осциллокопе волна может быть легко сфотографирована ручной камерой без какого-либо искажения ее на фотографическом снимке.

В. Наумов.

## АННОТАЦИИ

Инж. Будницкий И. М., Проблемы энергетики в освещении классиков марксизма-ленинизма „Эл-во“ № 5, 1933, стр. 2

В великом революционном марксовом учении важнейшее место занимает анализ развития и роли материально-технической основы человеческого общества.

В статье автор показывает, как Маркс и Энгельс оценивали значение энергетического фактора и, в особенности, их гениальное предвидение колоссальной технико-экономической и социальной роли электричества.

В статье указано на то исключительное внимание и интерес, которые уделял В. И. Ленин вопросам техники и технического развития, а также и на то, как Ленин органически связывал задачи „электрификации всей страны“ с решающими задачами технической реконструкции всего народного хозяйства.

В борьбе за план Гозлро т. Ленин и т. Сталин с большевистской непримиримостью отменили всяческие попытки ревизовать план Гозлро.

Установки т. Сталина о решающей роли техники в период реконструкции и о необходимости по-большевистски ею овладеть есть крупнейший вклад в марксистско-ленинскую теорию технического развития.

Проф. Кулебакин В. С., Применение 100 периодного переменного тока для электрификации СССР, „Эл-во“, № 5, 1933, стр. 9.

Переменный ток нормальной частоты в 50 пер/сек, не является в настоящее время наиболее экономически выгодным для электрических установок. Учитывая современные тенденции к ускорению производственных процессов, повышению скоростей вращения и расширению диапазона последних, облегчению веса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, автор своей статьей ставит вопрос о необходимости отказа от применения для дальнейшей электрификации СССР переменного тока в 50 пер/сек и предлагает перейти на более высокие частоты (в 100 пер/сек).

В статье даны теоретические обоснования, приведен сравнительный разбор технических свойств установок на 50 и 100 пер/сек и, кроме того, освещена экономическая сторона применения 100-периодного тока для электрификации СССР во втором пятилетии.

Инж. Кислюк Ф. И., Выбор рода тока для электродуговой сварки, „Эл-во“, № 5, 1933, стр. 21.

Проблема выбора рода тока является темой длительных дискуссий. Автор доказывает значительные технико-экономические и энергетические преимущества сварки переменным током, что подтверждается на опытных проверках результатов сварки на пяти различных системах тока. Наряду с общепри-

нятыми методами испытания сварных швов в опытах были применены также рентгеновские лучи. В заключение дается технико-экономическое сравнение сварки переменным и постоянным токами в отношении стоимостей оборудования и эксплуатации на примере сварочного цеха в 120 постов трех различных системах тока.

Инж. Кислюк Ф. И., Применение осциллятора для улучшения сварки на переменном токе, „Эл-во“, № 5, стр. 26.

Посторонняя ионизация в месте сварки облегчает ее вольтовой дугой.

Осциллятор-генератор высокой частоты, облегчает вольтовую дугу. Мощность, потребляемая осциллятором, мала.

Выбор частоты для удовлетворительной работы осциллятора на сварку. Ламповый генератор высокой частоты.

Процесс сварки при помощи осциллятора и степени работоспособности с ним. Возможность варить голыми (нормальными) электродами на переменном токе, но при помощи осциллятора.

Выявлена возможность сварки вольтовой дугой напряжением ниже нормального при помощи осциллятора.

Инж. Фокин Д. С., Сварка токами повышенной частоты по методу акад. Шенфера К. И., „Эл-во“, № 5, 1933, стр. 32.

В статье приводится описание метода сварки от одного типа трансформаторов, преобразующих трехфазный ток нормальной промышленной частоты в однофазный ток высокой частоты. Приводятся также некоторые результаты экспериментального исследования таких трансформаторов.

Инж. Петров В. А., Осциллятор конструкции завода „Буревестник“, „Эл-во“, № 5, 1933, стр. 32.

Отмечая, что наиболее простым средством для активации сварочной дуги в момент перехода кривой переменного тока через нуль является применение осциллятора, автор приводит описание подобного прибора, сконструированного заводом „Буревестник“ в Ленинграде.

Инж. Калантаров А. В., Испытание междувитковой изоляции обмоток, „Эл-во“, № 5, 1933, стр. 34.

В статье описываются два метода испытания междувитковой изоляции трансформаторов и электрических машин: 1) непосредственного прикладывания напряжения к катушкам и 2) индуктивный метод. Кроме того, в статье приводятся результаты сравнительного испытания некоторых изоляционных материалов при частоте в 50 пер/сек и при высоких частотах затухающих колебаниях. В конце статьи приводится библиография по затронутым вопросам.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.	
Инж. И. М. Будницкий—Проблемы энергетики в освещении классиков марксизма-ленинизма . . . . .	2	Инж. Д. С. Фокин—Сварка токами повышенной частоты по методу акад. К. И. Шенфера . . . . .
Проф. В. С. Кулебакин—Применение 100-периодного тока для электрификации СССР . . . . .	9	Инж. В. А. Петров—Осциллятор конструкции завода „Буревестник“, . . . . .
Инж. Ф. И. Кислюк—Выбор рода тока для дуговой сварки. . . . .	21	Инж. В. А. Калантаров—Испытание междувитковой изоляции обмоток . . . . .
Инж. Ф. И. Кислюк—Применение осциллятора для улучшения сварки на переменном токе . . . . .	26	Из книг и журналов . . . . .
		Аннотации . . . . .

ОНТИ—ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Технич. редактор Н. Н. Дьяконов

РЕДКОЛЛЕГИЯ: инж. Е. С. Аватков, проф. В. И. Вейд, инж. В. И. Занов, инж. М. Н. Грановская, инж. Я. А. Климович, акад. Кржижановский, инж. И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, инж. Сазонов, проф. М. А. Шателен, проф. Я. Н. Шальрей.  
ОТВ. РЕДАКТОР инж. Я. А. Климович

Сдано в набор 1/II Подписано к печати 15/IV—33 г. Бумага 62×94. Печатных листов 7. Печатных знаков в листе 1

# ФАБРИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ Фр. САУТЕР, Анц. общ. в БАЗЕЛЕ

Fabrik elektrischer Apparate Fr. SAUTER, A.-G., BASEL

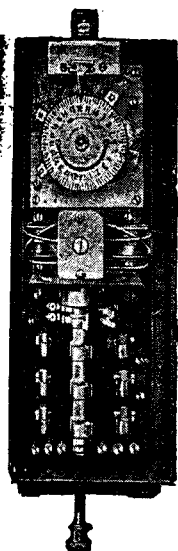
Мы строим:

1. **Астрономические** электрические часовые выключатели для автоматического зажигания и тушения уличного освещения, для силы тока от 2 до 600 А и для напряжения от 100 до 8000 V.
2. **Автоматические** выключатели, действующие на расстоянии (релэ: ртутные, магнитные и моторные).
3. **Электрические** автоматы для счетчиков 2 и 3-го тарифа, холодильных машин, насосных установок, фабричной сигнализации, регулирования уличного освещения, зарядки аккумуляторов и т. п.

Наши изделия выставлены на постоянной выставке „Техно-промимпорта“.

Поставщики Электроимпорта.

Запросы могут быть составлены и на русском языке.



Автоматический часовый выключатель с электрическим заводом.

6678

## Электро - аппаратура

### Аппаратура.

Трехполюсные масляные выключатели разной мощности для напряжений до 150.000 вольт с управлением от руки и электрическое на расстоянии.

Тренпальтеры до 3000 ампер и рабочего напряжения до 150.000 вольт, управление от руки или непосредственное.

Одно и трехполюсные металлические сопротивления в масле для разрядников до 60 000 вольт рабочего напряжения.

### Измерительные приборы.

С подвижной катушкой для постоянного тока к распределительным доскам. С подвижной катушкой для постоянного тока — переносного типа: для контроля и весьма точные для лабораторий.

Электромагнитические аperiодические для переменного тока — переносные а также для распределительных досок.

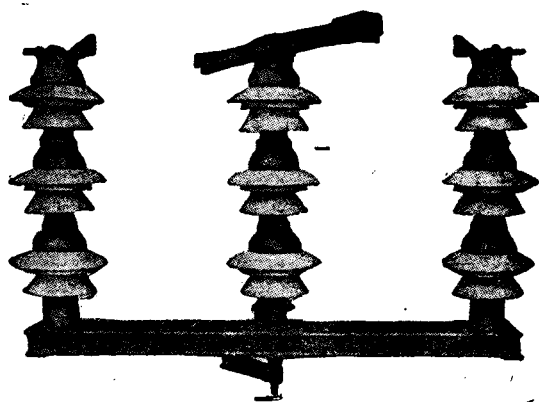
Электродинамические для постоянного и переменного тока — переносные и для распределительных досок, большой точности.

**ЗАВОДЫ ГАЛИЛЕО  
ФЛОРЕНЦИЯ (Италия)**

6699



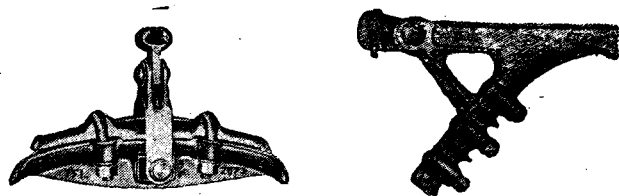
МИЛАН Муссолини №5 ИТАЛИЯ



Трехполюсные измерительные выключатели до 230 кВ.

Более 2000 наборов на заводе

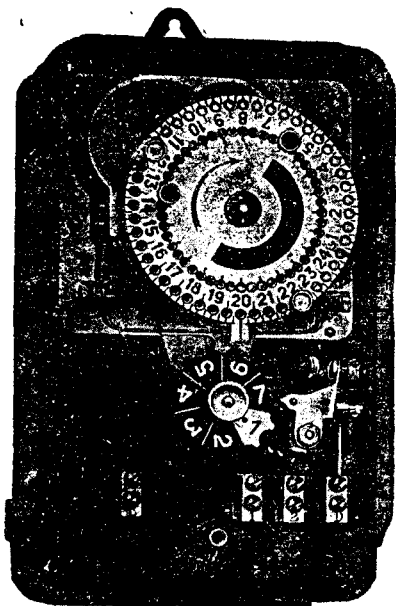
Арматуры высокого напряжения



При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала. Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

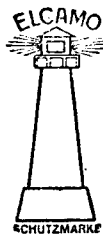
www.booksite.ru



## Fr. Ghislanzoni & Cie. A.-G. Solothurn (Швейцария)

Периодические и стопорные выключатели,  
выключатели с часовым механизмом, авто-  
матическ. выключатели для уличных фонарей

6672



## Motor - Aggregate bau - Gesellschaft

m. b. H.

Erfenschlag-Chemnitz (Германия)

Zweigwerk der Zschopauer  
Motorenwerke J. S. Rasmussen A.G.  
Zschopau i. Sa.

D K W

## Моторные агрегаты всякого рода; приводной силой являются двигатели внутреннего сгорания

для бензина, бензола, керосина и нефти

Мы кроме того поставляем в особенности

### Малые электрические станции

для всех видов тока и  
всех напряжений:

для токов низкого напряжения,

для токов нормального напряжения,

для токов высокого напряжения,

для токов высокой частоты

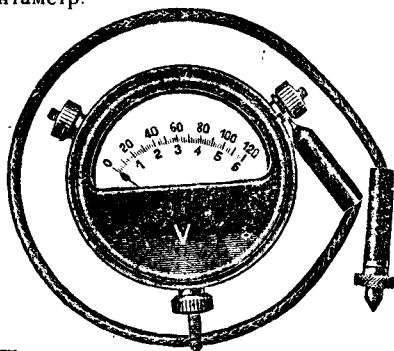
6615

## Н О В О С Т И !

Мы выпустили на рынок большое  
количество всевозможных новинок:

Лабораторные измерительные  
приборы в изолированных ко-  
робках высокого качества, не-  
большие дешевые инструменты  
с вращающимся сердечником  
или вращающейся катушкой,  
прибор для проверки радио-ламп,  
дешевый прибор для радио-измерений,  
пантаметр.

Требуйте от нас бес-  
платной присылки но-  
вейших проспектов!



## GOSSEN

ERLANGEN/BAY.

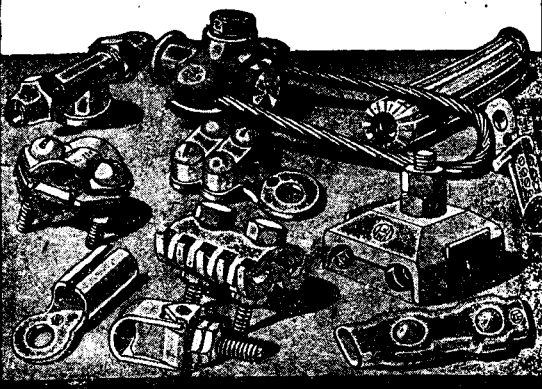
(Германия)

При всех запросах и иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и пр. просим сослаться на № нашего журнала. Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

## HOFMANN MATERIAL



### Соединительный материал для электрических проводов

Требуйте мои каталоги

При запросах просим прилагать адрес для наклеиван. на конверт:



# ВО ВСЕМ МИРЕ

специалистами признано, что

## РЕЛЭ БУХГОЛЬЦА

являются надежнейшим устройством для защиты **ТРАНСФОРМАТОРОВ.**

В настоящее время свыше **11 000 шт.**

таких устройств защищают трансформаторы общей мощностью **ок. 45 миллионов kVA**

На основании нашего общего договора, все запросы и заказы для С.С.С.Р. следует направлять через

Отдел Словных Установок и Электротехники Торгового Представительства С.С.С.Р. в Германии (Берлин) или **ОБЪЕДИНЕНИЮ ЭЛЕКТРОИМПОРТ МОСКВА.**

**MAX BUCHHOLZ**  
**G.M.B.H. KASSEL (ГЕРМАНИЯ)**  
AMALIENSTRASSE 1



## СТАНКИ

для двойной и тройной обмотки  
**провода**

с 2, 4 и 6 ходами для проволоки  
от 0,5 до 6 мм diam. и  
от 0,5 до 2,5 мм diam.

Принудительный съём даст полную равномерность обмотки.

Ж

## Машины

для оплывания кабелей различных размеров

Лучшие отзывы. Умеренные цены

**Jak. Ruegg**

GIesserei UND MASCHINENFABRIK

Schwalbe Fahrradwerke  
Uster (Швейцария)

6478

## Сплавы и металлы, плавленные при вакууме

Хроме-никелевая проволока для нагревательных элементов для отапливаемых электричеством каминов печей для промышленности и предметов домашнего хозяйства, с содержанием хрома от 11—33%.

Тянутые без швов трубы из хромо-никеля, плавленные в вакууме, как-то защитные трубы для пирометров и для химической промышленности.

Сплавы высшей теплоустойчивости для машинных частей, которые должны выдерживать длительные рабочие температуры до 1000°.

Антикатоды из меди, подвергнутой плавлению в вакууме, для рентгеновских трубок. Свободная от газа чистая никелевая проволока и лента для ламп накаливания, усилительных и передаточных трубок. Свободная от газа токоподводящая проволока для ламп накаливания из сплава железо-никеля.

Термоэлементы из плавленных при вакууме благородных металлов с постоянной кривой градуировки, измерения температур от 600—1700°.

**Гереус-Вакуумшмельце**  
А.-О.

Ганау н. М. (Германия)

25212

## К СВЕДЕНИЮ ПОДПИСЧИКОВ

В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ПЕРИОДИЧНОСТИ ЖУРНАЛА  
**„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“**,  
СООБЩАЕМ НОВЫЕ УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ

### Подписная цена:

на год за 20 номеров . . . 24 р. — к.  
на 6 мес. за 10 номеров . . . 12 р. — к.  
на 3 мес. за 5 номеров . . . 6 р. — к.  
Цена отдельного номера . . . 1 р. 20 к.

Подписавшиеся

на журнал

в 1933 г.

на год получают 20 номеров,  
на 11 мес. получают 18 номеров,  
на 10 мес. получают 16 номеров,  
на 9 мес. получают 15 номеров,  
на 8 мес. получают 13 номеров,  
на 7 мес. получают 11 номеров,  
на 6 мес. получают 10 номеров,  
на 5 мес. получают 8 номеров,  
на 4 мес. получают 6 номеров,  
на 3 мес. получают 5 номеров,  
на 2 мес. получают 3 номера.

ЭНЕРГОИЗДАТ  
СОЮЗПЕЧАТЬ

О Н Т И

Энергоиздат

## ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 г. НА ЖУРНАЛ **„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“**

Год издания 54-й

Орган союзных электро-  
энергетических учрежде-  
ний и организаций (ВЭО,  
Главэнерго НКТП СССР,  
Энергетического инсти-  
тута, Академии наук  
СССР)

20 номеров в год

### Подписная цена:

на 12 мес. . . . . 24 р.  
на 6 мес. . . . . 12 р.  
Отдельный номер 1 р. 20 к.

В группе энергетических журналов СССР „Электричество“ являет-  
ся основным руководящим научно-техническим органом, рассчита-  
ным на квалифицированных работников электропромышленности  
и электрохозяйства.

**Программа журнала:** Современные научно-исследовательские  
теоретические и практические проблемы электротехники и в част-  
ности вопросы электро-машино- и аппаратостроения и техни-  
ки высоких напряжений. Наиболее важные технические и технико-  
экономические вопросы проектирования, строительства и экспло-  
атации электростанций и вопросы электрификации промышленности,  
транспорта и сельского хозяйства. Освещение работы электро-  
технических научно-исследовательских институтов и крупнейших  
лабораторий. Освещение работы важнейших энергетических съездов,  
конференций и ВЭНИТО. Основные вопросы подготовки кадров,  
рационализации и стандартизации в электропромышленности и  
электрохозяйстве. Критическая библиография о вновь выходящей  
электротехнической литературе. Обзоры электрификации СССР  
и капиталистических стран. Рефераты на статьи в иностранных  
электротехнической печати.

**Подписка принимается** во всех магазинах и отделениях Книгоцентра, у письмоношцев и  
ПОЧТЕ. Розничная продажа производится во всех киосках „Союзпечати“

При всех запросах и иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего жур-  
нала. Выписка из журналов может послужить основой для составления библиографии.