

33

„Коммунизм—это советская власть
и яюс электрификация всей страны“
ЛЕННИН

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

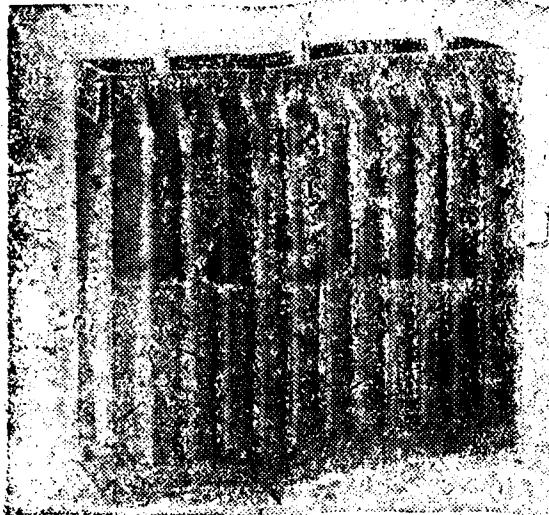
№ 5



СКВА
ИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Конденсаторы Сименса



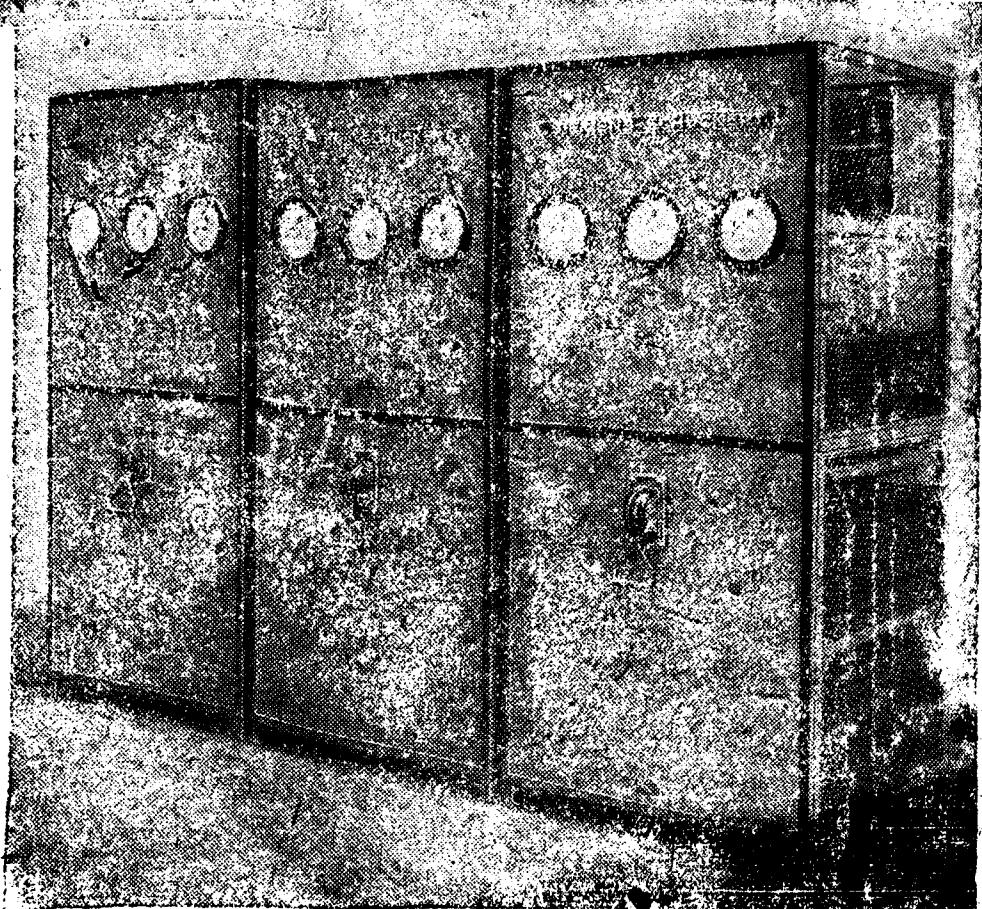
Конденсатор низкого напряжения 380 V, 30 kVA с ребрифленем охлаждения



Три конденсаторных батареи, каждая по 330 kVA, 550 V, 50 герц, со встроенным радиальным охлаждением 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-ШУНКЕИ

Печатный/материал по первому требованию

0006

SIEMENS-SCHUCHENTWERKE A.-G. • Technisches Büro Ost • BERLIN-SIEMENS

При всех звироках и изображениях Сименс с правою наименования, образцов и проектирования право оставаться на Империи, зараженных товарах может воспользоваться лишь на основании действующих в СССР правил о монополии ви-

Реподеленная частная Министерская научная библиотека

www.beepsite.ru



INDEX



АВТОМАТ ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ „ИНДЕКС О“

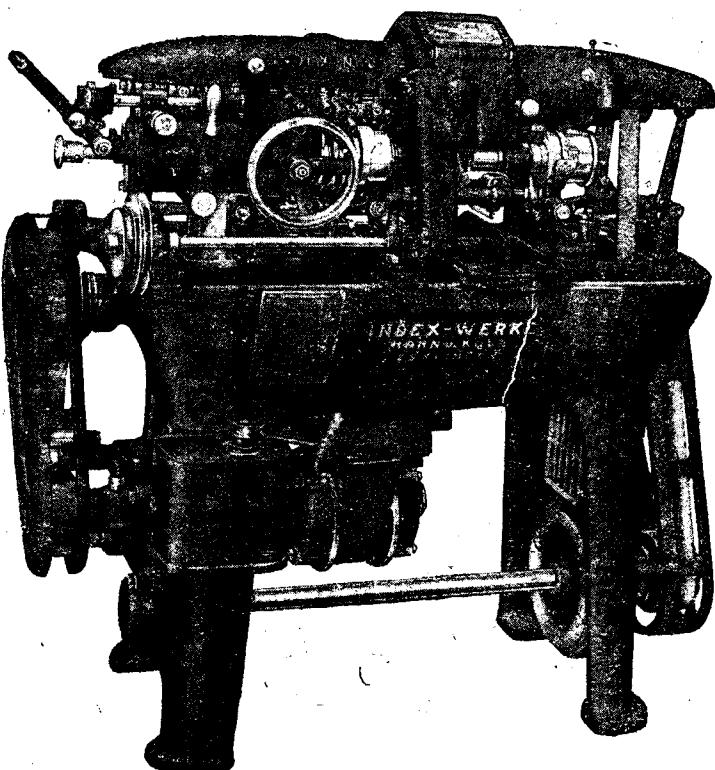
Для прутков 11 мм Ø

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

Часовая производительность

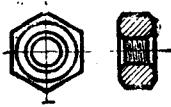
Материал: латунь
Масштаб 1:1

Под цифрами производительности указаны применяемые 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.

Быстро действующее сверловочное приспособление.

Более 70 % автоматов высокой производительности „ИНДЕКС О“ 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 пристройками 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 О“ представляют собой простое обслуживание и краткие продолжительности переключений.

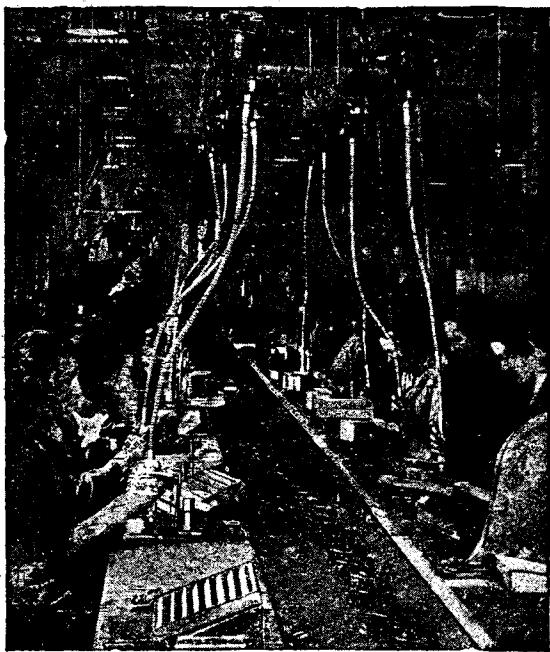
Потребуйте пожалуйста наш проспект на русском языке № А 569 и данные о производительности в отношении изготавляемых Вами деталей.

6693

HAHN & KOLB, STUTTGART ГАН и КОЛЬБ, ШТУТГАРТ

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

ОТВЕРТКИ ФЛЕКС



Ф
Л
Е
Ж
С

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОТВЕРТКА ФЛЕКС
на конвейере электротехнического завода

ACKERMANN & SCHMITT
SPEZIALMASCHINENFABRIK
Stuttgarter 13, Postfach 28/35 (Германия)



КЛЕРИЧИ

ТРЕХФАЗНЫЕ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ
САМОУРАВНИВАЮЩИЕСЯ
ДВИГАТЕЛИ
ТРАНСФОРМАТОРЫ

*

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

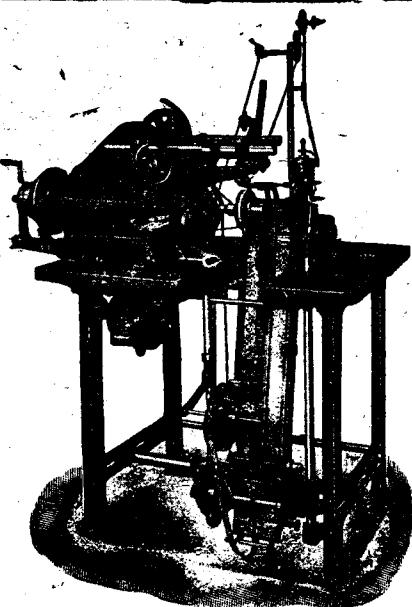
*

Фабрика инж.

Джампiero Клеричи и Ко.
в Милане (Италия)

Officine Ing.

Giampiero Clerici & Co.
MILANO — VIA PERGOLESE NR. 11



Автоматические обмоточные станы

для намотки катушек для аппаратов,
измерительных трансформаторов и пр.

MICAFIL A.-G.
ZURICH-ALTSTETTEN (Швейцария)

Катодные Осциллографы

с числом независимых катодных лучей
от 1 до 6.

для одновременного регистрации си-
тока и напряжения во всех 3 фазах высокой
вольтной сети.

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

Одним катодным осциллографом со многими
независимыми катодными лучами можно одновременно
регистрировать такое же количество
цепей тока, при том как в одинаковом
масштабе времени, так и в разных, так и
для каждого луча отклонение во времени
независимо от других.

Регистрирование производится в вакууме
на светочувствительной бумаге с ручной
механической или электрической подачей
после каждой записи.

Формат диаграммы: 6 × 6 см на луч.

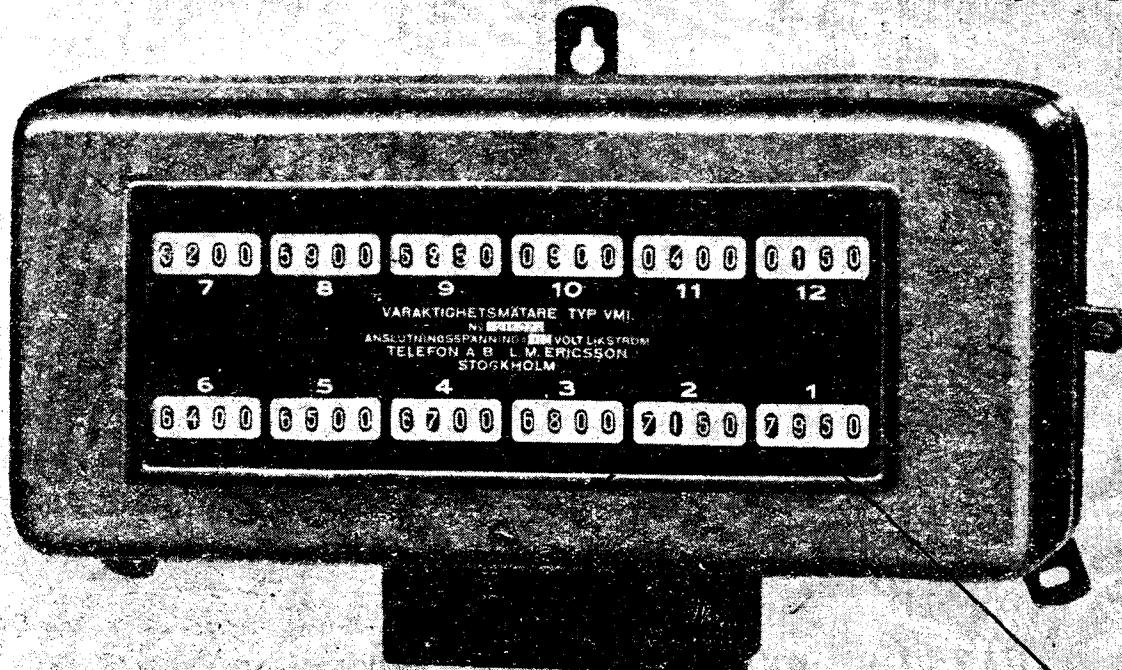
Емкость кассеты: до 500 диаграмм.

Требуйте проспект № 321.

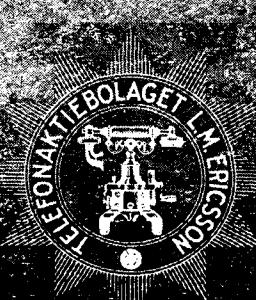
Dr. Ing. HANS RUMPF
BONN a. Rh. (ГЕРМАНИЯ)

СЧЕТЧИК ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НАГРУЗКИ

для определения коэффициента использования электрических установок

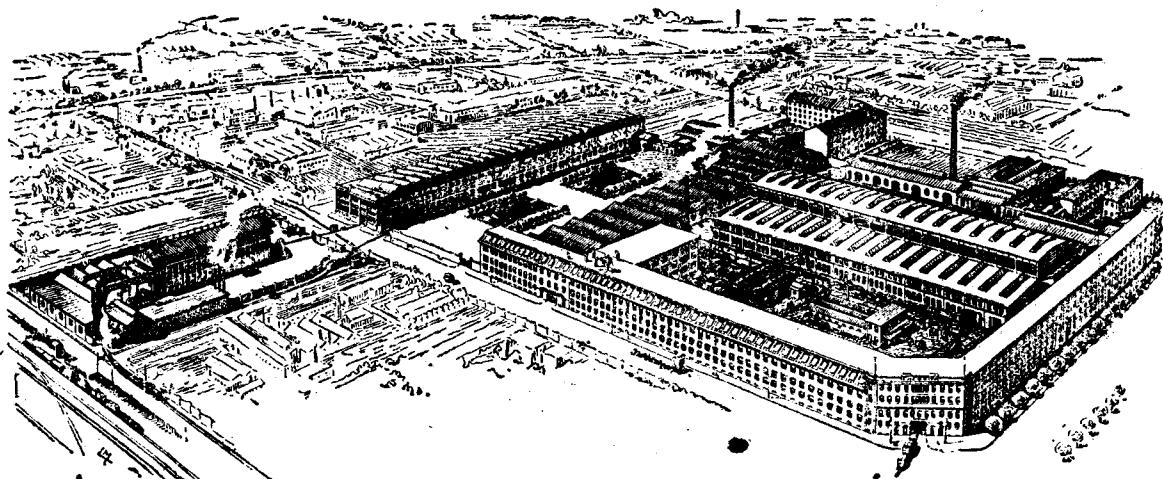


Счетчики продолжительности нагрузки системы Л. М. Эрикссон дают возможность производителю энергии и ее промышленному потребителю просто и дешево контролировать характер нагрузки и способы ее использования.



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)

ЭНЕРГИЧЕСТВО

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

150-летию со дня смерти вождя
учителя пролетариата



КАРЛ МАРКС

1818—1883 г.

„Учение Маркса всесильно потому,
что оно верно“

Инж. И. М. Будницкий

Энергетический ин-т Академии

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»¹.

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 знат 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“².

Этим положением Маркс подчеркивает, что человек, изготавляя 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 организации³, Маркс первым поставил задачу исторического анализа и изучения путей и закономерностей развития техники, создания „критической истории технологии“.

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 апологетам капитализма, извращающим правильное, наше представление о роли техники и об ее разжестоко бичуя и ядовито высмеивая их, Маркс с другой стороны не охватывая и анализируя технику, берет их в органической связи из производительными силами, и с производственными отношениями, и с наукой, и с классовой борьбой, и с рабочим классом—„величайшей производительной“ (Маркс).

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

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

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

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 дается в сжатой, но очень четкой схеме в работе „Нищета философии“.

Эта схема выражена так:

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

Этот ход развития техники развернут, как миналось выше, в целом ряде работ Маркса: креплен и обоснован многочисленными и образными примерами из физики, механики, математики и других областей знания.

В широкой марксовой концепции технического развития, иллюстрирующей классические формы применения метода материалистической ди-

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

Вологодская областная универсальная научная библиотека им. Ф. Энгельса

⁴⁾ К. Маркс и Ф. Энгельс, Письма, стр. 15, изд. 4-е (проф. Виллис и один из крупнейших английских логиков).

— 5 —

²⁾ Там же, стр. 312.

www.booksite.ru

и к области техники, в особенности подробно анализируется машинный базис энергетическое начало в производстве, иная связь двигательного элемента с остальными частями машины и, главным образом, в период промышленного переворота XVIII столетия 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 машины⁶).

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

Исследуя предпосылки промышленного переворота XVIII столетия в Англии, Маркс детально анализируется на трансформациях и сдвигах техническом базисе производства. Так, например, подробно характеризуя и разбирая все крупные двигательные силы, завещанные мануфактурному периодом, Маркс устанавливает их несоответствие и непригодность в условиях производств, 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"⁷).

Установив, что "... промышленная революция идет не от движущей силы, но от той или машины, которую англичане называют Working 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 необходи́мость 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 ленсом Уаттом существовавших до него конструкций паровых двигателей (устройство конденсатора, параллелограмма Уатта и т. д.), с момента, когда "двигательная сила приобретает самостоятельную форму" (Маркс, разрядка наша), паровая энергетика завоевывает одну отрасль промышленности за другой, вызывая и обусловливая 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 энергетики во всем развитии экономического базиса в период и после промышленного переворота.

Энгельс писал:

Люди, которые в XVII и XVIII столетиях работали на создании паровой машины, не представили 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 доставит социальное и политическое господство буржуазии, а затем, однако, вызовет классовую борьбу между буржуазией и пролетариатом, которая должна закончиться низвержением буржуазии и уничтожением классовых противоречий"⁸).

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 и 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"⁹). 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 путы 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"¹⁰), Маркс выявляет, как применение паровой машины в сухопутном и водном транспортах создает в первом—паровоз, а во втором—пароход, новые мощные средства передвижения, отвечающие требованиям развивающейся крупной машинной промышленности, обеспечение быстрой и безопасной переброски все возраставших 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 применявшимся двигательных сил—животные, ветер и даже вода—не выступила паровая машина..."¹¹).

Уже на основе развития паровой энергетики, роста и совершенствования нового двигателя-аппарата промышленности Маркс предвосхитил 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..."¹²).

⁶ Ф. Энгельс, Диалектика природы, стр. 73, изд. З-е.

⁷ В. И. Ленин, Соч., т. II, стр. 347, изд. 2-е.

⁸ К. Маркс, Капитал, т. I, стр. 323.

Там же этот принцип освещается более полно:

„Каждая частичная машина доставляет для не-
посредственно следующей за нею сырой материал,
и так как все они действуют одновременно, то
продукт непрерывно находится на различных сту-
пенях процесса своего образования, постоянно
переходит из одной фазы производства в другую“^{13).}

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 колossalный [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 беспрерывной производительности. Там, где изготавляемый 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 действие 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“^{14).}

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 политico-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 энергетики в этих бурных экономических хозяйственных трансформациях:

„... меня и Меттерниха она (Австрия) еще держит“, — сказал покойный император Франц Иосиф, — она выдержала даже французскую революцию Наполеона, июльские бури. Но пара она выдержать не может. Пар проложил себе путь из 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 имеет в настоящий момент удовольствие видеть, как Меттерних и весь Габсбургский дом разваливаются между колесами паровой машины; австрийская монархия разрезается на куски собственными локомотивами. Это весьма зрелище“^{15).}

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 специализации.

Цитируя Редгрейва, Маркс писал:

„В первое время существования текстильной мануфактур местонахождение производства село от существования потока с настолько точным падением, что он мог бы вращать водяные колеса..., фабрики, по необходимости расположенные около потоков и зачастую на значительных расстояниях одна от другой, представляли скорее деревенской, чем городской стилем“^{16).}

В другом месте, говоря о роли энергии в пространственном размещении промышленности, Маркс указывал, что „водяное колесо расставило 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 — сам средство передвижения, позволяет концентрировать производство в центрах вместо того, чтобы рассеивать его на периферии“^{17).}

Цитируя Джона Фильдена, Маркс еще более ярко указывает, что „...паровая машина несла фабрики от уединенных сельских деревень в центры городов...“^{18).}

Вместе с тем паровой двигатель способен был преодолению пространственной зависимости ибо „сила воды связана с местом, сила пароводная“ (Энгельс).

¹³⁾ К. Маркс, Капитал, т. I, стр. 319.

¹⁴⁾ Правившим читату по ст. М. Рубинштейна, Волгоградская областная универсальная научная библиотека.

¹⁵⁾ Там же.

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

Электричество в период жизни и творчества Маркса делало лишь первые крупные шаги в области 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 в широком применении электричество в производству (например, трехфазный двигатель переменного тока, трансформатор и др.), появился или совсем незадолго до смерти Маркса, 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 пишет свою встречу с Маркском 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 подготавливают новую революцию. Его величество „пар“, который в прошлом столетии все на свете перевернул вверх дном, ходит теперь со сцены и уступает свое место неизменно более сильному революционеру — электрической искре; при этом Маркс, весь охваченный пламенем энтузиазма, рассказал мне, что идет уже несколько дней в Регент-стритре выставка 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 служит 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 имеется схема и описывается установка с наземной и подземной проводкой для применения электричества к земледелию, Маркс писал: «Я посыпал тебе вслед за этим копию статьи о применении электричества к аграрной культуре на английском языке. Будь столь добр и отвешь мне сей же: 1) каково твое мнение об этой вещи; 2) объясни мне эту историю, так как я не вполне ее разбираюсь in plain German»¹⁹ (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 результата; поэтому

скажи мне, где я могу найти более подробные указания об этом предмете»²⁰.

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

Маркс внимательно следил за работами Депре 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 Депре на Мюнхенской электрической выставке? Уже около года Лонг обещал мне достать работы Депре (специально для доказательства, что электричество допускает передачу силы на большое расстояние при посредстве простой телеграфной проволоки). Близкий Депре человек д-р Д'Арсонваль состоит сотрудником „Justice“ и напечатал несколько статей об исследованиях Депре»²¹.

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

«Меня очень интересуют подробности о произведенных в Мюнхене опытах Депре..., открытие делает возможным использование всей колоссальной массы водяной силы, пропавшей до сих пор даром»²².

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 вседесуще. 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»²³.

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 «...своебразное 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»²⁴.

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 Депре, 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.

²⁰ К. Маркс и Энгельс, Соч., т. XXI, стр. 201.

²¹ Там же, т. XXIV, стр. 584.

²² Там же, стр. 387.

²³ «Диалектика природы», стр. 206, изд. 2-е.

²⁴ Там же, стр. 206.

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 Депре в этом направлении (передача энергии на расстояние) почти бесполезными из-за не совсем удачного разрешения их (что в большой мере обяснялось 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 Депре.

Ибо Маркс был прежде всего—революционер^{“25”}).

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“²⁶).

„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 применения 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“^{27).}

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”²⁸).

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

Так, например, «сельфактор (автоматический нок)—величайшее изобретение промышленности 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,—механическое бочему приходится не самому работать, а наблюдать за прекрасной работой машины, доступно всякому подростку. В настоящее время устранен весь класс рабочих, которые исключительно от своего искусства... Следует было значительное увеличение моей прибыли.

Приводя эту весьма откровенную и циничную фразу инж. Несмита, Маркс писал: „Капиталъ мѣглъсно и съ обдуманнымъ намерениемъ воззрѣлъ на нея (паровой машине. И. Б.) какъ о сильномъ дѣбной рабочему, и пользуется ею какъ та. Она становится самымъ мощнымъ боевымъ оружиемъ для подавления периодическихъ возмущений бочихъ, стачекъ и т. д., направленныхъ противъ модергавия капитала... можно было бы насчитать целую историю такихъ изобретений съ 1830-хъ годовъ, когда были вызваны къ жизни исключительные боевые средства капитала противъ возмущений бочихъ”⁸⁰).

Важнейшая задача, какую Марксставил
„критической историей технологии“,—это
того, „как мало какое бы то ни было изо-
ние XVIII столетия принадлежит тому или
отдельному лицу“ и „...что всякое откры-
тое изобретение обусловливается частью ко-
цией современников, частью использовани-
емы предшественников“.

Помимо отмеченных выше проблем комбинированная рабочая машина", "автоматика", "система машин", "принцип: непрерывная, отдельных процессов" и др.) Маркс предложил одно из главнейших направлений современной техники—химизацию и на базе и методами перспективу широчайшего использования отходов и отбросов производства, что создает реальную основу для комбинирования — наиболее высокого уровня производственно-технической тельности.

В томе III „Капитала“ Маркс писал: „...обращение экскрементов производства, т. называемых отбросов, в новые элементы производства той же самой или другой отрасли пролетарности,—процессы, при помощи которых так называемые экскременты снова возвращаются в кругооборот производства, а следовательно и потребления“...⁵¹⁾.

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

25) Ф. Энгельс, 14 марта 1883 г.", стр. 7—8, 1933 г.
26) Письма, стр. 128, изд. 4-6.

26) Письма°, стр. 128, изд. 4-е.
27) Там же

27) Там же.

²⁹⁾ К. Маркс. Капитал, т. I, стр. 371.

30) К. Маркс, Капитал
30) Там же. С. 19. 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 трех отраслей промышленности...”⁸².

Ленин углубил и обогатил марксизм, внеся в него критически 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 разработал 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 Махова, Давида и др., Владимир Ильич писал: „...экономист всегда должен смотреть вперед, сторону прогресса техники, иначе он немедленно оказывается отставшим, ибо кто не хочет смотреть вперед, тот поворачивается к истории задом: «единиц тут нет и быть не может”⁸³.

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

Разгаданная Марксом и Энгельсом роль новейшей и наиболее универсальной энергетики—электроэнергетики—Ленинским была развита, выходя 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 технического развития, что сжато и совершенно яко выражено всемирно известной ленинской формули: „Коммунизм есть советская власть над электрификацией всей страны“.

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

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

Выдвигая электрификацию как основной стержень нашей технической политики, Ленин тесно, не разрывно связывал ее с решающими задачами технической реконструкции в сех отраслях 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 машинно-технического 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“⁸⁵.

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

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

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

„Последние три дня я имел возможность прочесть сборник „План электрификации России“. Болезнь помогла (нет худа 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 хозяйствственно-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 („трудармии“). Какое убожество, какая отсталость в сравнении с планом Гоэлро! Средней вековой кустарь, возомнивший себя ибсеновским героем, призванным „спасти“ Россию сагой старинной... А чего стоят десятки „единых планов“, появляющихся то и дело в нашей печати на поэзии нам,—детский лепет приготовишек... Или еще: обывательский „реализм“ (на самом деле маниловщина) Рыкова, все еще „критикующего“ Гоэлро 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-

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

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

84. 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 нехватает здорового практицизма (чувствуется в статьях профессорская импотенция), 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, помня, что существует только один „единий хозяйственный план“, это— „план электрификации“, что все остальные „планы“—одна болтовня, пустая и вредная.

Март 1921 г.⁸⁷⁾.

Ваш Стalin.

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

„Нам нужно, — говорит т. Стalin, — 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“⁸⁸⁾.

⁸⁷⁾ В. И. Ленин, Об электрификации, стр. 66, изд. 1932 г.

⁸⁸⁾ И. Стalin, Вопросы ленинизма, стр. 164, изд. 2-е, К итогам работ XIV конференции РКП(б), Доклад активу московской организации РКП(б) 9 мая 1925 г.

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

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

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

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

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

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

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

⁸⁹⁾ „Письма“, стр. 390.

„ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛИСТИЧЕСКОЙ ДИАЛЕКТИКИ к работе 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 в истории революционной мысли“.

Л Е Н И

ТАВИМ НА ОБСУЖДЕНИЕ

Применение 100-периодного тока для электрификации СССР

Материалы к работам II Пленума ученого совета ЭИИ Академии наук СССР

Проф. В. С. Кулебакин
МЭИ

Основные задачи электрификации СССР во втором пятилетнем плане требуют для своего осуществления весьма тщательного изучения всех факторов, влияющих на экономические и технические стороны превращения в жизнь намечаемых планов электростроительства. К числу весьма важных из них, от которых зависят размеры капитальных вложений в электрооборудование, следует отнести частоту переменного тока, имеющего в настоящее время основным видом электрической энергии как при генерации, передаче, распределении и при потреблении последней.

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

Настоящее время в качестве нормальной технической частоты переменного тока в СССР и Европе принято 50 пер/сек; частота была установлена более 30 лет назад, и для национального развития электротехники нормализация частоты 50 пер/сек могла иметь свое оправдание в техническом и экономическом отношениях; но с момента установления нормальной частоты прошел достаточно длительный период времени; за три десятилетия, и в особенности за последние 15 лет, в области техники произошли большие сдвиги, которые ставят под сомнение рациональность дальнейшего применения частотой в 50 пер/сек для электрификации СССР и в особенности СССР.

Нормальная работа электрических установок переменного тока возможна только при работе на одной частоте, поэтому возможность унификации частоты тока стала ощущаться уже в 1900 г. в качестве первичных двигателей электрических станций находили исключительное применение быстroredоходные поршневые машины (паровые, нефтяные, газовые двигатели), вращающиеся со скоростью в 75—150 пер/сек. В начале развития техники переменных токов отмечалась тенденция к применению низких частот. Это оправдывалось желанием уменьшить магнитные потери и выигрышностью низкочастотных токов для питания тяговых электродвигателей, возможностью построения пазкоободных моторов для непосредственного соединения с тихоходными машинами, как-то: поршневыми насосами, доменными печами и т. п.

Помимо того, до 1900 г. в качестве первичных двигателей электрических станций находили исключительное применение быстroredоходные поршневые машины (паровые, нефтяные, газовые двигатели), вращающиеся со скоростью в 75—150 пер/сек. В начале развития техники переменных токов отмечалась тенденция к применению низких частот. Это оправдывалось желанием уменьшить магнитные потери и выигрышностью низкочастотных токов для питания тяговых электродвигателей, возможностью построения пазкоободных моторов для непосредственного соединения с тихоходными машинами, как-то: поршневыми насосами, доменными печами и т. п.

Помимо того, до 1900 г. в качестве первичных двигателей электрических станций находили исключительное применение быстroredоходные поршневые машины (паровые, нефтяные, газовые двигатели), вращающиеся со скоростью в 75—150 пер/сек. В начале развития техники переменных токов отмечалась тенденция к применению низких частот. Это оправдывалось желанием уменьшить магнитные потери и выигрышностью низкочастотных токов для питания тяговых электродвигателей, возможностью построения пазкоободных моторов для непосредственного соединения с тихоходными машинами, как-то: поршневыми насосами, доменными печами и т. п.

Помимо того, качество динамической и трансформаторной стали было невысоко, и оно не позволяло применять высокие частоты вследствие образования больших магнитных потерь.

Так же и изоляционные материалы, обладавшие тогда высокими диэлектрическими потерями, создавали препятствие для повышения частоты. Поэтому для того времени, когда прошла нормализация частоты переменного тока, 50 пер/сек, не было такой частотой, которая вполне соответствовала практике 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 частоте в 50 пер/сек, и не присоединились к предложению европейцев, а остановились на частоте в 60 пер/сек. Расхождение Америки с Европой в установлении единой нормальной частоты можно объяснить мотивами экономического порядка.

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

Для того чтобы проиллюстрировать, какое влияние оказывает частота тока на вес основных объектов электрооборудования, приведены табл. 1 и 2.

Таблица 1

Удельные веса турбогенераторов на 1500 об/мин¹⁾

Мощность 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	
	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	0,855
25 ÷ 50	1. Железо статора . . .	0,96	28	1,145	36	
	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	0,732
60 ÷ 100	1. Железо статора . . .	0,787	33,0	1,515	46	
	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	0,719
125 ÷ 200	1. Железо статора . . .	0,746	35,5	1,385	49	
	2. Медь статора . . .	—	—	0,0812	2,8	
	3. Медь	—	—	0,091	3,2	
	4. Общий вес	2,11	100	2,9	100	0,728

Таблица 2

Общие веса трансформаторов на 22 кВ²⁾

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 весов	0,634	0,628	0,695	0,607	0,598	0,628	0,549

Общие веса трансформаторов на 66 кВ

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 весов	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

<i>P</i>	1	2	3	4	5	6	8	10	12
<i>f</i> = 25 пер/сек	1 500	750	500	375	300	250	187,5	150	125
<i>f</i> = 50 пер/сек	3 000	1 500	1 000	750	600	500	375	300	250
<i>f</i> = 100 пер/сек	6 000	3 000	2 000	1 500	1 200	1 000	750	600	500
<i>f</i> = 150 пер/сек	9 000	4 500	3 000	2 250	1 800	1 500	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).

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

Ниже дается сравнительный разбор основных деталей трического оборудования при применении 50- и 100-
ного тока как с точки зрения весовых соотношений и в отношении рабочего процесса. Автором выбрана
шенночная частота 100 пер/сек, для того чтобы более ясно показать, какой экономический эффект может быть получен в данном конкретном случае, и какова техническая возможность перехода на повышенную частоту при электрификации СССР. Частота в 100 пер/сек не является оптимальной в всех отношениях; для нахождения оптимума необходимо делать большую работу как исследовательского, так и сугубительного характера. Настоящей же работой автора своей целью заострить внимание на необходимости дальнейшего пересмотра вопроса рациональности применения нормальной 50-периодной частоты для дальнейшей электрификации СССР.

Таблица 4
Ступени скоростей вращения

Частота пер/сек	Скорость вращения в об/мин										Число ступеней
	25	50	100	150	250	300	400	500	600	750	
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 500
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 000
100	—	—	—	—	6 000	3 000	2 000	1 800	1 200	1 000	857,2
150	9 000	4 500	3 000	2 250	1 800	1 500	1 285,7	1 125	1 000	900	818,1

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 вследу 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. Ниггемером на международной конференции по производству и распределению электрической энергии в Париже 1932 г. 8).

Переход на новую частоту будет связан с определенными экономическими преимуществами и в техническом отношении не представляет 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

Синхронные машины

Синхронные генераторы являются в настоящее время основным видом электрических машин, посредством которых получается энергия в тех крупных масштабах, которые являются требованием централизованного производства продукции.

Для того чтобы выяснить влияние увеличения частоты основные свойства синхронных машин, ниже приводится сравнение нормальных 50-периодных генераторов с 100-периодными в отношении их геометрических размеров, напряжения сечения, синхронных реактанцев, ударных и установочных токов короткого замыкания, устойчивости параллельной работы и динамической прочности.

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

$$\frac{D^2 I_1 n}{P_n} = \frac{6 \cdot 10^6}{K_a B_e A S}$$

где *D* — внутренний диаметр статора (см), *I₁* — длина статора (см), *n* — скорость вращения (об/мин), *P_n* — номинальная мощность (кВА), *K_a* — коэффициент Калла, *B_e* — магнитная индукция в воздушном зазоре, *A S* — линейная нагрузка (А/см). Из формулы видно, что частота на вес ротора не оказывает прямого влияния, если скорость вращения приходится на 100 пер/сек у синхронной машины остается то же и при 50 пер/сек. Если же скорость вращения уменьшить, то при той же мощности размеры и вес машины уменьшаются. Это наглядно показывает табл. 5, где приведены данные, приходящиеся на единицу мощности турбогенераторов на 50 и 60 пер/сек.

Применение частоты в 100 пер/сек позволяет в турбогенераторах со скоростью вращения в 3 000 об/мин, что может привести к увеличению мощности модели машины почти вдвое. В этом случае турбина на 6 000 об/мин получается значительно больших размеров. Таким образом агрегат турбогенератора (и генератор) при скорости вращения в 6 000 об/мин заданной мощности будет стоить гораздо меньше, и 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 магнитные напряжения в роторе от центробежных сил до чрезмерных величин. При современном состоянии металлической крепости сталей, идущих на изготовление роторов и лей, не вполне еще способна выдерживать столь высокое напряжение, которые могут получиться в материале ротора на 6 000 об/мин. Поэтому гораздо больший практический интерес представляет сравнение геометрических размеров 100- и 50-периодных турбогенераторов на оди-

Таблица 5

все веса в kg/kVA для турбогенераторов на 50 и 60 пер/сек⁴⁾

Активный ма- териал	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

скорости вращения. Если скорости вращения в обоих слу-
жим одинаковы, то, очевидно, у 100-периодного гене-
ратора число полюсов должно быть в два раза больше, чем
в 50 пер/сек.

Как было указано ранее, основные размеры электрической
машин, как-то — диаметр D_1 и длина якоря l_i , определяются
формулой

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

D_1 выражает об'ем цилиндрической выточки якоря; эта
форма хотя и является характерной для машины, но не
является точным представлением о весе машины. Более точно о
весе машины необходимо судить по об'ему, 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;
всё вес машины

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

Число зубцов якоря может быть с достаточным приближе-
нием определено по поперечному сечению проводников, зало-
женных в пазах. Пусть AS представляет собою линейную
плотность тока в сечении обмотки якоря машины, выраженную в A/cm, тогда число ампер-
витков якоря AW_a составляет

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

Допустимая плотность тока в сечении обмотки якоря
то сечение всех проводников должно быть

$$S_k = \frac{\pi D_1 \cdot AS}{l_i}.$$

Приняв z_k за коэффициент заполнения паза медью и z_e — за
отношение площади всех зубцов к площади кольца, состоя-
щего из пазов и зубцов, получают высоту паза равной

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

или

$$h_z = \frac{D_1}{2} \sqrt{\frac{4AS}{l_i D_1 z_k (1 - z_e)}} + 1 - 1.$$

Если принять высоту сердечника якоря h_a равной около

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

то внешний диаметр статора составляет

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

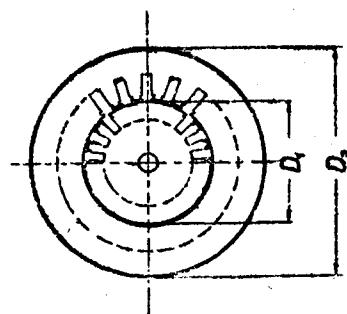
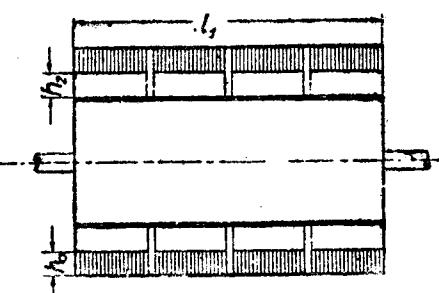


Рис. 1

Обычно в синхронной машине на заданную мощность величина

$$\frac{AS}{l_i D_1} = \frac{\text{const}}{p},$$

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

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

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
$\left(1 + \frac{0.8}{2p}\right)^2$	0,666	0,729	0,802	0,835	0,945	0,96	0,98
$\left(1 + \frac{0.8}{p}\right)^2$							
$\left(1 + \frac{0.9}{2p}\right)^2$	0,582	0,712	0,782	0,822	0,928	0,956	0,974
$\left(1 + \frac{0.9}{p}\right)^2$							

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 достигает до $42 \div 27\%$. Общий же вес тихоходных машин изменяется очень мало.

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

Об'ем железа статора равен:

$$V_{ss} = D_2^2 l_1 - D_1^2 l_1 - h_s \pi (D_1 + h_s) = \\ = D_1^2 l_1 \left\{ \left[\frac{0.6 + 0.8}{p} \sqrt{1 + \frac{\text{const}}{p}} \right]^2 - 1 \right\} - \frac{\pi D_1 \cdot AS \cdot l_1}{l_s s_k (1 - s_e)} = \\ = D_1^2 \left\{ \left[1 + \frac{0.9}{p} \right]^2 - 1 - \frac{\text{const}}{p} \right\} = \frac{0.9}{p} \left(2 + \frac{0.9}{p} \right) \cdot \frac{P_n}{n}$$

Удельные потери в железе равны:

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

где $\alpha = 4.4 \cdot 10^{-2}$, $\beta = 5.6 \cdot 10^{-4}$ для динамной стали $\Delta = 0.5 \text{ mm}$ и $\alpha = 4.7 \cdot 10^{-2}$, $\beta = 3.2 \cdot 10^{-4}$ для динамной стали $\Delta = 0.35 \text{ mm}$. На основании этого в конечном итоге получается, что потери в сердечнике якоря:

$$P_{ss} = \text{const} \cdot \frac{P_n}{n} \cdot \frac{0.9}{p} \left(2 + \frac{0.9}{p} \right) (\alpha f + \beta f^2) \left(\frac{B_s}{10000} \right)^2 \equiv \\ \equiv \left(2 + \frac{0.9}{p} \right) (\alpha + \beta f),$$

или $P_{ss} = \text{const} \cdot P_n \left(2 + \frac{0.9}{p} \right) (\alpha + \beta n_1 p),$

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_{ss} достигают минимума при различных скоростях вращения, приведены в табл. 7.

Таблица 7

p	1	2	3	4	6	
$\Delta = 0.5 \text{ mm}$	n	2124	1062	708	531	354
	f	35,4	17,7	11,8	8,85	5,09
$\Delta = 0.35 \text{ mm}$	n	3978	1989	1326	994,5	663
	f	66,3	33,15	22,1	16,58	11,05

Волгоградская областная универсальная научная библиотека (2 + 3) + 2,5 = (4,5 + 5,5) f_s

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

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

Однако с возрастанием числа периодов потери $\alpha + \beta f$ увеличиваются пропорционально

Если же скорость вращения машины оставить постоянной 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 $\Delta = 0.5 \text{ mm}$ равна 1,39, для $\Delta = 0.35 \text{ mm}$ — 1,25. На основе этих данных подсчитаны значения соотношения потерь в железе сердечника якоря. Результаты подсчетов приведены в табл. 8.

Таблица 8
Соотношение потерь в железе сердечника статора

$2P/P$	2/1	4/2	3/8	20/10
$\Delta = 0.5 \text{ mm}$	1,182	1,265	1,302	1,31
$\Delta = 0.35 \text{ mm}$	1,062	1,137	1,180	1,19

Об'ем железа зубцов может быть с достаточным приближением вычислен по формуле:

$$V_{ss} = \pi \cdot D_1 \cdot h_s s_k \cdot l_1 = \pi D_1 \frac{AS \cdot l_1 s_k}{l_s s_k (1 - s_e)} = \\ = \pi D_1^2 \cdot l_1 \frac{AS \cdot s_k}{D_1 \cdot l_s \cdot s_k (1 - s_e)} = \text{const} \cdot \frac{P_n}{n} \cdot \frac{AS}{D_1 \cdot l_s \cdot s_k (1 - s_e)} \\ \text{и поэтому}$$

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

т. е. об'ем железа зубцов обратно пропорционален в машинах, обладающих одинаковыми электромагнитными грузками и процентным напряжением рассеяния.

Потери в зубцах получаются

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

Следовательно, при удвоении частоты они возрастают в 1,39 (при $\Delta = 0.5 \text{ mm}$) или в 1,25 (при $\Delta = 0.35 \text{ mm}$).

Таким образом можно притти к выводам, что с удвоением частоты общие магнитные потери в железе статора возрастают в 1,2 \div 1,4 раза (при $\Delta = 0.5 \text{ mm}$ или $1,1 + 1,3$ при $\Delta = 0.35 \text{ mm}$), причем меньшие значения относятся к тихоходным машинам.

Об'ем 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 головки обмотки к полюсному делению.

Ранее отмечалось, что

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

и поэтому

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

На основании этого получается

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

В мощных турбогенераторах нормальной частоты

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

чтобы удвоения частоты

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

следует, что

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

увеличение об'ема меди на 26%. В соответствии с этим идет и потери в меди.

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

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

Увеличение намагничивающих ампер-витков вдвое приводит возможности взять двойное сечение проводников обмотки якоря. Но вследствие уменьшения длины якоря в 4 раза длина витка уменьшается. В конечном результате получает увеличение веса обмотки возбуждения и джоулея примерно в 1,6—1,7 раза.

Ниже приведенные соображения приводят к следующим выводам.

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

Эти выводы относятся к таким машинам, которые при какой частоте обладают теми же электрическими и магнитными свойствами и нагрузками, что и машины нормальной частоты; причем для достижения одинакости свойств в случае удвоения частоты внутренний диаметр статора был взят в два раза больше по сравнению с таковыми машины нормальной частоты.

В некоторых случаях увеличение внутреннего диаметра не создает и практические невозможности осуществления машины. Подобное может иметь место в быстроходных машинах большой мощности, когда линейная окружность получается чрезмерно большой. Поэтому более приемлем в практическом отношении является сравнительное рассмотрение синхронной машины, если исходить из ее новых размеров при нормальной частоте и несколько измененных параметров, характеризующие свойства машины, как-то: напряжение рассеяния, соотношение между ампер-витками ротора и статора.

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

Было отмечено ранее, стоимость и вес электрической машины зависят, главным образом, от внешнего диаметра D_2 ; оставляя внешний диаметр постоянным, у 100-периодного генератора можно взять внутренний диаметр статора значительно большим, чем у 50-периодной машины, так как ядра сердечника статора в радиальном направлении сокращаются вследствие уменьшения потока полюса.

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

Уменьшение одинаковой магнитной индукции в сердечнике ядра машины должно быть равно

$$h_a' = h_a \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{D_1'}{D_1}.$$

На основании этих соотношений легко установить, что

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

Так например, если взять турбогенератор завода "Электросила", мощностью в 50 MVA на 1500 об/мин, у которого $D_2 = 226$ 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,

$$U_1 = 4k \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_1 \cdot 10^{-8} = 4k \cdot 2f \cdot w_1 \cdot \frac{\Phi_1}{2} \cdot 10^{-8} = \\ = \text{const} \cdot n \cdot w_1' B_0 D_1 l_1;$$

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

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

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

$$\frac{l_1'}{l_1} = 0,763.$$

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

$$\frac{G_1'}{G_1} = \frac{w_1' s_1' l_1'}{w_1 s_1 l_1} = \frac{D_1' l_1 + s \frac{\pi D_1'}{4p}}{D_1 l_1 + s \frac{\pi D_1}{2p}} \approx 0,84,$$

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

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

Намагничивающие ампер-витки. С возрастанием числа полюсов вдвое намагничивающие ампер-витки ротора во время колесного хода должны уменьшаться, так как посту-

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

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

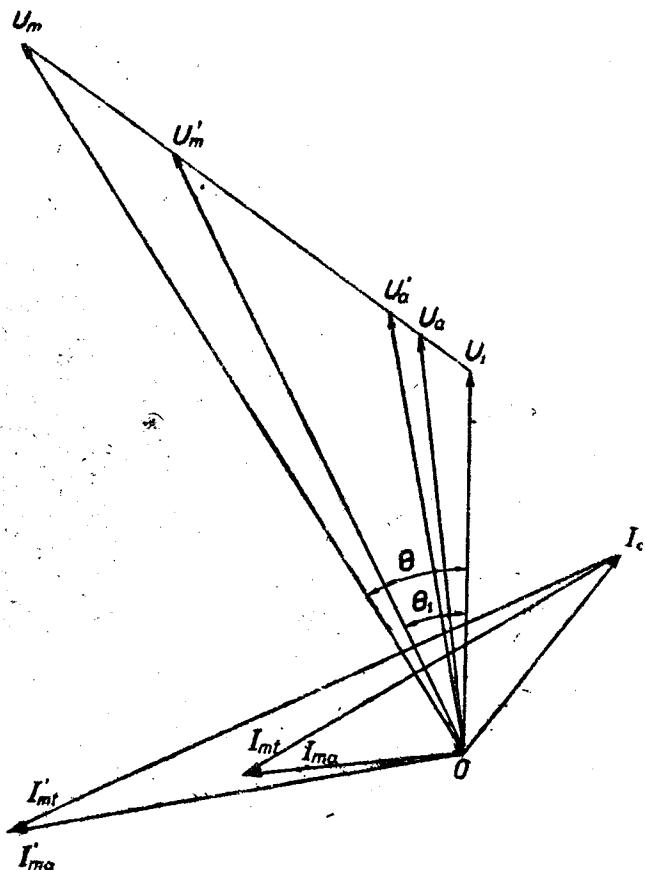


Рис. 2

где AW_{ma} —ампер-витки обмотки возбуждения, AW_{mt} —результатирующие ампер-витки якоря, AW_a —ампер-витки реакции якоря, φ —внутренний угол сдвига. Таким образом, если при $p' = 2p$ результатирующие 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 δ

δ/δ	0,5	0,75	1,0	Примечание
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 притти

Таблица

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

Общий вес активных материалов статора и ротора генератора составляет для 50 пер/сек 90 т; в случае же его на 100 пер/сек получается уменьшение веса эти на 15%, а от общего веса—на 10%. Если производственные подсчеты для турбогенераторов на 3 000 об/мин, то в весе получается еще значительнее: до 15—18%.

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

При применение 2 000 об/мин и т. д. Ранее было указано, что в мощных генераторах применение скорости вращения 2 000 об/мин по соображениям механической прочности может быть затруднено. Подобные соображения могут относиться и к 3 000-оборотным генераторам. При 50 пер/сек, соответствующему скорости является 1 500 об/мин, и 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 сопоставлении же допустимых электромагнитных нагрузок турбогенератора повысится на 30—33%, при этом может быть уменьшен на 8—10%; таким образом, стоимость машины в единицу мощности сокращается до 65—70%.

Реактанц рассеяния и синхронный танец. Реактанц рассеяния в синхронных машинах разбить на три части: 1) реактанц рассеяния паза x_K , 2) танец рассеяния головок зубцов x_K и 3) реактанц головок обмоток x_S . Первые две части реактанца могут быть вычислены по формуле

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

Реактанц рассеяния головок обмоток подсчитывают по формуле

$$x_S = 0,158 \frac{f}{100} \left(\frac{w}{100} \right)^2 \frac{l_s}{p} \lambda_S.$$

Таким образом общий реактанц рассеяния равен

$$X_{sa} = 0,158 \frac{f}{100} \left(\frac{w}{100} \right)^2 \frac{l_s}{pq} \left[\lambda_N + \lambda_K + \frac{q \cdot l_s \cdot \lambda_S}{l_s} \right].$$

Здесь λ_N , λ_K и λ_S означают удельные магнитные проницаемости паза, головок зубцов и головок обмоток.

Теперь можно посмотреть, как изменяются отдельные реактанцы 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 реактанц должен уменьшиться вчетверть, если частота остается без изменения; увеличение же вдвое приводит к тому, что реактанц рассеяния в общем в два раза меньше. Так как при удвоении вращения от данной модели машины можно получить такую же, то относительное напряжение рассеяния.

Если при удвоении скорости вращения желательна ту 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 якоря остается прежним; длина головок обмоток не изменяется. Обычно в мощных турбогенераторах соотношение между $X_N + X_K$ и X_S составляет около 3:1; таким образом при удвоении частоты и сокращении осевой длины вдвое реактанц рассеяния x_{sa} получается примерно вдвое.

Получение удвоенной частоты при сохранении постоянной скорости вращения связано с увеличением числа витков, последнее приводит к уменьшению длины головок обмоток для данной машины $l_s = \text{const}$, то при $l_s = \text{const}$

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

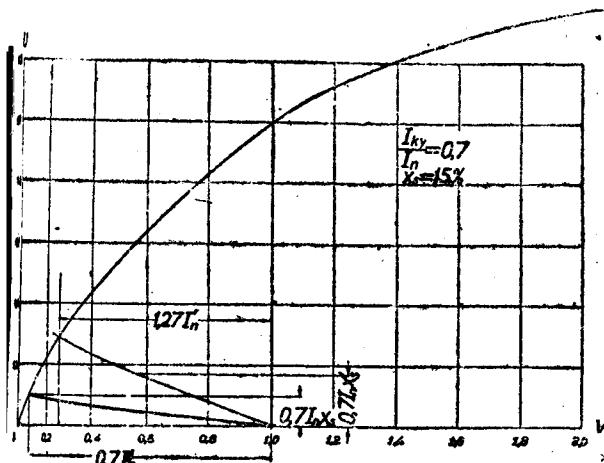


Рис. 3

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

Определенные по этой диаграмме синхронные реактанцы занесены в табл. 11.

Таблица 11

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

Изменение 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.

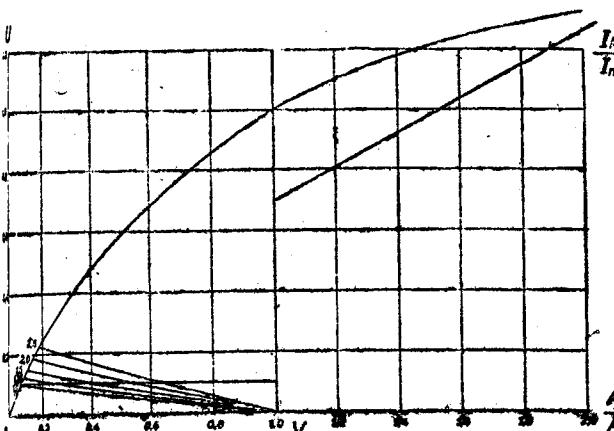


Рис. 4

Таблица 12

Соотношение ампер-витков $\frac{AW_{m1}}{AW_{m0}}$

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

От уменьшения отношения $\frac{AW_{m1}}{AW_{m0}}$ уменьшаются и изменения напряжения.

Токи короткого замыкания. При $n_1 = 2n$ и $P'_n = 2P_n$ отношения установившегося тока короткого замыкания I_{sy} 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 $n = \text{const}$, и $p' = 2p$ ударный ток короткого замыкания уменьшается вследствие увеличения реактанца рассеяния, а установившийся ток короткого замыкания, наоборот, от уменьшения синхронного реактанца увеличивается.

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

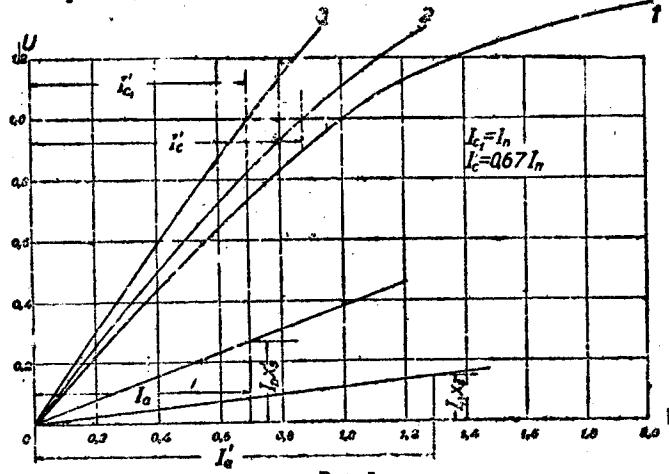


Рис. 5

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 реактанец 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:

$$F = \text{const} I_s I_{mk}^2 q^2$$

Так как при $p' = 2p$ число пазов на полюс и фазу q в два раза меньше, I_s 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 возбуж-

ждения 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—2½ 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 полюсного деления и линейной нагрузке ($P_{\text{доп}} \equiv f^2 \cdot t_p^2 \cdot AS^2$) 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 врачающихся частей.

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

$$T_e = 0,032 \sqrt{\frac{GD_{\text{ж}}^3}{\rho y_1 P_n}},$$

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 частотой 100 пер/сек явление сопоставимо с 50 пер/сек.

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

Таблица 13
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
	P_{MVA}	30	100	150	250
$f = 150$ пер/сек	n	9 000	4 500	3 000	2 250
	P_{MVA}	15	60	90	120

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 удвоенную частоту при одном и том же соотношении веса железа и меди.

Если обозначить посредством: G_k и G'_k —веса меди в трансформаторах при нормальной и повышенной частоте; G_e и G'_e —соответственно веса железа, P_k и P'_k —уже имеющие 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 сравниваемые трансформаторы в одинаковые условия в отношении нагрева, необходимо чтобы удельная поверхностная нагрузка от потерь была одной и той же. Внутренняя поверхность охлаждения трансформаторов пропорциональна $1/8 \cdot 1/2$ степени от веса активного материала. Приняв в среднем поверхность пропорциональной $1/3$ степени от веса, получают

$$\frac{G'_k (P'_k + \alpha P'_e)}{G_k^{1/3}} = \frac{G_k (P_k + \alpha P_e)}{P_k^{1/3}},$$

отсюда следует, что

$$\frac{G'_k}{G_k} = \left(\frac{P_k + \alpha P_e}{P'_k + \alpha P'_e} \right)^{1/3}$$

$$x = \left(\frac{P_k + \alpha P_e}{P'_k + \alpha P'_e} \right)^{1/3}.$$

Если принять, например, $\alpha = 3,35$, $P_k = 27$ W/kg, $P'_k = 28,5$ W/kg, $B_2 = 14,300$ Gauss, $B'_2 = 12,500$ Gauss, $\rho = 4,4$ W/kg, и $P_e = 9,0$ W/kg,

то получается

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

$$\frac{G'_k}{G_k} = \left(\frac{P_k + \alpha P_e}{P'_k + \alpha P'_e} \right)^{1/3} = 0,555,$$

и

$$x = \sqrt[3]{\frac{P_k + \alpha P_e}{P'_k + \alpha P'_e}} = 0,82.$$

Таким образом при удвоении частоты трансформатор получается на 45% легче и к. п. д. его выше (потери снижаются на 18%).

Если поставить себе задачей выяснить, насколько можно увеличить мощность данной модели трансформатора на удвоенной частоте в случае сохранения тех же весов активных материалов, то можно притти к следующим выводам.

Обычно в солидных трансформаторах магнитная насы

от 14 000–14 500 Гц. Допуская по соображениям возможности уменьшения потерь в железе снижение магнитной индукции с 14 500 до 12 500 Гц, получают магнитный поток $\Phi' = \frac{12500}{14500} \cdot \Phi = 0,865 \Phi$.

При этом потоке для наведения при 100 пер/сек одинаково, как и при 50 пер/сек, напряжения необходимо иметь в витках

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

В одинаковых 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, из-за материалов трансформатора, приходящийся на единицу мощности, уменьшается на 48%.

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

и $f = 100$ пер/сек, возрастают при $f = 100$ пер/сек примерно на 75% по сравнению с таковой же при увеличении номинальной мощности на 75%.

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

Линия 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 соответствует 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 притти к выводам, что выше частоты приносит несомненные положительные результаты: создает экономию в весе активных материалов в 45%, увеличивает к. п. д., уменьшает искажение кривой.

Передача энергии

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

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

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

Волновое сопротивление линии (если пренебречь влиянием индуктивного сопротивления, утечки) представляется равным $\sqrt{\frac{L}{C}}$.

Это сопротивление не зависит от частоты, поэтому мощность линии передачи получается при 100 пер/сек одинаковой, что и при $f = 50$ 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.

Мгновенный ток всей линии равен $I_e = \omega C$, а $U = \frac{1}{j} I_e$.

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 ΔU_i возрастают вдвое.

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

линии. Это искусство 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 ω —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

$$P_r = I^2 X_{\text{доб.}}$$

или

$$P_r = U^2 \omega \cdot C_{\text{доб.}}$$

то

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

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

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 $R_w = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$ 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 далекое 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 реактивным x , передаваемая мощность, как известно, может быть определена по формуле

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

или, с достаточным приближением,

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

где Θ —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

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

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:

$$P_k = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} \cdot [U - U_k]^2 \cdot 10^{-5} \text{ kW/km},$$

где U —междуфазовое напряжение (кВ), U_k —критическое междуфазовое напряжение (кВ), $\delta = \frac{3.92b}{273+t}$ — коэффициент, учитывающий давление b и температуру воздуха t (плотность воздуха), r —радиус провода (см), D —расстояние между проводами (см).

Таким образом, при $f = 2f = 100$ пер/сек потери на корону увеличиваются лишь в $\frac{2f+25}{f+25} = \frac{100+25}{50+25} = 1\frac{2}{3}$ 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 потеря на корону при современных устройствах высоковольтных линий передачи электроэнергии бывают небольшими.

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

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

где $e = 2,71$ (основание натуральных логарифмов), a —длина линии (км), β —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 β несколько увеличивается, что должно привести к снижению к. п. д.

Однако, если принять во внимание, что при рациональном устройстве линии передачи $g \cong 0$ и $\frac{r}{\omega L} = 0$, постоянная затухания получается равной $\beta = \frac{1}{2} r \sqrt{LC}$, т. е. почти независящей 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. Вологодская областная универсальная научная библиотека

работе мешающее действие на линии связи, а впринципи могут вызывать опасные перенапряжения в сильных проводах. Мешающее действие трехфазной линии, как известно, обусловливается тем, что практически можно осуществить совершенную транспозицию; несамое щадительное выполнение транспозиции, вследствие фазного смещения векторов напряжения и тока линии получается несимметрия. В современных линиях последнее обстоятельство особенно заметно при наличии высших гармоник.

Ранее было отмечено, что фазное смещение тока и напряжения возрастают с увеличением частоты; таким образом 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 кратные магнитные насыщения, вследствие чего искажение кривой напряжения получается гораздо меньшим; мешающее действие 100-периодной линии передается от основной волны вдвое, а от высших гармоник может быть даже слабее, чем в современных 50-пер/сек 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 получается меньше, чем при 50 пер/сек. Увеличение 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 тому, что постоянству результатов влияния независимо от частоты.

Аппаратура

Влияние частоты тока на коммутацию и токоограничивающую аппаратуру (ключатели, реакторы). При применении тока в 100 пер/сек мгновенные ударные токи короткого замыкания получаются меньше, чем при 50 пер/сек, вследствие этого они подвергаются меньшим электродинамическим и термическим воздействиям, и вся выключающая аппаратура может быть выбрана на меньшую разрывную мощность. Что касается влияния частоты на процесс выключения, то теоретически в низких частотах дуги должны прекращаться скорее, в высокой частоте, лишь в случаях чисто омической нагрузки. В практике же во время коротких замыканий выключение происходит разрывом тока, главным образом, в индуктивной цепи; в этом случае переход тока через нуль происходит в момент амплитудного напряжения в цепи, а потогенерация дуги происходит немедленно. Тенденция к выключению в телестройении направлена к тому, чтобы создать выключатель, посредством которого разрыв тока можно произвести за один полупериод после разединения в цепи. В подобном совершенном выключателе энергия разрывается с увеличением частоты. В большинстве практических случаев разрыв тока происходит за один полупериод, и общая длительность процесса разрыва повышается с частотой.

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

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

Преобразователи электрической энергии

Одноякорные синхронные преобразователи переменного тока, частотой в 100 пер/сек в построении уменьшаются в своих размерах, но коммутация в этих машинах значительно ухудшается. Но применение одноякорных преобразователей все более и более ограничивается, и в конечном итоге заменяются теперь рутными выпрямителями.

Ионные и электронные выпрямители, образованные на 100 пер/сек работают более синхронно, синхронные трансформаторы, делители напряжения отсасывающие дроссельные катушки получаются гораздо

Потребители электрической энергии

Лампы накаливания горят при частоте в 100 пер/сек гораздо 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.

Лампы при повышении частоты также горят более спокойно.

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

Электротяговые агрегаты переменного тока при частоте в 100 пер/сек дают более устойчивую дугу; сажевые аппараты в виде специального трансформатора получается гораздо легче, и стоимость его ниже.

Переносные и ручные электроприборы и инструменты (сверлилки, молотки, бормашины, пилы, шлифовальные машины и т. д.) при применении 100 пер/сек получается 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 ν и числа полюсов ($n = \frac{60f}{p}$). Выше были приведены шкалы синхронных скоростей n для случаев 100 и 50 пер/сек.

Данные табл. 7 показывают, что при 100 пер/сек скорость вращения асинхронных двигателей имеет более широкие пределы. Верхний предел скорости для асинхронных двигателей, работающих 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 высокочастотных двигателей является экономически выгодным (шлифовальные машины, центробежные пильы, бурильные машины, циркульные 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 10000 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 и 1000). Это обстоятельство имеет важное практическое значение для электромоторного привода, так как оно позволяет изобрать двигатели на скорость, экономически выгодную для приводимых машин-орудий, станков и пр.

Частота тока оказывает влияние и на использование магнитного 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 частоты вдвое мощность двигателя возрастает также вдвое при тех же электрических и магнитных нагрузках (B_1 и AS). Если же двигатели одной и той же мощности и 100 и 50 пер/сек, имеющие одинаковую скорость вращения, то при частоте в 100 пер/сек двигатель должен иметь число пар полюсов в два раза более; в этом случае поток якоря 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 зависимым от частоты.

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

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

Весьма важными факторами, характеризующими свойства режима работы асинхронного двигателя, являются намагничающий 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 ($n' = 2n$; $p' = p$). Сравненные двигатели имеют одни и те же геометрические размеры (D_1 , l_1) и магнито-электрические нагрузки (B_1 , AS); при этих условиях намагничающие 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, намагничающий 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:

$$x_{s2}' = Kf_1 \cdot w_2^2 \lambda = K \cdot 2f_1 \cdot \left(\frac{w_2}{2}\right)^2 \lambda = \frac{x_{s2}}{2}.$$

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

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

$$M_a = \frac{pm_2}{2\pi} \cdot U_2^2 \cdot \frac{r_2}{f_1 [r_2^2 + (2\pi f_1 L_2)^2]} \cdot r^2.$$

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

$$M_{a1} = \frac{pm_2}{2\pi} U_2^2 \frac{r_2}{f_1^2 (2\pi L_2)^2} = \text{const} \cdot \frac{r_2}{n_1 w_2^2}.$$

Так как при заданном сечении проводников ротора отношение $\frac{r_2}{w_2^2} = \text{const}$, то $M_{a1} = \frac{\text{const}}{n_1}$, т. е. обратно пропорциональны скорости вращения. Следовательно, при $n' = n$ начальный момент получается в два раза менее, 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 $\frac{\omega_1 L_r}{r_2} \approx 0$, приблизительно равен

$$M_a' = \frac{pm_2}{2\pi} \cdot U_2^2 \frac{1}{r_2 f_1} = \text{const} \cdot \frac{f_1}{r_2}.$$

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.

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

$$M_{\max} = \frac{pm_2 \cdot k_2 \cdot w_2^2 \Phi_1^2 \cdot 10^{-6}}{4L_2} = \frac{p \cdot m_2 \cdot k_2 \Phi^2 10^{-6}}{4\lambda_2} = \text{const}.$$

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 ($w' = w$).

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

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

$$x \equiv \frac{1}{p} \cdot l_s \cdot \lambda_s \equiv \frac{f_1}{p} \cdot \frac{s \pi \cdot D_1}{2p} \cdot \lambda_s = \text{const} \cdot \frac{f_1}{p_2};$$

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

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

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

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

$-0,69 M_{a1}$,
т. е. примерно на 30% меньше.

Начальный пусковой момент при введении в цепь ротора добавочного сопротивления

$$M_a' = \text{const} \cdot p' \frac{\Phi^2 f_1}{r_2} = \text{const} M_{a1},$$

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

Опрокидывающий момент получается равным:

$$M_{max}' = \text{const} p' \frac{\Phi^2}{r_2} = \text{const} \frac{2 p \left(\frac{\Phi_1}{2} \right)^2}{r_2 \cdot 0,604} = 0,83 M_{max}.$$

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. $D_2^2 l_1$. Ранее было указано, что

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

$$\text{и } D_2^2 l_1 = D_1^2 \cdot l_1 \left[1 + \frac{0,9}{p} \right]^2 = \text{const} \frac{P_u}{n} \left[1 + \frac{0,9}{p} \right]^2,$$

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 потери в сердечнике увеличивается лишь в 1,5 раза, потери же в зубцах примерно в 3–3,3 раза; джоулевы 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 динамовой, 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 трехугольник.

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 двигатели вышеуказанный 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 компенсаторов. 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 высокоскоротные двигатели (на 6 000 об/мин), каковые находят большое распространение для приводов перепада предельных гравийных, центрифуг, деревообделочных машин и пр.

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

4. 100-периодный двигатель требует двойных намагничающих ампер-витков, и реактанц 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 при короткозамкнутом роторе у 100-периодного двигателя меньше.

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

8. Асинхронные двигатели, устроенные по принципу экранирования и вытеснения тока (системы Бушера, Рюденберга 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 короткозамкнутых двигателей происходит при меньшем толчке тока, что возможность непосредственного приключения двигателя к сети без применения переключателя со звезды на треугольник или каких-либо токоограничивающих или понижающих напряжения приспособлений.

Коллекторные двигатели

Эти двигатели в настоящее время не являются широкораспространенными; область применения этих двигателей ограничивается теми установками, где требуется широкий диапазон 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_s , но и трансформаторная $\frac{d}{dt} e_s$, и результирующее напряжение в короткозамкнутой секции коллекторного двигателя определяется, как геометрическая сумма действующих напряжений, т. е.

$$e_k = \sqrt{e_s^2 + \frac{d}{dt} e_s^2}.$$

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

Как известно трансформаторная $\frac{d}{dt} e_s$ в короткозамкнутой секции определяется по формуле

$$e_t = 4,44 \cdot f \cdot w_k \cdot \Phi_b \cdot 10^{-8} V,$$

где w_k – число витков короткозамкнутой секции, Φ_b – магнитная индукция в зоне возбуждения.

При удвоении числа периодов, если увеличить число полюсов вдвое, произведение потока на частоту остается и чиной постоянной, следовательно, трансформаторная $\frac{d}{dt} e_s$ при 100 пер/сек может быть той же, что и при 50 пер/сек.

Реактивное напряжение e_s 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 обмотки. Поэтому общее напряжение в короткозамкнутой секции при удвоении числа полюсов с удвоением числа периодов несколько уменьшается.

Напряжение на коллекторе равняется:

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

где Δe_t – среднее напряжение между крайними гранями щетки, b – ширина щетки, v_k – окружная скорость коллектора.

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

Мощность коллекторного однофазного двигателя выражается так:

$$P_1 = \frac{3 p \cdot \Phi_e}{\sqrt{2}} (V \cdot AS) \cdot 10^{-9} kW,$$

где V – линейная скорость ротора.

При заданных диаметре и длине ротора величина

$$\frac{\pi \cdot D_{el} \cdot \Phi_e}{2 p} = \text{const}$$

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

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

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

Здесь $f_r = \frac{P}{60}$ так называемая частота вращения.

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

$\left(1 + \frac{0.9}{2p}\right)^2$, расход меди на обмотки также сокращается.

Все эти обстоятельства являются положительными фактами.

За последнее время при постановке новых типов электровозов наметились тенденции применения многомоторного призыва; эти типы электровозов характеризуются относительно большим числом быстроденных двигателей, из которых каждый работает на соответствующую ось. При применении же быстроденных двигателей уменьшение веса двигателя при удвоении частоты происходит значительно, 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 один 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.

НОВОЕ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОСВАРКИ

Выбор рода тока для электродуговой сварки¹⁾

Инж. Ф. И. Кислюк

ВЭИ

В развитии той или другой отрасли хозяйства, использующейся 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 в 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 соперечным полем Розенберга и др.), которые дали большой толчок в деле внедрения электрической дуговой сварки и только в ремонтном деле, но и как самый эффективный передовой из существующих методов соединения металлов. Годы вкратце пути развития сварки на постоянном токе

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 введение 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 поместиться предметы электрооборудования, что ведет также к дальнейшей экономии.

Переход с 50-периодного тока на 100-периодный будет не затруднить, а наоборот облегчить 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.

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, очевидные 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 агрегаты постоянного тока требуют частой чистки коллектора, периодической обмотки его смазки подшипников, смены ше-

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;

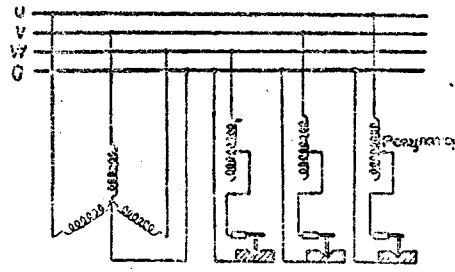


Рис. 1. Схема многопостовой сварки на переменном токе

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 ити 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 (Schmelzschweißung, 1928, № 5), который пишет следующее: „Совершенно очевидно и для всех почти ясно, что тот и другой род тока дают равнозначные 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 заграничных заводах занимает все же сварка постоянным током. Переход к производству аппаратов переменного тока потребовал 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) предъявляет 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 сварочного шва для различных родов тока.

Из большого количества типов сварочных швов опытному исследованию подверглись сварка встык. Опыты проводили-

лись на двух сечениях стали—12 мм и 8 мм, а сварка производилась при двух положениях шва в пространстве—нижняя сварка и вертикальная. Сравнительные исследования производились на пяти системах тока, а именно:

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

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

3) переменный ток с применением осциллятора $E_o = f = 50$ герц/сек (трансформатор СТ-2);

4) переменный ток с применением осциллятора $E_o = f = 50$ герц/сек;

5) переменный ток повышенной частоты (200—400 герц) от индуктивной машины.

Сварка исследовалась при силах тока: 130, 150, 170 А; при переменного тока эти ступени были взяты соответственно с учетом коэффициента искажений кривых напряжения и силы тока в вольтовой дуге при сварке¹⁾.

Сварка производилась электродами из белорецкой прокатки № 1 от одной бухты, при этом часть проволоки покрыта специальной обмазкой № 3 ВЭО. Химический анализ электродного металла был следующий: С—0,005; Si—0,478, S—0,005; P—0,017.

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

Результаты механических испытаний²⁾

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

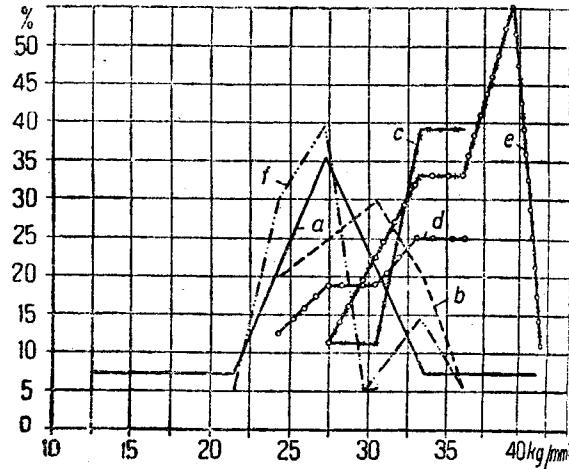


Рис. 2. Кривые „рассеяния“ результатов испытания на временное сопротивление разрыву образцов, сваренных нижним швом: а—постоянnyй ток, голые электроды; б—постоянnyй ток, покрытые электроды; в—переменный ток, голые электроды; г—переменный ток, схема с осциллятором, покрытые электроды; д—переменный ток,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

Сварка постоянным током голыми электродами. Как показывает кривая рассеяния или частоты (рис. 35%) всех образцов имеют прочность 25,5 kg/mm². Помимо большого количества образцов, дающих низкое значение временного сопротивления, результаты характерны также и большим рассеянием в пределах от 12 до 42 kg/mm².

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-

1) Произведено ранее исследование показывает, что для силы 150—250 А поправочный коэффициент получается равным 1,05—1,1 (здесь же №, статья автора „Осциллятор улучшает сварку на переменном токе“).

2) Механические исследования были произведены НКПС инж. И. Ф. Кислюком.

зимет на лучшее качество шва. Так, мы видим, что при сварке 30% образцов разорвалось при напряжении 32 kg/mm^2 , а при вертикальной 30% при $32 \div 35 \text{ kg/mm}^2$. 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 большой прочности, что указывает на лучшее качество шва, имеющее место при вертикальном положении шва по сравнению с нижней. Следует заметить, что непровар и шлаки преобладают в низких силах тока, а раковины встречаются как при низких, так и высоких силах тока.

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

Сварка переменным током с осциллятором и 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 провором, отсутствием раковин и шлаковых включений, а также мелкозернистостью структуры.

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

Сварка переменным током осциллятором покрытыми 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 крутые. Но же наблюдается, что они сдвинуты в сторону увеличения прочности. При нижней сварке максимум образцов в количестве 25% разорвался при временном сопротивлении 35 kg/mm^2 , а при вертикальной 26,7% при $35 \div 38 \text{ kg/mm}^2$. Кривые видно также, что как для нижней сварки, так и для вертикальной соответствующий процент остается без изменения и для напряжения $35 \div 38 \text{ kg/mm}^2$. Большинство образцов имеет мелкозернистую структуру и значительное уменьшение количества шлаковых включений.

Сварка переменным током напряжения 35 V с применением осциллятора³. Понижение напряжения для целей сварки замечено в том отношении, что оно, во-первых, позволяет уменьшить размеры катушки, которая включается последовательно для ограничения тока короткого замыкания. Во-вторых, применение пониженного напряжения, естественно, позволяет $\cos \phi$ сварочного трансформатора в отношении $E_g : E_o$. При пониженном напряжении, но с применением осциллятора, произошла покрытыми электродами диаметром 4 mm при силах тока 190, 210 и 240 A; имея в виду, что при низких силах тока в дуге, порядка $120 \div 160 \text{ A}$, сварка может протекать как в обычных 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 $26 \div 29 \text{ kg/mm}^2$, а при вертикальной сварке (53,2%) — крепость $29 \div 32 \text{ kg/mm}^2$. Первые результаты являются безусловно неудовлетворительными, вторые — дают только среднее значение прочности. Почти все образцы имеют плохой провор, шлаковые включения и крупнозернистую структуру. Пониженные результаты могут быть обусловлены 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 от силы и рода тока. Эти данные получены при испытании образцов, сваренных в нижнем и вертикальном положении при толщине стали 12 mm. 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 mm. Нижняя сварка. Толщина свариваемых листов 12 mm.

Род тока	Сила тока								
	130—136 A	150—158 A	170—178 A	Временное сопротивление kg/mm ²	Процентное соотношение временного сопротивления	Временное сопротивление kg/mm ²	Процентное соотношение временного сопротивления	Временное сопротивление 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 изготавливались 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 времененного сопротивления и удлинения можно считать равнозначными. 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 лучей⁴. Из существующих на сегодня методов испытания сварных соединений без разрушений рентгеновский метод привлекает наибольшее внимание сварщиков. Интерес к рентгеновскому методу испытания обясняется 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 аппарата и дороговизну, начинает применяться не только в лаборатории, но и в цеху для контроля ответственных сварных изделий. Еще большее значение рент-

³ Подробное исследование этого вопроса см. также ст. "Осциллятор 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.

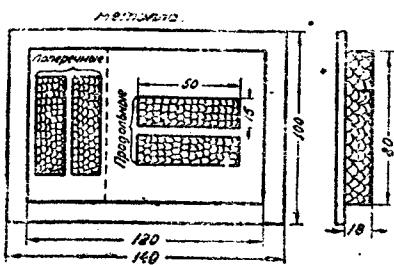


Рис. 3. Вырезка образцов из наплавленного металла

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, определяется 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 η и коэффициент производительности сварочного поста ζ , зависящий от организации технологического процесса и характера свариваемых деталей. Последний колеблется от 0,3 до 0,7. Коэффициентом производительности ζ называется отношение времени, идущего на чистое горение дуги, к общему времени, необходимому для сварки детали. Расход энергии на 1 kg наплавленного металла может быть найден по следующей формуле:

$$P_c = \frac{A_1}{m} + T_p P_0 \left[\frac{1}{\zeta} - 1 \right] \text{ kWh/kg},$$

где A_1 — расход энергии непосредственно во время горения дуги, m — вес наплавленного металла (kg), T_p — время горения дуги (h), P_0 — 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 ζ и силы сварочного тока. В табл. 2 дается производительность для постоянного тока покрытыми электродами.

Таблица 2

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

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

что при переменном токе тепловой эффект вольтова выше, чем при постоянном, и принятая в начале исследований поправка для сварки переменным током оказалась недостаточной, так как она учитывала лишь необходимую поправку несинусоидальность кривых тока и напряжения (наличие гармоник). Для равного теплового действия переменного тока по сравнению с постоянным необходимо учесть поправочный коэффициент μ на величину, учитывая также и уменьшение температуры в дуге, которое имеет при периодическом прохождении силы тока через путь фактором нельзя пренебречь. Для получения равной производительности необходимо увеличить силу тока при сварке переменным током на 15—20%. Только в этом случае можно оправдывать равноденесенность постоянному (теоретическое) экспериментальное подтверждение этого вопроса должно место при исследовании фактических свойств вольтова.

Проблема cos ф

Наличие индуктивной катушки в цепи сварочного трансформатора (необходимой для ограничения тока короткого замыкания и регулирования силы сварочного тока в дуге) значительно снижает коэффициент мощности установки при $\cos \phi = 0,4$. 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 $\cos \phi = 0,4$, требует примерно 5% активной энергии (что весьма незначительно), а в остальных цехах завода коэффициент мощности равен 0,7, то легко убедиться, что общезаводской $\cos \phi$ понизится на едва заметную величину. Приведенное аналитическое исследование показывает, что при этих условиях общезаводской $\cos \phi$ понижается с 0,7 до 0,69. Изменение $\cos \phi$ вызывает повышение штрафных тарифов при $\cos \phi = 0,7$ до 5,5% при $\cos \phi = 0,69$. Более подробные подсчеты, производившиеся для сварочных в 120 постов, оборудованного аппаратами переменного или агрегатами постоянного тока, показывают, что увеличение электроэнергии сварочного цеха на величину штрафных перерасходов (понижение общего $\cos \phi$ с 0,7 до 0,69) почти не влияет на соотношение расходов по электротехнике (2:1) между постоянным и переменным токами.

Однако нельзя соглашаться и на такое даже незначительное снижение общего $\cos \phi$. Более правильным решением вопроса является компенсация потребляемой реактивной

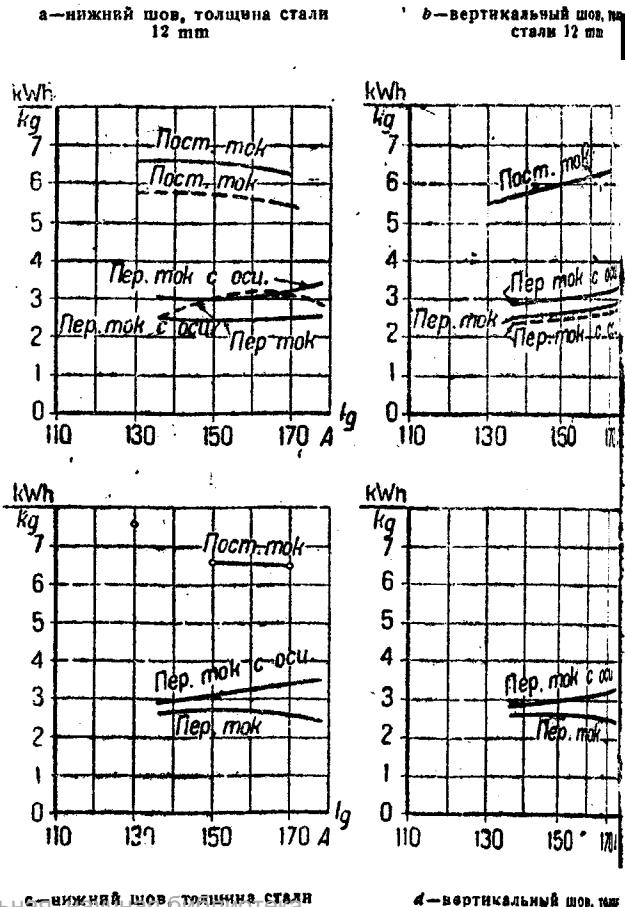


Рис. 4. Зависимость удельного расхода энергии от силы тока

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

Технико-экономические исследования сварки переменным и постоянным токами

Мы были уже перечислены преимущества применения практической дуговой сварки переменным током, но для полной картины следует еще произвести подсчет стоимостей оборудования и эксплуатации сварочного цеха для постоянного и переменного.

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

Во всех подсчетах имелось в виду, что сварка переменным и постоянным токами получается доброкачественной лишь при изысканных электродах, поэтому стоимость их не была привлечена вниманию. Далее, стоимость оплаты сварщиков также учитывалась, так как она одинакова для любого рода тока. Но же касается стоимости аппаратуры, то в этих подсчетах были приняты во внимание существующие коммерческие цены, между удашающие 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. (70% накидки) и 2 700 руб. для агрегата постоянного тока (СМГ-2) (80% накидки). Более правильным было бы в этих расчетах учесть себестоимость аппаратуры на заводе, но же при благоприятных накидках на сварочные трансформаторы все же преимущество, как видно будет ниже, остается за переменным током.

В капиталовложения входят (табл. 3):

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

Таблица 3

Расходы на капиталовложения

Наименование аппаратуры	Стоимость аппаратуры	Количество аппаратов	Суммарная стоимость аппаратов	Стоимость площади цеха	Стоимость электроизделий	Полная стоимость
Постоянный ток						
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						
Постоянный ток	410	120	49 300	“	“	163 000
Сварочный трансформатор СТ-2	990	120	119 000	2 900	12 000	133 900

В ежегодных эксплоатационных расходах срок амортизации принимался при двухсменной работе в 8 лет; процент на капитал в занят 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 эксплоатационных 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 к концу пятилетки соотношение числа установок на переменном и постоянном токах будет порядка 5:1, то при запроектированном производительности появится дополнительное количество сварочных постов.

Таблица 4

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

Наименование аппаратуры	Капиталовложения	Ежегодные амортизационные расходы	Проценты на капитал	Стоимость электроизделий в год в две смены	Уход и обслуживание	Полная стоимость
Постоянный ток						
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
Переменный ток						
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 · 10⁶ kWh в год, что составляет примерно среднюю полуторагодичную выработку энергии Волховской электростанцией или, переводя на уголь, 930 000 т угля, равное пятилеточной 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 отделенных систем тока по механическим, рентгеновским и металлографическим исследованиям позволяет утверждать, что сварка переменным током нисколько 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, преимуществом 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 · 6 kWh/kg против 2,5 · 3 kWh/kg).

Угар и разбрзгивание. При сварке одинаковыми электродами потеря металла на угар и разбрзгивание не зависит 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 эксплоатационным расходам примерно в 2½ раза по сравнению с агрегатами постоянного тока. Удельный расход на 1 kg наплавленного металла зависит от типа аппарата сварочного цеха. Оплата сварщиков и стоимость электродов в расчет не входит.

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

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

- применение трансформатора переменного тока для гопостной сварки;
- разработка новой конструкции сварочного регулятора совместно с осциллятором;
- разработка вопроса применения автоматической дуги сварки на переменном токе с осциллятором;
- применение алюминиевых обмоток с оксидной пленкой в построении сварочных трансформаторов;
- разработка новой конструкции однополостного сварочного трансформатора в виде целого агрегата — трансформатора гулятором и осциллятором;
- питание дуги пониженным напряжением в целях уменьшения $\cos \phi$ сварочного поста.

Применение осциллятора для улучшения сварки на переменном токе¹⁾

Инж. Ф. И. Кислюк

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 тухнет 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 ($120 \div 150$ V). 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 меньше²⁾.

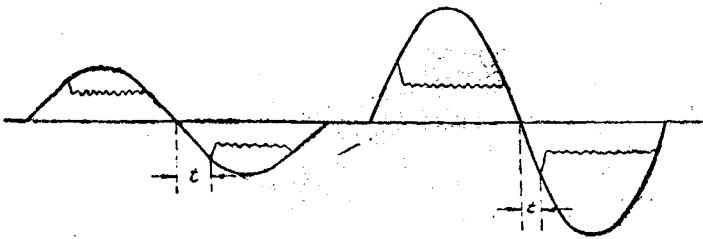


Рис. 1.

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 цели 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 .

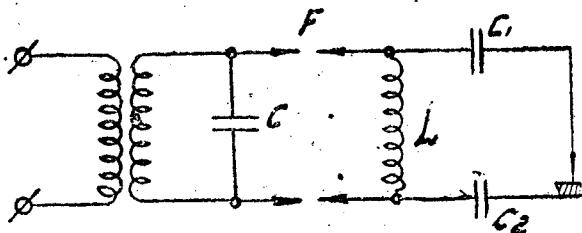


Рис. 2

За последнее время для улучшения качества сварки переменном токе был предложен добавочный ионизатор высокочастотного контура, так называемый осциллятор. Идея не новая, так как подобные опыты производились в 1930 г. проф. Вологдиным в Ленинграде совместно с зав. "Электрик", а в настоящее время фирма Westinghouse складывает комбинированный сварочный трансформатор с осциллятором³⁾. Представленный на рис. 2 осциллятор состоит из трансформатора, колебательного контура и защитных конденсаторов. Первичная катушка трансформатора приключена к сети 120—220 V, а вторичная катушка приключена к колебательному контуру.

Действие осциллятора

Высокое напряжение трансформатора заряжает конденсатор C . Последний разряжается на небольшое индуктивное сопротивление L и через искровые промежутки F . Электрическая энергия, сосредоточенная в конденсаторе $\frac{1}{2} C E^2$,

ходит в электромагнитную энергию $\frac{1}{2} L I^2$. Искровой промежуток F после пробоя напряжением E_F представляет небольшое сопротивление, которое все же разряжает конденсатор и затухающим.

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

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

Если же R незначительно, то им можем пренебречь:

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

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

Необходимая частота регулируется самоиндукцией и емкостью колебательного контура.

Сравнительно высокое напряжение ($2500 \div 3000$ V) высокой частоты колебательного контура передается на сварочную дугу, которая ионизирует воздушный промежуток между электродом и деталью в виде искровых разрядов до тех

¹⁾ Из работ электросварочной лаборатории машинного отдела ВЭИ, проведенных под руководством проф. В. Б. Мизусова.

²⁾ Кислюк. Сварка переменным током повышенной частоты. Электрическ...

³⁾ "The Electric Journals", № 12, 1931.

и, что зажигание сварочной дуги становится возможным при наличии некоторого расстояния (1 ± 2 мм) между электродами.

Кondенсаторы C_1 и C_3 (рис. 2) являются защитными и не входят в сварочную цепь высокого напряжения низкой частоты, а также низкое напряжение сварочного трансформатора (регулятор и трансформатор) не пропускает токов высокой частоты.

В машинном отделении ВЭИ было произведено исследование и решения следующих вопросов:

какой тип колебательного контура наиболее подходит для ионизации осциллятора для целей сварки;

изменение необходимой мощности осциллятора;

изменение частоты колебательного контура;

изменение токов высокой частоты на качество сварки;

изменение опасности работы с осцилляторами и выбор специальной схемы.

Необходимая мощность осциллятора

Исследования работы осциллятора были построены опыта (рис. 3) с большим запасом меди и железа и имеющим высокочастотный контур трансформатора⁴⁾ (трансформатор имел незначительное рассеяние). В качестве криодоводителя работы осциллятора на сварку можно было выбрать мощность или размезд разрядной искры, позволяющую гольм электродом от трансформатора переменного тока. Произведенные опыты показали, что для возбуждения колебательного контура достаточна мощность в $150 \div 200$ ВА. Такая мощность, развиваемая при этом в колебательном контуре, равна примерно $5 \div 6$ кВт. Напряжение высокой частоты удалось измерить при помощи специального амперметра с предварительной ионизацией вольтметров. Сила тока в первичной катушке $2 \div 3$ А; сила тока на частоте (50 герц/сек) во вторичной катушке $0,1 \div 0,2$ А; сила тока в колебательном контуре $2,5 \div 3$ А; сила тока, идущая сварочной дуги, 2 А.

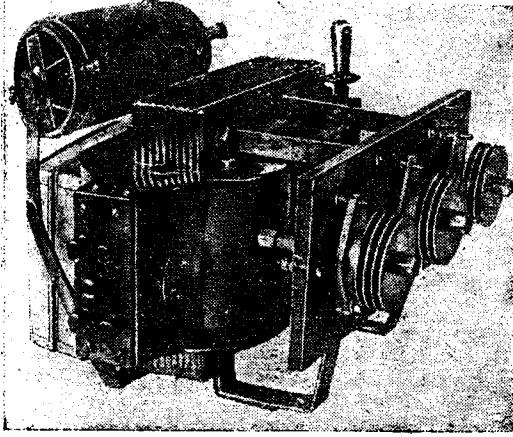


Рис. 3. Общий вид опытного осциллятора

Дуговой сварке переменным током, но со сварочным осциллятором, ионизация от высокой частоты в месте возникновения вольтметровой 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 и оптимальным напряжением питания колебательного контура является $2000 \div 2500$ В.

Чтобы иметь представление о количестве импульсов в разомкнутом колебательном контуре, была снята осциллограмма напряжения низкой частоты на трехшлейфовом осциллографе при работе осциллятора. Представленная на осциллограмма показывает, что колебательные импульсыются не с нуля, а при наличии напряжения, достаточно для пробоя искровых промежутков, — в разрядниках. Число импульсов за пологий (0,01 сек.) колеблется от 25 до 30. Эффективное напряжение трансформатора при этом $E_2 = 2500$ В.

Самый интерес представляет также характер кривой напряжения высокой частоты колебательного контура. Кривые напряжения высокой частоты удалось снять только при построении осциллографа с холодным катодом. Следует отметить, что известную трудность при съемке осциллограмм напряжения высокой частоты представила синхронизация всей съемки, так как колебательные импульсы осциллятора получаются через известные промежутки времени.

Катодный луч, пробегая 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 $E_{\text{max}} = 2600$ В при $f = 158000$ герц/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.

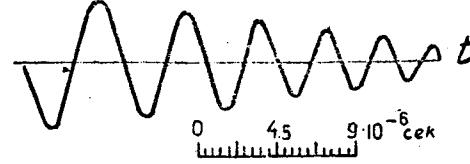


Рис. 5. Осциллограмма напряжения колебательного контура осциллятора; $E = 2500$ В

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 "бленний".

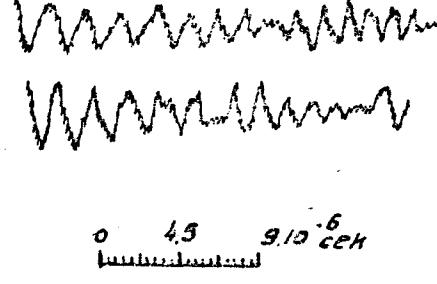


Рис. 6. Осциллограмма напряжения высокой частоты при сварке

Из сравнения осциллограмм рис. 5 и 6, снятых в одинаковых масштабах, видно, что напряжение высокой частоты на дуге вследствие короткого замыкания (через дугу) падает до $E_{\text{max}} = 1000$ В, 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 замечателен тем, что вес его и габариты могут быть во много раз меньше, так как диаметр шариковых разрядников незначителен (10 мм). Однако проведенные 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).

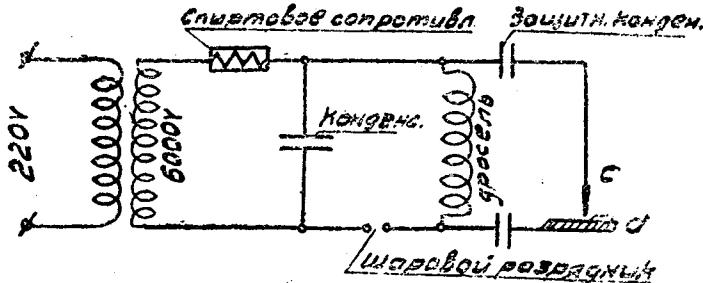


Рис. 7. Схема осциллятора с искровым возбуждением

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 kV. Питание лампы производилось от сети переменного тока при помощи автотрансформатора ($I_{нак} = 8$ A, $E_{нак} = 17$ V). Лампа применялась мощностью в 500 W (BT-500) завода „Светлана“.

Наи выгоднейшие параметры колебательного контура при данном анодном напряжении следующие: дроссельная катушка с самондукцией $L=0,35\text{mH}$, конденсатор емкостью $C=0,004\text{ }\mu\text{F}$. При этом получалась частота $f=100\,000$ пер/сек. Опыты, произведенные ламповым генератором, убедили нас в том, что при анодном напряжении $E_{an}=3\,000\text{ V}$ 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 $C_2=0,0005 \mu F$ 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 В и низкое напряжение для накала—и добавочная защитная аппаратура). Необходимая мощность лампы, повидимому, равна 1 кВА. Кроме того, подобные установки будут крайне неудобны в условиях производства из-за возможных частых поломок стеклянных ламповых генераторов.

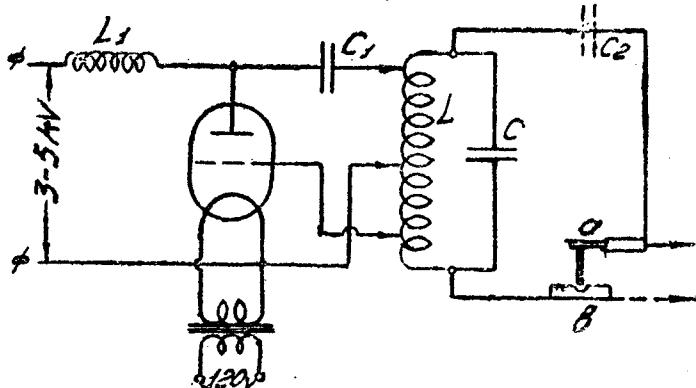


Рис. 8. Схема колебательного контура с ламповым генератором: $L = 0,35 \text{ мН}$, $L_1 = 0,75 \text{ мН}$, $C = 0,004 \mu\text{F}$, $C_1 = 0,0085 \mu\text{F}$, $C_2 = 0,0008 \mu\text{F}$.

За последнее время были предложены и другие видоизмененные схемы осцилляторов, например осциллятор Рентгеновского завода⁶) или так называемый "активизатор" завода "Буревестник", но окончательная конструкция сможет быть выработана лишь после длительной проверки осциллятора в

Сварка при пониженном напряжении сварочного форматора

Сварка переменным током при пониженном напряжении холостого хода 35—40 В без осциллятора не удается при специальной обмазке электродов. Если же наложить дугу токи высокой частоты, то сварка удается даже электродом при напряжении холостого хода $E_0 = 35$ В. Изменение осциллятора позволяет повысить низкий коэффициент мощности сварочного трансформатора без добавочных катушек реактивной энергии. Возможность понижения напряжения на вторичной стороне сварочного трансформатора, естественно, повышает $\cos \varphi$, что видно из следующего текста:

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

следовательно, чем меньше E_2 , тем больше возраст при сварке.

Опыты показали, что при силе сварочного тока I_s = диаметре электрода 4 мм (голый) и напряжении подвода $E_{02} = 36$ В, $\cos \varphi = 0,6$ (рис. 9). Дальнейшее увеличение сварочного тока до 200 А вызывает повышение до 0,76 (рис. 10). Выпрямляющее действие тока на эти логограммы видно по величинам амплитудных значений импульса (272 А — верхняя полуволна и 173 А — нижняя полуволна) же осциллограммы ясно, что процесс повторного зажигания дуги при обратной полярности (т. е. плюс на электроде и минус на детали) происходит весьма длительно ($t = 0,0018$ с), как амплитуда напряжения мала. Обычно при сварке непрерывным током технической частоты от трансформатора $t = 0,0007$ сек. Ток в это время совершенно отсутствует.

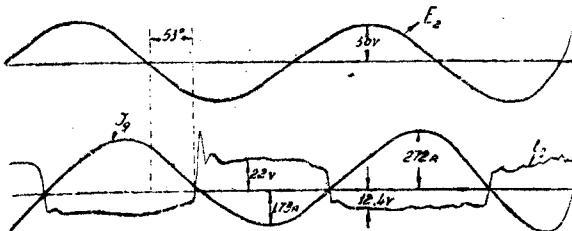


Рис. 9. Осциллограмма сварки от СТ-2 с осциллятором. Электрод диаметром 4 мм. Показания приборов: $E_0 = 36$ В, $E_g = 13$ В, $\cos \varphi = 0,6$

Чем же об'яснить, что при сварке переменным током
зажженного напряжения с наложением токов высокой
частоты получается такое сильное выпрямляющее действие?

Чтобы ответить на этот вопрос надо вспомнить скажем для существования вольтовой дуги необходимы условия: является накаленный в достаточной степени катод, придающий обильный источник электронов. Высокая температура катода достигается при наличии катодного падения потенциала, благодаря которому положительные ионы приобретают значительную скорость, и, ударяясь об его поверхность, отдают свою энергию и поддерживают высокую температуру. Механическое действие потока электронов, производимое на поверхность анода в вольтовой дуге, является фундаментальным для образования ионов между электродами и определяется уравнением

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

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

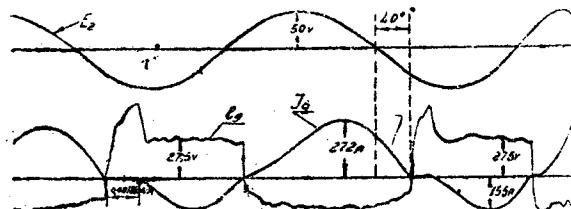


Рис. 10. Осциллограмма сварки от СТ-2 с осциллятором, электродиаметром 6 мм. Показания приборов: $E_0 = 36$ В, $I = 20$ А, $t = 10$ мс.

При низком напряжении E и уменьшенной температуре катодного пятна (имеющей место, когда минус на детали, на электроде и вследствие большой теплоотдачи с деталью, интенсивность излучения электронов падает, а за ним и венное значение силы протекаемого тока. Периодическое изменение полярности на электроде и детали перемещение катодного пятна после каждого полупериода в зоны различной температур, что сказывается на увеличении силы тока.

4) Необходимо указать, что конструкция первой партии осцилляторов Рентгеновского завода является далеко не совершенной по своему весу по потребляемой энергии (800 ВА) и, в особенности, по технике безопасности.

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

Было того, из снятых осциллограмм яствует, что при с приключенным осциллятором даже при нормальном сечении сварочного трансформатора имеет место несколько выравнивающее действие кривой тока, чем при обычной сварке переменным током. Причина большего выравнивания кривой кроется в том, что при сварке переменным током без осциллятора мы имеем покрытые электроды. Под влиянием температуры вольтовой дуги обмазка электродов и в расплавленном и газообразном виде окружает сварки на детали, благодаря чему теплоотдача окружающей среды уменьшается.

Из-за достаточно высокой температуры в месте возникновения дуги облегчает повторное зажигание ее, а расплавленная обмазка в виде газа и пара создает также электрическую проводимость. При сварке же с осциллятором, как это 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 выяснилось, асимметрию кривой тока.

Из-за асимметрии кривой тока при работе с осциллятором на качество сварки, видно из работы по выбору

тока для дуговой сварки.

Коэффициент для сварки переменным током известно как из практики, так и литературных источников (Bach, Wortmann и др.), что сварка на переменном токе в разных условиях с постоянным током (одинаковые сорта проводов, равные толщины деталей и т. д.) требует несколько большую силу сварочного тока. До последнего времени нет в твердых 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 провору и уменьшению прочности шва.

Работа поправочных коэффициентов связана со многими особенностями практики (характер свариваемой детали, химический состав электродов, сорта обмазки и др.) и возможна при определенных конкретных данных. Теоретическое изложение вопроса дает, однако, исходную точку в этом отношении. Дело заключается в том, что в сварочной вольт-амперной характеристике переменного тока имеет место своеобразный фактор, а именно "коэффициент искажения". Его нельзя смешивать с общепринятым коэффициентом мощности $\cos \varphi$. Значение коэффициента искажения можно обнаружить при переменном током даже по включенным приборам (амперметр и ваттметр), где имеет место следующее соотношение:

$$P_g < E_g I_g.$$

Из синусоидальных кривых тока и напряжения суждения активной мощности получают из коэффициента мощности:

активная мощность P

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

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

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

μ -коэффициент искажения. Он показывает влияние искажения кривой тока по отношению к синусоиде, а также величину добавочной загрузки магнитного поля, так как высшие гармоники составляющие не участвуют в создании действующей мощности.

Подобное искажение кривой имеет место при прохождении переменного тока через газы (рутные 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

P

$$\mu = \frac{E_{\text{эфф}} \cdot I_{\text{эфф}}}{\sqrt{\int_0^T e^2 dt}}$$

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

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

T

$\int_0^T e i dt$

T

$P = \frac{E_{\text{эфф}} \cdot I_{\text{эфф}}}{\sqrt{\int_0^T e^2 dt}}$

T

Так как законы изменения кривых тока и напряжения неизвестны, то для определения коэффициента искажения мы прибегли к графическому методу. Коэффициент искажения μ 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 ($E_{\text{02}} = 36$ В), но с осциллятором.

Полученные значения μ 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 путем⁷.

Таблица 1

Режим работы	Напряжение холостого хода V	Сила тока A	Диаметр и обмазка электрода мм	μ
Сварка от СТ-2 . . .	60	до 150	3 и 4	0,97 \div 0,92
“	60	“ 150	4	0,95 \div 0,9
“	60	“ 200	4 и 5	0,95 \div 0,85
“	60	“ 250	6	0,9 \div 0,80
То же с осциллятором	55	“ 180	—	0,9 \div 0,95
То же с осциллятором	36	“ 200	—	0,75 \div 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 сварки⁸; 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 оказаться довольно ощутимое тепловое воздействие при частотах, близких, например, к 800 килоциклям. При частотах же порядка 200 килоциклов длительное тепловое воздействие почти никакого влияния не оказывает⁹. С этой точки зрения рекомендуется при конструировании осциллятора ограничиться пока частотой, не превышающей 200 000 пер/сек.

Произведенные опыты с вышеуказанным волнометром показали, что подобные осцилляторы не создадут мешающего действия для радиопередач; в особенности при хорошем экранировании колебательного контура.

Сварка¹⁰

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

⁷ Эта таблица является показательной и для отдельных случаев практики (в зависимости от сорта и обмазки электрода, толщины детали) потребует дополнительных поправок.

⁸ Нормальная сварка получается при расстоянии между электродами в 2—3 мм.

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

¹⁰ Более подробное описание вопроса качества сварки осциллятором будет дано в следующей статье. Свыше пока что сварка на переменном токе с осциллятором

при расстоянии между электродами в 1-2 шт 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.

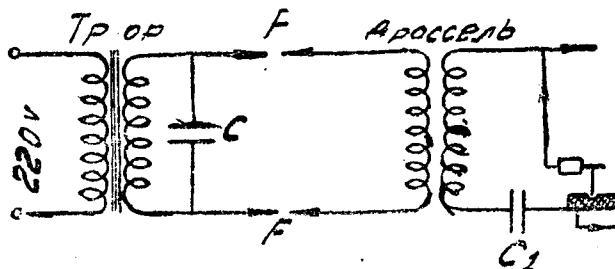


Рис. 11. Принципиальная схема осциллятора с индуктивной связью

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 C . 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 дет.

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

3. Пробой защитного конденсатора. Последним случаем из возможных аварий является пробой защитных конденсаторов C_1 и C_2 . Внезапное высокое напряжение низкой частоты трансформатора падает на дугу и представляет большую опасность для сварщика. Для избежания подобной опасности была предложена схема с индуктивной связью дросселя (рис. 11). В этом случае высокое напряжение низкой частоты не может появиться на зажимах дросселя, так как индуктивность дросселя велика. При пробое конденсатора C_1 эта схема с индуктивной связью дала хорошие результаты. При коэффициенте трансформации, равном единице, и квадратном сечении проволоки в дросселях, интенсивность колебаний осциллятора на сварку вполне достаточная. Эта схема в большей степени гарантирует безопасность работы сварщика.

Выводы

1. Из рассмотренных выше схем генераторов в частоты (осциллятор с искровыми промежутками, с шаровыми разрядниками и, наконец, с ламповым) мы убеждаемся в том, что самым удобным оно для целей сварки, обеспечивающим достаточную в месте шва и гарантирующим полную безопасность 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 осцилляторами не уступает сварке с постоянным током при ковых условиях. Это обстоятельство позволяет разместить осцилляторы с индуктивной связью в количестве, чтобы снабдить все выпущенные сварочные форматоры осцилляторами, а дальнейшее производство трансформаторов перевести на комбинированную конструкцию, где трансформатор и осциллятор смонтируются вместе.

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

Сварка токами повышенной частоты по методу акад. К. И. Шенфера¹⁾

Инж. Д. С.!
РСЧ

Описание метода

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

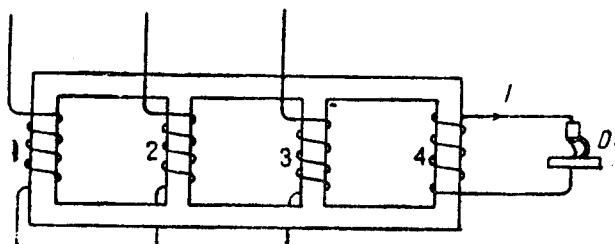


Рис. 1. Схема получения тока тройной частоты от трансформатора с 4-я кернами

В соответствии с этим в машинном отделе ВЭИ проделаны опыты получения тройной частоты по схемам, предложенным академиком К. И. Шенфельдом. 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 (вторую) обмотку и дать пересыщение железу трансформатора, пропустив в первичную обмотку ток форматора намагничающий ток больший

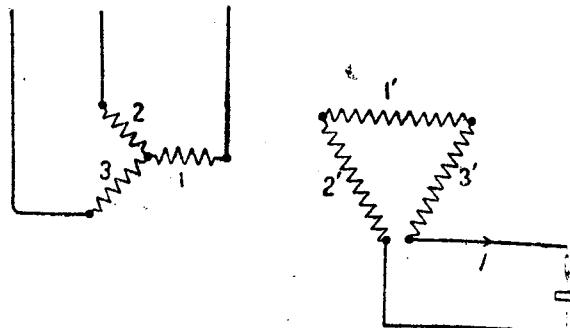


Рис. 2. Схема получения тока тройной частоты от трехфазного генератора

мального, то во вторичной обмотке появятся высшие гармоники. Соединив вторичную обмотку трансформатора на сварочную дугу и приведя к ней кратковременное опирание электрода, мы получим во вторичной цепи ток тройной частоты.

¹⁾ 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, вторичная — треугольником, причем в рассечку

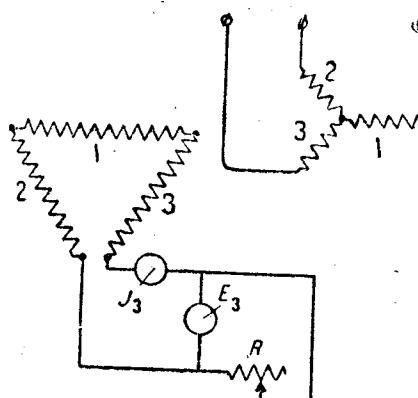


Рис. 2. Получение тока тройной частоты от трехфазного трансформатора (статическая нагрузка трансформатора током тройной частоты)

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

Опыты получения тройной частоты были проведены с обычным трансформатором мощностью 1 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-

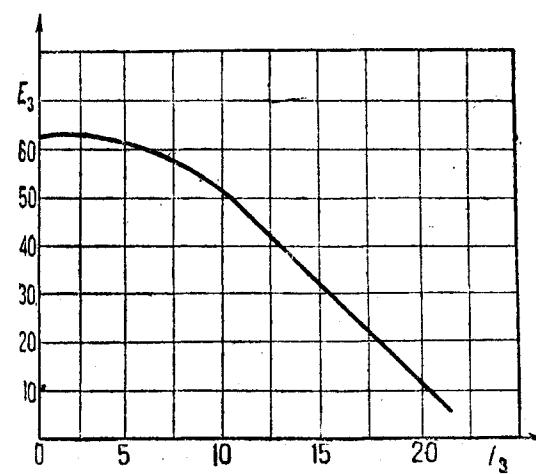


Рис. 4. Внешняя характеристика трансформатора $E_3 = f(I_3)$, снятая по схеме рис. 3

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

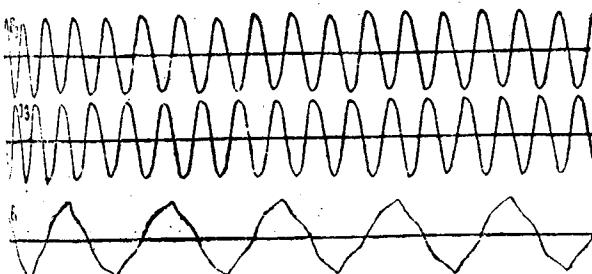


Рис. 5. Осциллограмма, снятая по схеме рис. 3. Кривые тока I_3 и напряжения E_3 тройной частоты и напряжения E_1 основной частоты 50 герц/сек. Показания приборов: $E_1 = 220$ V, $E_3 = 2$ V, $I_3 = 17,4$ A

жь 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 $f = 3 f_1 = 150$ герц/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.

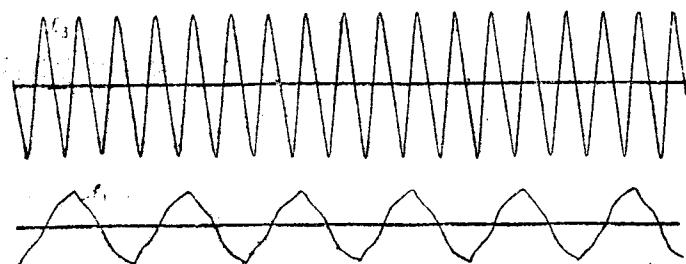


Рис. 6. Осциллограмма, снятая при холостом ходе (по схеме рис. 3). Показания приборов: $E_1 = 220$ V, $E_3 = 64$ V

Из опыта видно, что полученная сила тока для сварки (при данных размерах трансформатора) недостаточна¹⁾.

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 герц/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

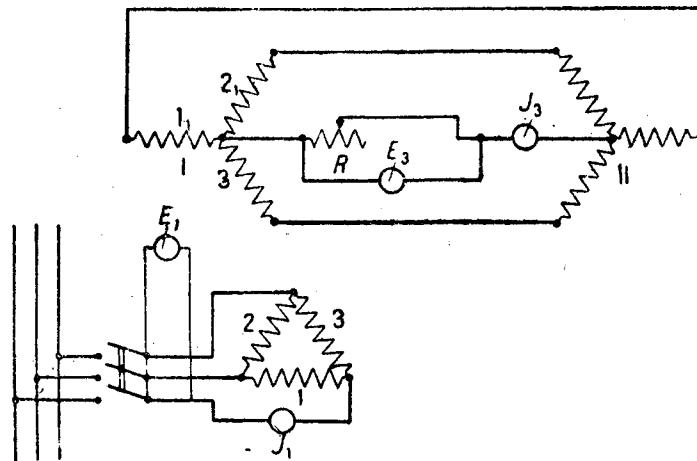


Рис. 7. Модификация схемы по рис. 3. Получение тока тройной частоты от группы двух трехфазных трансформаторов

трансформатора, соединив каждую из них звездой, и если к нулевым точкам присоединить сварочную дугу или какую-либо статическую нагрузку, то по цепи I_3 пойдет 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.

1) Объяснить это можно следующим: в цепи тока I_3 имеется весьма большое реактивное сопротивление в виде трех фаз обмоток трансформатора, выключенных последовательно.

Выводы

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

от имеющихся трансформаторов, оказалась недостаточной. Для осуществления сварки необходимо взять трансформатор более мощный, что в свою очередь позволяет 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.

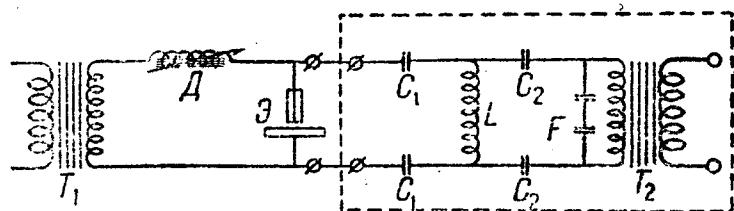


Рис. 1. Схема осциллятора завода „Буревестник“ Московского рентгеновского завода

- T_1 — сварочный трансформатор;
 D — дроссель;
 \mathcal{E} — электроды;
 C_1 , C_2 — конденсаторы осциллятора;
 L — катушка самондукции;
 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 1 000–2 000 В. Высокочастотные токи очень благоприятно действуют на процесс сварки. Дуга легко зажигается, и самый процесс сварки протекает ровно, без шипения и без разрывыгивания 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 — 2 000 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 см². Конденсаторы C_1 и C_2 емкостью первый 23 000 ст и второй 18 000 ст. Диэлектрик — слюда 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-

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

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

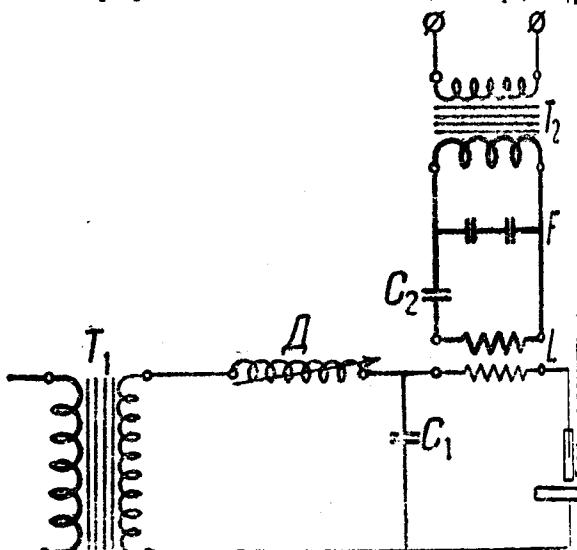
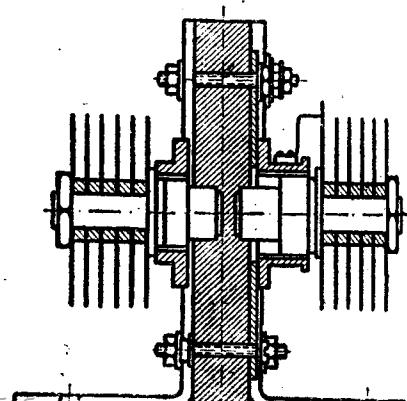
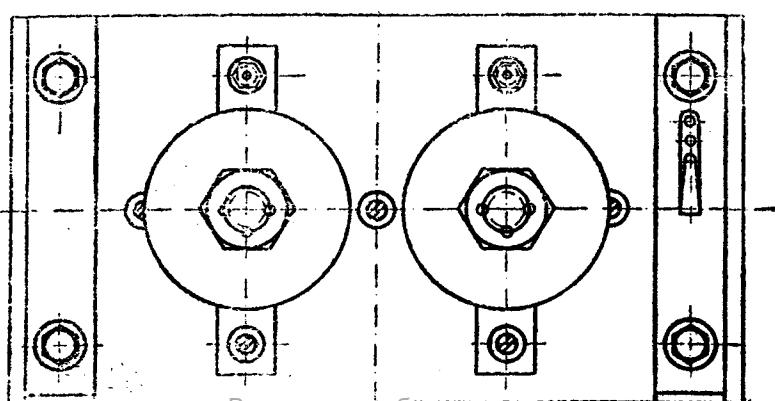


Рис. 3. Схема осциллятора, разработанная заводом „Буревестник“
 C_1 — конденсатор телефонного типа на 0,25 μF ;
 C_2 — конденсатор контура емкостью 4 500 ст;

женная на рис. 3. Для индуктируемого к катушке связи на частотного тока на емкость C_1 можно смотреть как на вспомогательную; следовательно, вся энергия высокочастотного тока пойдет на активизацию сварочной дуги неизменной от состояния левой части сварочного трансформатора. Переход к подобной схеме позволил уменьшить мощность трансформатора осциллятора до 150 Вт (вместо 750 В в предыдущем типе). Разрядник значительно также упрощен. Диаметр и фронтовых дисков уменьшен до 9 мм. Кроме того, в новом типе осциллятора удалось достигнуть большой экономии металлов — он целиком изготовлен из железа.

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

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



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

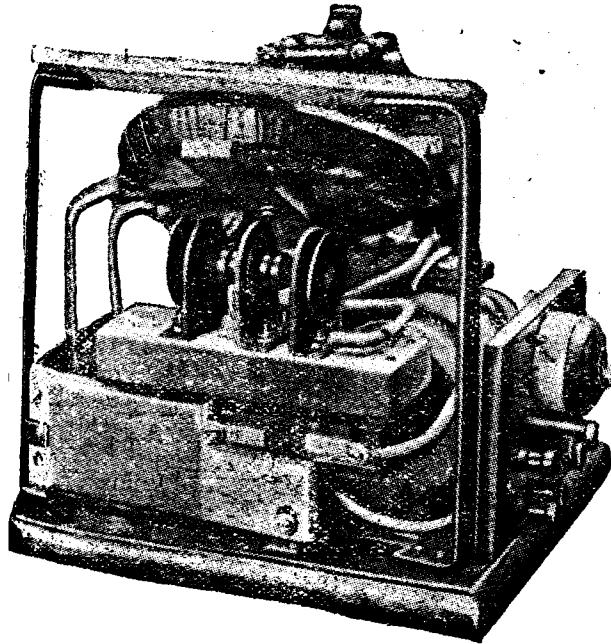


Рис. 4. Общий вид осциллятора завода „Буревестник“

мена, что, вообще говоря, нежелательно. Делая катушки трансформатора круглыми, а керн — четырехугольным, получим большие зазоры между железом и обмоткой, чем также является необходимое рассеяние. Но из анализа работы этого трансформатора замечено, что разрядники благодаря испытанию слабому падению напряжения принимают на себя большую 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 проскаивает искра, обладающая высокой температурой (свыше 3000° С). В большинстве

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

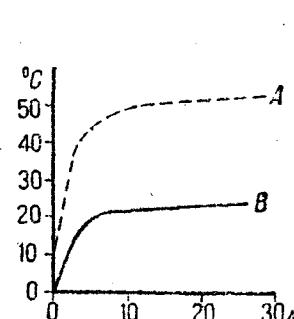


Рис. 7. Кривые зависимости температуры места спая вольфрамового диска разрядника от времени:
кривая A — пайка серебром
кривая B — пайка медью в среде водорода

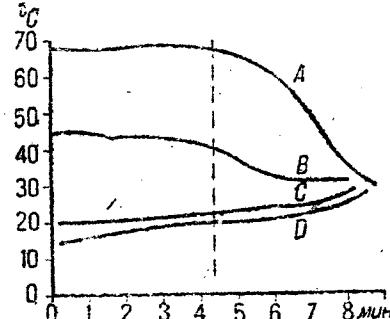


Рис. 8. Зависимость температуры разрядника от времени при различных режимах работы:
Кривая A — холостой ход;
Кривая B — нагрузка одной угольной лампой;
Кривая C — то же двумя лампами;
Кривая D — то же тремя лампами

Вольфрамовые диски должны быть хорошо отшлифованы и строго параллельны между собою. Непараллельность ведет к тому, что искра будет проскаивать между наиболее близкими точками дисков, что в свою очередь вызывает 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 опасности 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 Вт. 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 дверец для осмотра разрядника должна быть предусмотрена блокировка.

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

В 1908 г. Нернст дал закон раздражения, 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 Лаваревым 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, обычно руководствуются этим положением и выбирают частоту такую, чтобы отодвинуть порог раздражения. Высокочастотные 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 опасно и не вызывает какой-либо опасности.

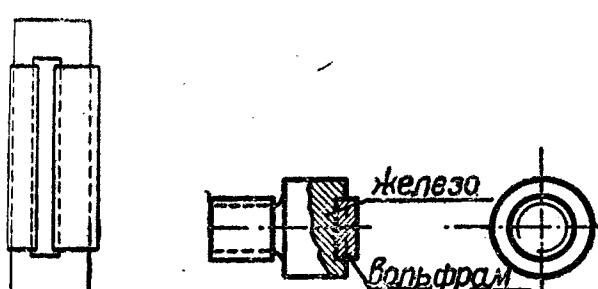


Рис. 6. Вольфрамовый диск разрядника, впаяанный в головку железного болтика:
 $1 = 40$, $w = 3600$

струкций разрядников предусматривается поэтому возможность снятия вольфрамовых дисков. В таких случаях сменная часть представляет собою болтик с вваренным в головку диском из вольфрама (рис. 6).

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

ИЗ РАБОТ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ ЛЕНЭНЕРГО

Испытание междувитковой изоляции обмоток

Инж. А. В. Калин
Ленинград, Высоковольтная лаборатория "Электротока"

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 случай полного или почти полного металлического короткого между витками. Но кроме этого, в аппаратуре, содержащей обмотки (трансформаторы, машины), при всяком рода неустановившихся 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 i заданы размерами катушки, а допустимый ток определяется из условий нагревания катушки, то для получения достаточного испытательного напряжения необходимо итии на повышение частоты.

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

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

где k — постоянный коэффициент, Φ — 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].

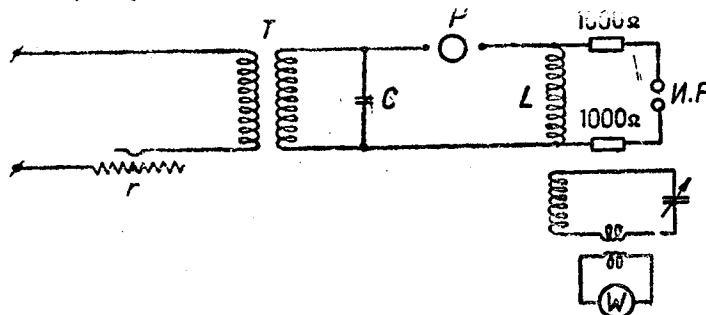


Рис. 1 Схема для испытания катушек методом непосредственного прикладывания напряжения

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

Метод непосредственного прикладывания напряжения

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

денсатор C заряжается трансформатором T до тех пор, пока не произойдет разряда на разряднике P , следствием 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 импульса высокочастотного колебания, возникающего в точке плитуды пятидесятипериодного напряжения. Наибольшая плита напряжения на катушке равна величине разряда напряжения установленного искрового промежутка в разряднике P .

U_{max}

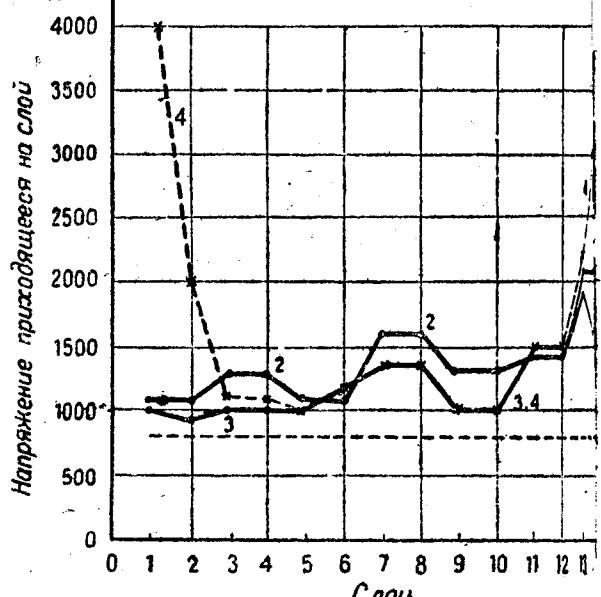


Рис. 2. Распределение напряжения между слоями катушки из 60 витков при испытании по методу непосредственного прикладывания напряжения

1 — кривая равномерного распределения напряжения;
2 — кривая действительного распределения напряжения для случая разряда между концами катушки и при разряде через 100000 пер/сек;

3 — то же, что и кривая 2, 100000 пер/сек;
4 — кривая действительного распределения напряжения при разряде концами катушки без добавочных сопротивлений, 100000 пер/сек

Для того чтобы разряд на разряднике не переходил на разрядник P , надо применять либо обычный шаровой разряд с дутьем от вентилятора или компрессора, чем достигается как охлаждение электродов, так и деионизация разряда промежутка, либо можно применить врачающийся разрядник. На рис. 10 виден такой разрядник с зубчатым врачающимся диском и с двумя разрядными промежутками, предназначенный для напряжений до $60 \div 70$ кВ, и со скоростью вращения 1400 об/мин. В первичную цепь трансформатора включается сопротивление r , которое служит для регулировки напряжения, а также ограничивает ток при разряде, так что в этот момент трансформатор оказывается замкнутым на разрядник. Емкость конденсатора C должна быть не менее $0,02 \div 0,03 \mu F$. Необходимая емкость определяется из условий, чтобы разряд получался достаточно мощным. Конденсатор должен быть рассчитан на напряжение, несущее превышающее испытательное напряжение катушки. В таком же 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 могут быть произведены исследования распределения напряжения между витками испытываемой катушки. В качестве последней взята катушка из 60 витков (15 слоев, по 4 витка в слое). Проводились измерения напряжений на всей катушке и на отдельными слоями с помощью шарового разрядника длиной 10 м и освещаемой дугой.

Испытания производились при напряжении 11,9 кВ (шах) всей катушке. Так как в первый момент после разряда катушка подвергается импульсному воздействию и только они устанавливаются высокочастотные затухающие колебания, то следует ожидать неравномерного распределения напряжения между слоями. Результаты испытания приведены на рис. 2. Частота затухающих колебаний составляла 1000 герц/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 герц/сек. Как видно, действительно получается весьма неравномерное распределение: на крайних витках напряжения оказываются в 3 раза больше тех, которые получились бы при равномерном распределении. Надо отметить, что расстояния между конденсатором C и катушкой были взяты наименьшими, практически достижимыми в такого рода установке, а именно порядка 2 шт, вследствие этого возможные повышения напряжения от отражения от катушки разрядных волн сводятся к минимума. При выборе необходимого испытательного напряжения следует учитывать выявившуюся неравномерность распределения напряжения, причем для катушек с малым числом витков, порядка 10, эта неравномерность будет меньше, а, наоборот, для многовитковых катушек с несколькими сотнями витков, вероятно, неравномерность будет еще больше. Для измерения 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 из сопротивления может получиться очень неравномерное распределение напряжения по катушке. Для выяснения этого было произведено исследование таким образом, что при разряде из измерительном шаровом разряднике, подключенным из добавочных сопротивлений, производилось измерение напряжений по катушке указанным выше способом. Кривая 4 (рис. 2) дает результаты этих измерений при частоте затухающих колебаний 100 000 герц/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 поликислотной водой, или, в виде проволочных безиндукционных сопротивлений. Схема включения измерительного шарового разрядника (*UP*) показана на рис. 1.

Метод измерения испытательного напряжения с помощью первичного разрядника достаточно прост, но имеет тот недостаток

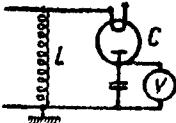


Рис. 3. Схема включения статического вольтметра

ствие стекания зарядов в землю с пластин вольтметра. Предварительно всю измерительную схему

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 поток

ается, вследствие наличия короткозамкнутых витков, поток испытываемой катушке. Благодаря этим причинам отклонение стрелки ваттметра уменьшается. В случае неполного робоя при проскакивании только отдельных искр между витками испытываемой катушки стрелка ваттметра будет иметь 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 питать трансформатор возбуждать на напряжение большее, чем испытательное, с тем чтобы разряды происходили обязательно каждые полпериода. Таким образом приходится трансформатор выбирать примерно на полуторное наибольшее испытательное напряжение. Мощность трансформатора $5 \div 10$ kVA.

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

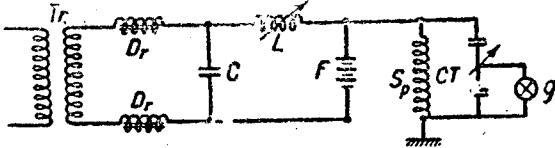


Рис. 4. Схема испытательной установки нюрибергского завода

Эти схемы для регистрации пробоя, к сожалению, не особенно 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 прокладывания 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 заведомо 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 динамометрическом 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 нюрнбергском 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 напряжение 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 R . Катушки L_1 и L_2 являются первичными катушками трансформатора.

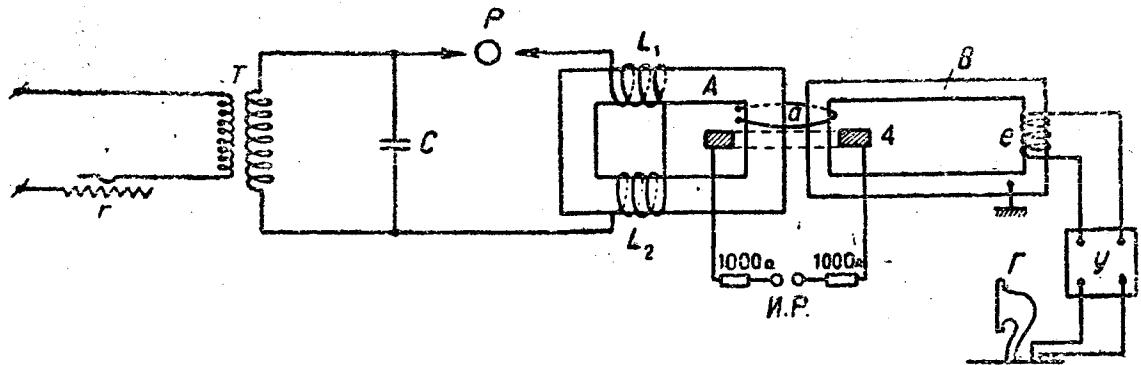


Рис. 5. Схема для испытания катушек индуктивным методом

матора, железом которого является сердечник A , а вторичной обмоткой—испытываемая катушка L , одетая на этот сердечник. Ток, проходящий по катушкам L_1 и L_2 во время разряда на разряднике P , создает поток в сердечнике A , который в свою очередь индуцирует напряжение в испытываемой катушке L . Величина напряжения на испытываемой катушке примерно определяется из обычного соотношения для трансформаторов, а именно

$$E_u = E_1 \frac{n_u}{n_1},$$

где E_u — напряжение на испытываемой катушке, E_1 — напряжение на катушках $L_1 + L_2$, n_u — число витков в испытываемой катушке и n_1 — число витков в катушках L_1 и L_2 . Это соотношение при высокой частоте является только приближенным. Нужно также иметь в виду соотношения для напряжения E_1 :

$$E_1 = k\Phi f n_1.$$

При увеличении E_1 будет увеличиваться поток Φ в сердечнике A . Так как наибольшая величина этого потока при заданном сердечнике A (ограничиваемом размерами испытываемой катушки) определяется допустимой индукцией в железе, то при значительном увеличении напряжения E_1 приходится идти на увеличение частоты, что достигается уменьшением емкости C . С другой стороны, емкость C должна быть достаточно большой с тем, чтобы больше энергии передавалось испытываемой катушке. Порядок величины емкости $0.03 \div 0.06 \mu F$. При средних размерах сердечника, порядка 50 см^2 , практически вполне достижимо испытательное напряжение

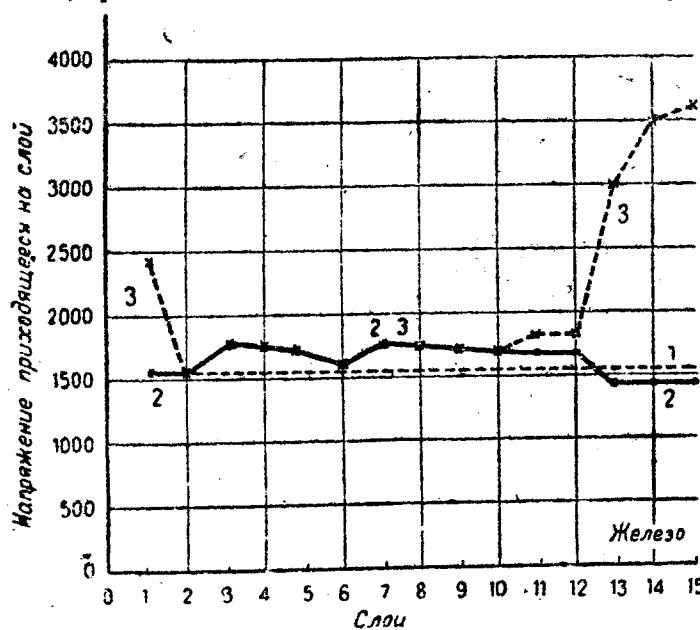


Рис. 6. Распределения напряжения между слоями катушки из 60 витков при испытании индуктивным методом:

2-кривая равномерного распределения напряжения; 3-кривая действительного распределения напряжения для случаев: без

9-крайняя действительного распределения напряжения при разряде

жение порядка 1 000 V на виток при напряжении трансформатора 25 kV. Сердечник *A* может быть взят и не замкнутым в левой своей части. При этом получается некоторое очень небольшое снижение напряжения, индуцируемого в испытательной катушке.

Были произведены исследования распределения напряжения между слоями испытываемой катушки. Для этой цели взята та же катушка из 60 витков, которая испытывалась методом непосредственного прикладывания напряжения. Измерения производились при напряжении 22,7 кВ на всей катушке. Так как в этой схеме имеет место индуктивное возбуждение напряжения в испытываемой катушке, то можно ожидать достаточно равномерного распределения напряжения между отдельными слоями. Результаты испытания приведены на рис. 6. Частота колебаний в первичной цепи составляет 250 000 пер/сек. Как видим, получается весьма равномерное распределение напряжения. Некоторой небольшой неравномерности, вероятно, можно ожидать при испытании широких катушек, так как тогда наружные витки катушки будут сплюсываться с большим потоком, чем внутренние.

Далее, был исследован способ измерения испытательного напряжения с помощью шарового разрядника. Здесь, при большой энергии, запасаемой испытательной катушкой, сопротивлений в цепь разрядника, в особенности и возможность уменьшения показаний измеряемого напряжения.

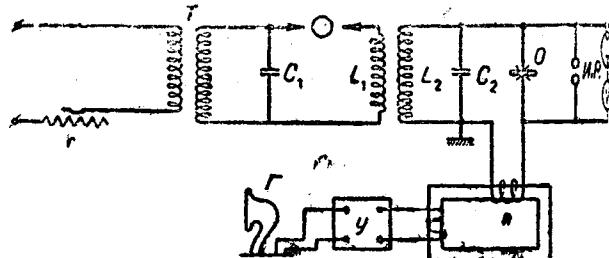
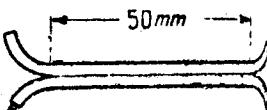


Рис. 7. Схема для испытания изолирующих материалов при высокочастотных затухающих колебаниях

Распределение напряжения при работе измерительного прибора и при отсутствии сопротивлений дается кривой, изображенной на рис. 6. Как видно из этой кривой, на крайних витках имеются напряжения, превышающие до 2,5 раза напряжения, имеющие место без разряда на измерительном разряднике и без добавочных сопротивлений и им пользоваться нельзя. Подбор сопротивлений показал, что сопротивление $1000 \pm 1000 \Omega$ оказывается уже достаточным и, вместе с тем, искажает показаний разрядника. Кривая распределения напряжения в этом случае практически совпадает с кривой, изображенной на рис. 6.

Для регистрации пробоя между витками при испытании применяется следующий метод. Испытываемая катушка, приваренная к сердечнику *A*, одевается на второй замкнутый железный сердечник *B* (рис. 8), на котором помещена еще улавливающая катушка *I*, включенная через радиоусилитель на громкоговоритель. В случае, если испытываемая катушка исправна, то в ней не будет протекать никакого тока, следовательно, в сердечнике *B* не будет создаваться потока. В случае же пробоя в испытываемой катушке получаются короткозамкнутые витки, и ток, протекающий по ним, будет создавать поток в сердечнике *B*. Тогда в улавливающей катушке *I* будет индуцироваться некоторая э. д. с., дающая потрескивания в громкоговорителе. Для контроля работы схемы для регистрации пробоя имеется один виток *a*, который можно замкнуть на гальванический миллиамперметр.

Этот метод регистрации пробоя весьма чувствителен и математические изображения получаются уже при испытаниях



же пробоя в испытываемой катушке получаются короткозамкнутые витки, и ток, протекающий по ним, будет создавать поток в сердечнике *B*. Тогда в улавливающей тушке *I* будет индуцироваться некоторая э. д. с., вызывающая потрескивания в громкоговорителе. Для контроля работы схемы для регистрации пробоя имеется один виток *a*, который можно замкнуть на катушку

применяется порядка нескольких вольт на виток, причем эта чувствительность, конечно, не зависит от числа витков в испытываемой катушке. Трудностью при пользовании этим методом является наличие посторонних мешающих шумов, фонов громкоговорителе, которые особенно сильны при больших испытательных напряжениях (вольты/виток) и при большом числе витков в испытываемой катушке. Наличие этих фонов исключается, с одной стороны, рассеянием в катушках L_1 и L_2 , с другой стороны, тем, что в испытываемой катушке даже при пробое имеют, повидимому, 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 большого отрицательного потенциала, следует подавать небольшой положительный потенциал. Приняв эти меры, удается производить испытания катушек до 1500 витков и довести до испытательных напряжений порядка 700 V на виток.

Испытательная установка, работающая по индуктивному методу, применена на заводах фирмы GE в Америке (3). Такой 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 требуется производить сравнения с заведомо хорошей катушкой. Кроме того, распределение напряжения по катушке практически равномерно.

На рис. 10 показана фотография собранной опытной установки, работающей по индуктивному методу. Установка изготавлена в высоковольтной лаборатории „Электротока“ для трансформаторной мастерской.

В этой установке конденсаторами служат барабаны 35-kV изоляции, помещенные за стеной. Сердечник (A на рис. 5) сделан из вращающимися ярмами. На установке удалось получить испытательное напряжение до 650 V 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 пробились при испытании около 4%. Контроль удаётся 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 трансформаторах, 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 110/6 600 V, 500 VA. Испытание производилось таким образом, что давалось определенное напряжение и поддерживалось 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 железногого сердечника A . Первичная колебательная цепь, питаемая трансформатором T , состояла из катушки L_1 , конденсатора C_1 и вращающегося разряда R . Вторичная колебательная цепь, индуктивно связанный с первичной, состояла из катушки L_2 , конденсатора C_2 , испытываемого образца O , катушки I и устройства для измерения напряжения, состоящего из освещенного шарового разрядника и статического вольтметра, питаемого через изotron.

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 обеими методами. Можно считать, что такой двойной метод измерения и точность порядка $\pm 5 \div 7\%$. Этую точность надо принять удовлетворительной, тем более, что зажигания произошли вращающимся разрядником, который сам давал некоторые колебания в напряжении. Вологодская областная универсальная научно-исследовательская лаборатория

Для определения момента пробоя был применен громкоговоритель (рис. 11). Испытываемый образец O подключался к конденсатору C_3 через катушку I 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 I идет ток, который создает поток в железном сердечнике; в катушке I индуцируется некоторая э. д. с., дающая потрескивание в громкоговорителе. До пробоя образца через катушку I проходит колебательный ток, но недостаточный для вызывания потрескивания в громкоговорителе. Частота колебаний измерялась волнометром. 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 mm и 2,9 mm без изоляции и соответственно 0,8 и 3,28 mm с изоляцией. Провод испытывался непропитанным. Образцы изготавливались 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. 9a и 9b. По осям ординат отражены пробивные напряжения изготавляемых 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 разряда, 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 \pm 0,080 mm; пробой производился между плоскостью и дисковым диаметром 35 mm с закругленными краями (радиус закругления 2 mm, вес 750 g). Пробой происходил в большинстве случаев не у края. В случае пробоя у края эта точка не принималась в расчет. Результаты испытания приведены на рис. 9c.

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 удается. Это можно объяснить двояким 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, но не максимальное. В случае же применения 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. 9c.

Прессшпан. Был испытан тонкий прессшпан толщиной 0,205 \pm 0,210 mm, применявшийся в качестве дополнительной изоляции между слоями. Пробой производился так же, как и для пергамента. Результаты приведены на рис. 9d. 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-

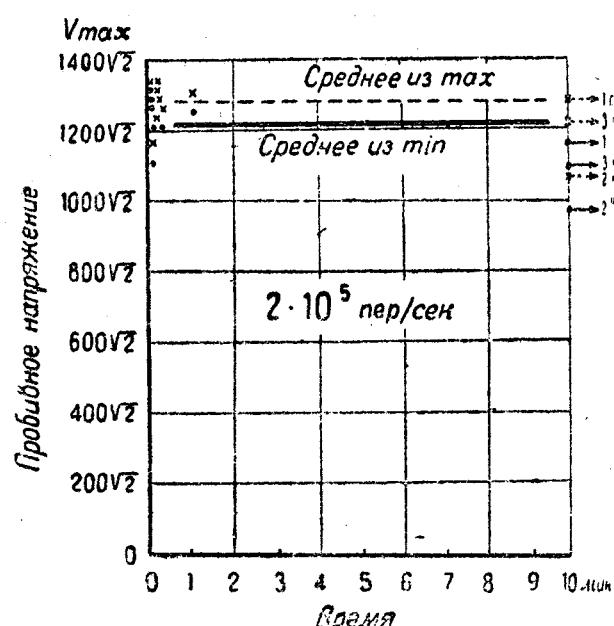
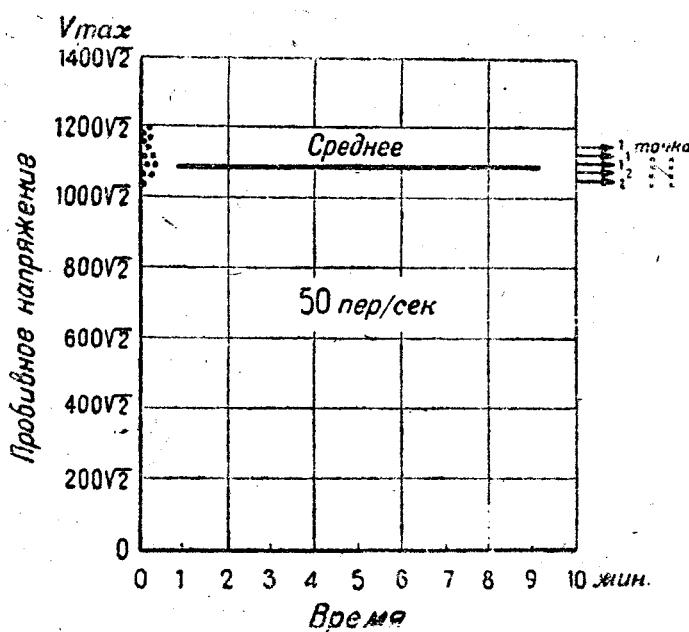


Рис. 9а. Провод диаметра 0,6 мм без изоляции и 0,8 мм с изоляцией

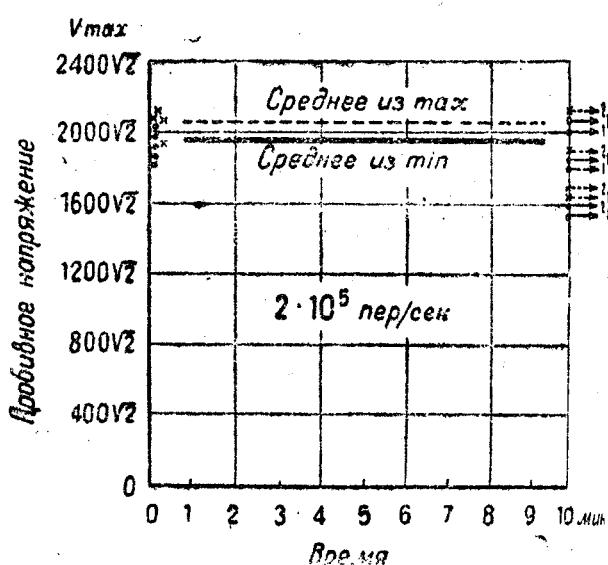
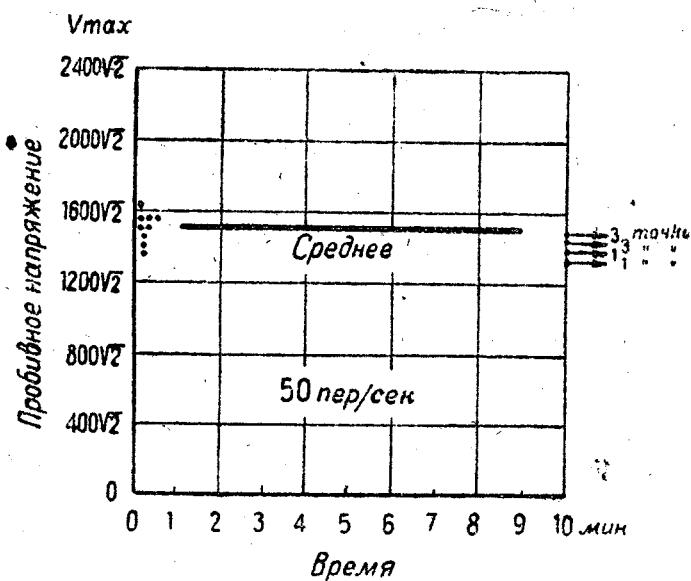


Рис. 9б. Провод диаметра 2,0 мм без изоляции и 3,28 с изоляцией

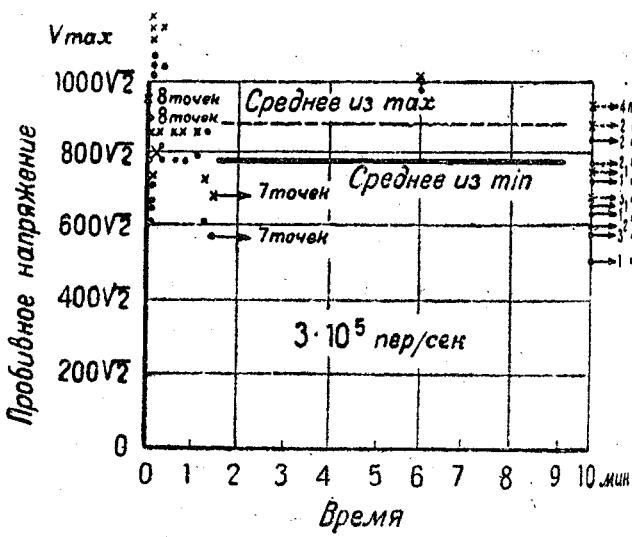
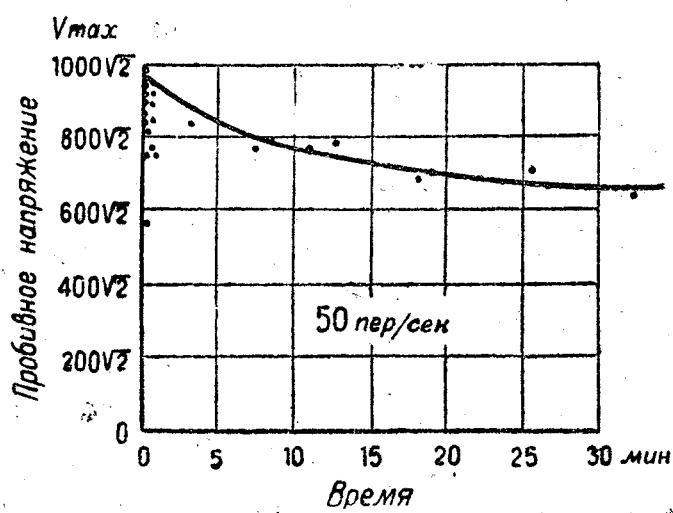


Рис. 9в. Проводник 0,075-0,080 мм

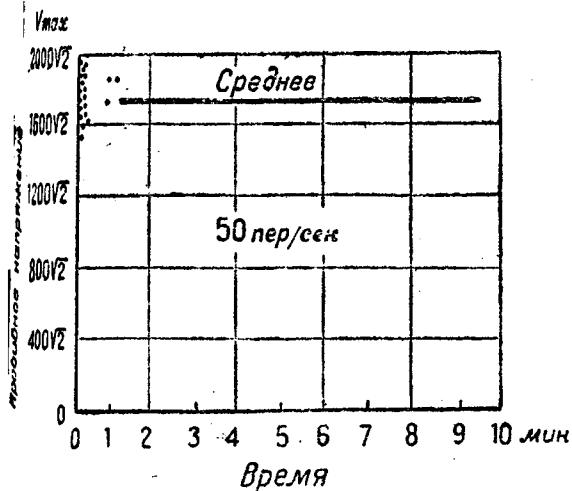
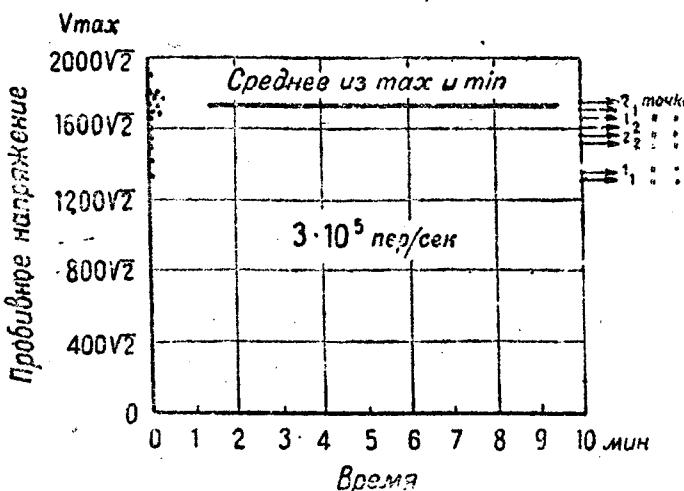


Рис. 9d. Прессшпин 0,206—0,310 мм



и междувитковой изоляции катушек не следует такжеожи-
дывать теплового характера пробоя и связанныго с этим пони-
женной электрической прочности. Более того, для материалов,
которых при 50 пер/сек неносит теплового характера,
высокочастотных затухающих колебаниях теплового про-
цесса может и не быть. Таким образом для мате-
риалов, применяемых для изоляции транс-
форматорных катушек, ориентировочную
достаточно правильную величину пробив-

ляя пробивные напряжения слюды при разных видах на-
пряжения 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 колеб-
аниях прочность слюды почти не уменьшается, и пробой
остается чисто электрическим. Других данных о прочности
изолирующих материалов при высокочастотных затухающих
колебаниях нам неизвестно. Есть данные о прочности мате-
риалов при незатухающих высокочастотных колебаниях, но
они не применены, так как коэффициент затухания при высо-
кочастотных затухающих колебаниях изменяет все соотно-
шения.

В заключение автор выражает благодарность инж. Е. В. Ка-
линину, предложившему провести настоящую работу, за ряд
ценных указаний при выполнении работы.

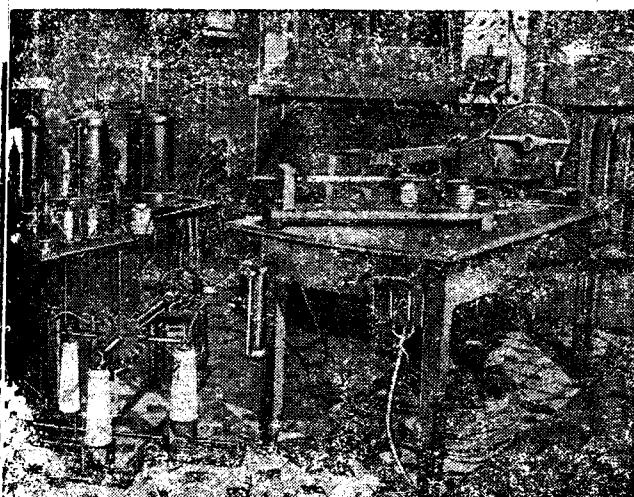
Библиография

1. Бранд и Палуэв, Изучение перенапряжений в транс-
форматоре с помощью катодного осциллографа, „Trans. AIEE“.
т. 48, июль 1929, стр. 998.
2. Риляндер, Испытание изоляции вращающихся элек-
трических машин посредством высокочастотного напряжения,
„JAIEE“, 1926, стр. 217—221.
3. Монтинджер, Выступление в дискуссии, „JAIEE“,
1926, стр. 768—770.
4. Риляндер, Испытание изоляции высокой частоты,
„Fl. Journ.“, январь 1928.
5. Риляндер, Испытание катушек с помощью радиоволны,
„Power“, 1 мая 1928, стр. 769—770.
6. Либшер и Циглер, Испытание междувитковой изо-
ляции 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.

ио напряжения при высокочастотных за-
тухающих колебаниях можно получить, про-
водя 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. MENGEI, 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 син. ф. 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), ω — 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 Ω .

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 кВ 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 волн 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 со 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^2 , и расположить по углам квадрата со стороной $a = 25$ см, то

$$a_1 = \sqrt{25 \cdot 25 \cdot 25 \cdot \sqrt{2}} = 28 \text{ см,}$$

$$r_1 = 12,2 \text{ см.}$$

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.

Трехфазная 2-цепная воздушная линия передачи	Конструкция проводов	
	Пустотелый провод диаметром 30 мм	Расщепленный провод 4 × 30 полное сечение
Волновое сопротивление при среднем расстоянии между фазами 6,6 м	368 Ω	242 Ω
Натуральная мощность* каждого провода при линейном напряжении 220 кВ	44 MW	66 MW

Критическое напряжение расщепленных проводов

Особое значение для высоковольтных линий передачи имеет определение „критического напряжения“ при так как исходя из этого устанавливается наивысшее допустимое рабочее напряжение. Критическое напряжение для обычного выполнения проводов линии электропередачи является следующим образом

$$U_0 = \frac{r}{C_b} \cdot 2,03 \cdot 10^{-6} \text{ кВ,}$$

где r — коэффициент, характеризующий состояние проводов ($r = 1$ — для абсолютно гладких цилиндрических сравнительно больших диаметров, $r = 0,83$ — для обычных требляемых проводов). Критическое напряжение для расщепленных проводов

$$U'_0 = \frac{r}{C_b} \frac{n}{1 + \frac{r}{a\beta}} \cdot 2,03 \cdot 10^{-6} \text{ кВ.}$$

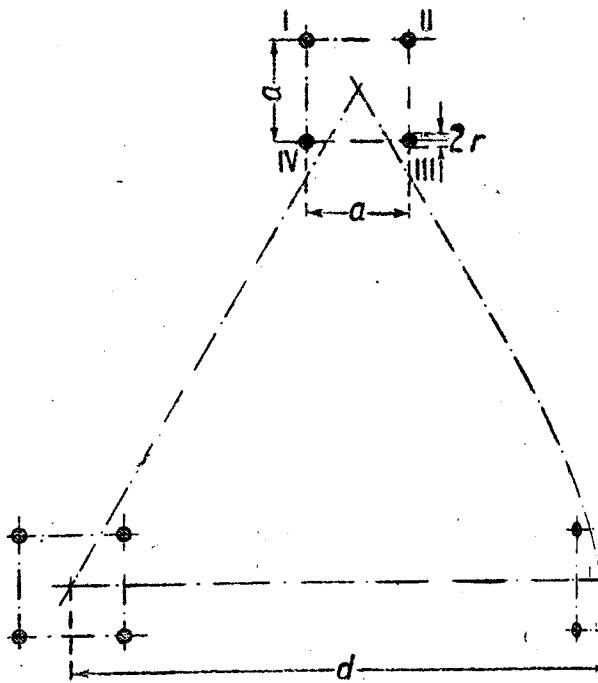
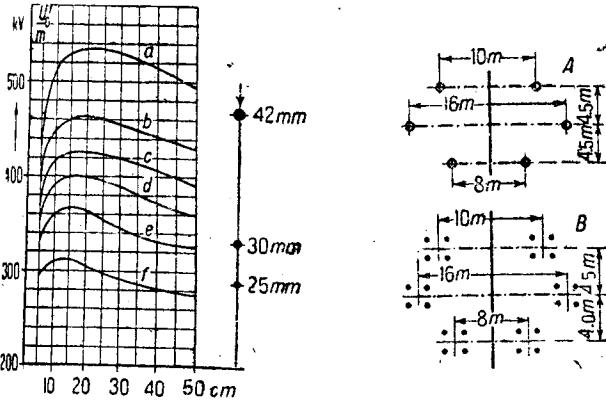


Рис. 1. Трехфазная линия передачи с расщепленными проводами

Оно отличается от критического напряжения U_0 для одиночного провода в фазе членом $\frac{n}{1 + \frac{r}{a\beta}}$, а также тем, что 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 расщепленных проводов в зависимости от расстояния между отдельными расщепленными проводами. Кривые даны для 200-кВ двухфазной трехфазной линии передачи с 4 расщепленными проводами в фазе. Величина $r = 1$. Для сравнения приведены значения критического напряжения проводов диаметром 30

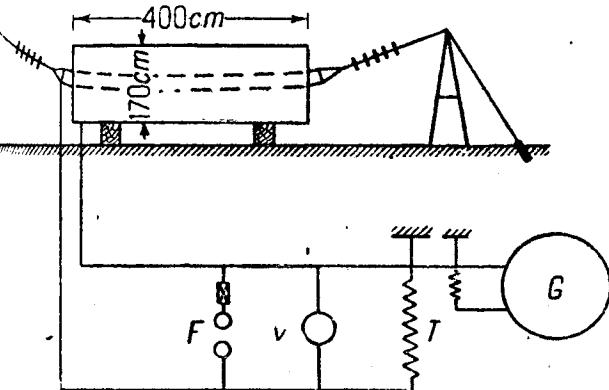
лии, расположенных по одному в фазе. Линия передачи имея конструкции. Использование пустотелых проводов или проводов из Aldey алюминия в качестве расщепленных проводов дает большие преимущества системы с расщепленными проводами. Благодаря увеличению диаметра проводов увеличивается критическое напряжение и же при данном критическом напряжении возможно более экономичное использование сечения.



Критическое напряжение для двухцепной трехфазной передачи на 200 кВ с расщепленными проводами (n=4) в зависимости от расстояния a между точками спаек—наружный диаметр пустотелых проводов обычной линии передачи:

a	для расщепленного провода 2г — 20,3
b	2г — 17,5
c	2г — 15,8
d	2г — 14,0
e	2г — 12,5
f	2г — 10,5

На рис. 2 приведены значения критического напряжения незаземленных проводов. При заземлении одной из фаз поверхности других незаземленных проводов происходит усиление силы поля. Требование, чтобы при заземлении одних проводов другие не коронировали, может быть легче выполнено в линиях передачи с расщепленными прово-



Испытательное устройство для измерения критического напряжения

G — генератор
T — испытательный трансформатор
V — статический вольтметр
F — измерительные шаровые разрядники

Расчетная величина критического напряжения может быть проверена. Авторы описывают испытательное устройство. Оно помещается в середине круглого цилиндра из листового железа. Длина цилиндра 4 м, диаметр 1,7 м. Подвешиваются провода к гирляндам изоляторов. Натяжение провода должно быть таково, чтобы средняя линия расщепленных проводов не отклонилась от оси цилиндра более чем на 10% (рис. 3). Железный цилиндр соединен с заземленным полюсом испытательного трансформатора. Напряжение на расщепленные провода подается с другого полюса трансформатора. Частота 50 пер/сек. Измерение напряжения производится статическим вольтметром. Максимальное значение напряжения определяется шаровым разрядником.

Расчетное критическое напряжение для двух концентрических цилиндров

$$U_o = 21,1 m r \ln \frac{R}{r},$$

где R — внутренний радиус железного цилиндра (см), r — радиус провода, расположенного в середине цилиндра (см).

Аналогичное значение для расщепленных проводов согласно уравнению (8)

$$U'_o = 21,1 m r \ln \frac{R}{r} \frac{n}{1 + \frac{r}{a} \beta}.$$

Авторы указывают на то, что ошибка между расчетным и наблюдаемым значением критического напряжения достигла 70%.

Далее, авторы рассматривают конструктивное выполнение

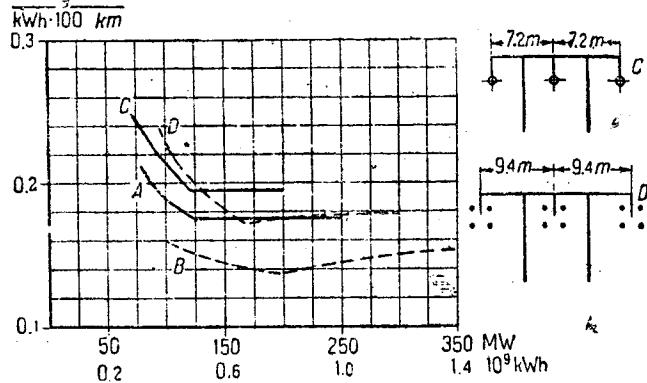


Рис. 4. Годовая стоимость передачи 1 kWh на расстояние 100 км

линий передачи с расщепленными проводами и дают несколько чертежей.

В заключение авторы рассматривают вопрос экономического сравнения линий передачи обычной конструкции с линией передачи с расщепленными проводами.

На рис. 4 приведены кривые годовой стоимости передачи 1 kWh электрической энергии на 100 км для различных конструкций 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 $h_b = 4000$ час.). Как видно из рис. 4, линии с расщепленными проводами экономичнее. Но, конечно, их главное преимущество лежит в снижении волнового сопротивления, а следствие 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 сопротивление Z Ω	Натуральная мощность N_n 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 расщеплении около 50%.

Инж. К. И. Пиртман

W. W. LEWIS, Z. TIPPETT. Дистанционная защита „El. Engh., июнь, 1931, стр. 420

Идеальная система защиты линии, состоящей из нескольких участков (секционированной линии), должна обладать способностью подразделять все аварии на два класса: 1) аварии, происходящие в пределах защищаемого участка (данной секции) и 2) аварии вне этого участка. В случае аварии первого класса масляник производит выключение мгновенно, что обеспечивает возможность работы вблизи предела устойчивости и уменьшает последствия аварии в месте короткого замыкания. При аварии второго класса масляник или вовсе не выключает спустя известный промежуток времени, который больше в сравнении с собственным временем действия выключателя.

В случае защиты одиночной линии кроме систем с контрольным 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 выпадения одной из линий делает их применение нецелесообразным.

С. 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

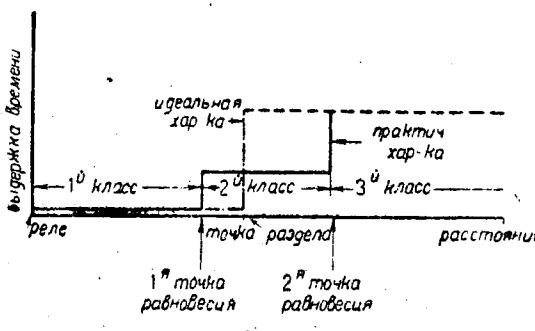


Рис. 1

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 прежнее 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 реактанц-реле, приблизительно пропорциональны расстоянию от реле до точки короткого замыкания. Однако вследствие ряда причин эти сопротивления для данного расстояния могут претерпевать изменения, выражаяющиеся 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 проводами анализ показывает, что для данного места аварии полное или активное сопротивление, учитываемое реле, зависит от активного сопротивления контакта, тока, питающего аварию с противоположной стороны секции, тока в зазоре проводника 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

взаимоиндукции между двумя параллельными линиями разности между полными сопротивлениями тока положительной и нулевой последовательности фаз. Влияние всех этих факторов кроме первых двух может быть исключено после компенсации потери тока или падения напряжения. Схема соединений для последнего случая дана на рис.

Влияние остальных факторов, т. е. сопротивления и короткого тока, питающего аварию с другой стороны, представить путем геометрического прибавления к сопротивлению линии двух величин: вектора, изображающие сопротивление контакта, и некоторого вектора, предшествующего произведение из сопротивления контакта на сдвиг некоторых функций токов, питающих аварию с другой стороны. Поскольку сопротивление линии постулируется 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. Реактанц-реле

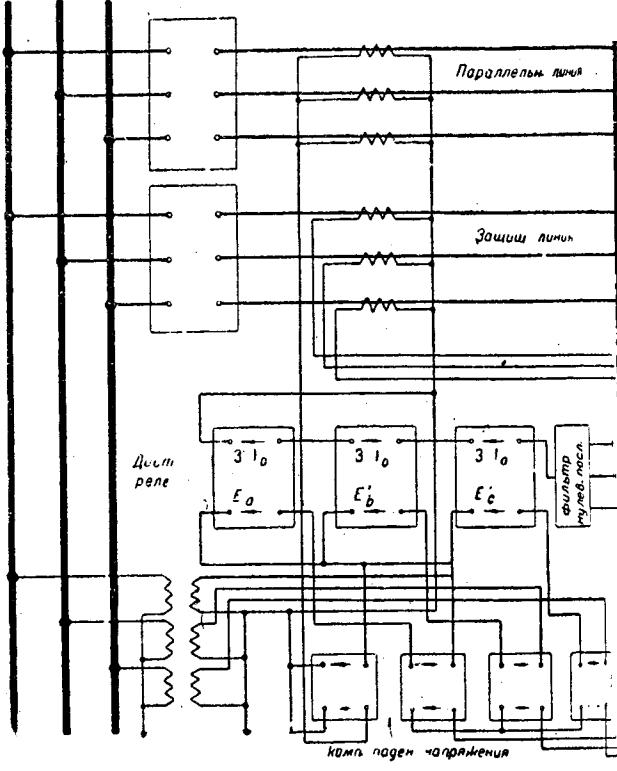


Рис. 3

дается реактивной слагающей этой суммы и свободно от сопротивления места аварии. Однако, если токи, имеющие в третье слагаемое, не находятся в фазе, оно может иметь как положительный, так и отрицательный знак и вызвать сдвиг точек равновесия в том или другом направлении.

При междуфазовых коротких сопротивлениях контакты лико, и величины смещений точек равновесия для обеих реле — одного порядка. При заземлениях реактанц-реле имеется надежную защиту, так как сопротивление контакта в случае значительно выше; при этом приходится придать точностью защиты, которая получается меньше, чем в этом случае.

Инж. О. Тихий

Е. Т. NORRIS, Новый метод регулирования напряжения в сетях переменного тока, „The El. Rev.“, 9 декабря 1948 г. стр. 846—847

По новому методу напряжение сети регулируется с помощью „ходовой“ катушки (рис. 1). По концам ее 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 требуется каких-либо соединений колец или контактов. Если напряжение приложено к катушке *a*, то ток зависит только от импеданса этой катушки, определяемого ее положения. Чем ближе подвижная катушка *s* к катушке *a*, тем сильнее проявляется закорачивающее влияние и тем меньше становится имеющийся импеданс катушки *a*. Следовательно, когда катушка *s* находится в положении *I*, то у катушки *a* импеданс равен нулю, а у катушки *b* возрастает до максимума. Если приложить напряжение к обеим

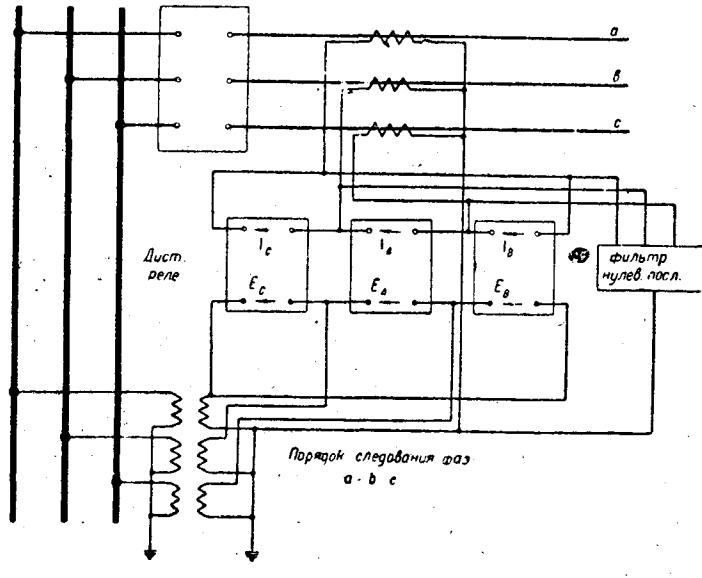


Рис. 2

реле, введя в схему фильтр нулевой последовательности фаз (рис. 2).

При защите от заземлений обмотки обычновенных реле питают 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 аварию с другой стороны. тока в зазорах проводников, сопротивления

ним 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 и распределения достаточно диапазон в 10—20%, не пределы можно получить, комбинируя регулятором фазированным трансформатором или же вводя в регулятор ходовые катушки.

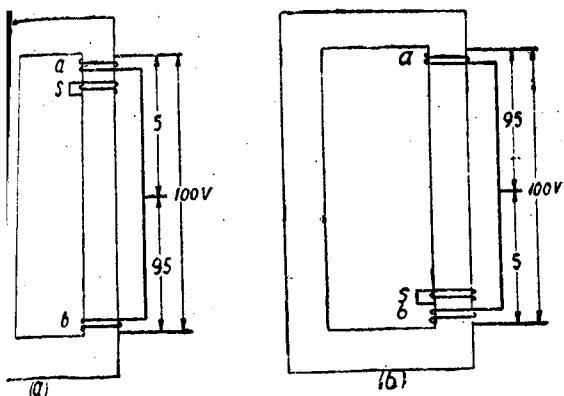


Рис. 1. Схема нового регулятора напряжения

Регулятор напряжения с ходовой катушкой строится по 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 проводы.

Малые регуляторы для внутренней установки могут быть оборудованы воздушным охлаждением и воздушной линией, а все остальные обычно погружаются в баки с маслом.

Фазовые регуляторы выполняются с разделенным сердечником, т. е. состоящим из 3 плеч, причем обмотка вводится на среднем плече.

На больших регуляторах ходовая катушка монтируется на магнитной раме, приводимой в движение валом с квадратной резьбой. Для автоматического действия механический механизм осуществляется индукционным электродвигателем (на никелодиодниках) через коническую или червячную передачу. В крупных регуляторах ходовая катушка приводится в действие двумя вертикальными валами.

Фазовые регуляторы состоят из прямоугольного трехфазного сердечника с катушками на каждом плече. Все катушки монтируются на общей раме, приводимой в движение вертикальным валом. Электродвигатель ставится на сердечнике 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 масла.

Регуляторах не имеется непрерывно движущихся или ходовых частей, и для них не требуется смазки. Регулятор обладает такими же характеристиками, как и обычный трансформатор, причем для данного положения регулятора может быть выражена в тех же единицах и для нормального трансформатора при той же векторной диаграмме.

Стери в железе обычно невелики, так как железо сердечника работает при очень небольшой густоте магнитного поля, и большая часть магнитного сопротивления приходится на воздух. Для уменьшения силы тока в закороченных витках, катушки *a* и *b* соединяются накрест, причем наводимые ими в катушке токи взаимно нейтрализуются. При отсутствии нагрузки в закороченной катушке нет тока при ее положении. Под нагрузкой ток в катушке пропорционален нагрузке, но не зависит от ее положения. Все это меняется в зависимости от тока, густоты магнитного поля и веса железа и меди.

В данном первичном напряжении ток холостого хода практически остается постоянным для любого положения регулятора. От тока холостого хода трансформатора он отличается тем, что при низкой плотности магнитного потока и одинаковых размерах воздушного промежутка магнитной цепи сканирующий 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 понижающий 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

F. W. REEK, Молния. Доклад на международном конгрессе по электричеству в Париже в 1932 г.

Автор указывает, что длина фронта индуктивных ближайших 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 мес, высота облака над землей изменяется от 152 до 1 067 м (в среднем 457 м). Продолжительность разряда облака наблюдалась в пределах от 5 до 400 мес, причем 50% всех зарегистрированных волн было короче, чем 30 мес. Большинство перенапряжений с умеренной амплитудой (очевидно, индуцированные перенапряжения) положительны, перенапряжения с большой амплитудой (очевидно, при непосредственных ударах молний) 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 ближайших 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 $g = 328 \text{ kV/m}$. Величина индикаторного перенапряжения равна gh^a , где h — высота провода над землей и a — коэффициент, зависящий от продолжительности разряда и пространственного распределения связанного количества электричества. При применении заземленных тросов коэффициент $a = 0,5$ и даже меньше. Для высоковольтных линий электропередачи с заземленными тросами не приходится опасаться разрядов вследствие индуцированных перенапряжений. Непосредственные удары молний в опору или заземленный трос вблизи опоры создают падения напряжения в опоре плюс сопротивление заземления, равное $V = k/R$. Из этой формулы видна 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.

C. 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 нарастания фронта волн от 10 до 15 000 kV/мс.

Инж. К. И. Пиртман

Электрификация транспорта

OVERHOLM, Защита телефонных линий на электрифицированных железных дорогах Швеции¹, ASEA—Revue, Sept. 1931, т. IV, стр. 66—80.

В Швеции электрифицированы две главные железные дороги: Северная — от Свартома до Рикенгрезена и Южная — от Стокгольма до Готенбурга. Общая длина их составляет 916 км, или 17,7% всей железнодорожной сети страны. Эта электри-

¹ Автор высказывает в пользу однофазной системы переменного тока низкой частоты 4 в. B.

фикация была осуществлена по системе однофазного тока в 16 кВ 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-Рикенгрезен 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 В при силе тока в 100 А на километр. Уменьшая расстояние между подстанциями на 40 км (максимум), получим индуктивное напряжение в 12 В.

Эта система не совсем свободна от недостатков, которые происходят 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 В 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 кВ. Это затруднение преодолевается путем повышения напряжения отсасывающего кабеля таким образом, что разность потенциалов между ним и контактной линией будет равна 32 кВ при напряжении в 16 кВ между контактной линией и рельсами; это значит, что электрические локомотивы находятся всегда под напряжением в 16 кВ. С этой целью проводники соединяются не непосредственно с рельсами, а через посредство автотрансформаторов, в которых напряжение снижается с 32 на 16 кВ, 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 преимущества.

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. Винницкая

Комбинированная электротяга на буроугольных разработках. „ETZ“, № 36, сентябрь, 1932, стр. 868.

На одной из буроугольных 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 670/00. Верхний участок линии оборудован позже той рейкой. До начала этого участка состав подаетсяным электровозом; как только состав переходит на оборудованный зубчатой рейкой, специальный электроботающий только на этом участке, принимает на толкача, и состав ведется двойной тягой. Аналогично зован спуск в баггеры. Электровозы, работающие на той рейке, имеют сцепной вес 25 т, скорость наном подъеме 7,2 км/ч при усилии тяги 15 000 кг. Име в контактном проводе—1200 В постоянного тока. Инж. Е. А.

Новые электровозы типа ВО+ВО Южнофранцузской д. и их механические характеристики, 1932

Первые электровозы постоянного тока (1500 В), новые для Южнофранцузских ж. д. в период времени 1928 гг., были снабжены групповыми контакторами (ковым валом). Хотя эта система в общем вполне удачна, однако, несмотря на принимаемые меры, напряжения в проводе сильно сказываются на работах управления. Поэтому Южнофранцузские ж. д. решили свои новые электровозы (90 товарных и 50 пассажирских) снабдить электропневматическим оборудованием, при работе цепи управления совершенно не зависит от напряжения в контактном проводе, так как она питается аккумуляторной (щелочной) батареи.

Важнейшие данные (одинаковые для обоих видов вагонов кроме зубчатой передачи) таковы:

Общая длина по буферам	12 870 мм
Общая база	8 950 .
База каждой тележки	2 950 .
Диаметр колес	1 400 .
Давление на ось	19 т
Полный вес (цепной)	76 .
Вес механической части	42 .
Вес электрической части	34 .
Длительная мощность электровоза	1 600 л. с.
Часовая	1 800 . .

Пассажирский . Товарный .
Зубчатая передача 73:21 = 3,47 78:16 .
Максимальная скорость 95 км/ч

Продольная устойчивость двухосной тележки с тормозами трамвайного типа

Введем обозначения (рис. 1): e —база тележки, R_1 —радиус начальной окружности зубчатого колеса, R_2 —радиус начальной окружности шестерни, d —расстояние между ведущей осью и точкой опоры мотора в раме, δ —горизонтальное расстояние между точками опор

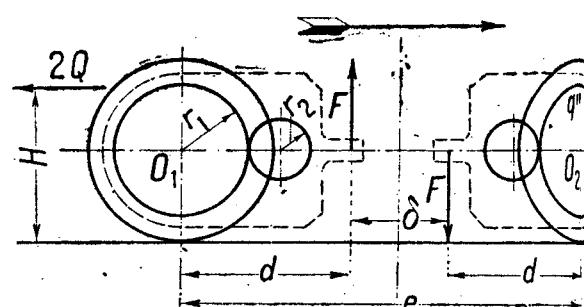


Рис. 1

торов, P —вес, приходящийся на тележку, Q —силы, приходящиеся на каждую пару колес (на обод), q' —нагрузка на две рессоры каждой оси, H —высота приложения силы тяги над головкой рельса, p —вес мотора, передаваемый через моторно-осевые шипники.

Силе тяги Q на ободе движущего колеса соответствует давление в зубцах QR , которое через опорные точки B_1 и B_2 корпуса мотора передается траверсам. Реакция траверс корпуса мотора выражается отношением $F = \frac{QR}{d}$. Для определенного направления движения рельс нагружается дополнительной 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 кидывающего момента $F\delta$, который стремится поднять задней осью и скрутить на поперечной.

Условия равновесия рамы тележки

тележки подвергается действию веса P , который имеет приложения в шкворневом пятнике тележки, сил q' и q'' (сжатия рессор), горизонтально действующей силы тяги в плоскости шкворневой пятни на высоте H над головкой и опрокидывающего момента $F\delta = \frac{QR\delta}{d}$.

Изменение моментов для точки O_1 , которая должна расщепиться 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 P , грузка рессор должна оставаться одинаковой, т. е. q' . Подставляя эту величину в уравнение (1), получаем:

$$H = R \left(1 + \frac{\delta}{2d}\right).$$

Важная величина $\frac{\delta}{2d}$ — величина порядка 0,1; поэтому приближенно

$$H = 1,1 R.$$

Сила тяги должна, следовательно, прилагаться лишь на плоскости движущей оси. В этом случае рессоры несут равные нагрузки, однако оси давят на путь с разной силой. Передняя ось в данном случае передает рельсу $\frac{P}{2} + p - F$, а задняя $\frac{P}{2} + p + F$.

Сумма нагрузок осей тележки от теоретической статической нагрузки для электровоза ВО + ВО достигает приблизительно 9%.

Должно быть выполнено также условие одинакового смысла колес обеих осей, то очевидно, что H должно быть ненулевым. Значит, нужно точку приложения силы тяги перенести 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 . Передняя ось будет разгружена на величину X , причем $= 2QH$, откуда $X = \frac{2QH}{e}$. Наоборот, задняя ось на ту же величину будет перегружена.

Таким же образом можно определить, что передняя рессора сжимается на величину $X - F$ или $Q \left(\frac{2H}{e} - \frac{R}{d} \right)$, в то время как задняя на ту же величину перегружается. Из всего этого следует, что величина H должна быть возможно ненулевой. Необходимо располагать шкворневые опоры возможно ниже.

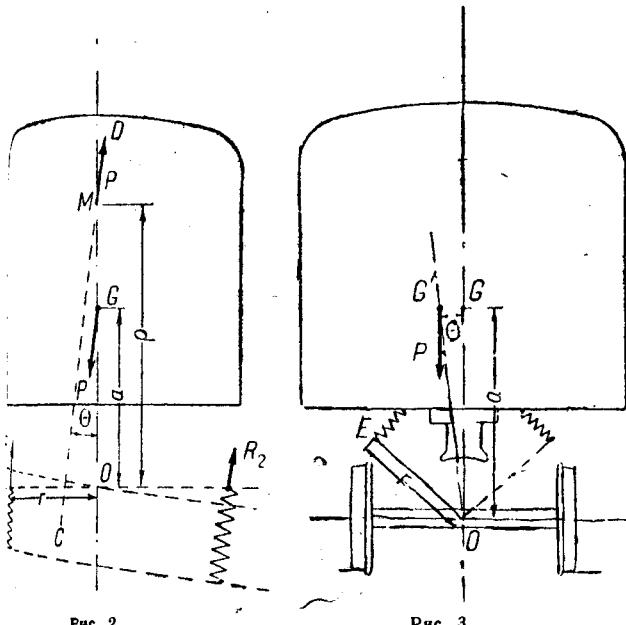


Рис. 2

Рис. 3

Поперечная устойчивость электровоза

Амортизированная часть электровоза может быть рассмотрена как сложный маятник, ось качаний которого есть линия качения продольной вертикальной плоскости электровоза жесткостью, проходящей через основания рессор. Период качаний кузова выражается величиной:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{2Kr^2}}.$$

где J — момент инерции кузова относительно оси колебаний K — жесткость рессор, r — половина расстояния между рессорами (рис. 2 и 3), P — вес кузова электровоза, a — расстояние центра тяжести кузова от оси колебаний.

Линия CD дает направление равнодействующей давления рессор R_1 и R_2 , которая проходит под углом θ к средней линии 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 выражается:

$$\cos \theta \sin \theta \Sigma 2Kr^2 = P\rho \sin \theta.$$

Если угол θ мал, то $\cos \theta$ может быть принят равным единице. Отсюда следует, что

$$\Sigma 2Kr^2 = P\rho$$

и время колебаний будет

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{P(\rho - a)}}.$$

Эта формула идентична с формулой для устойчивости корабля; ρ означает высоту метацентра M .

Можно видеть, что увеличение времени T достигается только уменьшением величины $\rho - a$, а именно: или уменьшением метацентрической высоты, или поднятием центра тяжести кузова. Увеличение продолжительности колебаний дает два преимущества: 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 незначительной амплитудой, но большой частотой (как, например, удары на стыках), не происходит раскачивания кузова. Практически 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 опрокинутых чашек (вогнутая сторона обращена книзу). Получающееся при этом неустойчивое равновесие выравнивается посредством боковых листовых рессор (рессоры равновесия) (рис. 3). При наклоне кузова на элементарный угол $d\theta$ опрокидывающий 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 $Kr^2 d\theta = Pa d\theta$. Возвращающая сила выражается 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 незначительный наклон к горизонтальной плоскости. Жесткость рессор отрегулирована с таким расчетом, чтобы период колебаний их равнялся примерно 0,8 сек.

Сообразно с этим для электровоза имеется два независимых друг от друга рода опор: 1) вертикальная подвеска, которая образуется из обычных рессор, воспринимающих вертикальные толчки пути, 2) боковые опоры посредством "рессор равновесия", предназначенных для смягчения виляющих 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 батарей и неудобств, причиняемых пассажирам газами, выделяемыми 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 эксплуатируемых подобным образом участков доходит до 7 500 км. Кроме этого, она применяется еще на узкоколейных железных дорогах во Франции, а также в Италии, где общая длина эксплуатируемых таким образом участков, трамваев и железных дорог местного значения уже достигла около 400 км. Батареи теперь служат значительно лучше прежних. Район действия в Германии доходит до 280–300 км, а годовой пробег — до 90 000 км. Пластины аккумуляторов служат гораздо дольше, а именно: положительные — до времени пробега в 100 000 км, а отрицательные — 200 000 км. Зарядка аккумуляторов производится на станциях, снабженных ртутными выпрямителями, большей частью автоматически и в ночное время при выгодных для поставщика электроэнергии условиях.

Употребление аккумуляторов в настоящее время в Германии (на государственных дорогах) автомобили с аккумуляторами

трехосные, весом в 70 т, 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 км, а скорость—до 60 км/ч.

Работающие в Италии (на линии от Турин до Салуццо) автомоторы весят по 28 т 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. Эксплоатационные расходы по данным о службе указанных выше итальянских автомотрис по сравнению со службой при тех же условиях работы, выражаются цифрой в 2,870 франков на поездо-километр для обычновенной перевозной 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

H. L. ANDREWS, Электрические автомоторы с тепловыми двигателями в САСШ „Е и М“ № 46, 1932, стр. 635.

В САСШ в последние годы особенно распространены автомотрисы 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 снаряжены 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 обычновенными 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 обычновенных паровозов он был равен 4,325 доллара; для паровозов же, работавших на железных дорогах, он составлял 2,511 доллара против 5,897 доллара для обычновенных 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) обычновенные 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 автомотрис 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 былопущено 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 автомотрис с двигателями Дизеля мощность на единицу значительно больше, чем у бензиновых, а именно 13 600 кг против 8,2—9,1 кг и, кроме того, цены на топливо (тяжелое) высокие.

Подобные автомотрисы 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 обычновенными 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 листовой меди, защищающего стальной корпус от перегрева благодаря концентрации тепла в меди.

Недавно в Ньюкасле 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 тиглем

разреза). Та часть магнитного потока, которая не проходит через шихту, поглощается тонкими пластинами из стального сплава, магнитная проводимость которых выше в несколько тысяч раз проводимости воздушного межутка в печах без сердечника. Путь магнитного потокадет через стальной сплав к упомянутому выступу (оно совпадает с осью индукторной катушки), и тут здается сильный центральный поток. Наличие „частей сердечника“ уменьшает поток рассеяния до ничтожной величины и позволяет применить железный или стальной и стальную конструкцию, образующую жесткую опору тигля и его шихты, индукторной катушки и кожуха.

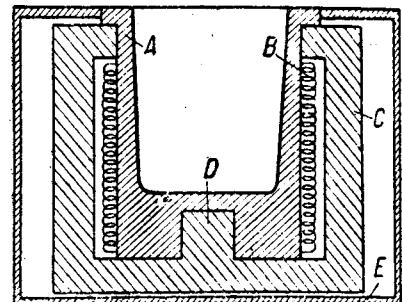


Рис. 1. Схематический разрез печи Witton

Печь Witton в основном состоит из:

- 1) тигля, построенного из огнеупорного материала;
- 2) изолированной, охлаждаемой водой, специальной индукторной катушкой B, окружающей тигель;
- 3) магнитной заземленной конструкции C из стальных пластин, поддерживающей катушку B и тигель A;
- 4) внешнего металлического кожуха E, прикрепленного к конструкции C.

Тигель изготовлен или из кислого или основного кирпича или из огнеупорного материала, утрамбованного в форме.

Увеличение магнитного потока благодаря ферромагнетизму плавки 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 охлаждающие потери.

В печах без сердечника ток, индуцируемый в металлической шихте, не распределяется равномерно по всему сечению талла и при высоких частотах, применяемых для плавки, не проникает глубоко внутрь тигеля; широкий тигель со стороны шихты 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 тигеля, и распределяет его по всей шихте (рис. 2).

Поверхность расплавленного металла выпучивается в результате взаимного отталкивания между противоположными волнистыми, возникающими благодаря токам в шихте и индукторной катушке. Наибольшее выпучивание имеет место в центре в печах Witton благодаря сравнительно низкой частоте плавки и ограниченному выпучиванию в шихте.

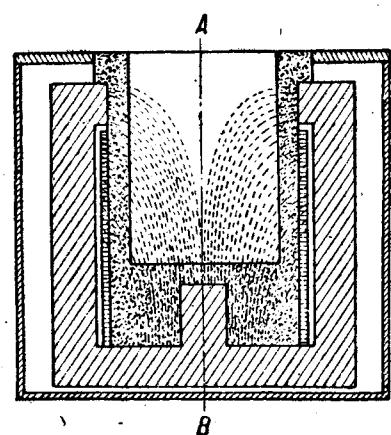


Рис. 2. Распределение магнитного потока с шихтой (справа от AB) и без шихты (слева от AB)

Конструкция печи Witton облегчает применение широкого тигля, в котором предотвращается выпучивание большого количества, что необходимо, для того чтобы получить автоматическое перемешивание, свойственное печам высокой частоты и обеспечивающее однородность состава в каждой шихте. Плавка

ко передачу. К оборудованию печной установки относятся мотор-генератор, конденсаторы и аппаратура для электрического управления. Главной задачей аппаратуры является поддерживание постоянства мощности и высокого давления в сравнении с другими печами в описываемой печи имеется более устойчивая нагрузка и более быстрая разгонка моторов управления, что дает высокую производительность печи. При уменьшении скорости мотор-генератора реостатное реле приводит в действие реостат возбуждения, в результате значения тока и напряжения доводятся до заданных величин.

Автоматически регулируется включением и выключением конденсаторов. Выключатель блокирован с отдельными частями установки таким образом, что отключение печи происходит при повреждении охлаждающего устройства, перегрузке мотор-генератора, резком повышении давления в высоковольтной системе или заземлении цепи высокой частоты.

Более важным применением печи Witton является плавильные сплавы и углеродистой инструментальной стали, то же из железа и стали и других специальных стальных сплавов. Наиболее распространение эта печь может иметь в нежелезной промышленности, например, для плавки никель-хромомагниевых подобных ему сплавов. Расход энергии на 1 т никелевой, молибденовой стали в 5 kW печи составляет 110 кВт·ч. Сталь приводится от холодного состояния до температуры плавления при расходе в 485 kWh/t.

Составная часть печи, требующая периодической замены—это тигель. Быстрая плавка, позволяющая получить большую производительность от небольшой печи, и незначительное количество огнеупоров, которое здесь требуется сравнивается с печами других типов, дает возможность применять тигель для работы с перерывами без большого увеличения расходов. Рабочая масса для 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

Пермали—новый изоляционный материал для электротехнических целей, „Revue générale de l'électricité“, 15 октября 1932.

Пермали производятся из дерева и синтетической резины. Их отличает в двух видах: один совсем похож на обычное 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

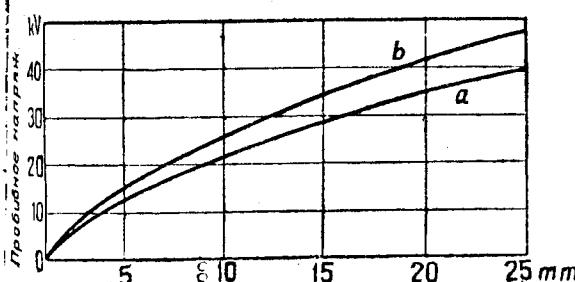


Рис. 1

дерево сопротивлением разрыву в 120 kg/mm^2 находится к обычному дереву с сопротивлением разрыву 40 kg/mm^2 . Несколько десятилетий назад была сделана попытка улучшить электрические качества дерева, употребляемого в промышленности, 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 его волокнами. Вследствие этого при всяких изменениях температуры и давления, которым подвергается дерево, эти вещества выходят (частично) из дерева, то опять вступают в него и впитывают влагой, которую они впитывают из массы дерева и окружающей его атмосферы.

Улучшения дела дерево до пропитки подвергают дереву значительной старению. Эта операция не уничтожает движущиеся жидкости, о которых мы только что говорили, но все же стабилизирует дерево, закрепляя его соки.

Довольно хорошие результаты получаются при пропитке дерева или древесной массы синтетической резиной в форме лака или же (более ленивого препарата) тонаркезоля.

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.

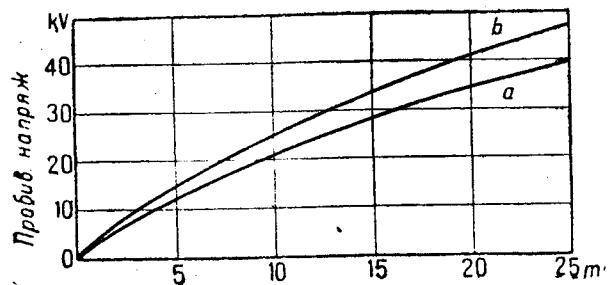


Рис. 2

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 в зависимости от расстояния между электродами можно судить по рис. 3, где приведены, опытные данные для следующих марок пермали: a—121 Н, b—121 Р, c—113 Н, d—134 Н, e—513 Н. При этом надо заметить, что приведенные в диаграмме данные относятся к образцам диаметром 25 мм при температуре масла 17°C .

2. Электрическая постоянная. Многочисленные измерения показали, что эта постоянная для пермали в среднем равна 2,7.

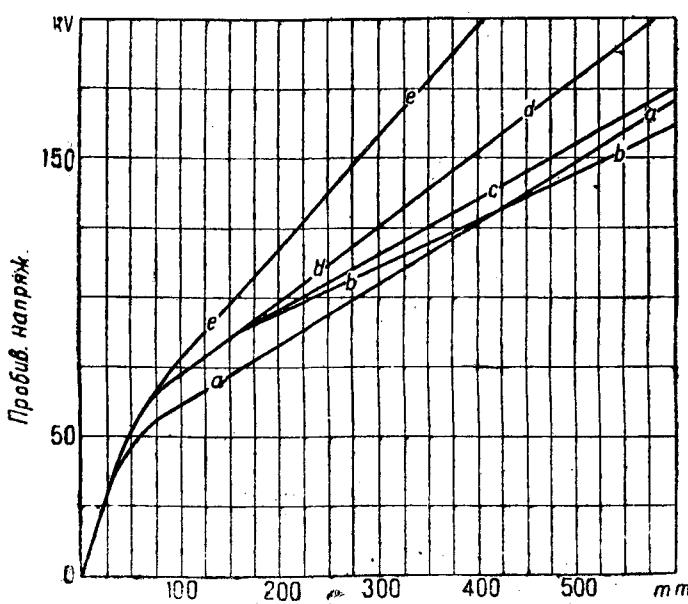


Рис. 3

3. Диэлектрические потери. В табл. 1 даны для сравнения цифры потерь ($\text{kV}/\text{см}^3$) 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 нормальной промышленной частоты (50 герц/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

T. R. BATCHELLER, Электромагнитный метод сварки сварочных швов, "Electrical Engineering", том стр. 781—783

Для испытания качества сварочных швов обычно применяются методы, дающие довольно удовлетворительные результаты, а именно: стетоскопический метод, рентгеновские и другие электрические и магнитные методы, но их применение ограничивается, главным образом, лабораторными исследованиями и трудно применимы в условиях эксплуатации. Многих изысканий пришли, наконец, к заключению, что измерительный прибор должен обладать следующими характеристиками: во-первых, он должен быть переносным; во-вторых, он должен давать непосредственные указания о предельных трещинах или других повреждениях. После исследований выяснилось, что всеми этими данными

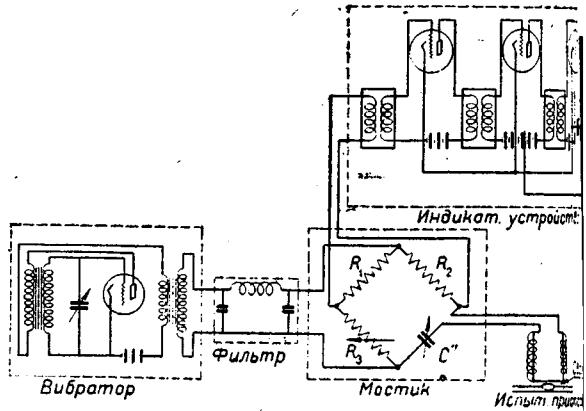


Рис. 1

спроектированный автором мостик переменного тока: измерительным прибором, дающим отсчет непосредственно на шкале. Теория этого метода чрезвычайно проста. Из-за того что индуктивное и эффективное сопротивления из имеющейся железной сердечник, зависят от магнитной индукции, если в нее введен воздушный зазор, то индуктивное и эффективное сопротивления получают другие значения, в свойстве 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 производятся измерения; 3) особого приспособления для исследования сварочных швов; 4) указательного прибора, шкале которого можно получить указание о состоянии шва.

Вибратор состоит из электронной лампы с индуктивной связью между анодом и сеткой и трансформатора с анодом для получения необходимой мощности. Переходный конденсатор, соединенный через катушку сетки, контролирует частоту. Переходный фильтр употреблен для исключения гармоник в вибраторе. В импедансном мостике R_1 и R_2 составляют собою отношение плеч совершенно одинаковых индуктивных сопротивлений. Переменное сопротивление уравнивает эффективное сопротивление испытуемого способления, а конденсатор C уравнивает индуктивное. Этот последний состоит из нескольких постоянных катушек, включенных параллельно со стандартным переходным конденсатором.

Испытуемое устройство состоит из двух катушек с гибкими витками из тонкой проволоки, намотанных на 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); усиление первой лампы—30, второй—8. Такой усиливается увеличение напряжения в отношении приблизительно 20 000 к 1. Детектирующая лампа с миллиамперметром анода шунтируется большим конденсатором; анодная шунтирует не выпрямленный переменный ток.

Милиамперметр с шунтом S дает возможность увеличения в 10 раз во время предварительного уравнивания при первоначальном возбуждении накала лампы. Высокое переменное сопротивление соединяется последовательно с батареей, дающей ток миллиамперметру в направлении обратном току, генерируемому лампой. Прибор имеет мерную шкалу.

Инж. Л. Бра

Разное

SUTHERLIN and A. J. HARCHER. Новые катодные трубы. "The Electric journal", Vol. 29, Aug. 1932

Компания Westinghouse выпустила две новых катодных трубы, имеющие большую ценность для исследовательской и промышленных сетях. Эти трубы, одна из которых с отклонением луча магнитным полем, а другая—электростатическим, дают непрерывный видимый след на экране зеркалом 152 мм (6 дюймов). Эти трубы уже получили широкое применение при исследовании высокочастотных явлений в сетях. Наблюдения низкочастотных явлений (резонансные петли, работа сетевых выключателей и др.) были осуществлены в нормально освещенной комнате при полном затемнении. Трубы также используются как основной элемент в осциллографе, портативном осциллографе и промышленном изучении всех повторяющихся явлений.

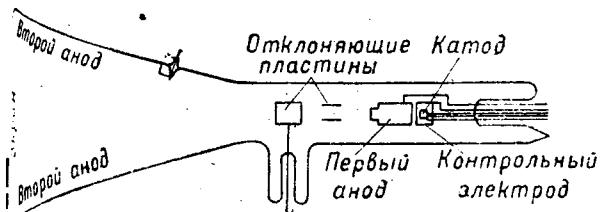


Рис. 1. Трубка с электростатическим отклонением

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, оставляя след на экране в виде волны, соответствующей измененному напряжению. Источником электронов является оксидный слой на нагреваемом катоде. Электроны, направляемые к первому аноду, пролетают через него и, получая второе ускорение, вылетают из окошка в передней части анода, называемой пистолетом. Стенки пистолета покрыты серебром, присоединенным к практической цепи как второй анод. Этот второй анод сообщающим электронам добавочное ускорение, вследствие чего они попадают в центр экрана. Последний состоит из слоя вилицита, кристаллического вещества, содержащего цинк и имеющего яркий зеленый цвет при ударах электронов. Устройство слабопроводящим и имеет контакт с серебром, из-за чего электроны стекают на второй анод. Отклонение поле, магнитное или электростатическое, подводится в месте, где электроны оставляют пистолет. При изменении второго поля под прямым углом к этому первому луч движется назад и вперед под углом 90° к первому. Комбинация этих двух движений дает волну контролируемого движения. Синусоида волны совершенно отчетливо представляется глазу на наружной стороне задней стенки, внутренняя сторона которой покрыта вилицитом. Известно, что экран синусоиды имеет приятный зеленый оттенок. Между нитью и первым анодом помещается третий анод, служащий для получения более резкого и контурирующего его интенсивности.

Трубка с отклонением луча магнитным полем (RC-590) и трубка с отклонением луча электростатическим полем (RC-593) по внешнему виду весьма сходны. Последняя имеет длину в 152 мм и имеет два отростка, несущие отклоняющие пластины. Трубка с магнитным отклонением изогнуто работала при нескольких тысячах периодов в секунду, трубка с электростатическим отклонением—в тысячах килопериодов в секунду. Например, одна из них применялась для получения изображения волны в осциллографе при подведении к одиссеи паре пластин 100 мкА/сек и к другой 15 млн. мкА/сек. Чувствительность с магнитным отклонением, применяемой в осцилло-

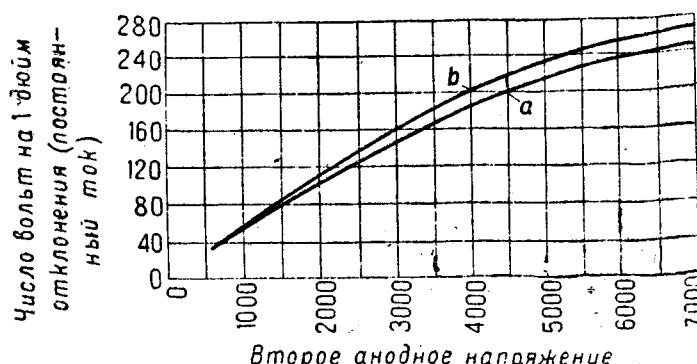
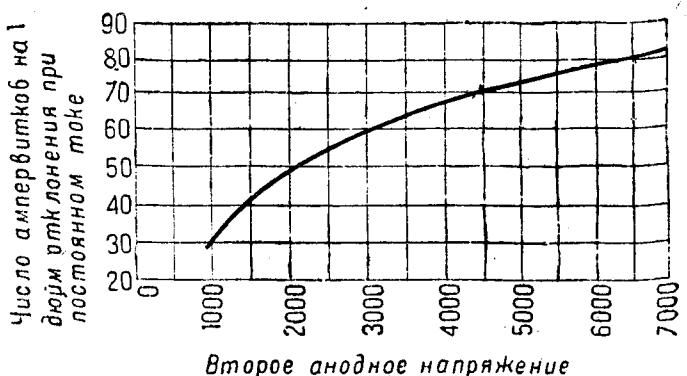


Рис. 2. Типичные кривые чувствительности трубок с магнитным и электростатическим отклонением
Кривые *a*—отклоняющие пластины № 1 (ближайшие к первому аноду);
кривые *b*—отклоняющие пластины № 2

скопе при условиях, данных в табл. 1, составляла 60 амперитков 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 μ A

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 обеим парам пластин. При употреблении только одной второй—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 μ F. В заключение следует отметить, что полученная в осциллографе 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 Гоэлро т. Ленин и т. Сталин с большевистской непримиримостью отмели всяческие попытки ревизовать план Гоэлро.

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-

нятными методами испытания сварных швов в опытах были применены также рентгеновские лучи. В зависимости от технико-экономическое сравнение сварки переменным током в отношении стоимостей оборудования и эксплуатации на примере сварочного цеха в 120 по 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 вольтовой дуги.

Осциллятор-генератор высокой частоты, облегчает вольтовой дугой. Мощность, потребляемая осциллятором.

Выбор частоты для удовлетворительной работы осциллятора. Ламповый генератор высокой частоты.

Процесс сварки при помощи осциллятора и степеньности работы с ним. Возможность варить голыми (изолированными) электродами на переменном токе, но при помощи генератора.

Выявлена возможность сварки вольтовой дугой например 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 специального типа трансформаторов, преобразующих трехфазный нормальный промышленной частоты в однофазный токи нормальной частоты. Приводятся также некоторые результаты экспериментального исследования таких трансформаторов.

Инж. Петров В. А., Осциллятор конструкции „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 в статье описание подобного прибора, сконструированного заводом „Буревестник“ в Ленинграде.

Инж. Калантаров А. В., Испытание междупроводной изоляции обмоток, „Эл-во“, № 5, 1933, стр. 34.

В статье описываются два метода испытания междупроводной изоляции трансформаторов и электрических машин: 1) непосредственного прикладывания напряжения к изоляции и 2) индуктивный метод. Кроме того, в статье приводятся результаты сравнительного испытания некоторых изолированных материалов при частоте в 50 пер/сек и при высоких частотах затухающих колебаниях. В конце статьи приведена библиография по затронутым вопросам.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Инж. И. М. Будницкий—Проблемы энергетики в освещении классиков марксизма—ленинизма	2
Граф. В. С. Кулебакин—Применение 100-периодного тока для электрификации СССР	9
Инж. Ф. И. Кислюк—Выбор рода тока для дуговой сварки	21
Инж. Ф. И. Кислюк—Применение осциллятора для улучшения сварки на переменном токе	26
Инж. Д. С. Фокин—Сварка токами повышенной частоты по методу акад. К. И. Шенфера	
Инж. В. А. Петров—Осциллятор конструкции завода „Буревестник“	
Инж. В. А. Калантаров—Испытание междупроводной изоляции обмоток	
Из книг и журналов	
Аннотации	

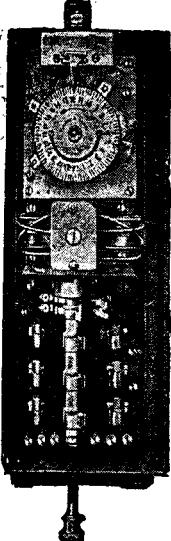
ОНТИ—ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Технич. редактор Н. Н. Дьяконов

РЕДКОЛЛЕГИЯ: инж. Е. С. Аваков, проф. В. И. Вейд, инж. В. В. Занов, инж. М. Н. Грановская, инж. Я. А. Климовидский, акад. Кржижановский, инж. И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, инж. Сазонов, проф. М. А. Шателен, проф. Я. Н. Шнильберг. ОТВ. РЕДАКТОР инж. Я. А. Климовидский

ФАБРИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ Фр. САУТЕР, Акц. Общ. в БАЗЕЛЕ

Fabrik elektrischer Apparate Fr. SAUTER, A.-G., BASEL



Автоматический часовой выключатель с электрическим заводом.

6678

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 В.
2. **Автоматические** выключатели, действующие на расстоянии (реле: 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 „ТехноПромимпорта“.

Поставщики Электроимпорта.

Запросы могут быть составлены и на русском языке.

Электро - аппаратура

Аппаратура.

Трехполюсные масляные выключатели разной мощности для напряжений до 150.000 вольт с управлением от руки и электрическое на расстоянии.

Треншальтеры 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.

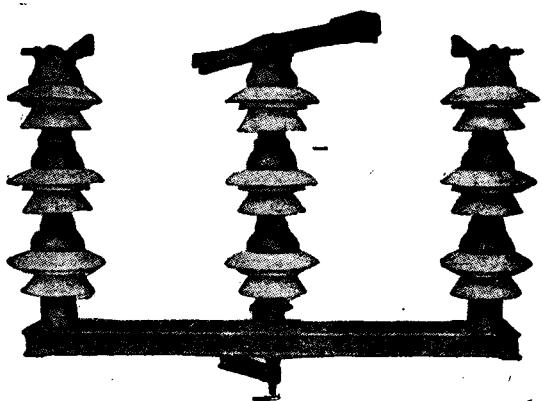
Электромагнитические апериодические для переменного тока — переносные а также для распределительных досок.

Электродинамические для постоянного и переменного тока — переносные и для распределительных досок, большой точности.

ЗАВОДЫ ГАЛИЛЕО ФЛОРЕНЦИЯ (Италия)

6679

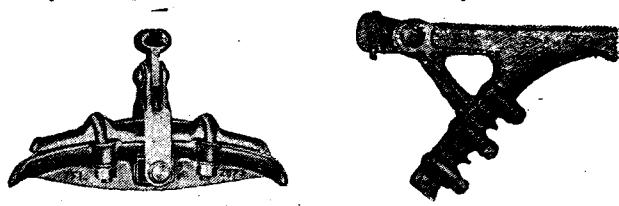
I.F.I
МИЛАН Муссолини №5 ИТАЛИЯ



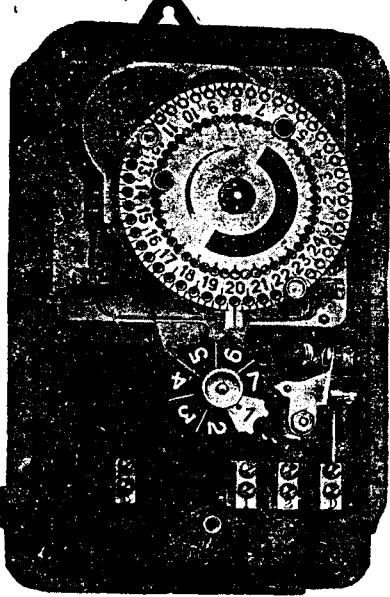
Трехполюсные измерительные выключатели до 230 к.с.

Более 2000 наборов на заводе

Арматуры высокого напряжения



При всех запросах к иностранным фирмам о присыпке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала
Факса заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли



Fr. Ghislmetti & Cie. A.-G. Solothurn (Швейцария)

Периодические и стопорные выключатели, выключатели с часовым механизмом, автоматические выключатели для уличных фонарей

6672

ELCAMO
SCHUTZMARKE

**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

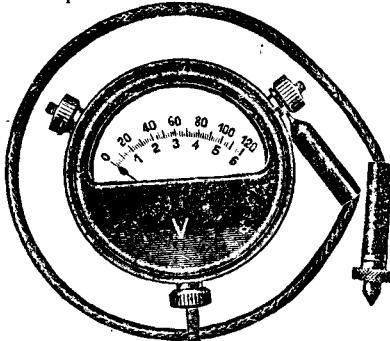
6615

НОВОСТИ!

Мы выпустили на рынок большое количество всевозможных новинок:

Лабораторные измерительные приборы в изолированных коробках высокого качества, небольшие дешевые инструменты с вращающимся сердечником или вращающейся катушкой, прибор для проверки радио-ламп, дешевый прибор для радио-измерений, пантаметр.

Требуйте от нас бесплатной присылки новейших проспектов!



GOSEN
ERLANGEN / BAY.

(Германия)

При всех запросах и иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на № 68 нашего журнала. Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

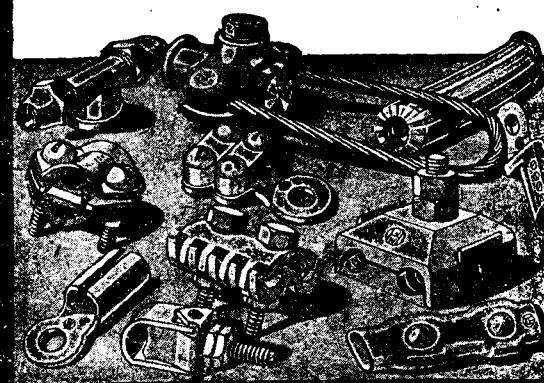
Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

HOFMANN MATERIAL



J. WILHELM HOFMANN
FABRIK. ELEKTR. APPARATE
KÖTZSCHENBRODA BEI DRESDEN



**Соединительный материал
для электрических проводов**

Требуйте мои каталоги

При запросах просим прилагать адрес для наклейки на конверт.

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.

Подпавшиеся
на журнал
в 1933 г.

на год получат 20 номеров,
на 11 мес. получат 18 номеров,
на 10 мес. получат 16 номеров,
на 9 мес. получат 15 номеров,
на 8 мес. получат 13 номеров,
на 7 мес. получат 11 номеров,
на 6 мес. получат 10 номеров,
на 5 мес. получат 8 номеров,
на 4 мес. получат 6 номеров,
на 3 мес. получат 5 номеров,
на 2 мес. получат 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“ является основным руководящим научно-техническим органом, рассчитанным на квалифицированных работников электропромышленности и электрохозяйства.

Программа журнала: Современные научно-исследовательские теоретические и практические проблемы электротехники и в частности вопросы электро- машино- и аппаратостроения и техники высоких напряжений. Наиболее важные технические и технико-экономические вопросы проектирования, строительства и эксплуатации электростанций и вопросы электрификации промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Освещение работы электротехнических 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 иностранной электротехнической печати.

Подписка принимается во всех магазинах и отделениях Книгоцентра, у письмоносецов и ПОЧТЕ. Розничная продажа производится во всех киосках Союзпечати.

При всех запросах и иностранным фирмам о присыпке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала. Границы товаров может присыпка национальной и зарубежной библиотеки.