





681.3	9583
К. 723	Хрущев Ф. И.
История динамометри- ческого тенза.	
С. 25 - 36.	

ЛЧ

**Берегите книгу**

Не перегибайте книгу

во время чтения

Не загибайте углов

Не делайте надписей на книге

Не смачивайте пальцев слюною,  
перелистывая книгу**Завертывайте книгу в бумагу.**



Ф. И. ХОЛУЯНОВ ~~НА ДЖМ НЕ ВЫДАЕТСЯ~~

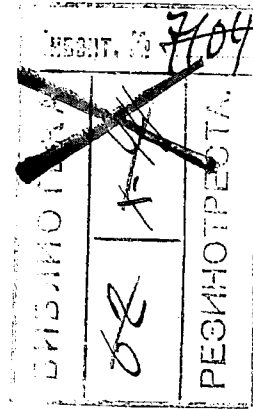
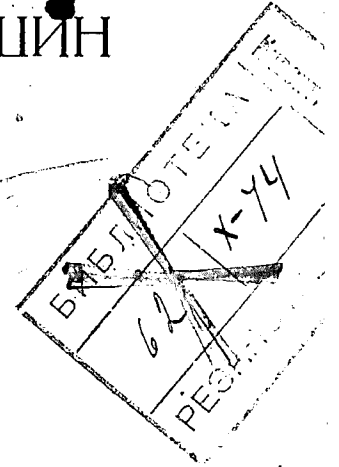
ПРОФЕССОР ЛЕНИНГРАДСКОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
ИМЕНИ В. И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)

Э43

# ИСПЫТАНИЕ ДИНАМОМАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

ПОСОБИЕ

ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ  
ДИНАМОМАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА



7104  
2583  
1



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА 1927 ЛЕНИНГРАД

ГОС. ПЕЧАТНИЦА  
ЛЕНИНГРАД  
СР

3835  $\frac{19}{59}$

ЖС

788



~~Проверка 29 п.~~

Гиз № 19640/л  
Ленинградский Гублит № 42455  
171/4 л. Тираж 4000

~~Проверка 29 п.~~

## ОТ АВТОРА.

Настоящая книга представляет собою переработанное и дополненное второе издание книги того же названия, напечатанной автором в 1912 году. По своему содержанию она предназначена как для экспериментального изучения в стенах технической школы явлений в динамомашинах постоянного тока, так и для целей производства испытаний тех же машин при их приеме и эксплуатации. Этою двойственностью назначения книги и объясняются встречающиеся в ней некоторые углубления теоретического характера на ряду с дополнениями чисто практического свойства.

1927 г.

---





## ВВЕДЕНИЕ.

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ДИНАМОМАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Динамомашина постоянного тока состоит из двух систем: магнитной и электрической. Первая — служит для проведения магнитного потока, вторая — для проведения электрического тока. У машин обычной конструкции одна часть магнитной системы — индуктора и станина — неподвижна, другая часть — сердечник якоря — вращается. Точно так же одна часть электрической цепи — намагничивающие катушки — неподвижна, другая же часть — обмотка якоря — вращается.

Материалом для станины служит обычно сталь, реже чугун. Сердечники индукторов отливаются из стали или же собираются из листового железа. Остов якоря фабрикуется всегда из листов железа, изолированных друг от друга тонким слоем бумаги или лака. Обмотка якоря и индукторов изготовляется из чисто-медных проводников — стержней или проволок, изолированных бумажной пряжей, прорезиненной лентой и т. п., в зависимости от напряжения машины. Проводники на якоре укладываются в особые пазы, которые выкладываются внутри картоном или промасленной бумагой. Намагничивающие катушки надеваются не непосредственно на сердечник, а предварительно на особые капсулы, изолированные от катушек. Коллектор составляется из отдельных пластин, фабрикуемых из тянутой меди (или из оронзы особого состава); изоляцией между ними является или слюда, или композиция слюды (миканит).

При вращении якоря в магнитном поле индукторов в каждом проводнике его от пересечения магнитных линий индуктируется электродвижущая сила, переменная по величине. Благодаря {коллектору и скользящим по нем щеткам электродвижущие силы отдельных проводников суммируясь дают на щетках весьма слабо пульсирующее напряжение, которое практически можно считать уже постоянным. Если включить между щетками разной полярности (+ и —) какое-либо омическое сопротивление, то в последнем появится ток, постоянный по направлению. Величина равнодействующей электродвижущей силы, индуктирующейся в обмотке якоря, зависит: от числа проводников обмотки  $N$ , от способа их соединения, т.-е. от числа параллельных ветвей обмотки  $2a$ , от величины магнитного потока, который пересекается каждым проводником за один оборот якоря, т.-е. от величины произведения  $2p \cdot \Phi$ , где  $2p$  — число полюсов,

$a \Phi$  — магнитный поток, вступающий из одного полюса в якорь, и, наконец, от числа оборотов  $n$  якоря в минуту. Она определяется формулою:

$$E = \frac{N}{2a} \cdot \Phi \cdot 2p \cdot \frac{n}{60} \cdot 10^{-8} = \frac{pn}{60} \cdot \frac{N}{a} \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ вольт.}$$

У динамомашин, работающей генератором, т.-е. превращающей механическую энергию, сообщаемую якорю, в электрическую, индуктируемая в обмотке якоря электродвижущая сила имеет одно направление с током. У динамомашин, работающей двигателем, т.-е. превращающей электрическую энергию в механическую, индуктируемая электродвижущая сила прямо-противоположна циркулирующему току в якоря; поэтому-то она и называется в применении к двигателям „противоэлектродвижущей силой“.

Электродвижущая сила, индуктируемая в якоря без тока, по величине отличается от той электродвижущей силы, которая индуктируется в якоря, когда через него проходит ток. Причина этого обстоятельства — так называемая реакция якоря. Реакция якоря проявляется в магнитном действии якоря на поле индуктооов. Если по обмотке якоря идет некоторый ток, то якорь создает собственное поле, которое, складываясь с полем индукторов, уменьшает его, или, наоборот, увеличивает. В первом случае электродвижущая сила меньше, во втором случае — больше той, которая создавалась только одним полем индукторов. То или иное действие реакции якоря обуславливается положением щеток по отношению к геометрической нейтралю, т.-е. к линии, проходящей через середину междуполюсного пространства. Обычно щетки располагаются так, что поле якоря уменьшает поле индукторов. В некоторых случаях, напр., при очень больших скоростях вращения якоря, поле якоря уничтожается так называемую компенсационною обмоткою, расположенною в пазах по поверхности полюсов.

Электродвижущая сила, индуктируемая в якоря, отличается от напряжения на зажимах его на величину падения напряжения от омического сопротивления обмотки. У генераторов электродвижущая сила больше напряжения на зажимах машины, у двигателей — меньше.

Итак, назначение главнейшей части электрической цепи динамомашин заключается в создании электродвижущей силы. Другая часть электрической цепи — намагничивающие катушки — предназначается для создания магнитного поля. Намагничивающий ток для катушек берется или от постороннего источника — машины с „независимым возбуждением“, или же от самой машины — машины с „самовозбуждением“.

Машины с самовозбуждением по способу включения намагничивающих катушек делятся на: 1) шунт-машины, 2) сериес-машины и 3) компаунд-машины. У шунт-машин намагничивающие катушки подключаются параллельно (в шунт) к обмотке якоря и, следовательно, к внешней цепи; таким образом, внешний ток не участвует в создании основного потока. У сериес-машин намагничивающие катушки включаются последовательно с обмоткою якоря и с внешнею цепью; следовательно, в данном случае внешний ток является намагничивающим током — всякое изменение его силы непосредственно влечет за собою

изменение основного магнитного потока машины. У компаунд-машин часть намагничивающих катушек включается параллельно к якорю, часть катушек — последовательно с ним. Эти машины занимают, следовательно, промежуточное место между шунт- и серийно-машинами.

Способ включения намагничивающих катушек в значительной степени определяет свойства машин при работе. Обычно эти свойства изучаются графически помощью так называемых „характеристик“ — кривых, устанавливающих зависимость между двумя факторами, характерными для работы машины, при постоянстве других факторов. У генераторов наиболее важными факторами являются напряжение и ток нагрузки, у двигателей — скорость и развиваемая мощность.

Всякое превращение энергии сопровождается потерями. В динамомашине, превращающей механическую энергию в электрическую или, наоборот, электрическую в механическую, также имеют место потери как электрические и магнитные, так и механические. Электрические — в обмотках якоря и катушках, магнитные — в железе магнитной цепи и механические — в подшипниках вала. Чем меньше эти потери, тем выше коэффициент полезного действия машины, т.-е. отношение получаемой от машины мощности к подведенной к ней. Изменение величины коэффициента полезного действия в зависимости от нагрузки обычно также изображается кривой.

Энергия потерь, превращаясь целиком в теплоту, обуславливает ту или иную степень нагрева частей машины. Наиболее чувствительными в отношении нагрева частями динамомашин являются обмотки якоря и индукторов; их изоляция не может выносить слишком высоких температур. Для разных сортов изоляции существуют установленные опытом нормы нагрева, выше которых они не рекомендуются.

Качество изоляции обмоток динамомашин определяется, однако, не только выносливостью при нагреве, но и ее стойкостью при действии на нее некоторого напряжения.

К числу важнейших факторов, характеризующих достоинство динамомашин в целом относится коммутирование тока щетками, т.-е. процесс изменения направления тока в отдельных проводниках якоря в тот короткий промежуток времени, в течение которого эти проводники проходят под щетками из сферы влияния полюса одной полярности в сферу влияния полюса другой полярности. Машина тем долговечнее, чем лучше ее коммутирование, т.-е. чем меньшим искрением оно сопровождается.

## ГЛАВА ПЕРВАЯ.

### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ.

Так как успех всякого испытания зависит от знания качеств применяемых при испытании измерительных приборов, знания методов измерения ими величин, характеризующих машину, то, прежде чем приступить к изложению методов испытаний машин, полезно будет вкратце ознакомиться именно с приборами и методами измерения, встречающимися при этих испытаниях.

При испытаниях электрических машин постоянного тока чаще всего приходится измерять: силу тока, напряжение, электрическую мощность, число оборотов, омическое сопротивление, температуру, момент вращения, механическую мощность.

#### 1. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ.

Сила тока и напряжения машины постоянного тока измеряется амперметрами и вольтметрами: а) типа Депре, называемыми часто точными или прецессионными, б) электромагнитными или с мягким железом, в) электродинамическими и г) тепловыми. Амперметры и вольтметры типа Депре имеют наибольшую точность показания, достигающую у первоклассных фабрикатов до 0,10 — 0,15% от наибольшего показания и у второклассных фабрикатов до 0,15 — 0,20% наибольшего показания. Их шкала равномерно поделена от нуля до наибольшего показания, что, конечно, значительно облегчает измерения силы тока и напряжения, меняющихся в широких пределах. Для установки стрелки на нуль в некоторых приборах этого типа имеются установочные винты, доступные оператору; в других приборах установочное приспособление недоступно без удаления крышек. Следует, однако, сказать, что нуль приборов типа Депре при бережном обращении с ними сохраняется очень устойчиво. Амперметры и вольтметры типа Депре выполняются часто в виде миллиамперметра-вольтметра с необходимыми шунтами для измерения значительных сил тока и необходимыми добавочными сопротивлениями для измерения высоких напряжений. Например, заводы Сименс-Гальске, Вестон выпускают миллиамперметры-вольтметры со шкалою, поделенною на 150 делений с наибольшим показанием, отвечающим 150 миллиамперам или 150 милливольтам при непосредственном включении их в цепь тока, в первом случае как амперметра, во втором — как вольтметра. Наличие шунтов к этому миллиамперметру

и добавочных сопротивлений дает возможность измерять силу тока 0,75, 1,5, 3, 15, 150, 300..... 1500 ампер и напряжение 3, 15, 75, 150, 300 вольт.

У амперметров без многократного расширения шкалы, применяемых в обычном обиходе, шунты до 30 — 100 ампер помещаются внутри самого прибора; свыше указанных токов шунты находятся вне прибора.

Добавочные сопротивления обычных вольтметров до 300 вольт также помещаются внутри прибора.

Электромагнитные амперметры и вольтметры, или амперметры и вольтметры с мягким железом, являются наиболее распространенными из-за их невысокой стоимости. Их шкала имеет неравномерные деления, при чем эти деления начинаются часто относительно далеко от нулевого положения стрелки. Точность показания электромагнитных приборов составляет всего около 1% наибольшего показания; нуль этих приборов в большой степени зависит от установки при употреблении. Небольшой поворот их вокруг оси стрелки влечет за собою смещение последней на тот или иной угол. Электромагнитные амперметры выполняются без шунта для токов до 300 и выше ампер. Электромагнитные вольтметры выполняются до напряжений 600 — 750 вольт с помещенными внутри прибора добавочными сопротивлениями.

Электродинамические амперметры и вольтметры имеют довольно равномерную шкалу и обладают большею точностью, нежели амперметры и вольтметры электромагнитные. До силы тока в 200 ампер электродинамический амперметр не нуждается в шунте, но для токов свыше 200 ампер необходим шунт. Шкала электродинамического вольтметра расширяется добавочными сопротивлениями.

Тепловые амперметры и вольтметры имеют неравномерную шкалу, при чем отсчитываемые показания начинаются относительно далеко от нуля. Стрелка устанавливается на нуле особым установочным винтом; нуль тепловых приборов в значительной степени зависит от изменения температуры окружающего воздуха. Так как действие тепловых приборов основано на нагреве особой нити, связанной со стрелкой, то эти приборы не могут следовать за быстро меняющейся измеряемой величиною (силы тока или напряжения). Тепловые амперметры до 30—60 ампер выполняются с шунтом внутри прибора; до 200—500 ампер с шунтом вне прибора. Тепловые вольтметры до 150 — 300 вольт выполняются с добавочным сопротивлением внутри прибора.

В отношении пользования измерительными приборами нужно иметь в виду следующие общие замечания. Такие приборы, как амперметр или вольтметр, имеют очень нежное внутреннее устройство, а потому обращение с ними должно быть в высшей степени деликатное: толчки при переноске или при установке должны быть избегаемы. На все электрические измерительные приборы оказывают влияние сильные внешние магнитные поля в той или иной степени: на приборы типа Депре и тепловые — в меньшей степени, на электромагнитные — в большей степени. Поэтому рекомендуется располагать их вдали от машины и вообще от железных масс или от проводов, несущих большие токи. Если показание прибора при четырех его положениях, отличающихся на

90°, одно и то же, то это значит, что он нечувствителен к окружающему его магнитному полю. Все электрические измерительные приборы в той или иной степени реагируют на изменение температуры окружающего воздуха; в особенности же — тепловые приборы. Поэтому не рекомендуется располагать их около нагрузочных реостатов или на сквозняках, а за положением нуля теплового прибора надлежит иметь непрерывное наблюдение (шунтируя на время амперметр или выключая вольтметр). Прежде чем применить тот или иной амперметр или вольтметр, следует иметь в виду наибольшие значения тока или напряжения, какие могут встретиться при выполнении опыта; не следует при этом забывать и наименьшие значения. Короче, прибор должен соответствовать своему предполагаемому при опыте назначению. Никогда не следует включать амперметр или вольтметр в цепь с током или соответственно напряжением, большими нормальных для приборов величин. В особенности приходится быть осмотрительным при включении миллиамперметра-вольтметра. От цепи, содержащей самоиндукцию, например, от обмотки возбуждения, рекомендуется отключать вольтметр до выключения тока из цепи, во избежание порчи его электродвижущей силой самоиндукции цепи. Отсчеты по приборам следует брать лишь после того, как стрелка установилась, смотря на шкалу прямо, а не сбоку. Если шкала снабжена зеркальцем, то необходимо смотреть на шкалу так, чтобы стрелка совпадала со своим изображением в зеркальце. Пред отсчетом не рекомендуется протирать стекло прибора во избежание электростатического влияния на стрелку; если же стекло почему-либо оказалось заряженным электростатическим электричеством, необходимо снять заряд, протерев стекло влажной, но не мокрой тряпочкой.

Занося показания в блокнот, следует одновременно записать и переводный множитель прибора или шкалу, по которой производился отсчет (у приборов с двойною шкалою).

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ.

При испытании машин постоянного тока измерение электрической мощности производится при посредстве амперметра, включенного последовательно с цепью потребления, и вольтметра, включенного параллельно к цепи потребления. Произведение силы тока на напряжение в этом случае дает электрическую мощность. Лишь при быстро меняющейся нагрузке применяют электродинамические ваттметры, сводя измерение мощности к одному отсчету (вместо двух — в первом случае).

## 3. ИЗМЕРЕНИЕ ЧИСЛА ОБОРОТОВ.

Число оборотов машины можно измерить: а) счетчиком оборотов, б) механическим тахометром, в) электрическим тахометром, г) стробоскопическим методом.

Счетчик оборотов редко применяется при испытании машин, так как им измеряется среднее число оборотов за определенный промежуток вре-

мени, а не число оборотов в данный момент. Если есть уверенность в том, что число оборотов машины более или менее постоянно, то за отсутствием других приборов и счетчик оборотов будет у места.

Тахометр есть такой прибор, который показывает число оборотов в данный момент. Действие механического тахометра основано на принципе центробежного шарового регулятора. К оси тахометра прикреплены шарнирно помощью двух тонких штанг два шарика, которые другими двумя штангами прикреплены также шарнирно к муфте, насаженной на ту же ось и соединенной при посредстве рычажка и зубчатой передачи со стрелкой циферблата. При вращении оси тахометра, шарики от центробежной силы расходятся и перемещают муфту по оси, а следовательно, и стрелку циферблата. Чем больше число оборотов оси тахометра, тем дальше расходятся шарики и на больший угол перемещается стрелка циферблата. Движение шариков ограничивается спиральной пружинкой, надетой на ось тахометра и одним концом укрепленной на ней, а другим концом упирающейся в муфточку. Меняя передаточное число зубчаток, можно менять и шкалу тахометра, т.-е. приспособлять его для большего или меньшего числа оборотов. Изменение передаточного числа производится перемещением движка на тахометре.

Механический тахометр может быть ручным (или переносным), но может быть и стационарным. У ручного тахометра ось на конце снабжается или трехгранным острием, или чашечкой, в которую вставляется резиновый наконечник. При измерении числа оборотов тахометр наконечником слегка прижимается к центру вала машины (обычно всегда имеющемуся в результате обточки его на токарном станке) и притом обязательно так, чтобы оси тахометра и вала машины были на одной линии. Только в этом случае показания тахометра могут быть приемлемы. Само собою разумеется, никакого скольжения между валом машины и осью тахометра не должно быть, но из этого не следует, что тахометр должен быть сильно прижат к валу, иначе тахометр быстро придет в негодность. Чтобы избежать порчи тахометра от чрезмерного надавливания на вал машины, рекомендуется взять особый наконечник, помещенный в металлическую трубку с упором, и соединить его с осью тахометра гибким (из спиральной пружины) валом.

Стационарный тахометр соединяется с валом машины или зубчатой передачей, или ремнем, в последнем случае так, чтобы никакого скольжения ремня не было.

Механический тахометр далеко не совершенный прибор; он уже в самом себе содержит почву для ошибок. Эти ошибки, к сожалению, возрастают от несоблюдения основного требования, чтобы ось вала и ось тахометра составляли одну прямую линию.

Электрический тахометр представляет собою обычно небольшую магнито-электрическую машинку постоянного тока, якорь которой так или иначе приводится во вращение от вала машины; этот якорь электрически соединен с низковольтным вольтметром. Так как магнитный поток магнита постоянен, то показание вольтметра пропорционально только числу оборотов якоря, а сле-

довательно, вала машины. Электрический тахометр весьма удобен для измерения числа оборотов издалека.

При исследовании машин малой мощности, работающих вхолостую, тахометр является уже заметной нагрузкой; кроме того, неизбежный сдвиг якоря при нажатии на его вал ручным тахометром создает ненормальные условия работы машины. В таких случаях для определения числа оборотов можно воспользоваться стробоскопическим методом.

#### ПЕРВЫЙ СТРОБОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД.

К валу машины прикрепляется белый диск с нанесенным на нем черным сектором. К валу небольшого вспомогательного двигателя постоянного тока прикрепляется такой же диск, но с соответствующим по размерам сектору первого диска сквозным вырезом. Испытуемая машина и вспомогательный двигатель так устанавливаются, что диски оказываются повернутыми друг к другу, и оси их совпадают. Если диски будут вращаться с одним и тем же числом оборотов, но в разные стороны, то, смотря на сплошной (без выреза) диск через диск с вырезом, можно было бы увидеть два неподвижных сектора, так как вырезанный сектор перекроет за один оборот черный сектор два раза. При числе оборотов вспомогательного двигателя вдвое большем можно было бы видеть неподвижными три, или  $(2 + 1)$ , сектора; при числе оборотов в  $k$  раз большем —  $(k + 1)$  сектора. Таким образом, если число оборотов машины  $n$ , а вспомогательного двигателя —  $n_1$  (при чем  $n_1 > n$ ) и  $C$  — число неподвижных секторов, то  $n_1 = k \cdot n$  и  $k = C - 1$ , следовательно:

$$n = \frac{n_1}{k} = \frac{n_1}{C - 1}.$$

Зная число оборотов вспомогательного двигателя, легко определить и число оборотов машины.

При числе оборотов вспомогательного двигателя в дробное число раз большем числа оборотов машины секторы не неподвижны, а вращаются вокруг оси. В таком случае число оборотов вспомогательного двигателя доводится до кратного числа оборотов испытуемой машины.

При вращении дисков в одну сторону

$$n = \frac{n_1}{C + 1}$$

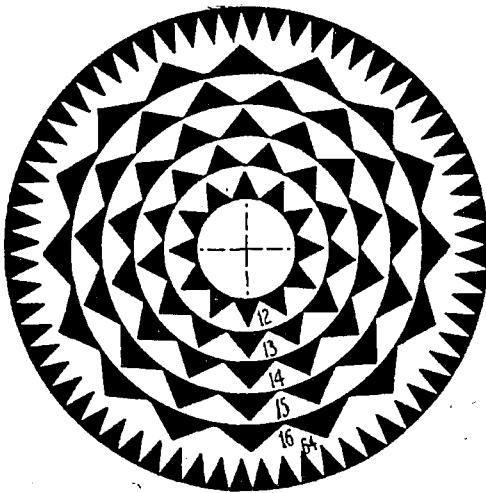
#### ВТОРОЙ СТРОБОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД.

К валу испытуемой машины прилаживается диск с нанесенными на нем зубчатками, имеющими разные, постепенно увеличивающиеся, числа зубчиков, на фиг. 1, например, 12, 13, 14, 15, 16, 64. Этот диск освещается лучом света, прерывающимся с определенной частотою. Если в распоряжении имеется переменный ток с известною частотою, то диск можно освещать дуговой лампою, питаемую этим током. Если же переменного тока не имеется, то можно вос-

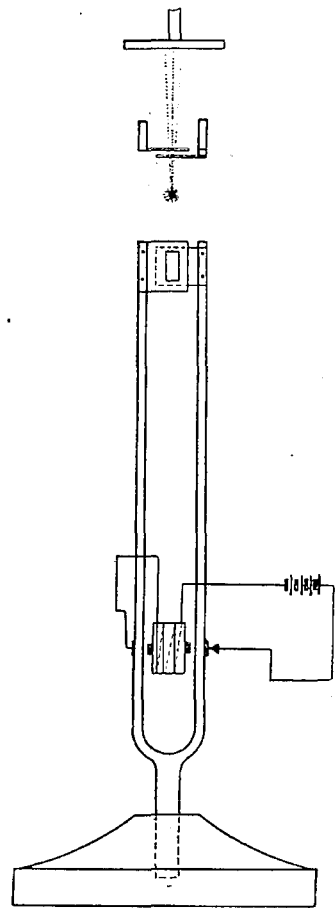


пользоваться камертоном со следующим приспособлением (фиг. 2). К ножкам камертона прикрепляются две легкие алюминиевые пластинки с узкими щелями в каждой, так взаимно расположенными, что в покое щели совпадают, и луч света может свободно пройти через алюминиевые ширмочки. При колебании камертона щели периодически смещаются, открывая путь световому лучу через ширмочку два раза за полный период колебания (в моменты, когда ножки проходят мимо положения покоя). Снабдив лишь одну алюминиевую пластинку прорезом, притом так, чтобы он в покое прикрывался краем другой пластинки, а при расхождении ножек камертона открывался, можно получить одно освещение лучом света вращающегося диска за полный период колебания камертона. Колебание камертона поддерживается небольшим электромагнитком, питаемым постоянным током от одного-двух аккумуляторных элементов и прерываемым прерывателем, как это указано на фиг. 2. Луч света направляется на алюминиевые ширмочки помощью линз.

Пусть частота колебания камертона равна 100 в секунду, или 6000 в минуту, и диск освещается два раза за полный период колебания, или  $6000 \cdot 2 = 12\ 000$  раз в минуту; при этом зубчатка на диске с числом зубцов 12 кажется зрителю неподвижной. Это будет, очевидно,



Фиг. 1.

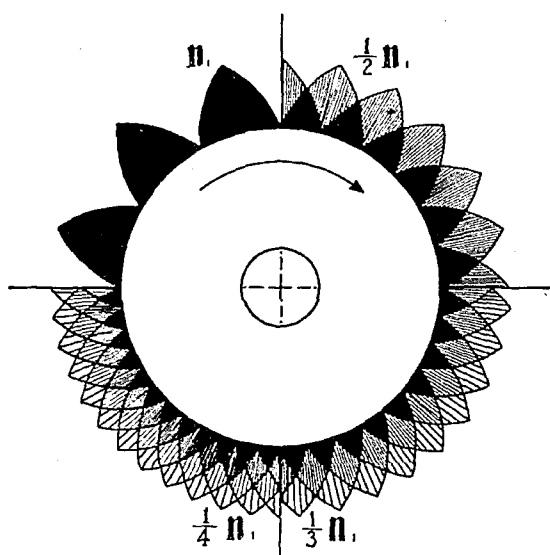


Фиг. 2.

в том случае, когда за период времени между двумя освещениями диска он успеет повернуться на  $\frac{1}{12}$  окружности. Так как за один оборот диска произойдет 12 освещений, то число оборотов вращения диска в минуту, а следовательно, и вала машины будет  $n_1 = 12\ 000 : 12 = 1000$ . Это так называемое первичное число оборотов.

Если бы диск вращался с числом оборотов вдвое, втрое, вчетверо меньшим 1000 в минуту и, следовательно, за период времени между двумя освещениями диска он успел бы повернуться на  $1/2$ ,  $1/3$ ,  $1/4$  доли окружности, то полной зубчатки с 12 зубцами зритель не увидел бы, а на ее месте увидел бы уменьшенные зубчатки с числом зубцов вдвое, втрое и вчетверо большим (см. фиг. 3).

В том случае, когда диск будет вращаться с числом оборотов немного отличным от 1000 в минуту, зубчатка с 12 зубцами будет вращаться в ту или иную сторону в зависимости от того, с большим или меньшим числом оборотов вращается диск: при большем числе оборотов — вперед, при меньшем — назад.



Фиг. 3.

При числе оборотов  $n_1 = 920$  ( $= 12\ 000:13$ ) будет казаться неподвижной зубчатка с числом зубцов 13 и т. д. Беря диски с разными по числу зубчиков зубчатками, меняя число колебаний камертона с последующей его градуировкой (помощью приставок к ножкам его или изменяя их длину), нетрудно условия опыта сделать такими, при которых можно было бы определить искомое число оборотов вращения машины.

Общая связь между числом освещений диска  $f_k$  и числом зубцов  $Z$  зубчаток на диске выражается следующим образом: если

какая-либо зубчатка с числом зубцов  $Z$  при освещении с частотой  $f_k$  кажется неподвижной, то число оборотов вращения зубчатки равно  $m \cdot f_k / Z$ , где  $m$  — целое число, именно равное 1, 2, 3, 4... В самом деле, при  $m = 1$ , когда зубец за промежуток времени между освещениями диска повернется на шаг зубцов и займет бывшее положение следующего за ним зубца, зубчатка будет казаться неподвижной. При  $m = 2$ , когда зубец за промежуток времени между освещениями диска повернется на два шага, он также займет бывшее положение зубца, но уже не соседнего, а сдвинутого на два шага зубцов; и в этом случае зубчатка с  $Z$  зубцами будет казаться неподвижной. Если число оборотов вращения диска в целое число раз меньше первичного числа оборотов (имеющего место при  $m = 1$ ), то неподвижная зубчатка имеет вид, указанный на фиг. 3; при числе оборотов вдвое меньшем первичного изображение удваивается, при числе оборотов втрое меньшем первичного изображение утраивается, и т. д. Такие же умноженные изображения получаются и тогда, когда число оборотов диска в целое число раз больше первичного числа оборотов, поделенного на два.

В самом деле, если, напр., число оборотов диска равно  $3 \cdot (n_1/2)$ , где  $n_1$  — первичное число оборотов для данной зубчатки с  $Z$  зубцами, то за время между освещениями диска зубец повернется на  $3/2$  шага зубцов, т.-е. займет то положение, какое он занимал бы при числе оборотов  $n_1/2$ .

4. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ.

При испытании машин постоянного тока приходится иметь дело с измерением сопротивлений очень малых (обмотка якоря, переходное сопротивление от щетки к коллектору, соединительные кабели), средних (обмотка возбуждения, реостаты) и весьма больших (изоляция). Эти измерения, в зависимости от величины сопротивления, могут быть произведены: а) методом двойного мостика Томсона, б) методом мостика Уитстона, в) методом падения (методом амперметра-вольтметра), г) методом сравнения, д) методом вольтметра. Вкратце эти методы заключаются в следующем.

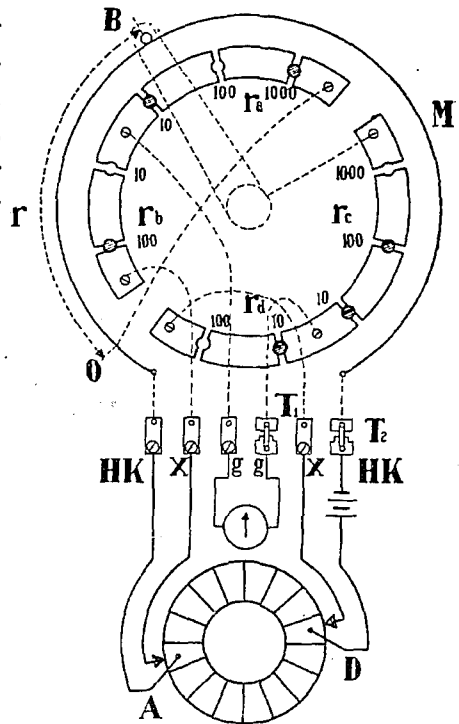
Метод двойного мостика Томсона.

Собирается схема, указанная на фиг. 4, с применением мостика Томсона в выполнении завода Сименс-Гальске. Зажимы  $x-x$  и  $HK-HK$  соединяются толстыми кабелями с измеряемым сопротивлением, а зажимы  $g-g$  соединяются с гальванометром; источник тока (аккумулятор средней мощности) включается между зажимами  $HK$  и  $x$ . Выбрав подходящее отношение балансных сопротивлений:  $r_a/r_b = r_c/r_d$ , и включив сначала рубильником  $T_2$  источник тока, а затем рубильником  $T_1$  гальванометр, отыскивают на нейзильберовой проволоке  $M$  такое положение подвижного каната  $B$ , при котором гальванометр не давал бы отклонения как при включении, так и при выключении рубильника  $T_1$ . Тогда искомое сопротивление будет

$$R_x = r \cdot \frac{r_a}{r_b},$$

где  $r$  — отсчитываемое по шкале  $M$  сопротивление части нейзильберовой проволоки от точки  $O$  до контакта  $B$ .

Мостиком Томсона в выполнении завода Сименс-Гальске можно измерить сопротивление, находящееся в пределах от 0,000001 до 0,1 ома (тот же завод



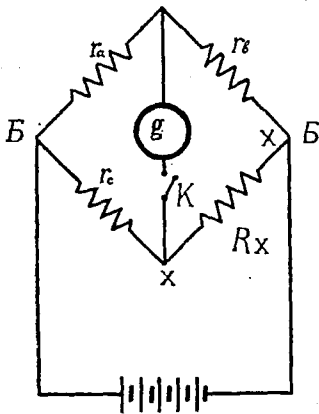
Фиг. 4.

строит мостики для сопротивлений 0,0000001 — 1 ом). Этот мостик пригоден для измерения обмотки якорей машин большой мощности и низковольтных.

#### Метод мостика Уитстона.

Собирается схема, указанная на фиг. 5. Измеряемое сопротивление толстыми проводниками соединяется с имеющимися у мостика зажимами  $x-x$ , а источник тока — один или два гальванических элемента — с зажимами  $B-B$ . Выбрав для сопротивлений плеч  $r_a$  и  $r_b$  значения по возможности близкие к измеряемому сопротивлению регулируют сопротивление третьего плеча  $r_c$  так, чтобы при замыкании рубильника  $K$  в цепи гальванометра отклонение последнего было равно нулю. Тогда измеряемое сопротивление будет:

$$R_x = r_c \frac{r_b}{r_a}.$$



Фиг. 5.

Если соединительные проводники, идущие от измеряемого сопротивления, длинные, то их сопротивление, заранее измеренное, следует вычесть из сопротивления  $R_x$ .

Мостиком Уитстона можно измерить сопротивления, находящиеся в пределах от 1 до 1000 омов. Сопротивления меньше 1 ома также можно измерить мостиком Уитстона, но при этом следует обратить внимание на необходимость возможно малого сопротивления соединительных проводов и совершенства [контактов штепселей в гнездах мостика (перед измерением необходимо прочистить штепселя и гнезда сухой тряпочкой, но без порошка)]. Завод Вестона изготовляет комбинированный мостик Уитстона-Томсона, весьма удобный для измерения сопротивлений малых и больших. Переход от одного мостика к другому производится простым всовыванием одного штепселя в гнездо мостика.

#### Метод падения (амперметра-вольтметра).

Измеряемое сопротивление включается в цепь тока последовательно с точным амперметром и регулируемым сопротивлением для установления той или иной силы тока. Точным (и подходящим по напряжению) вольтметром измеряют напряжение у концов измеряемого сопротивления, одновременно отмечая силу тока в цепи. Если  $V$  и  $J$  — показания вольтметра и амперметра, то искомое сопротивление будет  $R_x = V/J$ . Принимая во внимание и сопротивление вольтметра  $R_v$ , то же искомое сопротивление будет:

$$R_x = \frac{V}{J - \frac{V}{R_v}}.$$

Точность измерения тем больше, чем больше сила тока, проходящего через измеряемое сопротивление. Измерение нужно производить возможно быстрее, чтобы ток не успел заметно нагреть сопротивление; это обстоятельство диктует необходимость наличия двух наблюдателей (одного — у амперметра и другого — у вольтметра).

МЕТОД СРАВНЕНИЯ.

В том случае, когда в распоряжении не имеется подходящих по точности вольтметра и амперметра, но имеются эталоны сопротивления, неизвестное сопротивление можно измерить по методу сравнения. С этой целью последовательно с измеряемым сопротивлением включают эталон сопротивления. Пропустив надлежащий ток, концами цепи, состоящей из гальванометра и большого добавочного сопротивления, касаются зажимов эталона, а затем концов измеряемого сопротивления. Если в первом случае гальванометр дал отклонение  $\alpha$ , а во втором случае гальванометр дал отклонение  $\beta$ , то при сопротивлении эталона  $R_0$ , искомое сопротивление будет

$$R_x = R_0 \cdot \frac{\beta}{\alpha}.$$

Само собою разумеется, вместо гальванометра может быть взят вольтметр с достаточно большим собственным сопротивлением.

МЕТОД ВОЛЬТМЕТРА.

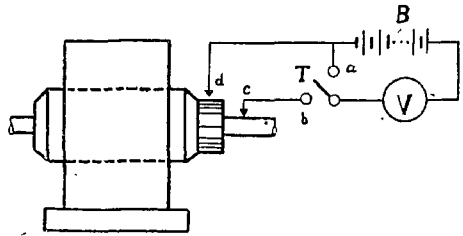
Собирают схему, подобную изображенной на фиг. 6, применительно к измерению сопротивления изоляции между обмоткою якоря и валом его; на этой схеме  $B$  — источник тока довольно высокого напряжения, а  $V$  — вольтметр с большим внутренним сопротивлением. Поставив переключатель  $T$  на контакт  $a$ , замечают показание вольтметра  $V_B$  (т.-е. измеряют собственно напряжение источника тока); поставив затем переключатель  $T$  на контакт  $b$ , снова замечают показание вольтметра  $V_x$ . Если  $R_v$  — сопротивление вольтметра, то в первом случае  $i_v = V_B/R_v$ ; во втором же случае  $i_x = V_x/(R_v + R_x)$ , где  $R_x$  — искомое сопротивление. Из последних равенств получается:

$$R_x = R_v \left( \frac{V_B}{V_x} - 1 \right).$$

Существуют приборы, называемые „меггерами“ (или омметрами), в которых надлежащим образом соединяются измерительный прибор и источник напряжения. Источником напряжения в меггере является магнито-электрический генератор, приводимый во вращение коленчатым рычажком от руки с такою

Испытание динамомашин постоянн. тока.

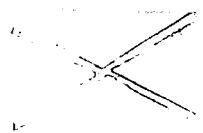
2



Фиг. 6.

3852  
7104 2583

ГОС ПУБЛИЧНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА СССР



3835 <sup>19</sup>/<sub>59</sub>

скоростью, при которой получается уже скольжение в передаче между якорем и рычажком. При этой скорости и надлежит производить отсчет. Меггер дает непосредственно величину измеряемого сопротивления в омах (или мегомах).

## 5. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ.

Температура частей машины измеряется: а) методом термометра, б) методом сопротивления, в) методом температурных детекторов.

### МЕТОД ТЕРМОМЕТРА.

Метод термометра заключается в измерении температуры частей машины ртутным или спиртовым термометром, прикладываемым к наружной поверхности этих частей. Спиртовой термометр применяется в тех случаях, когда существует опасение, что в месте расположения шарика термометра могут иметься переменные магнитные поля, которые в ртути термометра индуцировали бы токи Фуко и тем самым вносили бы ошибку в измерение.

При измерении температуры термометром шарик его должен плотно прилегать к поверхности той или иной части машины, напр., должен быть прижат к ней станиолевым листком или привязан бечевкой, а от охлаждения или нагрева соседними частями машины должен быть покрыт снаружи плохо проводящею теплоту массой, напр., ватой. Много ваты при этом брать не следует, так как покрытие большой поверхности части машины поведет к худшему охлаждению ее, а измеренная температура будет выше той, которая была бы без прикрытия.

При измерении термометром температуры вращающихся частей, именно якоря машины, необходимо, конечно, машину остановить. Чтобы сократить время остановки машины и ускорить отсчет по термометру, полезно последний подогреть приблизительно до температуры якоря. Отсчет следует брать спустя две-три минуты, чтобы дать температуре несколько установиться.

Приспосабливая к машине термометр, следует позаботиться о том, чтобы не разбился шарик с ртутью и чтобы конец с шариком не был выше другого конца; лучше термометр располагать вертикально. При измерении температуры окружающего машину воздуха термометр помещается на уровне средней части машины на расстоянии от нее от 1 до 2 м. Во избежание ошибок, происходящих из-за сдвига во времени в изменении температуры мощных машин и температуры окружающего воздуха, рекомендуется при испытании таких именно машин шарик термометра погружать в масло, налитое в цилиндрический металлический сосуд с диаметром не менее 25 мм и с высотой 50 мм.

### МЕТОД СОПРОТИВЛЕНИЯ.

Метод сопротивления применим к измерению температуры нагрева только обмоток машины. Он состоит в определении температуры обмоток по относительному увеличению их омического сопротивления при нагреве. Пусть  $R_T$  и  $R_\tau$  сопротивления обмотки при температурах  $T$  и  $\tau$  и  $\alpha$  — температур-

ный коэффициент меди при начальной температуре  $\tau$  (в предположении, что обмотка выполнена из медного провода). Тогда

$$R_T = R_\tau [1 + \alpha_\tau (T - \tau)].$$

Для хорошей проводниковой меди с проводимостью около 100% можно принять

$$\alpha_\tau = \frac{1}{235 + \tau}.$$

В таком случае температура нагрева будет

$$T = \frac{R_T}{R_\tau} (235 + \tau) - 235,$$

а нагрев в градусах или превышение температуры над температурой окружающего воздуха будет

$$T - \tau = \frac{R_T - R_\tau}{R_\tau} (235 + \tau).$$

Первое измерение сопротивления обмотки  $R_\tau$  производится обычно в ее „холодном“ состоянии, когда она имеет температуру окружающего воздуха  $\tau$ . Второе измерение сопротивления обмотки  $R_T$  производится в ее нагретом состоянии. Если бы температура окружающего воздуха во время опыта с нагревом обмотки менялась, и конечное значение ее было бы  $\tau'$ , то превышение температуры обмотки определяется по формуле

$$T - \tau' = \frac{R_T - R_\tau}{R_\tau} (235 + \tau) + \tau - \tau'.$$

Точно также, если бы первое измерение сопротивления обмотки было произведено в ее холодном состоянии при температуре  $\tau$ , а для охлаждения обмотки при работе была применена охлаждающая среда с температурой  $\tau'$ , то превышение температуры обмотки над температурой среды было бы

$$T - \tau' = \frac{R_T - R_\tau}{R_\tau} (235 + \tau) + \tau - \tau',$$

или

$$T - \tau' = \frac{R_T - R_\tau}{R_\tau} (235 + \tau) - (\tau' - \tau).$$

Измерение сопротивлений  $R_T$  и  $R_\tau$  следует производить быстро, чтобы ток измерения не изменил условий нагрева обмотки.

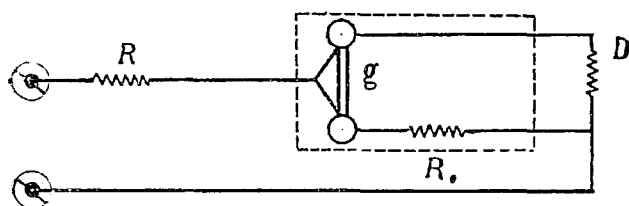
Температура, получаемая по методу сопротивления, представляет собою среднюю температуру обмотки, так как при определении ее учитывается нагрев всех частей обмотки, а он, как будет выяснено дальше, неодинаков в разных сечениях обмотки.

#### МЕТОД ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ.

В качестве температурных детекторов могут быть применены или катушечки из проволоки подходящего сопротивления, или же термоэлементы. В первом случае температура нагрева какой-либо части машины определяется

по увеличению сопротивления катушечки, предварительно заложенной тем или иным способом в эту часть машины; во втором случае температура определяется по увеличению тока термоэлемента при увеличении нагрева.

Катушечный детектор должен быть выполнен подходящей для опыта формы и из подходящего проводника с известным температурным коэффициентом (проводник может быть и медным). Сопротивление катушечки измеряется помощью мостика Уитстона или Томсона. Температуру нагрева катушечного детектора можно определить и путем непосредственного отсчета, если использовать следующую схему включения детектора (фиг. 7). На этой схеме детектор  $D$  соединен параллельно с сопротивлением  $R_0$ , имеющим температурный коэффициент равным нулю, т.-е. не зависящим от температуры; в цепь детектора и сопротивления  $R_0$  включен дифференциальный гальванометр, а в общую цепь — регулировочное сопротивление  $R$ . Сопротивление  $R_0$  так подбирается, чтобы в холодном состоянии детектора  $D$  стрелка гальванометра стояла на нуле. При нагреве детектора стрелка сместится с нуля, при чем



Фиг. 7.

угол смещения будет пропорционален отношению сопротивлений параллельных цепей. Предварительной градуировкой нетрудно перевести градусы отклонения гальванометра на градусы температуры нагрева детектора.

Что касается термоэлемента, то для измерения температур нагрева динамомашин вполне удовлетворительным может быть термоэлемент, изготовленный из проволоки: железной и константановой или медной и константановой, диаметром 0,2 — 0,3 мм. После скрутки концов таких проволок на длине около 0,5 мм, участок скрутки слегка разбивается молоточком, а затем пропаивается оловом. Оставшиеся концы проволок изолируются лентой, а место спайки заклеивается в тонкую бумагу.

Так как термоэлементы занимают весьма мало места, то иногда они закладываются в разные места машины (в пазы якоря под обмоткою, над обмоткою, между отдельными слоями обмотки и т. д.) при ее изготовлении на заводе. Но и у готовой машины термоэлементы могут быть размещены в таких местах, куда с термометром доступа нет. Электродвижущая сила, получающаяся от нагрева места спайки термоэлемента, незначительна (около 12 милливольт при 300°С нагрева, а потому ток, ею создаваемый, приходится измерять микроамперметром или гальванометром. Чтобы усилить ток, включают иногда два термоэлемента последовательно. Градуировку термоэлемента производят предварительно (помещая в подогреваемую масляную ванну) при тех соединительных проводах, которые будут иметься и при определении температуры; зависимость отклонения гальванометра от температуры нагрева для термоэлемента железо-константан почти прямолинейная. Если взять два термоэлемента



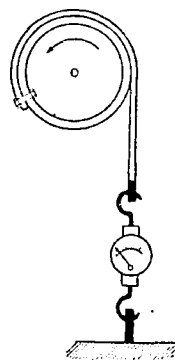
и включить их навстречу, то, помещая один в окружающем машину воздухе, а другой на нагретой части машины, можно определить повышение температуры этой части над температурой окружающего воздуха. При соединении термоэлемента с гальванометром важно наблюдать, чтобы места скрутки проводничков с железной и константановой проволокой находились при одинаковой температуре; лучше их расположить неподалеку друг от друга. В том случае, когда одним гальванометром определяют нагревы разных частей по нескольким термоэлементам одновременно, их градуируют предварительно каждый в отдельности, исправляя неодинаковые отклонения гальванометра путем включения в их цепи небольших сопротивлений. Затруднения, которые приходится преодолевать при подборе разных сопротивлений и, вообще, при непосредственном пользовании гальванометром, можно обойти применением потенциометра. В этом случае электродвижущая сила термоэлемента уравнивается противоэлектродвижущей силой потенциометра, и отсчет берется в отсутствии тока в термоэлементе. Благодаря этому сопротивление цепи термоэлемента не оказывает влияния на отсчет, если не считать некоторое (небольшое) влияние его на чувствительность гальванометра. Недостатком потенциометра являются манипуляции по установке нуля гальванометра при каждом отсчете.

Так как термоэлементы включаются на очень чувствительные и дорогие приборы, то при пользовании ими требуется особая осторожность. Цепь термоэлемента должна быть тщательно изолирована от цепей сильного тока, чтобы была исключена всякая возможность попадания в нее напряжения от другого источника тока. Если имеется несколько цепей с термоэлементами, то неспаянные концы подводятся к переключателю, при чем контакты переключателя должны быть сделаны из одного и того же металла и находиться при одной и той же температуре.

Термоэлементы при их простоте изготовления и незначительных размерах дают широкую возможность обстоятельного исследования нагрева всех частей машины.

## 6. ИЗМЕРЕНИЕ МОМЕНТА ВРАЩЕНИЯ.

Надобность измерения момента вращения встречается при испытании электродвигателей. Момент вращения электродвигателя пропорционален току в якоре и магнитному потоку индукторов и совершенно не зависит от того, вращается ли якорь, или нет. Его можно измерить, следовательно, и при неподвижном якоре. Практически это осуществляется следующим образом. Тем или иным способом прикрепляют к шкиву двигателя один конец мягкого ремня (или крепкого шнура), а другой конец его прикрепляют к динамометру (пружинным весам), в свою очередь прикрепленному к неподвижному предмету (фиг. 8). Пропускают через якорь и обмотку возбуждения тока, при которых желают определить момент вращения. Тяговое усилие в килограммах, определенное по динамометру, умноженное на радиус шкива в метрах, даст момент вращения в килограммометрах. Следует заметить, что на тяговое усилие при непо-



Фиг. 8.

движном якоре влияет его положение в магнитном поле индукторов, при чем это влияние тем заметнее, чем меньше зубцов на нем. Поэтому рекомендуется измерять момент вращения при двух-трех положениях якоря и взять среднее значение. За отсутствием пружинных весов можно воспользоваться и чашечными. С этой целью к шкиву якоря со стороны вала прикрепляется тем или иным способом один конец легкого рычага так, чтобы его ось вращения совпадала с осью якоря, а другой конец опирался на чашку обычных весов. Давление рычага уравнивается гирями. Момент вращения равен произведению силы давления рычага на чашку весов и длины плеча рычага (от центра вала якоря до точки опоры рычага на чашке весов).

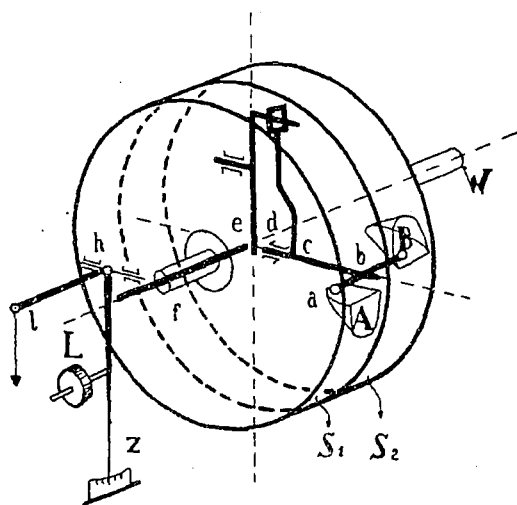
При вычислении мощности по моменту вращения или, наоборот, момента вращения по мощности следует пользоваться при пересчетах следующими соотношениями (принятыми Союзом германских электротехников):

$$\begin{aligned} 1 \text{ кг/сек.} &= 0,0098 \text{ kW} = 0,0133 \text{ PS} \\ 1 \text{ PS} &= 0,735 \text{ kW} = 75 \text{ кг/сек.} \\ 1 \text{ kW} &= 1,36 \text{ PS} = 102 \text{ кг/сек.} \end{aligned}$$

Следует иметь в виду, что английская и американская лошадиная сила равна 746 ваттам.

## 7. ИЗМЕРЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ.

Надобность в измерении механической мощности встречается как при испытании генераторов, так и при испытании двигателей, и именно при определении коэффициента полезного действия их. Непосредственное измерение механической мощности, подводимой к валу генератора, производится помощью динамометров, при чем некоторые из них измеряют полезное натяжение ремня, т.-е. разность натяжений сбегającego и набегающего концов, другие — измеряют непосредственно вращающий момент. На фиг. 9 изображен схематически динамометр Фишингера, применимый при ременной передаче. Он состоит из двух свободно насаженных на вал  $W$  шкивов  $S_1$  и  $S_2$ , из которых один ременной передачей соединяется с первичным двигателем, а другой, также ременной передачей, соединяется с испытуемым генератором. Между шкивами устанавливается связь при посредстве рычага  $ab$ , опирающегося на приливы внутри шкивов  $A$  и  $B$ . При вращении ведущий шкив увлекает ры-



Фиг. 9.

лем, а другой, также ременной передачей, соединяется с испытуемым генератором. Между шкивами устанавливается связь при посредстве рычага  $ab$ , опирающегося на приливы внутри шкивов  $A$  и  $B$ . При вращении ведущий шкив увлекает ры-

чаг  $ab$ , который, в свою очередь, увлекает ведомый шкив; при этом рычаг  $ab$  несколько поворачивает ось  $C$  с рычажком  $d$ . Поворот рычажка  $d$  имеет следствием перемещение стерженька  $f$ , расположенного внутри вала и упирающегося в вертикальное колено рычага  $Ll$ . Давление стерженька  $f$  уравнивается грузиком  $g$ , передвигаемым по колену  $l$  рычага  $Ll$ . Плечи всех рычажков и грузик  $g$  так подобраны, что длина плеча  $l$ , отмечаемая грузиком, дает в кг полезное натяжение ремня  $f$ . Если  $D$  диаметр шкива в метрах и  $n$  — число оборотов шкива в минуту, то передаваемая мощность в лошадиных силах будет

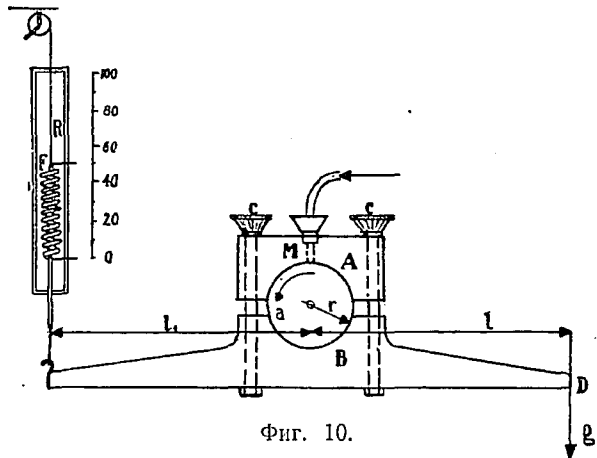
$$P_{л.с.} = \frac{\pi D \cdot f \cdot n}{60 \cdot 75}$$

Описанным динамометром можно измерить мощности порядка 10 — 30 — 80 лошадиных сил.

Измерение динамометром механической мощности, подводимой к генератору, не всегда возможно; поэтому эта мощность часто определяется по индикаторным диаграммам — при паровых двигателях и двигателях внутреннего сгорания, или же по количеству расходуемого пара — при паровых турбинах (см. специальные руководства по испытанию первичных двигателей).

Измерение механической мощности, развиваемой электродвигателем на своем валу, производится помощью механических или электрических тормозов.

На фиг. 10 представлен схематически механический тормоз Прони. Он состоит из двух деревянных колодок



Фиг. 10.

$A$  и  $B$ , надвигаемых при торможении на шкив двигателя и стягиваемых болтами  $C-C$ . Нижняя колодка имеет длинные плечи; к одному из них подвешиваются грузы  $G$ , удерживающие тормоз в горизонтальном положении при работе двигателя. Для того, чтобы придать тормозу большую устойчивость при торможении<sup>1</sup> и иметь возможность быстро и точно уравнивать моменты вращения и сопротивления, тормоз Прони снабжается особым приспособлением, состоящим из стальной пружины  $F$ , один конец которой прикреплен к свободному плечу тормоза, а другой может перемещаться вверх или вниз помощью шнура, переброшенного через блок. Пружина снабжена двумя указателями, из которых один — нижний — при горизонтальном положении тормоза располагается против нуля шкалы, а другой —

<sup>1</sup> Так как поверхность шкива во время торможения обильно смачивается водой, то коэффициент трения колодок тормоза о шкив меняется за очень короткий промежуток времени в довольно больших пределах.

верхний, — передвигаясь по последней, указывает силу натяжения пружины. Определение силы натяжения пружины, другими словами, градуировка шкалы производится предварительно следующим образом: подвешивают к свободному концу пружины определенные по весу грузики и каждый раз натягивают другой конец ее до тех пор, пока нижний указатель не расположится против нуля шкалы. Откладывая затем веса грузиков по оси абсцисс, а показания верхнего указателя по оси ординат, получают кривую (почти прямую), пользуясь которой легко уже найти силу натяжения для любого деления шкалы.

Само торможение двигателя, напр. шунтового, тормозом Прони ведется в следующем порядке: пускают двигатель вхолостую и регулируют возбуждение так, чтобы число оборотов его было нормальным. Затем надевают на шкив тормоз, плечи которого предварительно тщательно выбалансированы, и, подвесив к одному плечу тормоза  $D$  какой-либо груз  $G$ , стягивают осторожно колодки  $A$  и  $B$  болтами  $CC$  до тех пор, пока тормоз не будет иметь стремления занять горизонтальное положение. Для того, чтобы привести тормоз в совершенно горизонтальное положение, натягивают пружину  $F$  до тех пор, пока нижний указатель не расположится против нуля шкалы. В этот момент замечают по шкале положение второго указателя и производят отсчеты силы тока в якоре и числа оборотов, проверив предварительно, не изменился ли ток возбуждения. (Последний может измениться от нагревания шунта, — обстоятельство, которое не следует упускать из виду при всех испытаниях двигателя.) Подвесив к плечу  $D$  другой какой-либо груз, поступают совершенно так же.<sup>1</sup> Повторяя опыт при разных грузах, нетрудно затем уже установить и зависимость между нагрузкою и другими переменными величинами, характеризующими работу двигателя.

Пусть вес груза, приложенного к плечу  $D$ , равен  $G$  кг, а напряжение пружины  $F$  равно  $G_1$  кг. Если через  $l$  и  $l_1$  обозначить длины соответствующих плеч тормоза в метрах (фиг. 10) и через  $r$  — радиус шкива, тоже в метрах, то при равновесии, когда, следовательно, момент трения о колодки равняется вращающему моменту:

$$M \text{ кг/м} = f \cdot r = Gl + Gl_1,$$

где  $f$  — сила трения между шкивом и тормозом. Так как двигатель вращается при этом с числом оборотов  $n$  в минуту, то работа его будет в килограммометрах-секундах

$$P \text{ кг/м} = f \cdot \frac{2\pi nr}{60} = \frac{Gl + G_1 l_1}{r} \cdot \frac{2\pi nr}{60} = \frac{2\pi n}{60} (Gl + G_1 l_1),$$

или в лошадиных силах

$$P \text{ л. с.} = \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{1}{75} \cdot (Gl + G_1 l_1);$$

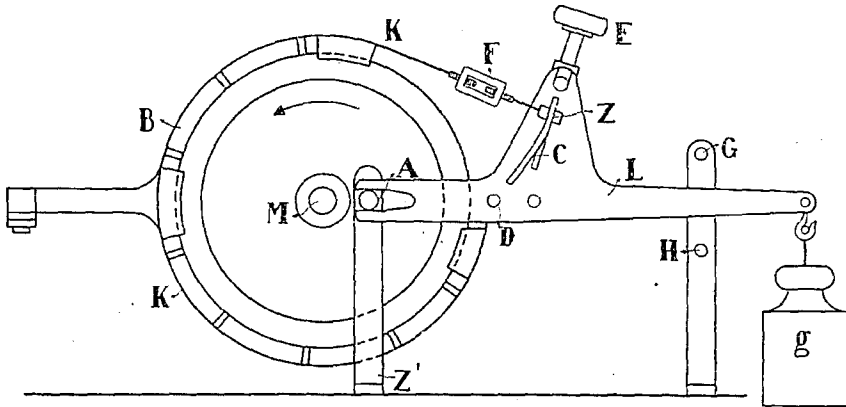
и в ваттах

$$P \text{ ватт} = \frac{2\pi n}{60 \cdot 75} \cdot (Gl + G_1 l_1) \cdot 735 \text{ ватт} = 1,028 n (Gl + G_1 l_1).$$

<sup>1</sup> В продолжение всего опыта шкив интенсивно охлаждается водою, поступающею в отверстие  $M$ , сделанное в верхней колодке  $A$ .

При торможении тормозом Прони может случиться, что коэффициент трения шкива о колодки возрастет настолько быстро,<sup>1</sup> что наблюдатель не успеет раздвинуть колодки помощью болтов *СС*, т.-е. уменьшить давление их на шкив, и двигатель вследствие этого окажется заторможенным до остановки. Это неудобство устранено в тормозе Губерта (фиг. 11) тем, что давление колодок на шкив регулируется в известных пределах автоматически.

Тормоз Губерта состоит из стальной ленты *К*, к которой прикреплены деревянные колодки *В*, прилегающие при торможении к наружной поверхности шкива. Одним концом лента соединена с рычагом *L*, другим — с муфтой *F*, помощью которой можно натянуть эту ленту с желаемой силой. Рычаг *L* с одной стороны снабжен вилкой со стальным эластичным язычком *А*, предполагаемым между задержками неподвижной стойки *Z'*, а с другой — крючком



Фиг. 11.

для подвешивания груза *G*. Само торможение производится следующим образом: установив неподвижную стойку *Z'* так, чтобы язычок вилки *A* и точка прикрепления ленты к рычагу *D* были на одной горизонтали с валом двигателя, подвешивают к рычагу *L* какой-либо груз *G* и, сначала муфтой *F* грубо, а затем винтом *E*, передвигающим салазки *Z*,<sup>2</sup> более тщательно, натягивают ленту до тех пор, пока рычаг *L* не примет горизонтальное положение, и язычок его не будет свободно играть между задержками стойки *Z'*. В этот момент — момент равновесия действующих сил — производят все необходимые отсчеты.

Пусть *f* — сила трения шкива о колодки, *r* — радиус шкива в метрах и *l* — расстояние точки приложения груза *G* до центра вала в метрах. Тогда момент вращения двигателя будет:

$$M \text{ кг/м} = G \cdot l = f \cdot r,$$

а мощность его

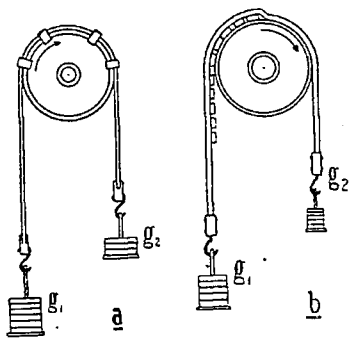
$$P \text{ л. с.} = \frac{2\pi l}{60 \cdot 75} G \cdot l.$$

<sup>1</sup> Изменение коэфф. трения происходит главным образом от неравномерности смачивания водою поверхности соприкосновения шкива с колодками тормоза.

<sup>2</sup> К которым прикреплен один стяжной винт муфты *F*.

Если бы случайно коэффициент трения между колодками и шкивом сразу увеличился, то рычаг  $L$  повернулся бы около точки  $A$  по направлению вращения двигателя, и натяжение ленты, а след. и давление колодок  $B$  на шкив, стало бы меньше. С другой стороны, если бы коэффициент трения значительно уменьшился, то рычаг  $L$  повернулся бы в сторону, противоположную направлению вращения, лента натянулась бы и давление колодок увеличилось. Благодаря такому устройству и тому, что охлаждение шкива в данном случае происходит с внутренней стороны, для чего шкив на внутренней поверхности снабжается ребордами, работа с тормозом Губерта менее мешкотна, нежели работа с тормозом Прони.

Для двигателей небольшой мощности особенно пригодными в отношении быстроты изготовления и малой стоимости являются тормоза, изображенные схематически на фиг. 12 а и б. Первый из них состоит из мягкого ремня,



Фиг. 12 а, б.

снабженного на двух концах крюками для подвешивания грузиков  $G_1$  и  $G_2$  и  $\sigma$ -образными скобочками, наложенными на наружную поверхность ремня для того, чтобы последний не сполз при торможении со шкива. Та или иная нагрузка двигателя устанавливается уменьшением или увеличением грузиков  $G_1$  и  $G_2$ . Если  $r$  — радиус шкива и  $n$  — число оборотов двигателя, то

$$P \text{ л. с.} = \frac{2\pi r \cdot n}{60 \cdot 75} (G_1 - G_2).$$

Второй тормоз, фиг. 12 б, более совершенен, нежели первый, так как он автоматически регулирует тормозящее усилие. Этот тормоз состоит также из ремня, на части которого прикреплены медные полоски. При торможении ремень накладывается на шкив так, как указано на фиг. 12 б; легко видеть, что тормозящей частью служит только часть ремня, соответствующая приблизительно дуге  $90^\circ$ . Если бы по какой-либо причине сила трения увеличилась, то грузик  $G_1$  приподнялся бы, и тормозящая часть ремня укоротилась; если бы сила трения уменьшилась, то грузик  $G_1$  опустился бы, и тормозящая часть ремня удлинилась. Таким образом, происходит автоматическое регулирование тормозящего усилия. Как и при первом тормозе,

$$P \text{ л. с.} = \frac{2\pi r n}{60 \cdot 75} (G_1 - G_2).$$

Что касается магнитоэлектрических тормозов, то действие их основано на том явлении, что если в магнитном поле вращается массивный металлический диск, в нем индуцируются токи Фуко, противодействующие вызвавшему их вращению. На фиг. 13 представлен магнитоэлектрический тормоз Паскалинни. На вал испытуемого двигателя насаживается медный диск  $K$ . Два электромагнита  $M_1$  и  $M_2$  прикреплены к железной раме  $R$ , опирающейся на трехгранную призму  $C$ . Рама снабжена двумя рычагами, по которым передвигаются грузики  $G_1$  и  $G_2$ ;

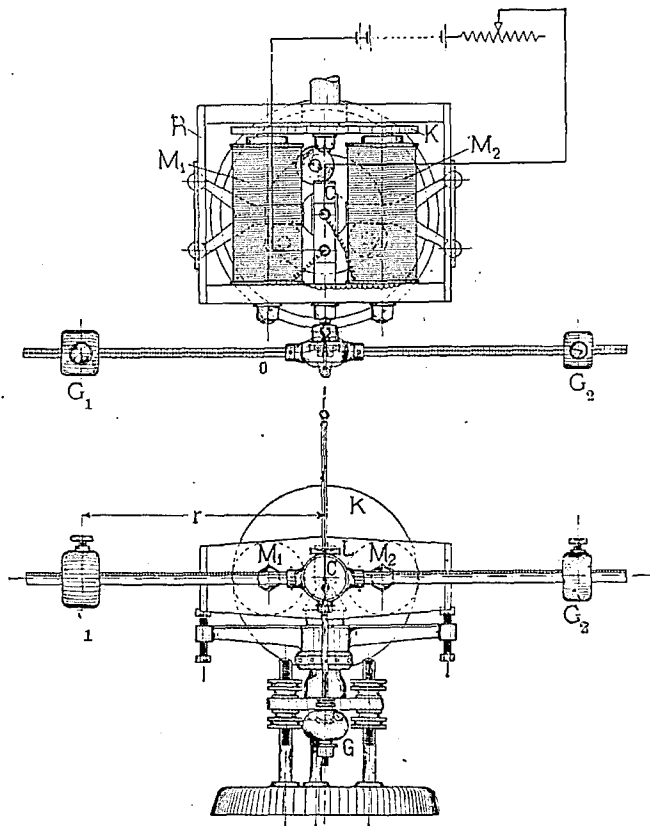
меньший из них  $G_2$  служит исключительно для уравновешения грузика  $G_1$ , когда он находится на нуле шкалы своего рычага. При вращении диска  $K$  в магнитном поле, создаваемом электромагнитами  $M_1$  и  $M_2$ , к диску будут приложены две равные, но взаимно противоположные силы. Одна из них обуславливается вращающим моментом двигателя, а другая — взаимодействием между токами Фуко, индуцированными в диске, и магнитным полем электромагнитов  $M_1$  и  $M_2$ . По закону механики такая же по величине, но обратная по направлению сила будет приложена и к электромагнитам. И так как эти электромагниты свободно опираются на трехгранную призму  $C$ , то для того, чтобы они находились в равновесии, рычагу их необходимо приложить некоторое усилие. Практически это достигается передвижением грузика  $G_1$  влево до тех пор, пока рама  $R$  не займет горизонтальное положение. Если при этом  $r$  — расстояние грузика от точки подвеса рамы  $C^1$  в метрах, а  $n$  — число оборотов в минуту двигателя, то мощность его в лошадиных силах:

$$P \text{ л. с.} = \frac{2\pi n \cdot G_1 \cdot r}{60 \cdot 75} = A \cdot r \cdot n,$$

где  $A = \frac{2\pi \cdot G_1}{60 \cdot 75}$  — постоянная для данного грузика  $G_1$ .

Заменяя грузик  $G_1$  другим грузиком, легко изменить и постоянную прибора  $A$  в зависимости от мощности испытуемого двигателя.

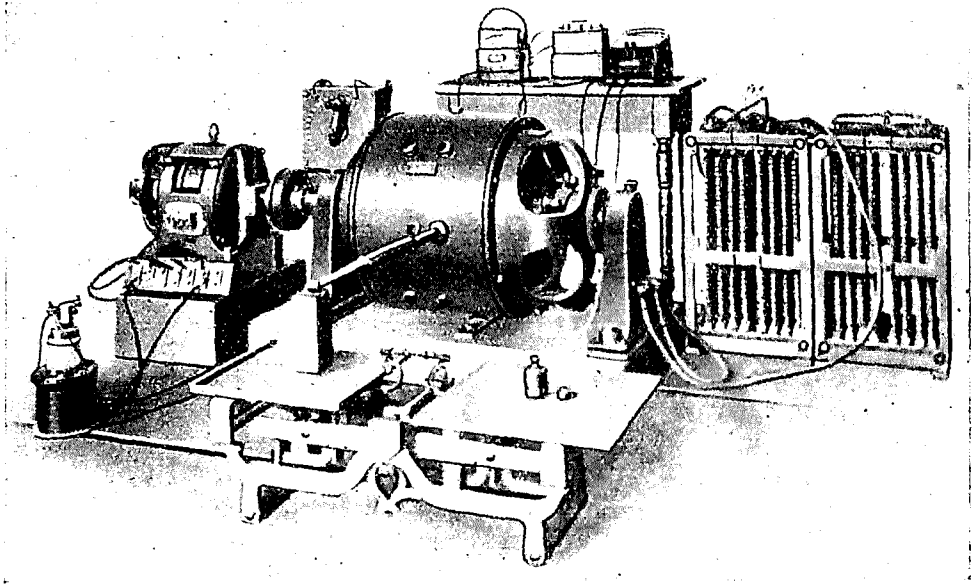
Магнитоэлектрические тормоза работают весьма спокойно и при торможении двигателей мощностью до 2—3 л. с. предпочитают механическим



Фиг. 13.

<sup>1</sup> Точка подвеса рамы  $C$  и ось вала двигателя должны быть расположены на одной линии.

тормозам. Для двигателей же средней мощности электрические тормоза были бы слишком громоздки и потребовали бы искусственного охлаждения медного диска. Значительно целесообразнее в таких случаях применять так называемые динамотормоза. Динамотормоз представляет собою динамомашину постоянного (или переменного) тока со щитками, вал которой расположен в двух дополнительных шариковых подшипниках, находящихся по обеим сторонам машины (фиг. 14). При такой конструкции корпус машины с полюсами мог бы вращаться около своей оси. Однако, благодаря небольшим штангам, прикрепленным перпендикулярно оси машины к корпусу, последний может только свободно качаться на валу якоря.



Фиг. 14.

На одной штанге имеется подвижной грузик, которым балансируется весь корпус со штангами. Вторая штанга своим концом опирается на чашку весов. При вращении якоря такой машины испытуемым двигателем машина превращается в обычный генератор, и может отдавать ток или нагрузочным реостатам или сети постоянного тока, будучи включена к ней параллельно. Корпус ее, вследствие электромагнитных сил, возникающих между индукторами и якорем, поворачивается в сторону вращения якоря до тех пор, пока не встретит препятствия со стороны штанги, опирающейся на чашку весов. Чтобы привести корпус в равновесие, необходимо на другую чашку весов положить груз, равный давлению конца штанги. Произведение из веса груза в килограммах на длину плеча штанги (считая до оси вала якоря) и даст момент, передаваемый испытуемым двигателем валу динамотормоза. Пусть, напр.,  $G$  — давление на чашку весов в килограммах,  $l$  — длина плеча штанги в метрах; тогда момент



вращения в килограммометрах будет  $M = G \cdot l$ . Пусть, далее,  $n$  — число оборотов якоря в минуту, тогда мощность в лошадиных силах будет

$$P \text{ л. с.} = \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot \frac{G \cdot l}{75} = \frac{G \cdot l \cdot n}{716,2}.$$

Если взять длину плеча штанги  $l = 716,2$  мм, то

$$P \text{ л. с.} = \frac{G \cdot n}{1000}.$$

Следует заметить, что последним выражением учитывается и та мощность двигателя, которая идет на покрытие потерь трения вала в подшипниках щитка и щеток о коллектор, так как сила этого трения действует на корпус в ту же сторону, куда действуют электромагнитные силы (именно в сторону вращения вала), и уравнивается, следовательно, силою, приложенною к плечу штанги. Потери трения в крайних подшипниках и о воздух в выражение для мощности не входят, и потому эти потери необходимо свести до наименьшего значения. С этою целью крайние подшипники берутся шариковыми. Чтобы при точных измерениях учесть и эти последние потери, их определяют предварительно (см. главу о разделении потерь в динамомашинках).

Наилучшее соединение динамотормоза с испытуемым двигателем — непосредственное эластичной муфтой. Так как динамомашину постоянного тока можно построить для широкого диапазона скоростей, то непосредственная связь с двигателем почти всегда возможна. Но возможна связь и ременная, если двигатель по числу оборотов не подходит к динамотормозу.

Преимущество динамотормоза перед другими тормозами то, что мощность торможения может быть полезно использована, например, возвращена обратно в сеть. Оставаясь продолжительно включенным на реостаты или на сеть, динамотормоз дает возможность производить испытания на продолжительную нагрузку. Динамотормоза строятся на мощности от 2 до 300 kW и для чисел оборотов от 500 до 3500 в минуту.

## ГЛАВА ВТОРАЯ.

### ПОДГОТОВКА ДИНАМОМАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА К ИСПЫТАНИЮ.

Приступая к испытанию внутренних свойств динамомашины, необходимо самым тщательным образом исследовать ее наружное состояние и устранить недочеты, явившиеся результатом небрежной сборки, неаккуратной перевозки, неудовлетворительного хранения на складе, и т. д. Предметами внимания при осмотре и подготовке машины к испытанию являются: 1) коллектор, 2) щеточный аппарат, 3) междужелезное пространство, 4) подшипники, 5) шкив или муфта, 6) коробка с зажимами, 7) полярность полюсов, 8) намагничение полюсов, 9) положение щеток на нейтральных, 10) схема соединений между якорем, намагничивающей обмоткой и реостатами.

#### 1. КОЛЛЕКТОР.

Состояние коллектора предопределяет качество машины при эксплуатации. Правильное очертание и гладкая поверхность коллектора являются двумя условиями, содействующими снятию с него тока без искрения и тем самым обеспечивающими долговечность машины. Коллектор должен быть прежде всего строго цилиндрическим, чтобы щетки при вращении якоря не ходили вверх-вниз в своих направляющих, при чем это требование относится к нормально нагретому коллектору, так как очертание холодного коллектора иногда отличается от очертания нагретого коллектора. Ни одна пластинка коллектора не должна быть выше или ниже других соседних пластинок, как при неподвижном, так и при вращающемся якоре. Точно также не должны выступать и миканитовые прокладки между коллекторными пластинками. Шероховатость, выбоины, борозды на поверхности коллектора не должны иметь место. Поверхность коллектора у работавшей уже машины должна иметь вид блестящего зеркала. Обнаруженную неправильность очертания коллектора необходимо так или иначе устранить, не оставиваясь перед обточкою его. Обточку коллектора можно произвести двумя способами: или резцами, или же алундовыми шлифовальными кругами (но никоим образом не напильниками). Обточка резцами производится или на токарном станке, если диаметр и вес якоря позволяют произвести эту операцию, или на месте; в последнем случае к раме машины прилаживается так или иначе суппорт для перемещения резца параллельно оси коллектора. Скорость вращения коллектора при обточке резцами не должна превышать 7—10 м в минуту; игра

вала в подшипниках, если обточка происходит на месте, должна быть устранена насадкой на вал упорных колец. Первую обточку можно произвести обыкновенным острым резцом; вторую шлихтовую обточку следует произвести резцом с особо острым концом при подаче не более  $\frac{1}{10}$  мм на один оборот. После обточки и тщательного удаления медных стружек с коллектора он шлифуется стеклянной или карборундовой бумагой (но никоим образом не наждачной, так как наждак содержит иногда металлические частички, которые могут запасть в углубления между коллекторными пластинками). Шлифовальная бумага закладывается в деревянную колодку, обточенную по окружности коллектора. Для той же цели можно применить и кусок мелкого песчаника, придав ему надлежащее очертание по поверхности соприкосновения (это так называемый коллекторный камень).

Обточка коллектора резами имеет некоторые отрицательные стороны: во-первых, миканитовые прокладки между пластинами резцом ломаются, а не срезаются; во-вторых, вследствие неодинаковой крепости миканита и меди пластинок последние получаются с некоторым горбыльком по середине; в-третьих, не всегда удается пройти весь коллектор одним резцом из-за его притупления, перемена же резца может нарушить правильность работы; в-четвертых, прилаживание суппорта к машине — дело часто не простое.

Лучший способ обточки коллектора — это обточка помощью прикрепленного к раме машины прибора с алундовым шлифовальным кругом, имеющим возможность перемещаться вдоль коллектора по шпинделю, приводимому во вращение небольшим моторчиком. В этом случае обточка производится на месте, при чем коллектор может вращаться с его нормальным числом оборотов (в обратную сторону вращения шлифовального круга) и предварительно подогретым, что весьма важно, так как условия обточки получаются одинаковыми с условиями нормальной работы коллектора. Недостаток обточки шлифовальным кругом — некоторая медленность работы.

Приводя в порядок коллектор, не следует упускать из виду необходимости некоторой (примерно от 1,5 до 2 мм) продольной игры якоря в подшипниках для равномерного изнашивания поверхности коллектора и устранения образования на ней борозд. При работе машины возможные загрязнения коллектора устраняются чистой тряпкой (не концами), немного смоченной хорошим машинным маслом. Какая-либо смазка коллектора (помадой) в большинстве случаев излишня, в особенности при мягких щетках. Если бы случайно (напр., от внезапной перегрузки) на коллекторе появились черные места, их необходимо тотчас же удалить шлифовкой при помощи стеклянной или карборундовой (но не наждачной) бумаги, закладываемой в деревянную колодку с вырезом по дуге коллектора. Шлифовка бумагой, уложенной просто в ладонь руки, не допускается.

## 2. ЩЕТОЧНЫЙ АППАРАТ.

Щеточный аппарат составляют: 1) щеточная звезда (или мостик), насаженная на подшипник или на станину машины, 2) щеточные траверсы, или пальцы, удерживаемые щеточной звездой и служащие для насадки щеток,

3) токособирательные шины, 4) щеточная арматура (или держатели щеток) и 5) собственно щетки. Все перечисленные элементы щеточного аппарата должны быть при испытании машины в надлежащем порядке. В частности, щеточная звезда должна иметь прочную посадку и крепление на заточке подшипника или станины, допускающие, однако, свободное перемещение ее вокруг осп вала; щеточные траверзы, или пальцы, должны быть хорошо закреплены (при надлежащей изоляции) в лучах звезды и быть на одинаковом расстоянии друг от друга и от оси машины; кроме того, они должны быть обязательно параллельны образующей коллектора в обеспечение одинакового прилегания сидящих на них щеток. Щеточные траверзы должны иметь прочный контакт с токособирательными шинами, а последние — с отводящими ток кабелями.

Предметами инспектирования щеточной арматуры или щеточных держателей, являются: прочное крепление на траверзе, надлежащее действие нажимных пружинок, надлежащий поворот в отношении направления вращения коллектора и относительно свободное перемещение щеток в оправах, если речь идет об угольных щетках.

В отношении состояния самих щеток главное внимание должно быть сосредоточено на поверхности соприкосновения их с коллектором и на степень прижатия их к нему. Щетка должна иметь хороший контакт по всей поверхности соприкосновения с коллектором. Если в этом имеется сомнение, то щетку надлежит притереть к коллектору; при этом поступают следующим образом. Между щеткою и коллектором просовывают полоску стеклянной бумаги шкуркой вверх и, прижав полоску к коллектору, перемещают ее вперед-назад до тех пор, пока щетка не пришлифуется по всей своей поверхности. Прюделав это со всеми щетками, очищают коллектор, щетки, щеточную арматуру и траверзы от угольной пыли и затем регулируют давление каждой щетки при помощи натяжных винтов и пружинок щеткодержателя так, чтобы оно находилось в пределах 100—130 г на 1 кв. см поверхности щетки. Одновременно устанавливают щетки так, чтобы, во-первых, концы щеток одной траверзы были расположены по одной прямой линии (за исключением специальных случаев, когда щетки по существу должны иметь взаимный сдвиг, например, при сложно-последовательной обмотке якоря), во-вторых, чтобы щетки по окружности коллектора были расположены на одинаковом расстоянии друг от друга. Первое достигается установкою щеток одной траверзы по линии, совпадающей с краем коллекторной пластинки. Равенство же расстояний между щетками по окружности коллектора устанавливается или по числу коллекторных пластин, имеющихся между сбегаящими концами щеток, или же следующим способом (см. главу об исследовании коммутирования): берут ленту из плотной бумаги, обвивают вокруг коллектора и отмечают место перекрытия ее концов. Отрезав оставшийся конец, складывают ленту столько раз, сколько имеется траверз, и отмечают места перегибов; затем снова накладывают ленту на коллектор, совмещая одну отметку на ленте с линией щеток какой-либо траверзы, и по относительному положению других отметок и краев щеток судят о равенстве расстояний между щетками разных траверз. Так как бу-

мажная лента непрочна и при соприкосновении с нагретым коллектором может покоробиться, то лучше для той же цели применить ленту из тонкой меди.

Исследование щеточного аппарата в некоторых случаях полезно завершить проверкой равномерного распределения тока между отдельными щеточными траверзами, ибо оно является одним из важнейших факторов хорошего коммутирования машины. Эта проверка может быть произведена следующим способом. Щеточные траверзы сначала изолируются от токособирательных шин, а затем соединяются с ними через нейзильберовые проволоки (или ленты) одинаковой длины и одинакового сечения, следовательно, одинакового, измеренного заранее, сопротивления. Запустив машину, измеряют милливольтметром падения напряжения в нейзильберовых проволоках и по этим падениям определяют токи, идущие через отдельные траверзы. В том случае, когда известно, что якорь имеет петлевую обмотку и требуется лишь установить вероятность неравномерного распределения тока между пальцами, ограничиваются измерением напряжения между изолированными от токособирательных шин однопотенциальными траверзами. При полной симметрии распределения магнитного поля вокруг якоря напряжение между однопотенциальными траверзами должно равняться нулю, если только петлевая обмотка якоря не снабжена эквипотенциальными соединениями. (Если эти соединения имеются, то на время опыта их необходимо отсоединить от обмотки, иначе они выровняют имеющееся напряжение между щетками.) Неравномерное распределение тока между щеточными траверзами обычно устраняется надлежащею установкою междужелезного пространства.

### 3. МЕЖДУЖЕЛЕЗНОЕ ПРОСТРАНСТВО.

Неравенство длин междужелезного пространства под полюсами многополюсной машины имеет следствием неравенство электродвижущих сил в параллельных ветвях обмотки якоря, что ведет, во-первых, к уравнивающим токам в них, несомненно ухудшающим коммутирование, и, во-вторых, к чрезмерному нагреву якоря даже при холостой работе машины. Неравенство длин междужелезного пространства есть результат неудовлетворительной сборки машины и центрировки ее якоря.

Практически длины междужелезного пространства измеряются особым щупом, представляющим собою тонкий и узкий стальной клин с нанесенными на нем отметками толщин в разных местах по длине клина. Этот клин вставляется в междужелезное пространство до легкого отказа под серединою полюса один раз со стороны коллектора, другой раз со стороны шкива, и каждый раз отмечается деление, приходящееся против реборды полюса. Проведя указанные манипуляции со всеми полюсами, повертывают якорь на один полюсный шаг и снова повторяют измерение под всеми полюсами. Если расхождение в длинах междужелезного пространства под разными полюсами не превосходит 15—20%, от средней, то считают, что машина не требует повторной центрировки якоря, так как точность самого измерения не столь велика: бандажи и неровности на якоре не дают повысить точность измерения.

Одновременно с установлением правильности распределения между железного пространства под всеми полюсами при одном или двух положениях якоря полезно удостовериться в отсутствии эксцентриситета якоря. С этой целью щупом измеряют длину между железного пространства под серединою одного полюса, поворачивая якорь каждый раз хотя бы на один-два зубца. Незначительные расхождения в полученных длинах укажут на отсутствие эксцентриситета у якоря.

Правильность центрировки якоря многополюсной машины может быть испытана электрическим путем. Предварительно устанавливают щетки на нейтраль; затем поднимают щетки всех траверз, за исключением щеток траверз № 1 и № 2, и при холостой работе машины (генератором) измеряют напряжение между ними. Подняв щетки траверзы № 1, накладывают щетки траверзы № 3 и снова измеряют напряжение; далее поднимают щетки траверзы № 2, накладывают щетки траверзы № 4 и измеряют напряжение, и т. д. Если якорь хорошо центрирован, то измеренные напряжения будут равны.

#### 4. ПОДШИПНИКИ.

Подшипники динамомашин постоянного тока в большинстве случаев снабжаются кольцевой смазкою: легкое латунное кольцо располагается на цапфе вала и своею нижнею частью погружается в резервуар с маслом. При вращении вала кольцо приходит также во вращение и захватывает с собою масло на цапфу. После того как масло прошло по каналам, сделанным в стакане подшипника, оно сливается снова в резервуар; таким образом, во время работы машины имеет место непрерывная циркуляция масла.

Перед первым пуском машины в ход полезно промыть подшипники керосином; с этой целью струя керосина при медленном вращении машины направляется сверху на смазочные кольца. Керосин проходит через каналы внутренней части подшипника, увлекает с собою посторонние мелкие частички (пыль) и собирается в резервуаре для масла, откуда и удаляется через имеющееся с боку подшипника отверстие. После того как керосин удален, через верхнее отверстие подшипника наливают масло до тех пор, пока оно не дойдет до определенной высоты стеклянной трубочки, сообщающейся с масляным резервуаром. Затем, пустив машину в ход, наблюдают, равномерно ли вращается кольцо, хорошо ли оно захватывает масло, хорошо ли масло проходит через канал во вкладыше, не выбрасывается ли масло из подшипников и не ползет ли оно по валу на коллектор и на обмотку якоря. Раз запущенную машину оставляют работать вхолостую некоторое время, чтобы дать притереться валу, наблюдая непрерывно за температурою нагрева подшипника. Недостаточная подача масла, плохая пригонка цапфы вала к вкладышу, тугая подтяжка крышки подшипника, плохая выверка вала, плохое качество масла — все эти недостатки быстро скажутся в чрезмерном нагреве подшипника. Масло для смазки берется минеральное, средней густоты, с удельным весом 0,9 и с температурою воспламенения не ниже 150° Ц.

Если машина имеет ременную передачу, то особое внимание следует уделить подшипнику, находящемуся со стороны шкива.

### 5. ШКИВ.

Шкивы у динамомашин могут быть чугунными, стальными, со стальным ободом и чугунною втулкой, с деревянным ободом и чугунною втулкой, с бумажным ободом и чугунною втулкой. В отношении прочности нужно отдать преимущество стальному шкиву. Однако наиболее распространенными являются чугунные шкивы. Шкив впервые запускаемой машины должен быть тщательно инспектирован в отношении отсутствия раковин, трещин, неправильностей отливки, неправильностей насадки и т. п.

Если число оборотов машины велико, а диаметр шкива значителен, то не мешает проверить путем подсчета напряжение металла в ободке и ручках, исходя из того, что линейная скорость в 25 м в секунду дает напряжение около 85 кг на кв. см; для чугунных шкивов это напряжение является обычным.

### 6. РЕМЕНЬ.

Ремень, предназначенный для вращения динамомашин, должен иметь строго одинаковую толщину по всей длине; поэтому концы его должны быть тщательно сшиты в притык или хорошо склеены в нахлестку. Ширина ремня не должна быть больше ширины шкива. Для того, чтобы ремень не соскакивал со шкива, оси ведущего вала и ведомого вала должны быть в точности параллельны. Желательно далее, чтобы ведомый и ведущий валы находились в одной плоскости; следует избегать вертикально расположенного ремня. Ведущий конец ремня (по виду более натянутый) всегда располагается внизу. Скорость движения ремня не должна превосходить 20 — 25 м в секунду.

### 7. КОРОБКА С ЗАЖИМАМИ.

Коробка с зажимами осматривается с тою целью, чтобы удостовериться, надежен ли контакт между подходящими от машины кабелями и зажимами, не имеется ли между зажимами случайных металлических мостиков, не попорчена ли изоляция между зажимами и корпусом.

### 8. ПОЛЯРНОСТИ ПОЛЮСОВ.

У обычных машин полярности полюсов вокруг якоря чередуются, т.-е. полюс северной полярности идет за полюсом южной полярности, полюс южной полярности за полюсом северной и т. д. Правильность чередования полярностей полюсов устанавливается обычно простым прикладыванием и отрыванием подковки или пластинки из мягкого железа к торцам башмаков соседних полюсов возбужденной машины.

Если полюса имеют разные полярности, то притяжение подковки к башмакам будет значительно сильнее, чем в случае, когда полюса имеют одинаковые полярности. По относительной силе притяжения подковки к башмакам и судят о правильном чередовании полярностей полюсов вокруг якоря.

Для той же цели можно воспользоваться и магнитной стрелкой, по которой вместе с тем легко определить и полярность полюсов (при данном направ-

влении тока возбуждения в обмотке индукторов). Но при этом не следует стрелку слишком близко подносить к башмакам, так как она может перемагнититься.

### 9. РАВЕНСТВО НАМАГНИЧЕНИЯ ПОЛЮСОВ.

Впредь до полного исследования магнитных свойств машины равенство намагничения полюсов устанавливается грубо измерением сопротивления каждой катушки полюсов в отдельности. Значительное неравенство в сопротивлениях катушек при их полном внешнем конструктивном совпадении должно указать или на короткое между частью витков, или на неравенство чисел витков их. Более совершенно равенство намагничения можно установить помощью магнитного потенциометра, легко изготовляемого следующим образом. На ленту из картона толщиной около 0,4 см, шириною около 2 см и длиною около 30 см навивается тонкая изолированная медная проволока и укрепляется так, чтобы при сгибании ленты обмотка с нее не сваливалась. Если требуется определить разность магнитных потенциалов между соседними полюсами (фиг. 15), то поступают следующим образом: изгибают ленту с обмоткой  $H$  и прижимают ее своими торцами к башмакам полюсов; соединив предварительно концы обмотки с флюксметром или гальванометром. Оторвав быстро обмотку, наблюдают отклонение флюксметра. Это отклонение, очевидно, пропорционально разности магнитных потенциалов между полюсами. Чтобы прокалибровать потенциометр, расправляют ленту с обмоткой и помещают ее целиком в соленоид с известным числом витков на сантиметр его длины. При прохождении тока  $J$  через соленоид разность магнитных потенциалов на концах потенциометра будет равна  $0,4\pi \cdot J \cdot n_1 \cdot l$ , где  $n_1$  — число витков соленоида, приходящихся на один сантиметр длины его, и  $l$  — длина ленты потенциометра. Если теперь быстро переключить ток  $J$ , то флюксметр даст отклонение  $\alpha$ , соответствующее разности магнитных потенциалов  $2 \cdot 0,4\pi \cdot J \cdot n_1 \cdot l$ . Таким образом, одному делению флюксметра будет отвечать разность магнитных потенциалов, определенная потенциометром:  $2 \cdot 0,4\pi \cdot J \cdot n_1 \cdot l / \alpha$ .

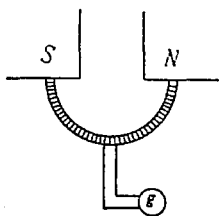
Измерив описанным прибором разность магнитных потенциалов между соседними полюсами, удостоверяются в их одинаковом намагничении.

### 10. МАГНИТНЫЕ НЕЙТРАЛИ.

Существует несколько способов нахождения нейтралей ненагруженной машины.

1-й способ. Запускают машину холостую генератором и при некотором возбуждении перемещают щетки около предполагаемых нейтралей вправо-влево, пока не получится такое положение, при котором напряжение на щетках будет наибольшим. Это-то положение щеток и будет положением их на нейтральных холостой работы.

2-й способ. Запускают машину генератором с разомкнутой обмоткой возбуждения, но с замкнутым накоротку (через амперметр) якорем и переме-



Фиг. 15.



щают щетки так, чтобы поток якоря содействовал остаточному магнетизму (последнее узнается по нарастанию тока в якоре). Установив щетки на наименьшее показание амперметра, меняют направление вращения якоря и снова находят положение щеток, при котором ток в якоре наименьший. Тогда положению щеток на нейтрали будет отвечать среднее положение щеток между отмеченными положениями щеток при двух описанных опытах.

3-й способ. Если имеется возможность запустить машину двигателем, то поступают и так: ставят щетки на предполагаемые нейтрали и запускают двигатель холостую, то в одну сторону, то в другую, и в каждом случае измеряют число оборотов. Если при неизменном напряжении и токе возбуждения числа оборотов в обоих случаях равны, то это значит, что щетки стоя на нейтрали; если же числа оборотов не равны, то перемещают щетки и снова определяют числа оборотов. Так поступают до тех пор, пока числа оборотов якоря не будут равны.

4-й способ. Обмотку возбуждения неподвижной машины включают на вольтметр, а якорь через небольшой реостат на несколько аккумуляторных элементов большой емкости. Передвигая щетки в ту или иную сторону, каждый раз прерывают ток в якоре и наблюдают за стрелкой вольтметра. То положение щеток, при котором стрелка вольтметра не дает отклонения, будет отвечать положению их на нейтральных холостой работы, ибо при этом поток якоря перпендикулярен оси обмоток полюсов, т.-е. взаимная индукция обмоток якоря и индукторов равна нулю.

## 11. СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ.

Схемы соединений машины проверяются, руководствуясь нижеследующими схемами: фиг. 16 а — для генератора с независимым возбуждением; фиг. 16 б — для шунтового генератора; фиг. 16 с — для серийно-генератора или генератора с последовательным возбуждением; фиг. 16 д — для компаунд-генератора или для генератора со смешанным возбуждением; фиг. 17 а — для шунтового двигателя, фиг. 17 б — для серийно-двигателя, фиг. 17 с — для компаунд-двигателя.

Обозначения зажимов на схемах взяты применительно к нормам Союза германских электротехников. На этих схемах  $r$  — шунтовые реостаты, а  $R$  — пусковые реостаты (у двигателей).

Особое внимание следует уделять схемам двигателей, так как неправильное включение их может иметь следствием порчу якоря или амперметра, имеющегося в цепи якоря (см. о схемах включения двигателей главы IX и X).

Ниже приведены некоторые общие указания, которыми следует руководствоваться при подготовке машины к испытанию.

1. Подобрать подходящие по шкале и по точности отсчета измерительные приборы: амперметры, вольтметры и т. п.

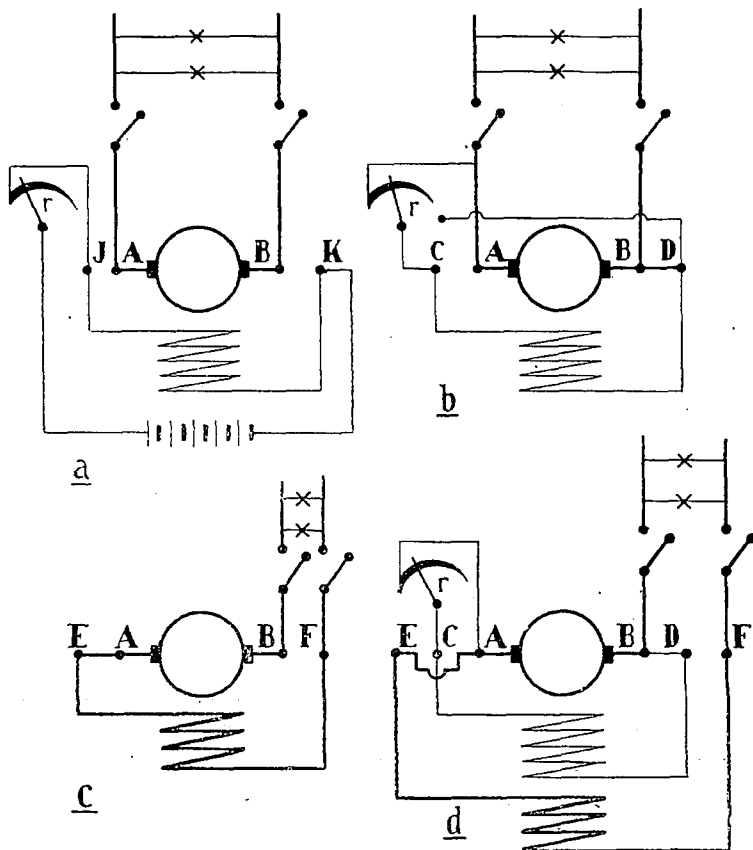
2. Пользоваться приборами — в вертикальном или в горизонтальном их положении — соответственно отметкам на приборе.

3. Приборы с вертикальной стрелкой разместить в стойках так, чтобы удобно было делать по ним отсчеты.

4. Приборы с горизонтальной стрелкой расположить и укрепить на столе или подставке так, чтобы исключить всякую возможность падения их при случайном задевании за подходящие к ним проводники.

5. Обеспечить прочные контакты между зажимами прибора и подходящими к ним проводниками.

6. Перед измерением проверить положение стрелки на нуле.



Фиг. 16 а, b, с, d.

7. Отсчеты производить быстро, но спокойно, тотчас же записывая их в блокнот.

8. Если с обмоткой возбуждения соединен вольтметр, то перед выключением тока возбуждения необходимо выключить вольтметр.

9. При неизвестном пусковом реостате у двигателя амперметр цепи якоря полезно предварительно шунтировать.

10. Пользуясь ручным тахометром, не следует прижимать его сильно к валу машины.

11. Перед отсчетом установить ось вала тахометра и ось вала машины на одной линии.

12. Отсчет по тахометру производить одновременно с отсчетами по другим измерительным приборам.

13. Не держать тахометр за его наконечник.

14. Проявить особую осторожность в обращении с термометром: ртуть разбитого термометра, попавшая на обмотку, может привести к короткому.

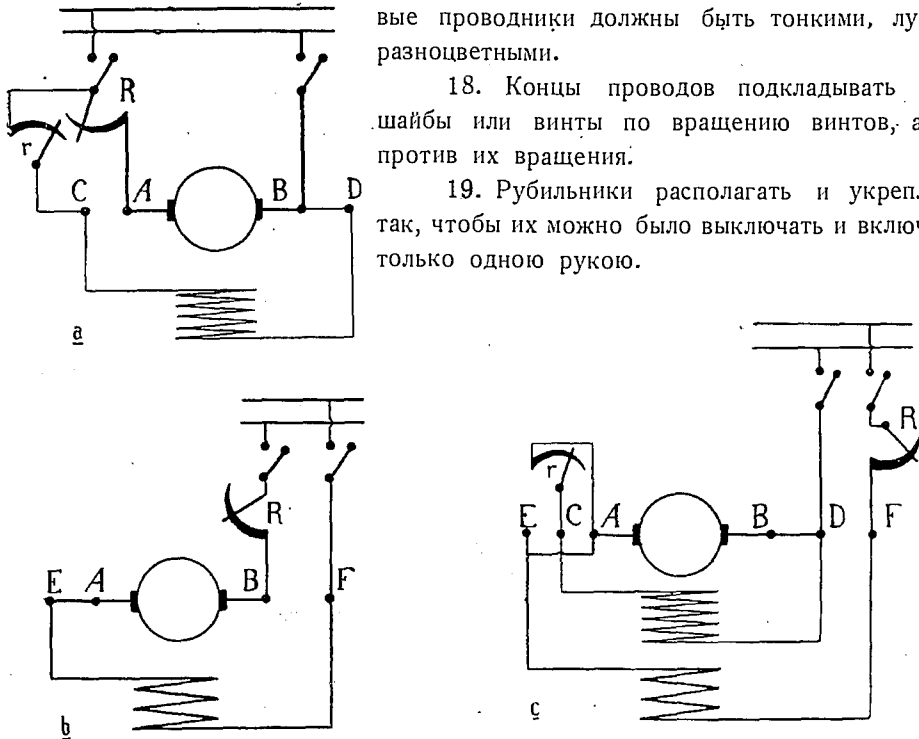
15. Не покрывать термометр слишком большим куском ваты.

16. Не помещать ртутный термометр в местах, где может быть переменное магнитное поле.

17. Для составления схем необходимо подобрать соответствующие по сечению и изоляции проводники; вольтметровые проводники должны быть тонкими, лучше разноцветными.

18. Концы проводов подкладывать под шайбы или винты по вращению винтов, а не против их вращения.

19. Рубильники располагать и укреплять так, чтобы их можно было выключать и включать только одной рукою.



Фиг. 17 а, в, с.

20. Не класть рубильник на стол, стул и т. д. без укрепления его.

21. При напряжениях выше 700 вольт не следует включать и выключать рубильники непосредственно рукою; необходимо пользоваться в этих случаях особыми рукоятками.

22. Следить, чтобы ножи включенного рубильника наглухо входили в перья и, наоборот, ножи выключенного рубильника были оттянуты до отказа.

23. Располагать рубильник так, чтобы он случайно не мог замкнуть цепь под действием веса ручки.

24. Если тока в цепи нет, то рубильник должен быть в выключенном состоянии.

25. Рубильники с испорченными ручками не употреблять.

26. При работе машины все провода нужно рассматривать опасными.
27. Никаких пересоединений у возбужденной машины не производить.
28. Нужно быть особенно осторожным при выключении тока из цепи возбуждения, так как на концах разрыва цепи может появиться большое напряжение.
29. Прежде чем разомкнуть цепь возбуждения, ввести в нее все сопротивление реостата; размыкать необходимо возможно медленнее.
30. Прежде чем запустить машину, удостовериться, что шкив взят с надлежащим диаметром, т.-е. с таким, при котором скорость ремня была бы не больше 25 м в сек.
31. Пробным пуском проверить правильность хода ремня.
32. Укрепить болты в салазках.
33. Тщательно осмотреть подшипники и проверить действие смазки.
34. Перед пуском подобрать и подвязать провода так, чтобы они не могли попасть под ремень.
35. Убрать с машины все неукрепленные части (отвертки, зажимы и т. п.).
36. При работе машины избегать оперировать с чем-либо около ремня; число оборотов измерять со стороны коллектора.
37. Осмотреть весь щеточный аппарат, проверить положение щеток.
38. Не менять щеток на ходу у возбужденной машины.
39. Не чистить шкуркой коллектор на ходу у возбужденной машины.
40. Перед пуском двигателя осмотреть пусковой и шунтовой реостаты, а также цепь шунта.
41. Ручку пускового реостата-двигателя поставить на холостой контакт, ручку шунтового реостата — на полный ток возбуждения.
42. При пуске двигателя пусковой реостат выводить медленно; не оставлять сопротивление реостата в цепи якоря.
43. Остерегаться случайного разрыва цепи возбуждения шунтового двигателя.
44. Сервис-двигатель следует запускать под нагрузкою.
45. Защитить цепь якоря двигателя подходящими предохранителями.
46. Не располагать предохранителей на уровне глаз.
47. Во время работы внимательно следить за всеми приборами.

## ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

### МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ДИНАМОМАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА.

#### ИЗМЕРЕНИЕ ОМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК ЯКОРЯ.

Омическое сопротивление между зажимами якоря динамомашин постоянного тока составляется из следующих слагаемых: 1) сопротивления обмотки якоря, 2) сопротивления контакта между щетками и коллектором, 3) сопротивления щеток и щеткодержателей и, наконец, 4) сопротивления проводов, соединяющих щеткодержатели с зажимами машины.

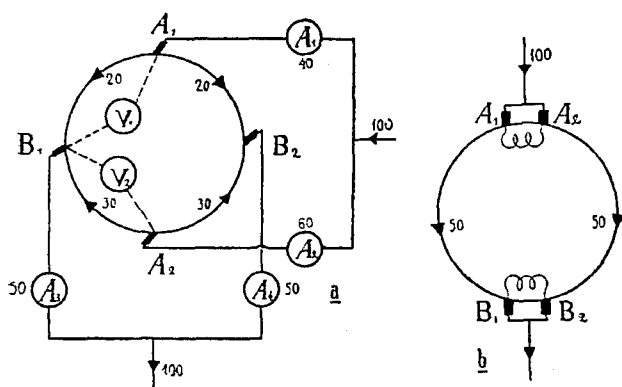
Так как все эти сопротивления, а в особенности два последние, весьма малы, — у больших машин они в общей сложности не превышают часто 0,5 ома, то при точном измерении их пользуются или мостиком Томсона, или же мостиком Уитстона. Однако на практике во многих случаях эти методы представляют большие неудобства, так как они требуют довольно чувствительного гальванометра, да и возможное присутствие в испытательной лаборатории железных масс (и даже присутствие самой динамомашинны) оказывает все же заметное влияние на правильность показаний подобного гальванометра. На этом основании, поступаясь некоторою точностью, измерение сопротивлений между зажимами машины часто производится амперметром и вольтметром, и притом такими, показания которых, по возможности, не зависели бы от окружающих их железных масс и могли бы быть отсчитаны до третьего знака (напр., 5,25 в.), — см. главу I.

#### 1. СОПРОТИВЛЕНИЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ.

Измерение сопротивления одной только обмотки якоря, смотря по точности, которую при этом желают получить, производится двумя способами.

1-й способ. Предварительно отсоединяют от якоря обмотку возбуждения и обмотку дополнительных полюсов, если таковые имеются, и одним из указанных выше методов измеряют сопротивление между двумя коллекторными пластинками, лежащими под двумя щетками разных полярностей; при этом все щетки оставляются наложенными на коллектор, и ток пропускается через зажимы якоря. Для того, чтобы измеренное сопротивление якоря было ближе к действительному, необходимо, чтобы подводимый к якорю ток возможно равномернее распределялся между параллельными ветвями обмотки. У якоря

с параллельною (петлевою) обмоткою это распределение в значительной мере зависит от сопротивлений контактных поверхностей щеток, находящихся на разных щеточных траверзах. Фигура 18 а иллюстрирует неравномерное распределение тока в предположении, что сопротивление контактной поверхности щеток  $A_1$  больше, нежели однополярной щетки  $A_2$ , а сопротивления контактных поверхностей щеток  $B_1$  и  $B_2$  одинаковы. Ясно, что вольтметр, соединенный с коллекторными пластинами, лежащими под щетками  $A_1—B_1$ , даст меньшее показание, нежели вольтметр, соединенный с коллекторными пластинами, лежащими под щетками  $B_1—A_2$ . Эти показания будут равны лишь при равенстве токов в параллельных ветвях, следовательно, при равенстве сопротивлений контактных поверхностей щеток. Практически этого можно добиться заменю угольных щеток хорошо пригнанными к коллектору металлическими контактами.



Фиг. 18 а, б.

Если же это неосуществимо, то при точных измерениях следует проверить равномерность распределения тока между щеточными траверзами включением перед ними амперметров (или одного с переключением), — см. фиг. 18 а. В случае неодинаковых показаний последних необходимо улучшить контакт у щеток траверзы с меньшим током или ухудшить контакт у щеток траверзы с большим током.

У якоря с последовательно (волновою) обмоткою сопротивление контактов щеток траверз не влияет на распределение тока между параллельными ветвями обмотки, так как щетки одной полярности соединены между собою металлически внутри самой обмотки через одну секцию (см. схему фиг. 18 б). Поэтому указанной проверки равенства токов отдельных траверз можно не производить.

Следует заметить, что в измеряемое описанным способом сопротивление якоря не входят сопротивления секций обмотки, замкнутых накоротко щетками.

2-й способ. Предварительно отыскивают такие две пластинки коллектора, которые делят всю обмотку на две равные части, и, приподняв все щетки или положив под них картонную полосу, измеряют одним из описанных ранее методов сопротивление между указанными выше коллекторными пластинками. Само собою разумеется, что этим способом определяется не истинное сопротивление обмотки, т.-е. то, которое действительно включено между щетками разных полярностей при нормальной работе машины. Но перейти к последнему весьма просто, если известно число параллельных ветвей обмотки. Если измеренное сопротивление  $R_p$ , а число параллельных ветвей обмотки —  $2a$ ,

то сопротивление якоря (между щетками разных полярностей) будет  $R_0 = 4 R_w / (2a)^2 = m R_w / a^2$ .

При многократно замкнутой обмотке, имеющей  $m$  отдельных обмоток, сопротивление якоря  $R_0 = R_w / a^2 m$ .

Формулы, которыми пользуются при отыскании двух коллекторных пластин, разбивающих обмотку на две равные части, имеют вид:

$$1) \quad x = \frac{1}{2} (K - 1) \cdot y_k - n_k \quad \text{и} \quad 2) \quad x = \frac{1}{2} K \cdot y_k - n_k.$$

Эти формулы применимы для всех типов обмоток, как-то: параллельной, последовательной (волновой) и последовательно-параллельной, при чем первая формула — для того случая, когда число коллекторных пластин  $K$  — число нечетное, вторая, когда  $K$  — число четное. В приведенных формулах  $y_k$  — коллекторный шаг,  $x$  — число коллекторных пластин, находящихся между теми пластинками, которые делят обмотку якоря на две равные части, считая вправо или влево (по коллектору) от одной какой-нибудь произвольно взятой пластинки, и  $n_k$  коэффициент, определяемый, в свою очередь, формулою:  $n_k = \frac{1}{2} (y_k - 1)$ .

После подстановки значения  $n_k$  формулы 1 и 2 получают вид:

$$x = \frac{K - y_k}{2},$$

для  $K$  нечетного, и

$$x' = \frac{K}{2},$$

для  $K$  четного.

Последняя формула (2') показывает, что при четном числе коллекторных пластинок сопротивление обмотки любого типа следует измерять между двумя пластинками, расположенными по диаметру.

Для простой параллельной обмотки, у которой коллекторный шаг  $y_k = 1$ ,  $x = \frac{1}{2} (K - 1)$  для  $K$  — нечетного, и  $x' = \frac{1}{2} K$  для  $K$  — четного.

Для многоцепной параллельной обмотки, у которой  $y_k = m$ ,

$$x = \frac{1}{2} K \cdot m - \frac{1}{2} (m - 1) \quad K = \frac{1}{2} K$$

при  $K$  четном, и

$$x' = \frac{1}{2} K \cdot m - \frac{1}{2} (m - 1) \quad K = \frac{1}{2} (K - m)$$

при  $K$  нечетном.

У простой последовательной обмотки коллекторный шаг  $y_k = \frac{1}{p} (K \pm 1)$ , при чем, если  $y_k$  — число нечетное, то  $n_k = \frac{1}{2} y_k - 1$  и  $x = \frac{1}{2} (K - y_k)$  — для  $K$  нечетного и  $x' = \frac{1}{2} K$  — для  $K$  четного. Если же  $y_k$  — число четное, а  $K$  — нечетное, то  $n_k = \frac{1}{2} y_k$ , а следовательно  $x = \frac{1}{2} y_k$ .

У последовательно-параллельных обмоток коллекторный шаг  $y_k = \frac{1}{2} (K \pm a)$ , при чем если  $y_k$  число нечетное, то  $n_k = \frac{1}{2} (y_k - 1)$  и, следовательно,  $x = \frac{1}{2} (K \pm y_k)$  — для  $K$  нечетного, и  $x' = \frac{1}{2} K$  — для  $K$  четного. Если же  $y_k$

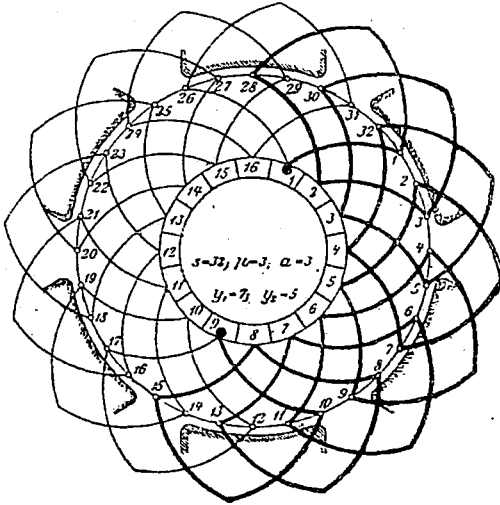
число четное и число коллекторных пластин  $K$  — число нечетное, то  $n_k = 1/2 y_k$ , а  $x = 1/2 y_k$ .

И, наконец, для случая многократно-замкнутой последовательно-параллельной обмотки, у которой  $y_k$  и  $K$  имеют общий множитель —  $n_k = 1/2 (y_k - 1)$ , а потому  $x' = 1/2 K$ .

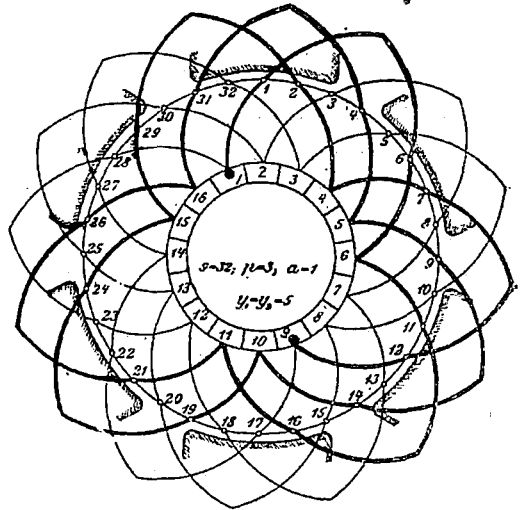
На фиг. 19 и 20 изображены: простая параллельная и простая последовательная обмотки с четным числом коллекторных пластин. У обеих этих обмоток  $x = K/2 = 8$ ; таким образом, сопротивление обмотки нужно измерять между пластинами 1—9, или 2—10, или 3—11 и т. д. На фиг. 21 изображена последовательно-параллельная обмотка, трехкратно замкнутая ( $m=3$ ), с нечетным числом коллекторных пластин. У этой обмотки при указанном на фиг. 21 значении коллекторного шага ( $y_k=6$ )

$x = K - y_k/2 = 21 - 6/2 = 18$ ; следовательно, сопротивление обмотки нужно измерять между пластинами 1—19 или 2 и 20 и т. д.

В том случае, когда обмотка якоря имеет эквипотенциальные соединения, измерение ее сопротивления производится методом, зависящим от типа обмотки. У простой параллельной обмотки эквипотенциальные соединения имеются между коллекторными пластинами, находящимися на взаимном расстоянии  $K/p$  пластин, т.-е. между пластинами, одновременно попадающими при вращении якоря под две однополярные щетки (фиг. 22 а). Если взять две коллекторные пластины, находящиеся на взаимном расстоянии  $K/2p$ , т.-е. пластины, одновременно попадающие при вращении под разнополярные щетки (фиг. 22 а), и измерить между ними сопротивление, то это сопротивление и будет равно полному сопротивлению якоря. При последнем измерении сопротивления щетки могут находиться на коллекторе, но могут быть и приподняты.



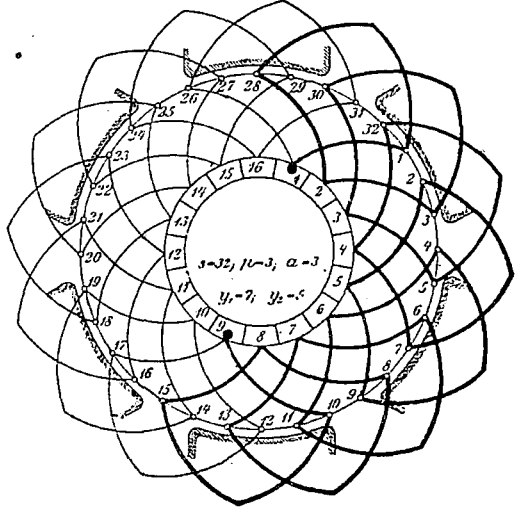
Фиг. 19.



Фиг. 20.

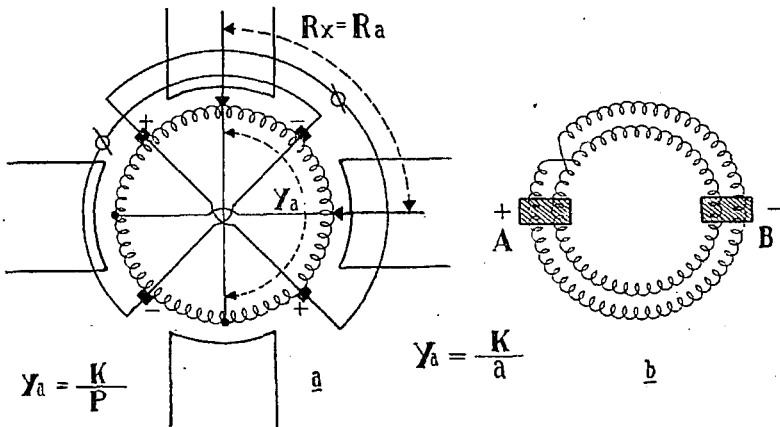


У последовательно-параллельных обмоток эквипотенциальные соединения имеются между коллекторными пластинами, находящимися на взаимном расстоянии  $K/a$  пластин, при чем число пар параллельных ветвей  $a$  обычно не равняется числу пар полюсов  $p$ . Из теории обмоток известно, что при последовательно-параллельной обмотке можно взять столько щеток, сколько полюсов, но можно взять всего лишь две щетки при условии, что каждая из этих щеток перекрывает  $a$  коллекторных пластин; схематически последовательно-параллельная обмотка (при  $2a=4$ ) может быть представлена фиг. 22 б. Из последней фигуры ясно, что если взять на соседних щеточных пальцах две щетки, перекрывающие каждая по  $a$  коллекторных пластин и, приподняв все щетки других щеточных пальцев, измерить между ними сопротивление, то это сопротивление и будет равно полному сопротивлению якоря. Чтобы исключить влияние контактов, следует взять опытные щетки медными.



Фиг. 21.

Сравнивая два способа измерения сопротивления якоря, можно сказать, что первый способ быстрее приводит к цели, [нежели второй, но он менее точен. Второй же метод требует знания характерных величин обмотки. Послед-



Фиг. 22 а, б.

нее обстоятельство и заставляет на практике прибегать чаще к первому способу, а не ко второму, тем более, что не всякую обмотку можно разбить на две совершенно равные по числу включенных витков части. При нечетном

числе коллекторных пластин одна часть обмотки всегда будет содержать витков или секций больше на один или одну, нежели другая. Необходимо отметить, что нормы испытания машин требуют знания сопротивления якоря при нормальной рабочей температуре нагрева его. Поэтому или это сопротивление следует измерять у предварительно прогретой до нормы машины, или сопротивление, измеренное при какой-то температуре, следует пересчитать на нормальную температуру нагрева (см. в приложении проект норм для электрических машин).

Сопротивление якоря является необходимою величиною, во-первых, для определения падения напряжения в якоре, во-вторых, для определения коэффициента полезного действия. Часто, однако, хотя нормы испытания этого и не рекомендуют, сопротивление якоря используется для определения температуры нагрева последнего по относительному увеличению этого сопротивления при нагреве. В таком случае опыт измерения сопротивления якоря в холодном и нагретом состояниях нужно обставить с возможною тщательностью, например, измерять сопротивление между одними и теми же коллекторными пластинками холодной и нагретой машины (отметив эти пластины хотя бы керном).

## 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЩЕТОК.

В настоящее время для снятия тока с коллектора динамомашин употребляются почти исключительно угольные щетки, и только у машин маловольтных с большою силою тока или у быстровращающихся машин применяются медные щетки.

Сопротивление контактной поверхности угольных щеток в некоторых случаях, и в особенности у малых машин, может иметь довольно значительную величину; оно может быть равным сопротивлению обмотки якоря и даже превзойти его. Это сопротивление зависит, прежде всего, от степени твердости угля, из которого щетки изготовлены; чем тверже уголь, тем больше сопротивление контакта щеток. Обыкновенно сопротивление контакта на 1 кв. см контактной поверхности,  $\rho_k$ , выражают отношением:

$$\rho_k = \frac{V_k}{\Delta_k},$$

где  $V_k$  — разность потенциалов между щеткою и коллектором,  $\Delta_k$  — плотность тока на контактной поверхности. Сопротивление  $\rho_k$  называют удельным сопротивлением контактной поверхности. Для очень мягких угольных щеток  $V_k = 0,45 - 0,6$  вольт; для мягких  $V_k = 0,7 - 1,0$  вольт; для твердых  $V_k = 1,0 - 1,2$  вольт, и, наконец, для очень твердых  $V_k = 1,2 - 1,5$  вольт.

Нормальная же плотность тока, т.-е. число ампер на кв. см контактной поверхности, берется: для очень мягких сортов углей  $\Delta_k = 15 - 20$  амп./см<sup>2</sup>; для мягких  $\Delta_k = 10 - 15$  амп./см<sup>2</sup>; для твердых  $\Delta_k = 9 - 11$  амп./см<sup>2</sup>; для очень твердых  $\Delta_k = 7 - 9$  амп./см<sup>2</sup>.

Таким образом, „удельное сопротивление контактной поверхности“, т.-е. сопротивление одного кв. см контактной поверхности, в среднем будет: для

очень мягких сортов углей — 0,03 ома; для мягких — 0,07 ома, для твердых — 0,11 ома, для очень твердых — 0,17 ома. Для медных щеток:  $\Delta R_k = 20—25 \text{ амм.}/\text{см}^2$  и  $V_k = 0,3$  вольт.

Сопротивление контакта угольных щеток при одной и той же силе нажатия их на коллектор и при одном и том же числе оборотов уменьшается (почти обратно пропорционально) с увеличением плотности тока. Причина уменьшения сопротивления контакта при увеличении плотности тока кроется в повышении температуры коллектора, обусловливаемом увеличением потерь на контактной поверхности  $J^2 R_k$ , так как вообще говоря сопротивление угольного контакта уменьшается с повышением температуры.

На сопротивление контактной поверхности щеток оказывают влияние: скорость вращения коллектора, величина того усилия, с которым щетки прижаты к последнему, и состояние поверхности коллектора. При неподвижном коллекторе сопротивление контакта щеток меньше, нежели при вращающемся коллекторе; оно медленно увеличивается по мере увеличения линейной скорости коллектора до некоторого предела (3—6 м в сек.) и остается почти постоянным при дальнейшем ее увеличении. Поэтому можно считать, что при обычных условиях сопротивление контактной поверхности щеток почти не зависит от скорости вращения динамомашины. Что же касается влияния на сопротивление контактной поверхности силы прижатия щеток к коллектору, то это влияние сказывается в уменьшении сопротивления контакта, и в довольно значительной степени — при увеличении силы нажатия.

Сопоставляя сказанное о сопротивлении контактной поверхности щеток, можно вывести следующие заключения, которыми необходимо руководствоваться при измерении этого сопротивления: 1) щетки, сопротивление контактной поверхности которых желают измерить, должны быть прижаты к коллектору, с нормальным давлением (0,1 — 0,2 кг на кв. см); 2) сопротивление контактной поверхности щеток следует измерять непременно при вращающемся коллекторе, при чем линейная скорость последнего не должна быть меньше 2 м/сек; 3) сила тока, проходящего при измерении через щетку, должна быть нормальна, т.-е. равна  $2J/q$ , где  $J$  — сила тока машины при нормальной нагрузке и  $q$  — число всех щеток (обеих полярностей + и —), наложенных на коллектор (полезно, однако, измерить сопротивление контакта при  $1/4$ ,  $1/2$  и  $3/4$  нормального тока); 4) измерение сопротивления контактной поверхности необходимо производить после продолжительной (2—5 час.) работы машины при полной нагрузке, когда температура коллектора будет нормальна, т.-е. такая же, как и при нормальной продолжительной работе.

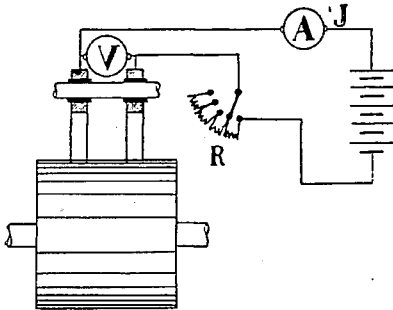
Самый способ измерения сопротивления контактной поверхности щеток заключается в следующем: на один из щеткодержателей насаживают две совершенно одинаковые щетки, изолированные как друг от друга, так и от щеткодержателя. Собрав затем схему, указанную на фиг. 23, и приведя якорь (машина не возбуждена) во вращение с необходимою скоростью, пропускают через обе щетки ток определенной силы  $J$ . Если при этом показание вольтметра, приключенного к щеткам, будет  $V$ , то искомое сопротивление контактной поверх-

ности одной щетки  $R_k = V/2J$ . Меняя реостатом  $R$  силу тока и изменяя число оборотов машины, легко измерить сопротивление контакта  $R_k$  при разных условиях.

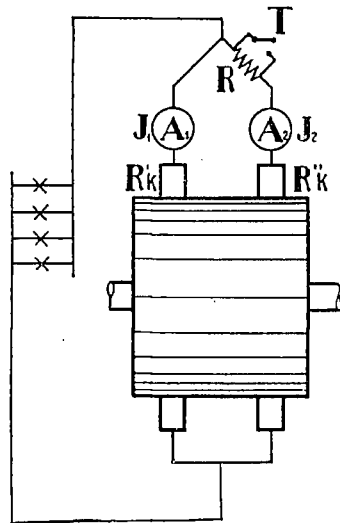
В том случае, когда изолирование щеток от щеткодержателя встречает какие-либо практические затруднения,<sup>1</sup> пользуются другим способом: отнимают от коллектора все щетки, за исключением двух и притом разных полярностей, и пропускают через последние ток определенной силы  $J$ . Если  $V$  — напряжение между щетками, то отношение  $V/J$  даст сумму сопротивлений обмотки якоря и двух контактных поверхностей щеток, т.е.

$$\frac{V}{J} = R_0 + 2R_k.$$

Зная из предварительных измерений сопротивление якоря, легко уже определить и сопротивление контактной поверхности щетки  $R_k$ . Если же сопротивление якоря неизвестно, то его исключают из измеряемого сопротивления тем, что вокруг коллектора обвивают в несколько рядов толстую медную проволоку весьма малого сопротивления. Тогда  $R_k = V/2J$ ; и в этом случае машина вращается невозбужденно.



Фиг. 23.



Фиг. 24.

Сопротивление контактной поверхности щетки можно определить еще следующим методом (фиг. 24). В провода, соединяющие две щетки с щеточным пальцем, включают амперметры одинакового сопротивления, а в один из них еще и небольшое известное сопротивление  $R$ , которое можно было бы замыкать накоротко. Нагрузив машину, измеряют токи в соединительных проводах  $J_1$  и  $J_2$  при коротко-замкнутом сопротивлении  $R$  и те же токи  $J_1'$  и  $J_2'$  при включенном сопротивлении  $R$ . Если  $R_k'$  и  $R_k''$  — контактные сопротивления обеих щеток, то, пользуясь законом Кирхгофа, легко получить два равенства:  $J_1 : J_2 = R_k' : R_k''$  и  $J_1' : J_2' = (R_k' + R) : R_k''$ , из которых и можно определить контактные сопротивления щеток в условиях их нормальной работы.

<sup>1</sup> Следует заметить, что слой изоляции между щеткою и щеткодержателем может быть очень тонким (напр., писчая бумага), так как разность потенциалов между щетками в данном случае весьма незначительна.

Полагая, что все щетки машины совершенно одинаковы по размерам и одинаково хорошо притерты к коллектору (что далеко не всегда имеет место в действительности), общее сопротивление контактов щеток обеих полярностей легко определить по формуле:

$$R_{k_0} = \frac{2R_k}{q} = \frac{4R_k}{q},$$

где  $q$  — число всех щеток (+ и -).

Сопротивление щеткодержателей и проводов, соединяющих щеткодержатели с зажимами машины, обыкновенно весьма незначительно, а потому для измерения их, если в этом случится необходимость, лучше пользоваться двойным мостиком Томсона.

### 3. ОБЩЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЯКОРЯ.

При решении многих практических вопросов под сопротивлением якоря часто подразумевают омическое сопротивление не одной только обмотки его, а сумму сопротивлений: обмотки, контактных поверхностей щеток, самих щеток и соединительных проводов, т.е. то, что можно назвать общим сопротивлением якоря, или сопротивлением между зажимами машины. При испытаниях динамомашин на электрических станциях довольствуются измерением именно этого общего сопротивления якоря, не подразделяя его на составные части.

Так как сопротивление контактной поверхности щеток, представляющее иногда значительную часть общего сопротивления якоря, как уже было ранее сказано, зависит от плотности тока на этой поверхности, от силы прижатия щеток к коллектору и, до некоторой степени, от скорости вращения последнего, то и измерение общего сопротивления якоря необходимо производить при нормальной силе тока (для данной машины) и при нормальных величинах нажатия щеток и скорости вращения.<sup>1</sup> Измерение сопротивления в этом случае производится или методом амперметра-вольтметра, или же методом сравнения (см. главу I).

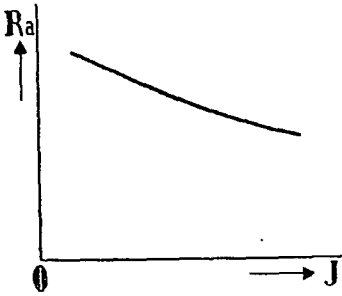
При измерении общего сопротивления вращающегося якоря необходимо иметь в виду следующее. Несмотря на то, что машина не возбуждена, все же имеющийся в индукторах ее остаточный магнетизм будет индуцировать в обмотке якоря некоторую электродвижущую силу. При наличии этой электродвижущей силы сопротивление якоря уже не может быть определено непосредственно по формуле:  $R_a = V/J$ , если измерение сопротивления производится по методу амперметра-вольтметра. Для того, чтобы освободиться от влияния электродвижущей силы остаточного магнетизма, можно или совершенно уничтожить последний, пропустив через обмотку индукторов ток определенной силы и соответственного направления,<sup>2</sup> или же поступить следующим образом: уста-

<sup>1</sup> Машина вращается, конечно, невозбужденною.

<sup>2</sup> Отсутствие остаточного магнетизма можно констатировать точным милливольтметром, включенным между зажимами машины. Если его стрелка не сойдет с нуля при вращении якоря в обе стороны с нормальной скоростью, то это значит, что остаточного магнетизма в машине нет.

новнв реостатом нормальную силу тока  $J$ , привести якорь во вращение с определенной скоростью сначала в одну сторону, затем в другую, и определить в обоих случаях сопротивление  $R_a'$  и  $R_a''$  по формуле  $R_a = V/J$ ; среднее из этих величин  $(R_a' + R_a'')/2$  и можно принимать уже за истинное общее сопротивление якоря  $R_a$ .

На фиг. 25 изображена обычная форма кривой, представляющей зависимость общего сопротивления якоря от силы тока динамомашин. Форма этой кривой будет вполне понятна, если вспомнить, что с увеличением плотности тока на контактной поверхности щеток сопротивление ее уменьшается.



Фиг. 25.

#### 4. СОПРОТИВЛЕНИЕ ОБМОТКИ ИНДУКТОРОВ.

Сопротивление обмотки индукторов динамомашин измеряется или мостиком Уитстона, или же вольтметром-амперметром. Первый метод пригоден в том случае, когда под рукою отсутствует источник тока сравнительно большего напряжения. Второй же метод, уступая в точности первому, значительно быстрее приводит к цели и не требует дорогих приборов — мостика Уитстона и гальванометра. Источником тока для индукторных катушек при втором методе может служить сама же машина.

При изменении сопротивления индукторной обмотки не следует упускать из виду, что последняя обладает большой самоиндукцией. Поэтому, во избежание губительного действия на приборы экстра-тока размыкания, рекомендуется принять за правило такой порядок манипуляций: включать сначала источник тока, а затем гальванометр (или вольтметр); выключать — сначала гальванометр (или вольтметр), а затем уже и источник тока.

## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

### ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ДИНАМОМАШИН.

Магнитные свойства динамомашин зависят не только от магнитных свойств железа, чугуна и стали, составляющих магнитную цепь машины; но и от конструкции и способов изготовления ее частей.

Магнитные свойства железа с достаточною уверенностью можно считать не изменяющимися от обработки, которой железо подвергается при фабрикации машины; эти свойства легко определить заранее лабораторными исследованиями. Магнитные же свойства чугуна и стали иногда в заметной степени изменяются от способа отливки изготавливаемых из них частей и от дальнейшей обработки, если таковая вообще имеет место. Образующийся при охлаждении верхний уплотненный слой отливки, „корка“, обладает худшею магнитною проводимостью, чем внутренняя масса ее, а скрытые недочеты литья, как-то: воздушные мешки, посторонние частички и т. д., уменьшают полезное поперечное сечение магнитной цепи и тем самым уменьшают и магнитную проводимость ее. Уменьшение же магнитной проводимости, само собою разумеется, вызывает несоответствие между величинами магнитных потоков расчетного, т.-е. принятого при расчете машины, и действительного, т.-е. измеренного опытным путем. Это несоответствие бывает иногда столь значительно, что для получения расчетного магнитного потока у готовой уже машины приходится менять или междужелезное пространство, или форму башмаков, или же число витков индукторных катушек.

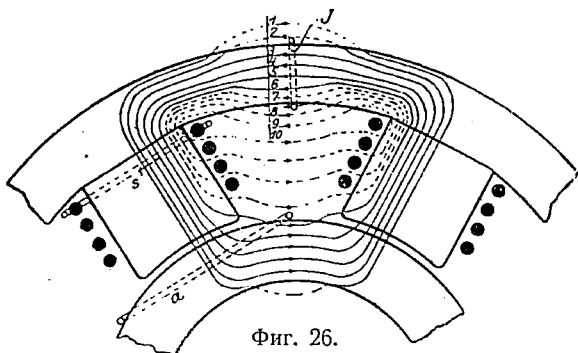
Еще в большей степени на магнитные свойства машины влияет рациональность ее конструкции как в целом, так и в частях: удачный выбор числа полюсов, расстояние между ними, форма их сечений, форма полюсных башмаков, индукция в междужелезном пространстве и т. д. и, наконец, целесообразная комбинация материалов (чугун, железо, сталь) обода, сердечников индукторов и полюсных башмаков. На этом основании при выработке нового типа машины на электротехническом заводе самое подробное исследование магнитных свойств цепи предпринимается еще ранее иных испытаний на изоляцию и на нагревание. В главных чертах это исследование обнимает собою: определение коэффициента магнитного рассеяния и величины магнитного потока в некоторых частях магнитной цепи, получение кривых распределения магнитного потока вокруг якоря и распределения потенциала на коллекторных пластинах и, наконец, получение „кривой намагничения“, или „кривой Гопкинсона“.

## 1. МАГНИТНОЕ РАССЕЯНИЕ.

Электродвижущая сила, индуцируемая в обмотке якоря, вращающегося в магнитном поле индукторов, как известно, выражается формулой:

$$E = \frac{pn}{60} \cdot \frac{N}{a} \cdot \Phi \cdot 10^{-8},$$

где  $p$  — число пар полюсов,  $a$  — число пар параллельных ветвей обмотки якоря,  $N$  — число проводников последней,  $n$  — число оборотов якоря в одну минуту, и  $\Phi$  — магнитный поток одного полюса.



Фиг. 26.

Входящий в эту формулу поток  $\Phi$ , так называемый полезный магнитный поток, составляет только часть всего потока  $\Phi_m$ , создаваемого магнитодвижущей силой индукторных катушек. Другая часть этого потока  $\Phi_s$  замыкается помимо якоря — через воздух, и носит название потока рассеяния. На

фиг. 26 изображена приблизительная картина распределения магнитных линий у многополюсной машины.

Отношение полного потока индукторов  $\Phi_m$  к потоку, пронизывающему якорь  $\Phi$ , называется „коэффициентом магнитной утечки“, или коэффициентом Гопкинсона. Этот коэффициент всегда больше единицы, и у современных хорошо рассчитанных машин имеет следующие значения:

Киловатты	10	25	40	50	75	100	200	300	500	1000
$\nu =$	1,35	1,3	1,27	1,25	1,23	1,2	1,18	1,15	1,13	1,12

У плохо рассчитанных и построенных машин коэффициент утечки иногда значительно превосходит указанные величины.

Величина коэффициента магнитной утечки одной и той же машины меняется в зависимости от степени насыщения ее магнитной цепи. Действительно, с увеличением насыщения магнитная проводимость цепи, как известно, уменьшается, тогда как проводимость воздушных трубок потока рассеяния остается без изменения. Вследствие уменьшения проводимости магнитной цепи магнитодвижущая сила индукторов с увеличением возбуждения возрастает быстрее, нежели полезный поток. И так как проводимость цепи для потока рассеяния остается постоянною, то и поток рассеяния растет относительно быстрее, нежели полезный поток. Поэтому коэфф. утечки с повышением насыщения должен увеличиваться. Из изложенного следует, что коэффициент магнитной утечки полезно определять при разных токах возбуждения.



Коэффициент магнитной утечки динамомашинны определяется или помощью баллистического гальванометра, или помощью милливольтметра (способ Гольдшмидта), или же помощью флюксметра Грассо. В первом случае поступают следующим образом: на якорь, индуктор и станину накладывают вспомогательные обмоточки, состоящие из 5—8 витков тонкой изолированной проволоки так, как указано на фиг. 26 и фиг. 27, т.-е. на якоре обмоточка располагается на нейтральных, на индукторе — около основания и на станине — между полюсами. Концы этих обмоточек соединяют с переключателем П (фиг. 27). Собрвав схему, указанную на фиг. 27, пропускают через индуктора намагничивающий ток и реостатом  $r$  доводят его до определенной величины. Соединив затем гальванометр помощью переключателя П с какою-либо вспомогательной обмоточкою № 1, 2 или 3, быстро выключают рубильник Т, т.-е. прерывают намагничивающий ток.

При размыкании намагничивающего тока, созданный им магнитный поток, уничтожаясь, пересекает вспомогательные обмоточки и возбуждает в них электродвижущие силы, соответственно пропорциональные, с одной стороны, числу витков обмоточек, с другой — величинам потоков, имеющих в местах наложения обмоточек. Если какая-либо обмоточка, напр., № 1, замкнута на гальванометр, то стрелка его даст отклонение  $\alpha_1 = C \Phi_1 \omega_1$ , где  $C$  — постоянная цепи гальванометра,

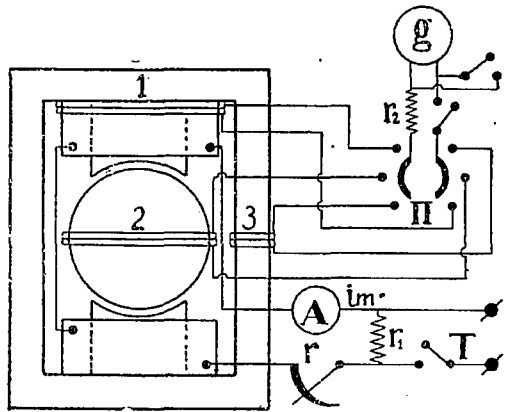
$\Phi_1$  — магнитный поток, пронизывающий вспомогательную обмоточку, а  $\omega_1$  — число витков обмоточки. Приключая гальванометр к другой вспомогательной обмоточке, напр., № 2, и наблюдая снова отклонение его стрелки при выключении того же намагничивающего тока, получают отклонение  $\alpha_2 = C \cdot \Phi_2 \omega_2$ , где  $\Phi_2$  и  $\omega_2$  — те же значения, что и раньше, для второй обмоточки. Так как предполагается, что сопротивление цепи гальванометра в обоих случаях одно и то же, то коэффициент  $C$  остается неизменным.<sup>1</sup>

Отношение потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , т.-е. коэффициента магнитной утечки, в данном случае будет:

$$\gamma_{1-2} = \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{\alpha_1 \omega_2}{\alpha_2 \omega_1}.$$

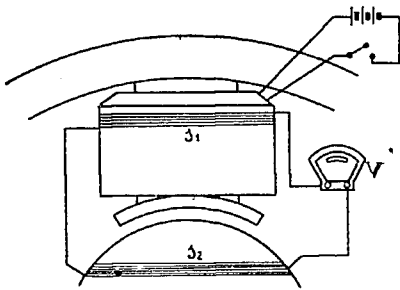
Если число витков обеих вспомогательных обмоточек одинаково, то коэффициент магнитной утечки будет равен просто отношению отклонений стрелки гальванометра.

<sup>1</sup> Для устранения непосредственного влияния магнитного потока индукторов на показания гальванометра следует располагать последний в возможном отдалении от динамомашинны.



Фиг. 27.

Определение коэффициента магнитной утечки баллистическим гальванометром часто затрудняется местными условиями, например, присутствием других работающих динамомашии, или вообще шумною и подвижною жизнью завода. Гольдшмидт предложил более удобный и быстрый, хотя и менее точный, метод, требующий наличия хорошего милливольтметра. Этот метод заключается в следующем. На индукторе и на якоре располагают две обмоточки  $s_1$  и  $s_2$  (фиг. 28) и соединяют их последовательно так, чтобы электродвижущие силы, индуцируемые в них магнитным потоком при выключении намагничивающего тока, были противоположного направления. Затем концы вольтметровой цепи, снабженные остриями, прижимают поочередно к тому или иному витку вспомогательных обмоток (при чем острия должны проходить через изоляцию) до тех пор, пока стрелка вольтметра при выключении тока возбуждения не будет давать никакого отклонения. В таком случае, если число витков, включенных в цепь вольтметра первой вспомогательной обмоточки  $w_1$ , и второй —  $w_2$ , а соответственные магнитные потоки —  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , имеет место равенство:  $\Phi_1 w_1 = \Phi_2 w_2$ , откуда искомый коэфф. магнитной утечки



Фиг. 28.

$$\gamma = \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{w_1}{w_2}.$$

Чем больше витков включено в цепь вольтметра, тем точнее будет определен коэффициент утечки. В том случае, когда при малом числе витков не удастся найти отношение  $w_1/w_2$ , для которого при выключении намагничивающего тока не было бы никакого отклонения вольтметра, поступают так: находят такие два отношения  $w'_1/w'_2$ , для которых получились бы при выключении тока возбуждения наименьшие положительные и наименьшие отрицательные отклонения стрелки, и затем уже интерполяцией определяют истинное отношение  $w_1/w_2$ .

Еще проще определяется коэфф. утечки помощью флюксметра Грассо: в этом случае на индуктор и якорь достаточно наложить всего лишь по одному витку; соединяя их поочередно с флюксметром, при выключении тока возбуждения сразу определяют значения магнитных потоков в максвеллах, а затем по отношению их и коэффициент утечки.

При определении коэффициента магнитной утечки описанными способами не следует упускать из виду, что быстрое выключение намагничивающего тока имеет следствием появление в индукторных катушках значительной электродвижущей силы самоиндукции, от которой может пострадать их изоляция. В предупреждение последнего обстоятельства параллельно индукторным катушкам полезно подключить большое сопротивление, которое выравнивало бы экстраток размыкания. Но еще лучше в таких случаях магнитную утечку определять не через выключение намагничивающего тока, а через его уменьшение на некоторую небольшую величину.

Что касается расположения вспомогательных обмоток при определении магнитной утечки, то в этом отношении нужно сообразоваться с распределением магнитных линий в отдельных частях магнитной цепи. Так, например, при определении главного коэффициента утечки одна вспомогательная обмотка должна находиться у основания сердечника индуктора (фиг. 26 и 27), другая же — на якоре, обнимая один полюсный шаг, располагаясь строго против полюса.

Для того, чтобы устранить влияние остаточного магнетизма на отклонение гальванометра, при точных работах перед каждым отсчетом рекомендуется менять несколько раз направление намагничивающего тока, т.-е. размагнитить машину, или же определять коэффициент утечки не по методу выключения намагничивающего тока, а по методу уменьшения его на некоторую, и лучше небольшую, но каждый раз одинаковую,<sup>1</sup> величину.

ТАБЛИЦА.

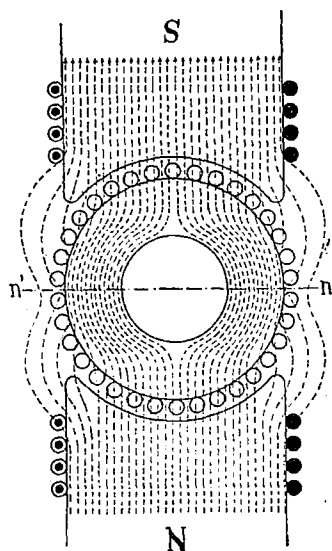
$i_m$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\gamma_{1-2}$	$\gamma_{1-3}$

## 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВОКРУГ ЯКОРЯ.

Характер распределения магнитного поля вокруг якоря является весьма важным фактором для хорошей работы динамомашин. Им в значительной степени определяется самая существенная функция машины — коммутирование тока. Будет ли при работе машины искрение, или нет, зависит главным образом от распределения магнитного поля в зоне коммутирования. Поэтому-то изучение магнитного поля в междужелезном пространстве машины представляется весьма необходимым.

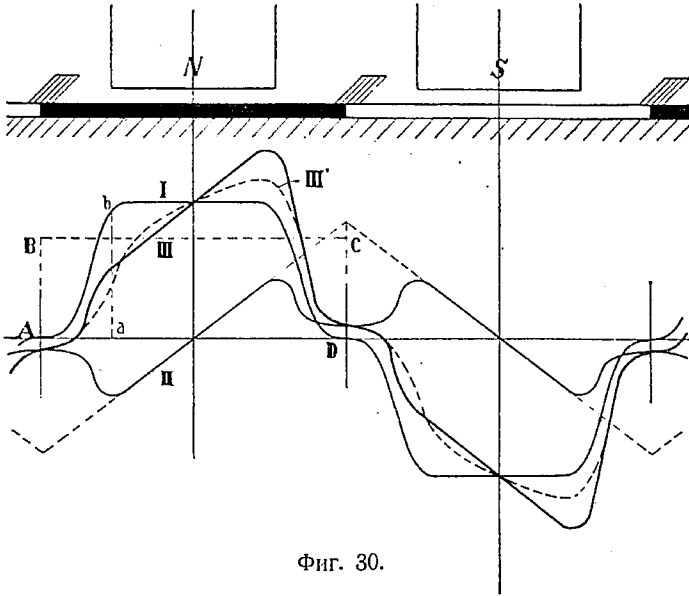
На фиг. 29 изображено приблизительное распределение магнитного поля вокруг якоря, созданного только индукторами в двухполюсной машине.

<sup>1</sup> Ранее было указано, что коэфф. утечки меняется для одной и той же машины в зависимости от степени насыщения магнитной цепи ее. Поэтому, при определении магнитного рассеяния для какой-либо определенной индукции, строго говоря, необходимо было бы магнитный поток уменьшать не до нуля, а на небольшую величину, — так, чтобы новая индукция не слишком отличалась от прежней. В том же случае, когда коэфф. утечки определяется по методу выключения намагничивающего тока, магнитный поток, а след. и индукция, будут приниматься последовательно все значения их от максимума до нуля. Таким образом, коэфф. утечки собственно будет соответствовать некоторой средней величине индукции.



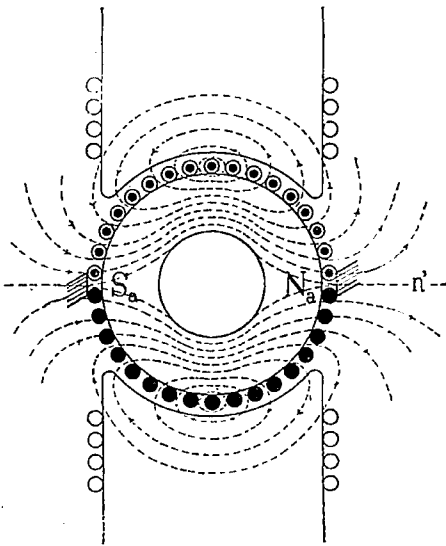
Фиг. 29.

Развернув окружность якоря в прямую (фиг. 30) и откладывая по оси ординат для каждой точки окружности соответствующие индукции, нетрудно получить кривую поля индукторов, кривую  $I$ , на фиг. 30, наглядно изображающую изме-



Фиг. 30.

нение магнитной индукции как под полюсами, так и в межполюсном пространстве. Вид этой кривой под полюсами зависит от длины междужелезного



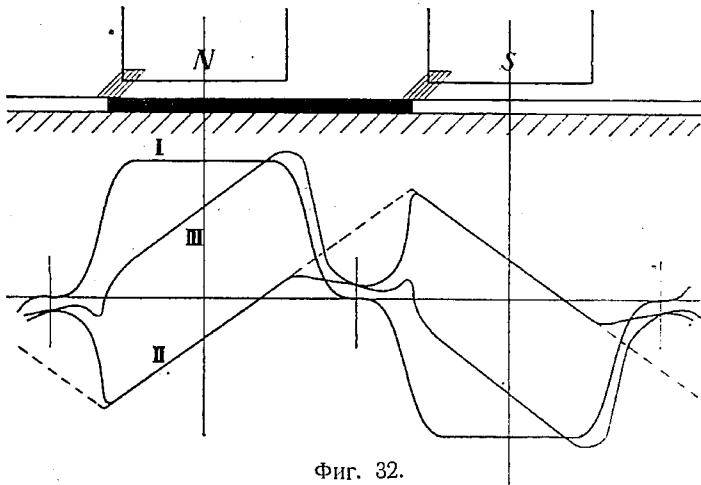
Фиг. 31.

пространства и от числа зубцов якоря. Если междужелезное пространство по всей длине полюсной дуги одинаково, а число зубцов якоря велико, кривая поля под полюсами переходит в прямую, параллельную оси абсцисс (ибо индукция на всем протяжении полюсной дуги одна и та же). Вид кривой главного поля между полюсами обуславливается отношением полюсной дуги к полюсному шагу, которое в современных машинах находится в пределах 0,75—0,55. Чем больше это отношение, тем круче кривая магнитного поля в межполюсном пространстве, тем менее благоприятны условия для безыскрового коммутирования. Изображенное на фиг. 30 кривую  $I$  распределение магнитного поля

вокруг якоря имеет место, как уже было сказано, в том случае, когда это поле создается только индукторами. Но если динамомашинна нагружена, или ток извне проходит через якорь, то последним создается собственное магнитное

поле (фиг. 31), которое, само собою разумеется, исказит картину распределения магнитных линий главного поля. Величина потока якоря зависит от длины междужелезного пространства, от числа проводников обмотки якоря и от силы тока, циркулирующего в последнем, а при постоянстве первых двух величин в готовой машине, — исключительно от силы тока в якоре и степени насыщенности магнитной цепи. Если для всех точек окружности якоря определить величины магнитной индукции этого поля и отложить их по оси ординат, развернув окружность по оси абсцисс, то получится кривая поля якоря *II*, изображенная на фиг. 30.

Для того, чтобы получить кривую распределения равнодействующего магнитного поля, т.-е. того поля, которое имеется в междужелезном пространстве нагруженной динамомашины, следует сложить ординаты кривых *I* и *II* (пола-



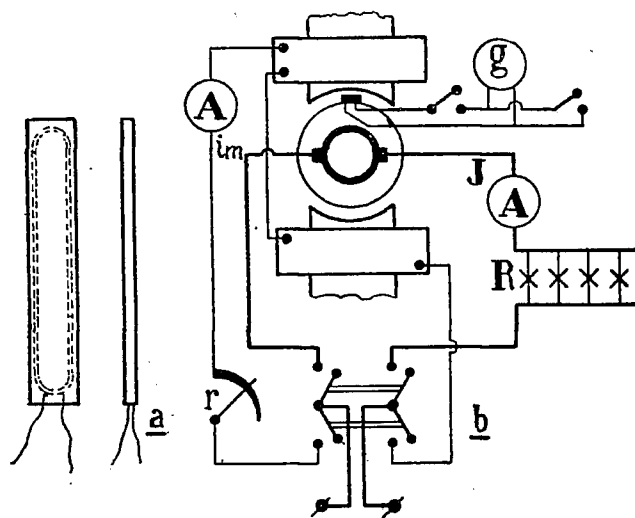
Фиг. 32.

гая, что масштаб их одинаков). На фиг. 30 кривая *III* иллюстрирует распределение магнитного поля вокруг якоря при нагрузке.

Работа динамомашин со щетками, расположенными на нейтрали, не всегда, однако, возможна; во избежание искрения щетки обыкновенно перемещаются с нейтрали на некоторый угол; на тот же угол переместится, очевидно, и ось потока якоря. В таком случае кривая распределения поля якоря займет положение и примет вид кривой *II* фиг. 32, а кривая равнодействующего поля, в свою очередь, будет иметь вид, представленный на той же фиг. 32 кривою *III*. Из сравнения площадей, заключенных между двумя кривыми *III* и осью абсцисс (фиг. 30 и 32), можно убедиться, что равнодействующий магнитный поток в последнем случае меньше, нежели в первом.

Итак, величина и распределение равнодействующего магнитного поля зависят не только от величины и распределения магнитных полей индукторов и якоря, но и от взаимного их положения, а потому для всестороннего изучения магнитного поля данной динамомашины поучительно снять кривые *I* и *II* при разных токах, как в индукторах, так и в якоре, и при разных положениях щеток.

При опытном получении кривых распределения магнитного поля в между-  
железном пространстве пользуются разными способами в зависимости от того,  
желают ли снять эти кривые при вращающемся или неподвижном якоре. Один  
из них, применяемый при неподвижном якоре, заключается в следующем: берут  
узкую вспомогательную шпую, состоящую из нескольких (20 — 30) витков  
очень тонкой изолированной проволоки, вклеенных между полосками писчей  
бумаги (фиг. 33 а). Эту шпую располагают в междужелезном пространстве  
вдоль оси якоря, плотно прижав к нему. Концы шпую соединяют с чувстви-  
тельным баллистическим гальванометром. Собрав затем схему, изображенную  
на фиг. 33 б, подбирают сопротивление реостатов  $R$  и  $r$  так, чтобы токи



Фиг. 33 а, б.

в якоре и индукторах  
были желаемой силы. За-  
метив положение шпую,  
хотя бы по относитель-  
ному положению ее к кол-  
лекторным пластинам, про-  
пускают ток поочередно  
(но не одновременно, иначе  
якорь начнет вращаться)  
через якорь и индуктора,  
и каждый раз при выклю-  
чении тока наблюдают  
отклонения гальванометра.  
Эти отклонения в данном  
случае будут, конечно, про-  
порциональны индукциям,  
создаваемым соответствен-  
ными потоками в месте

расположения шпую. Повернув шпую на небольшой угол — на 1 — 3 кол-  
лекторные пластинки, — поступают совершенно таким же образом и т. д. Откла-  
дывая в каком-либо масштабе углы отклонения гальванометра по оси ординат,  
а число коллекторных пластинок, отвечающих углу поворота шпую, по оси  
абсцисс, получают и искомые кривые полей индукторов и якоря, т. е. кривые  
 $I$  и  $II$  фиг. 30. Геометрическая сумма этих двух кривых даст кривую  
распределения равнодействующего поля в том случае, когда соответствующие  
токи проходят одновременно как через индуктора, так и через якорь.

Для того, чтобы найти масштаб индукции для полученных таким обра-  
зом кривых, необходимо предварительно определить величину полезного магнит-  
ного потока индукторов  $\Phi$ , отвечающего площади кривой  $I$ .

Практически величина этого потока может быть измерена следующим  
способом: на якорь, вокруг одного полюса, навивают несколько (5 — 7) витков  
тонкой изолированной проволоки совершенно так же, как и при определении  
магнитной утечки, и концы такой шпую соединяют последовательно с гальвано-  
метром и с короткою катушкою  $A$ , надетою на длинный соленоид  $B$  (фиг. 34).

Длина соленоида  $B$  должна превосходить раз в десять длину катушки  $A$ ; это условие необходимо выполнить для того, чтобы магнитный поток соленоида в месте расположения короткой катушки  $A$  был распределен по сечению соленоида вполне равномерно. Собрав схему, указанную на фиг. 34, пропускают через индуктора намагничивающий ток  $i_m$ , равный тому току, при котором снята кривая  $I$ . Прервав затем этот ток помощью выключателя  $T_1$ , наблюдают отклонение гальванометра  $\alpha$ . Полученное отклонение гальванометра, очевидно, пропорционально магнитному потоку  $\Phi$ , попадающему в якорь, и числу витков  $w$  в вспомогательной шпуре  $f$ :  $\alpha = C \cdot \Phi \cdot w$ . Пропуская, далее, через соленоид  $B$  некоторый ток  $i_c$  и затем прерывая его выключателем  $T_2$ , получают новое отклонение гальванометра  $\alpha_1$ , пропорциональное потоку соленоида  $\Phi_c$  и числу витков  $w_A$  катушки  $A$ :  $\alpha_1 = C \cdot \Phi_c \cdot w_A$ .

Из этих двух равенств следует:

$$\Phi = \frac{\Phi_c \cdot w_A}{\alpha_1 \cdot w} \alpha.$$

Величину магнитного потока соленоида  $\Phi_c$ , входящего в выражение для  $\Phi$ , легко вычислить, зная внутренний диаметр и длину соленоида, а также число витков составляющей его проволоки. Обозначая через  $q$  сечение соленоида в кв. см, а через  $H_c$  магнитную индукцию внутри его, имеем:  $\Phi_c = H_c \cdot q$ . И так как

$$H_c = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot W_B i_c}{l_c},$$

где  $W_B$  — число витков соленоида,  $l_c$  его длина в см,  $i_c$  — ток, проходящий через соленоид, то

$$\Phi_c = H_c \cdot q = \frac{0,4 \pi \cdot W_B i_c}{l_c} \cdot \frac{\pi d^2}{4};$$

здесь  $d$  — внутренний диаметр соленоида.<sup>1</sup>

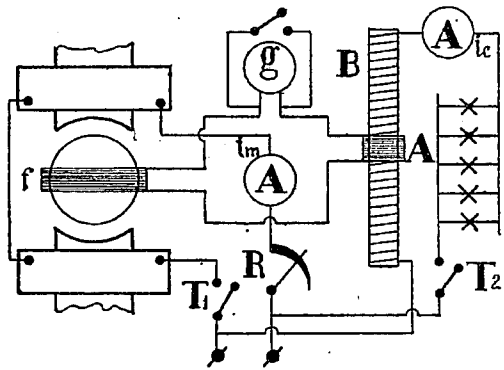
Значительно проще поток  $\Phi$  определяется флюксметром Грассо. Если вместо шпули  $f$  (фиг. 34) наложить всего лишь один виток и соединить с флюксметром Грассо, то при выключении тока возбуждения отклонение стрелки флюксметра даст магнитный поток в максвеллах.

Средняя индукция потока вокруг якоря, т.-е. индукция, отнесенная к полюсному шагу  $\tau$ , будет:

$$B_0 = \frac{\Phi}{\tau \cdot l} = \frac{\Phi}{\pi D_a \cdot l / 2p}$$

где  $D_a$  — диаметр якоря,  $2p$  — число полюсов и  $l$  — длина якоря.

<sup>1</sup> Если соленоид  $B$  — из двух слоев проволоки, то сечение его  $q = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi d_1^2}{4} + \frac{\pi d_2^2}{4} \right)$ , где  $d_1$  — внутренний, а  $d_2$  — наружный диаметры соленоида.



Фиг. 34.

Зная величину средней индукции  $B_0$ , нетрудно определить и масштаб индукции для кривых полей  $I$ ,  $II$  и  $III$  (фиг. 30). С этой целью измеряют площадь, заключенную между кривой  $I$  и осью абсцисс (первую половину), и строят ей равновеликий прямоугольник  $ABCD$  с основанием, равным полюсному шагу  $\tau$ . Тогда другая сторона прямоугольника  $AB$  будет, очевидно, равна средней индукции  $B_0$ , т.-е. единице длины ординат кривых  $I$ ,  $II$  и  $III$  будет соответствовать  $B_0/AB$  единиц магнитной индукции. Таким образом, индукция для какой-либо точки междужелезного пространства, например,  $a$  (фиг. 30), выразится произведением  $ab \cdot B_0/AB$ .

ТАБЛИЦЫ.

$i_m$	$\alpha_g$	$N^\circ$	$i_m$	$\alpha_g$	$\phi$	$B_0$
пост.						

Указанное геометрическое сложение полей якоря и индукторов возможно, однако, лишь в том случае, когда магнитная цепь машины при нормальном возбуждении не насыщена. Но если эта цепь близка к насыщению, то поле якоря при возбужденных индукторах будет меньше, нежели при невозбужденных, и потому кривая равнодействующего поля будет несколько отличаться от той, которая получилась бы по описанному методу. Последняя будет ближе к истинной кривой, если опыт получения кривых полей  $I$  и  $II$  вести так: выключать ток одной цепи, например, якорной, в то время, когда ток в другой цепи циркулирует. Для того, чтобы получить только одну кривую равнодействующего поля, можно выключать токи одновременно в обеих цепях. Само собою разумеется, при этом опыте якорь должен быть накрепко заторможен. Реальная кривая равнодействующего поля насыщенной машины имеет вид кривой  $III'$ , фиг. 30.

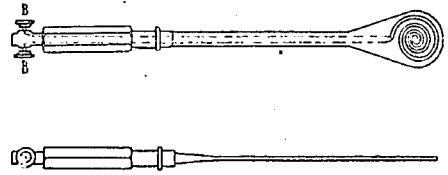
Проф. Арнольд рекомендует пользоваться вспомогательною шпулею для снятия кривых полей при неподвижном якоре иным способом: не прерывая токов в индукторах и в якоре, быстро вытягивать шпульку из междужелезного пространства. Индуктирующаяся в шпулке электродвижущая сила (а, следовательно, и отклонение гальванометра) пропорциональна индукции в той полосе якоря, в которой располагается шпуля. Однако этот способ применим только при относительно большой длине междужелезного пространства.

В некоторых случаях — главным образом у динамомашин с большим междужелезным пространством — магнитную индукцию под полюсными башмаками при неподвижном якоре с достаточною для практики точностью можно определить и помощью висмутовой проволоки, пользуясь свойством висмута менять свое омическое сопротивление под влиянием магнитного поля разной силы. Для этой цели служит плоская бифилярная спиралька из тонкой висмутовой проволоки, вклеенная между двумя тонкими слюдяными пластинками так, что общая толщина активной части ее не превосходит 1—1,5 мм. Концы



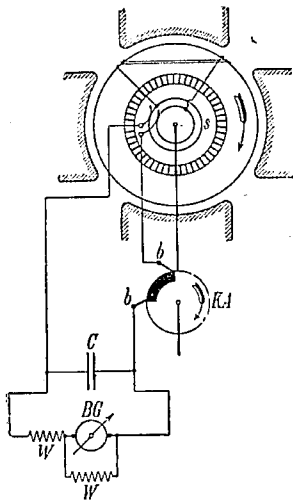
проволоки подводятся к зажимам ручки *bb* (фиг. 35). Располагая эту спиральку в исследуемом магнитном поле, измеряют омическое сопротивление ее мостиком Уитстона и отыскивают соответственную этому сопротивлению магнитную индукцию по кривой, прилагаемой к прибору и представляющей опытным путем определенную зависимость сопротивления данной спиральки от индукции действующего на нее магнитного поля.

При вращающемся якоре кривые поля *I* и *II* (фиг. 30) можно снять помощью шпули из тонкой изолированной проволоки, наложенной на якорь и прикрепленной к нему так, чтобы она охватывала точно поток одного полюса (фиг. 36). Концы этой шпули соединяются с кольцами, насаженными на вал машины, или с металлическими ободками, наложенными на наружную поверхность якоря (что практически более выполнимо при готовой уже машине).



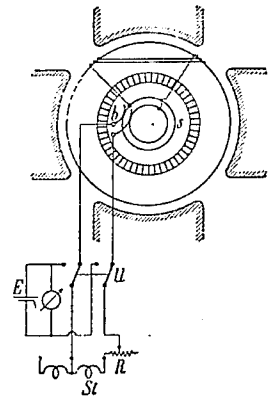
Фиг. 35.

Кольца помощью щеточек электрически соединяются с диском Жубера<sup>1</sup> *KA*, насаженным на конец вала машины и потому вращающимся с тою же скоростью, что и машина. Перемещая щеточки *b-b*, замыкающие регулярно — один раз за один оборот — шпульку на цепь из конденсатора *C* и гальванометра *BG*, можно получить мгновенные значения электродвижущих сил, индуктирующихся в шпуле при разных ее положениях относительно полюсов. Эти электродвижущие силы пропорциональны, конечно, индукциям в местах нахождения в соответствующие моменты индуктирующихся сторон шпули.



Фиг. 36.

На фиг. 37 приведена схема, на которой диск Жубера заменен осциллографом: *St* — подвижная петля осциллографа, *R* — добавочное сопротивление, *E* — батарея



Фиг. 37.

определенного напряжения, служащая для нахождения масштаба снимаемой кривой поля в вольтах. Сфотографировав или зачертив кривую электродвижущей силы шпульки перебрасывают переключатель *u* влево и тем самым подключают петлю осциллографа к батарее *E* с известным напряжением. Сфотографировав или зачертив получающуюся при этом прямую и сравнивая ее ординаты с ординатами

<sup>1</sup> Диск Жубера представляет собою диск из фибры или дерева с вставкою на периферии в виде медного сектора (на фиг. 36 зачерненного).

первой кривой, находят масштаб для последней кривой. Пользуясь формулою следующего параграфа, находят масштаб для индукции  $B_e$ . Следует отметить, что кривая поля, снятая помощью шпули при зубчатом якоре, содержит высшие гармоники, обязанные пазам якоря.

### 3. КОЛЛЕКТОРНЫЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ДИАГРАММЫ; ПОЛУЧЕНИЕ ПО НИМ КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ В МЕЖДУЖЕЛЕЗНОМ ПРОСТРАНСТВЕ.

Электродвижущая сила, индуцируемая в одной секции обмотки якоря, концами своими присоединенной к коллекторным пластинам, определяется выражением:  $e = l \cdot \omega \cdot v \cdot (B_{e1} + B_{e2}) \cdot 10^{-8}$  вольт, где  $l$  — длина железа якоря в см,  $\omega$  — число витков секции,  $v$  — линейная скорость вращения якоря в м,  $B_{e1}$  и  $B_{e2}$  — индукции в тех местах междужелезного пространства, где находятся в данный момент плечи секции. Если обмотка выполняется из секций с неуко- роченным шагом, т.е. из таких секций, у которых ширина равна полюсному шагу, и если полюса совершенно симметричны, то  $B_{e1} = B_{e2}$ , и  $e = 2 \cdot l \cdot \omega \cdot v \cdot B_e \cdot 10^{-8}$  вольт. Из этого выражения видно, что при постоянной скорости вращения электродвижущая сила секции, а следовательно, напряжение между двумя коллекторными пластинами, соединенными с секцией, пропорционально только индукции в междужелезном пространстве. Измеряя напряжения между двумя коллекторными пластинами, с которыми соединена секция, при разных мгновенных положениях якоря во время вращения, и откладывая эти напряжения по оси ординат, а соответствующие положения якоря по оси абсцисс, легко получить кривую, называемую коллекторной диаграммой, которая будет подобна кривой распределения поля вокруг якоря, на фиг. 38 а — кривой  $I'$ .

Практически напряжение измеряется не между одними и теми же коллекторными пластинками, принадлежащими какой-либо одной секции, а между двумя неподвижными вспомогательными щеточками  $b_1$  и  $b_2$  (фиг. 38 а), касающимися коллекторных пластин секций, занимающих в магнитном поле при вращении якоря одно и то же положение. Устанавливая щеточки  $b_1$  и  $b_2$  в разных местах окружности коллектора, определяют напряжение между ними, равное электродвижущим силам секций, проходящих мимо щеточек.

Расстояние между щеточками  $b_1$  и  $b_2$  зависит от рода обмотки: при простой петлевой и волновой обмотках расстояние между щеточками должно быть равным ширине коллекторной пластинки. В первом случае, т.е. при петлевой обмотке, напряжение между щеточками равно электродвижущей силе одной секции. Во втором случае, т.е. при простой волновой обмотке, это напряжение равно сумме электродвижущих сил  $p$  секций, если  $p$  — число пар полюсов.

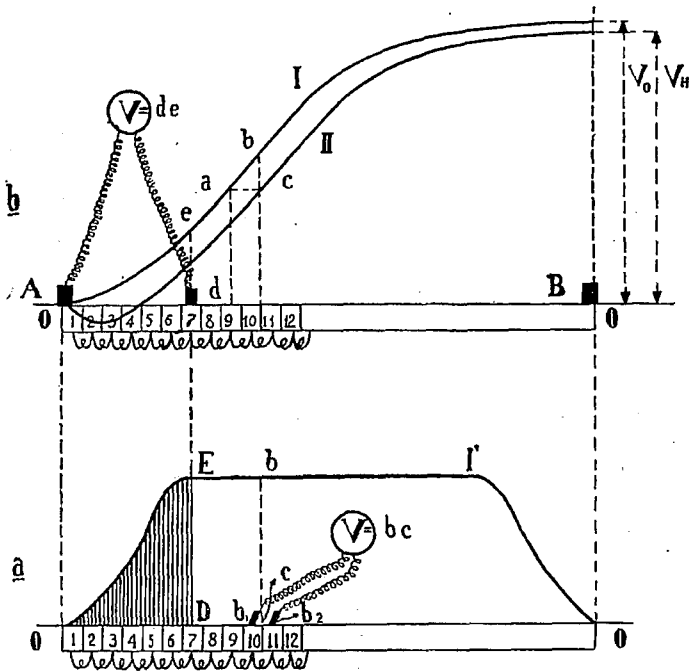
При сложной волновой обмотке расстояние между щеточками берется равным ширине коллекторной пластины, умноженной на число пар параллельных ветвей. И в этом случае напряжение между щеточками равно сумме электродвижущих сил  $p$  секций. При многократных спиральной и петлевой

ТАБЛИЦА.

$i_m$	$N^\circ$	$V$
пост.		

обмотках расстояние между щеточками берется равным ширине коллекторной пластины, умноженной на число отдельных обмоток.

Следует заметить, что мгновенное значение электродвижущей силы в секции обмотки якоря пропорционально индукции не какой-либо одной точки магнитного поля, а средней индукции в двух и более точках, в зависимости от рода обмотки и ширины коллекторной пластины. У кольцевой обмотки мгновенные значения электродвижущей силы секции пропорциональны индукции, имеющейся только под каким-либо одним полюсом. У барабанных же обмоток плечи одной секции находятся под разными полюсами, а потому



Фиг. 38 а, б.

мгновенная электродвижущая сила ее, очевидно, будет пропорциональна среднему значению индукций в точках, в которых находятся в данный момент плечи секции. Измеряемое же вольтметром напряжение между коллекторными пластинами, в свою очередь, пропорционально среднему значению индукций, имеющихся на дуге окружности якоря, соответствующей одной коллекторной пластине.<sup>1</sup> При обмотках с сильно укороченным шагом кривая поля, полученная описанным способом, иногда значительно отступает от действительной.

Так как прилаживание двух довольно тонких щеточек к коллектору сопряжено с некоторыми затруднениями, то коллекторную диаграмму для простой

<sup>1</sup> Если кривые поля описанным способом снимаются у нагруженной машины, то в показание вольтметра следует ввести поправку на омическое падение напряжения в секции (у генераторов — прибавить, у двигателей — убавить).

петлевой и спиральной обмоток удобнее строить по так называемой потенциальной диаграмме.

Потенциальная диаграмма или потенциальная кривая получается следующим образом: присоединяют один зажим вольтметра к одному из полюсов машины, а другой к маленькой щеточке  $d$ , свободно перемещаемой по коллектору (фиг. 38 б). Перемещая щеточку  $d$  каждый раз на ширину одной коллекторной пластины, наблюдают показания вольтметра  $V$ . Откладывая эти показания по оси ординат для каждого положения щеточки, получают потенциальную диаграмму. На фиг. 38 б кривая  $I$  — потенциальная кривая при холостой работе машины генератором и кривая  $II$  — потенциальная кривая при нагрузке. В обоих случаях щетки стоят на нейтрали. Ординаты кривой  $I$  все положительны; ординаты же кривой  $II$  около щетки  $A$  имеют отрицательное значение. Это объясняется сдвигом магнитной нейтрали с геометрической нейтрали. Пользуясь этими кривыми, можно определить разность потенциалов между любыми коллекторными пластинами. Так, например, разность потенциалов между пластинами 9 и 10 равна  $bc$  и т. д.

Если обмотка якоря — простая петлевая, волновая или спиральная, то разность ординат, соответствующих двум соседним коллекторным пластинам, напр., 9 и 10, представляет, очевидно, электродвижущую силу секции, присоединенной к этим пластинам. Откладывая графически определенные по потенциальной кривой разности ординат для всех рядом лежащих коллекторных пластин по оси ординат так, как это показано на фиг. 38, можно получить коллекторную кривую  $I'$  (фиг. 38 а).

При построении коллекторной кривой по потенциальной кривой в случае сложно-параллельной и последовательно-параллельной обмоток берется разность

ТАБЛИЦА.

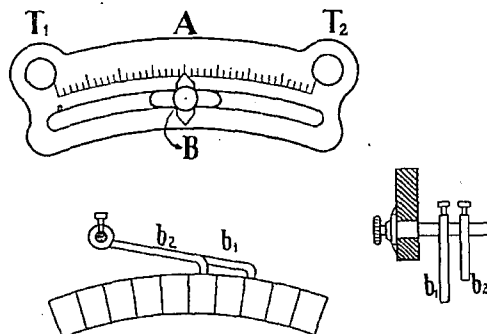
$i_m$	$N^{\circ}$	$V$
пост.		

ординат (потенциальной кривой), соответствующих пластинам, сдвинутым относительно друг друга на  $m = 2a/2p$  пластин — при сложно-параллельной обмотке, и на  $a$  пластин — при последовательно-параллельной обмотке, если через  $2a$  обозначить число параллельных ветвей обмотки, а через  $2p$  — число полюсов машины.

Потенциальные кривые, в свою очередь, можно получить построением, имея кривые распределения полей вокруг якоря. Пусть, например, имеется кривая поля при холостой работе, на фиг. 38 а кривая  $I'$ , и известно напряжение между щетками, соответствующее этому полю. Планиметром измеряют сначала всю площадь кривой  $I'$ , пусть она будет  $Q$ . Затем делят напряжение  $V$  на эту площадь, получают  $V/Q$ . Далее, планиметром измеряют часть площади той же кривой  $I'$  до вертикали из точки, для которой ищется напряжение ее относительно щетки  $A$ , на фиг. 38 а точки  $D$ , и множат эту площадь на  $V/Q$ . Тогда полученная величина и будет давать искомое напряжение между точкой коллектора  $D$  и щеткою  $A$ . Поступая подобным образом для других точек, подобных точке  $D$ , легко построить всю потенциальную кривую.

Приспособления, облегчающие опытное получение коллекторных диаграмм, определяются конструкцией щеточных траверз, расположением щеток и конструкцией коллектора. На фиг. 39 схематически изображено устройство, при-

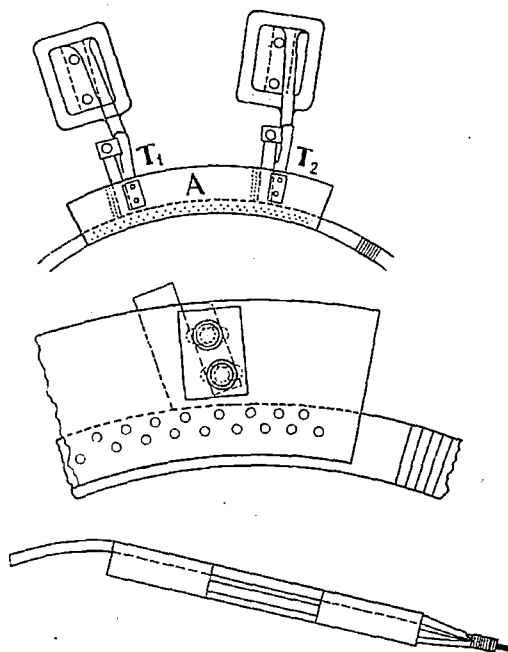
годное для небольших машин. Оно состоит из металлической (или фибровой) планки  $A$ , надеваемой изолированно на соседние щеточные траверзы  $T_1$  и  $T_2$ . В планке имеется прорез, concentрический с окружностью коллектора; в этом прорезе может передвигаться ползун  $B$ , снабженный штифтиком. На штифтик насаживаются одна или две изолированные от него щетки  $b_1$  и  $b_2$  из тонкой пружинящей меди. Щетки скользят по цилиндрической поверхности коллектора; положение их отмечается указателем на ползунке.



Фиг. 39.

Для больших машин с свободной торцовой поверхностью коллектора можно воспользоваться устройством, изображенным на фиг. 40.

К щеточным траверзам  $T_1$  и  $T_2$  привинчивается фибровая планка  $A$  с небольшими отверстиями в нижней части, расставленными в шахматном порядке. Часть планки  $A$  с отверстиями приходится против торца коллектора. Щетки, соединяемые с вольтметром, заменяются в данном случае твердыми карандашами (4Н), зачищенными с одной стороны и металлически соединенными с гибкими проводничками. При измерении напряжения зачищенные концы карандашей вставляются в отверстия планки  $A$  и слегка прижимаются к торцу коллектора. Чтобы ослабить влияние сопротивления контактов карандашей на показание вольтметра, последний берется с большим сопротивлением (около 10 000 ом).



Фиг. 40.

### 3. КРИВАЯ НАМАГНИЧЕНИЯ ИЛИ КРИВАЯ ГОПКИНСОНА.

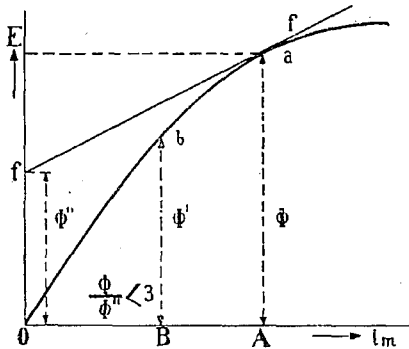
Между магнитным потоком индукторов и ампервитками индукторных катушек  $w_i i_m$  существует соотношение:

$$\Phi = \frac{0,4\pi w_m \cdot i_m}{\Sigma R},$$

где  $w_m$  — число витков обмотки возбуждения, приходящихся на пару полюсов,  $i_m$  — ток возбуждения и  $\Sigma R$  — сопротивление магнитной цепи машины для потока  $\Phi$ .

С увеличением магнитодвижущей силы магнитный поток также возрастает, но не пропорционально ей, а несколько медленнее, так как сопротивление магнитной цепи машины не остается постоянным, а возрастает с увеличением индукции в разных частях цепи. Аналитически зависимость между магнитным потоком и магнитодвижущей силой или ампервитками, для разных величин последних, выразить нельзя, ибо магнитное сопротивление цепи не есть какая-либо определенная функция индукции. На практике зависимость между потоком и магнитодвижущей силой для данной магнитной цепи с наперед известными магнитными свойствами материалов, ее составляющих, можно определить только графически в виде кривой, называемой кривой намагничения или кривой Гопкинсона. Но так как магнитные свойства материалов при фабрикации динамомашин могут измениться, и так как, кроме того, нельзя заранее учесть всех дефектов, которые могут быть допущены при сборке, то построенная теоретически кривая Гопкинсона может отличаться от кривой, имеющей место у готовой машины. По этой причине и в виду того, что кривая Гопкинсона может служить важным критерием при оценке качества динамомашин, получение ее является необходимым при всяком полном исследовании.

В том случае, когда нет возможности запустить машину и мощность ее невелика, кривая намагничения опытным путем получается следующим образом: накладывают на якорь вспомогательную обмоточку, состоящую из 5—7 витков тонкой изолированной проволоки, так, чтобы она охватывала полюс, и соединяют ее концы последовательно с баллистическим гальванометром и короткою катушкою соленоида  $A$  (фиг. 34). Меняя реостатом  $R$  намагничивающий ток от нуля до наибольшей допустимой для обмотки индукторов величины, каждый раз выключают рубильник  $T$  и наблюдают отклонение гальванометра. Откладывая по оси абсцисс



Фиг. 41.

ампервитки индукторных катушек  $\omega i_m$ , — а если число витков катушек неизвестно, то только намагничивающие токи  $i_m$ , — и по оси ординат соответствующие отклонения гальванометра, легко построить кривую, отличающуюся от кривой намагничения только масштабом ординат (фиг. 41). Для того, чтобы выразить ординаты построенной кривой в масштабе потока, определяют для какого-либо намагничивающего тока величину магнитного потока, пронизывающего вспомогательную обмотку способом, опи-

санным на стр. 59. Пусть для тока  $i_m = OA$  поток, пронизывающий обмоточку, равен  $\Phi$  (фиг. 41). Тогда масштаб для ординат кривой будет: 1 ед. дл. =  $\Phi/aA$ ; для какого-либо возбуждения  $i'_m = OB$  поток  $\Phi' = bB \cdot \Phi/aA$ .

Значительно проще снимается кривая намагничения при наличии флюксметра Грассо, показания которого при одном витке в шпуре  $f$  (фиг. 34) в момент выключения тока возбуждения дают магнитный поток в максвеллах.

Кривая намагничения, как показывает фиг. 41, вначале почти прямая, при постепенном увеличении намагничивающего тока все более и более склоняется к оси абсцисс. Такая форма кривой объясняется тем, что ампервитки возбуждения, соответствующие железу и стали (или чугуну) магнитной цепи, при небольшом потоке, а следовательно, при небольшой индукции, весьма малы, и вся магнитодвижущая сила индукторных катушек идет почти исключительно на преодоление магнитного сопротивления воздуха междужелезного пространства. А так как магнитное сопротивление воздуха — величина постоянная, не зависящая от индукции, то ампервитки возбуждения, соответствующие междужелезному пространству, будут пропорциональны магнитному потоку  $\Phi$ . Поэтому и кривая намагничения для всей магнитной цепи будет вначале почти прямою. При дальнейшем увеличении возбуждения, а следовательно и магнитного насыщения, магнитное сопротивление железа и стали (или чугуна) быстро возрастает; вместе с тем возрастают, очевидно, и ампервитки, необходимые для проведения магнитного потока через металлические части магнитной цепи, и притом быстрее ампервитков воздуха. И так как, к тому же, при увеличении насыщения цепи увеличивается и магнитное рассеяние, то кривая Гопкинсона постепенно склоняется к оси абсцисс, а при достаточно высокой индукции, когда, следовательно, ампервитки железа и стали в значительной степени превзойдут ампервитки воздуха, кривая намагничения делается почти горизонтальной.

Чем меньше отношение поперечного сечения железа к поперечному сечению междужелезного пространства в машине, тем острее колено кривой и тем ближе к горизонтали верхняя часть ее. Если точка, определяющая величину нормального магнитного потока для данной машины, лежит на части кривой до ее колена, то это значит, что испытываемую машину можно перегружать в широких пределах, так как небольшим повышением возбуждения в этом случае легко увеличить магнитный поток, а след. и повысить напряжение машины. Однако, если такая машина работает с самовозбуждением, то нужно ожидать, что напряжение ее будет неустойчиво, и для поддержания этого напряжения постоянным потребуется частая подрегулировка возбуждения. Наоборот, машина нормально работающая при самовозбуждении на верхней части кривой, менее чувствительна (в отношении напряжения) к колебанию нагрузки, но вместе с тем и степень перегружаемости ее ниже, чем в первом случае. Стоимость подобной машины будет несколько выше, так как она потребует большего количества меди на индукторные катушки.<sup>1</sup> Суждение об устойчивости напряжения шунтовой машины основывают на отношении потока при нормальном возбуждении, на фиг. 41 отрезка  $Az$ , к значению потока, которое получится на оси ординат, когда в точке кривой намагничения, отвечающей нормальному возбуждению, будет проведена касательная к кривой намагничения; на фиг. 41 на отношении  $Aa/O_f$ . Это отношение не должно быть больше трех.

<sup>1</sup> Магнитную цепь шунтовой машины, служащей для освещения, стараются, обыкновенно, спроектировать так, чтобы рабочая точка машины приходилась немного дальше перегиба кривой намагничения.

Само собою разумеется, что резкое несоответствие кривой намагничивания, полученной опытным путем, с кривою, которою пользовались при проектировании машины, укажет на то, что в магнитной цепи последней произошли те дефекты, о которых говорилось раньше.

Кривую намагничивания готовой уже динамомашины можно получить еще и другим, более легким способом. Этот способ основан на том, что электродвижущая сила  $E$ , индуцируемая в якоре при вращении, пропорциональна магнитному потоку  $\Phi$ , т.-е.  $E = k \cdot \Phi$ , где  $k$ —коэффициент пропорциональности. Таким образом, кривая, дающая зависимость напряжения при работе машины вхолостую от тока возбуждения (фиг. 41) (а эту зависимость легко определить опытным путем, см. главу V), совершенно подобна кривой намагничивания.

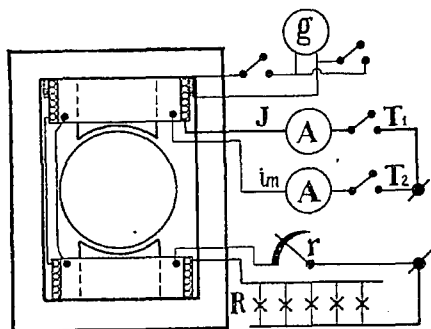
Имея эту зависимость и выразив ординаты в масштабе потока помощью общей формулы для электродвижущей силы, получим и кривую намагничивания (Гопкинсона). Если же данных обмотки якоря нет, то магнитный поток для какого-либо одного тока возбуждения можно определить или флюксметром Грассо или же способом, описанным в § 2 главы IV.

## ТАБЛИЦЫ.

$i_m$	$\alpha$	$\Phi$

$n$	$i_m$	$V$
пост.		

В том случае, когда желают выразить ось абсцисс в масштабе ампер-витков возбуждения, а данных об обмотке возбуждения не имеется, число намагничивающих витков приблизительно можно определить опытным путем.



Фиг. 42.

С этою целью на индукторные катушки накладывают (возможно равномернее) вспомогательную обмотку с большим числом витков (фиг. 42). Кроме того, на один из полюсов помещают небольшую катушечку, состоящую из нескольких витков (4—5) тонкой проволоки. Эта катушечка соединяется через сопротивление с гальванометром.

Самый опыт ведется в следующем порядке: пропускают через индуктора небольшой ток и реостатом регулируют ток в вспомогательной обмотке так, чтобы при одновременном выключении рубильников  $T_1$  и  $T_2$  гальванометр не давал никакого отклонения, т.-е. была бы полная компенсация потоков индукторов и вспомогательной обмотки.<sup>1</sup> Если

<sup>1</sup> Предварительным опытом следует убедиться, что отклонения гальванометра при отдельных выключениях токов—индукторов и вспомогательной обмотки—противоположны.



при этом  $J$  — сила тока в вспомогательной обмотке,  $\omega$  — число витков ее,  $i_m$  — сила тока в индукторных катушках, то, очевидно,  $J \cdot \omega = i_m \cdot \omega_m$ , откуда искомое число витков  $\omega_m = J \cdot \omega / i_m$ . Опыт необходимо произвести для нескольких токов возбуждения; среднее из вычисленных значений  $\omega_m$  можно считать за действительное число намагничивающих витков. При многополюсной машине вспомогательная обмотка накладывается на все полюса; шпулька же, соединенная с гальванометром, только на один полюс.

В том случае, когда в распоряжении имеется источник переменного тока, определение числа витков индукторных катушек можно вести следующим образом: пропустить переменный ток через индукторные катушки и измерить напряжение на концах вспомогательной обмотки. Пусть это напряжение будет  $V_2$ . Если напряжение переменного тока на зажимах индукторных катушек —  $V_1$ , то искомое число витков их  $\omega_m = V_1 \cdot \omega / V_2$ , где  $\omega$  — число витков вспомогательной обмотки. И в данном случае вспомогательная обмотка должна быть наложена на индуктора возможно равномернее.

## ГЛАВА ПЯТАЯ.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ.

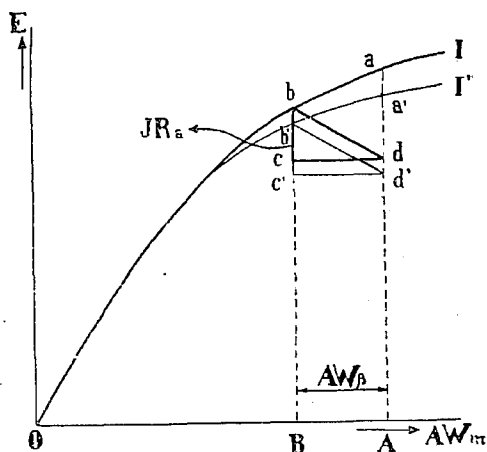
Исследование работы динамомашин производится помощью так называемых характеристик. Эти последние представляют собою графически изображенные зависимости между двумя характерными для машины факторами при постоянстве всех других, влияющих на ее работу. У генераторов наиболее характерным фактором является напряжение на зажимах, а потому при исследовании генераторов существенно важно изучить влияние других факторов именно на напряжение.

При холостой работе генератора, когда тока в якоре нет, а магнитный поток индукторов создается током, подводимым к обмотке возбуждения от постороннего источника тока, напряжение на якоре равно электродвижущей силе, развиваемой якорем. Эта электродвижущая сила пропорциональна магнитному потоку, пронизывающему якорь, и числу оборотов вращения якоря:  $E = k \cdot n \Phi$ , а при постоянном числе оборотов она пропорциональна магнитному потоку генератора. Поток же будет пропорционально напряжению генератора при холостой работе. Но магнитный поток генератора зависит от тока возбуждения, и эта зависимость определяется кривой намагничения. Таким образом, напряжение генератора с посторонним возбуждением, работающего вхолостую, зависит от числа оборотов вращения якоря и от тока возбуждения, а при постоянном числе оборотов — только от тока возбуждения. Характер этой зависимости предопределяет свойства генератора при работе его под нагрузкою, а потому получение кривой намагничения, т.-е. зависимости напряжения генератора при холостой работе от тока или ампервитков возбуждения, является необходимым в первую очередь.

При нагрузке генератора магнитный поток создается уже совместным действием ампервитков обмотки возбуждения и обмотки якоря (или реакции якоря). Вследствие этого электродвижущая сила, индуцируемая в якоре при нагрузке, будет зависеть от тока возбуждения и от тока в якоре. Так как напряжение на якоре при нагрузке меньше электродвижущей силы на величину падения напряжения в омическом сопротивлении якоря,  $V = E - JR_a$ , то оно, следовательно, как бы вдвойне зависит от тока нагрузки: вследствие действия реакции якоря и вследствие действия омического сопротивления якоря же.

Сопротивление якоря, включающее сопротивления контактов щеток и обмотки якоря, зависит от состояния контактных поверхностей щеток и от нагрева обмотки якоря. Если щетки хорошо притерты к коллектору и надлежащим образом к нему прижаты, а якорь был предварительно нагрет до его рабочей температуры, то можно считать, что полное омическое сопротивление якоря не зависит от тока, и, след., падение напряжения в якоре пропорционально току в нем. Что же касается действия реакции якоря, то оно зависит от положения щеток. При правильно поставленных щетках (у генераторов без дополнительных полюсов), сдвинутых с нейтрали по вращению якоря, реакция якоря всегда оказывает размагничивающее действие на индуктора, т.е. уменьшает их магнитный поток. Приблизительно размагничивающие ампервитки реакции якоря (на пару полюсов) определяются выражением:  $AW_{\beta} = \frac{N}{360} \cdot \frac{J}{2a} \cdot 2\beta$ , где  $N$  — число проводников якоря,  $2a$  — число параллельных ветвей обмотки якоря,  $J$  — ток в якоре и  $\beta$  — угол сдвига щеток с нейтрали.

При сильном насыщении зубцов якоря к действию этих так называемых продольных ампервитков якоря присоединяется еще небольшое действие поперечных ампервитков якоря, также ослабляющих поток индукторов путем увеличения магнитного сопротивления слоя зубцов, находящихся под полюсами. Теоретически действие реакции якоря и его омического сопротивления на напряжение учитывается следующим построением (фиг. 43).



Фиг. 43.

Пусть кривая  $I$  представляет собою кривую намагничения, т.е. зависимость электродвижущей силы генератора от ампервитков возбуждения при каком-либо числе оборотов; требуется определить напряжение тока при нагрузке, соответствующее такому возбуждению, при котором ампервитки возбуждения равны  $OA$ . Если бы генератор работал вхолостую, то при ампервитках возбуждения  $OA$  напряжение было бы равно электродвижущей силе  $Aa$ ; при нагрузке электродвижущая сила будет меньше, так как магнитный поток индукторов будет ослаблен реакцией якоря. Поток при нагрузке будет отвечать ампервиткам  $OB$ , полученным вычитанием из ампервитков  $OA$  ампервитков реакции якоря  $AB = AW_{\beta}$ . Этот поток создает электродвижущую силу  $Bb$ . Напряжение на зажимах якоря определится отрезком  $Bc$ , полученным вычитанием из электродвижущей силы  $Bb$  падения напряжения в омическом сопротивлении якоря  $bc = JR_a$ , где  $R_a$  — общее сопротивление якоря (включая контакты щеток). Изменение напряжения при изменении тока нагрузки от нуля до  $J$  выразится разностью  $Aa - Bc$ . Если бы кривая намагничения была подобна кривой  $I'$ , т.е. генератор работал

бы при большом насыщении, то изменение напряжения при изменении тока нагрузки от нуля до  $J$  выразилось бы разностью  $Aa' - Bc'$ . Эта разность меньше, чем в первом случае. Следовательно, генератор с кривою намагничивания  $I'$  более устойчив в отношении напряжения, нежели генератор с кривою намагничивания  $I$ . Из последнего построения с очевидностью вытекает большое влияние формы кривой намагничивания на работу генератора.

Практически действия реакции якоря и его омического сопротивления на напряжение изучаются путем опытного получения как кривой намагничивания или характеристики холостой работы, так и характеристик при нагрузке генератора, т.-е. при наличии тока в якоре. Так как напряжение и при холостой работе и при нагрузке генератора в значительной степени зависит от положения щеток, то условливаются кривые намагничивания снимать при щетках на нейтрали, а кривые нагрузки при определенном неизменном сдвиге щеток с нейтрали. Так как, при изменении тока в якоре или тока возбуждения магнитные нейтрали меняют свое положение, и нет возможности уследить за ним, то является необходимым поставить щетки в какое-либо одно определенное положение, очевидно, такое, при котором щетки не искрили бы с изменением тока якоря в возможно широких пределах. Согласно нормам С. Г. Э. (Союза германских электротехников), положение щеток не должно меняться при изменении мощности в пределах от  $1/4$  до нормальной. Обычно их устанавливают на наименьшее искрение при  $2/3$  нормальной мощности.

У генераторов с дополнительными полюсами щетки располагаются под дополнительными полюсами на геометрической нейтрали, а потому на напряжение генератора будут оказывать влияние лишь поперечные ампервитки реакции и омическое сопротивление якоря и обмотки дополнительных полюсов. У генераторов с компенсационною обмоткою на напряжение будет оказывать влияние лишь одно омическое сопротивление якоря и компенсационной обмотки.

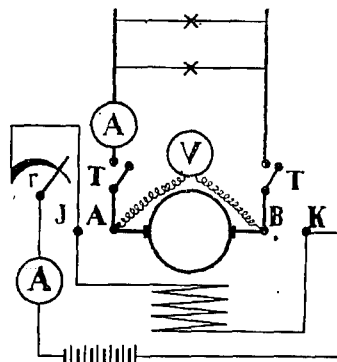
### 1.5. ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОСТОЙ РАБОТЫ ИЛИ НАМАГНИЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА.

Характеристика холостой работы представляет собою зависимость напряжения на зажимах генератора, работающего вхолостую, от намагничивающего тока при постоянной скорости вращения якоря.

Так как при холостой работе генератора с независимым возбуждением напряжение на зажимах равно электродвижущей силе, а последняя пропорциональна полезному магнитному потоку индукторов, то кривая, выражающая зависимость напряжения от тока возбуждения, в данном случае подобна кривой намагничивания (Гопкинсона). Поэтому все то, что было сказано относительно последней (см. главу IV), приложимо и к характеристике холостой работы генератора.

Практически характеристика холостой работы генератора получается следующим образом. Устанавливают щетки на нейтрали (см. гл. II), собирают

схему, изображенную на фиг. 44, при чем рубильники  $T—T$  открыты, и, приведя каким-либо двигателем генератор во вращение с постоянной скоростью, наблюдают напряжение на зажимах по вольтметру  $V$  и намагничивающий ток по амперметру  $A$  при разных положениях ручки реостата  $r$ , другими словами, при разных сопротивлениях, вводимых в цепь возбуждения. Откладывая затем напряжение  $V$  по оси ординат, а соответствующие токи возбуждения  $i_m$  по оси абсцисс (фиг. 45), получают кривую  $ac$  для того случая, когда намагничивающий ток постепенно увеличивался от 0 до  $i_{max}$ , и кривую  $cb$  — для случая, когда намагничивающий ток (без его выключения) уменьшался от  $i_{max}$  до 0. Вследствие гистерезиса в магнитной цепи генератора вторая кривая  $cb$  лежит несколько выше первой кривой  $ac$ . Но так как разность между их ординатами, вообще говоря, невелика, то на практике обе кривые  $ac$  и  $cb$  заменяют одною  $dc$ , лежащей между ними. Ординаты  $Oa$  и  $Ob$  представляют собою напряжения от остаточного магнетизма; в современных генераторах эти напряжения составляют в среднем 3—8% нормального напряжения. Отрезок  $OP$  в масштабе оси абсцисс дает ток возбуждения обратного направления, необходимый для полного раз-



Фиг. 44.

магничения магнитной цепи машины.

ТАБЛИЦА.

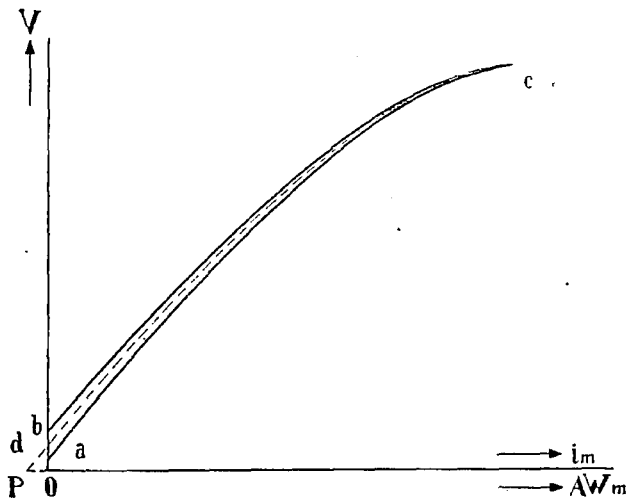
$n$	$i_m$	$V$
пост.		

Если бы число оборотов якоря во время опыта не оставалось постоянным, а почему-либо менялось, то искомое напряжение можно вычислить по формуле:

$$V = V' \cdot \frac{n}{n'}$$

где  $V'$  и  $n'$  — наблюдаемые величины напряжения и числа оборотов, а  $n$  — нормальное число оборотов.

В том случае, когда генератор не имеет еще двигателя, но в распоряжении имеется источник постоянного тока, характеристику холостой работы можно получить следующим способом. Запускают генератор двигателем (схему

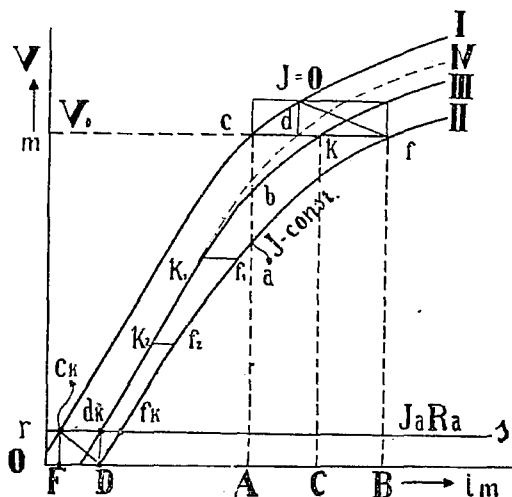


Фиг. 45.

см. гл. II, фиг. 17) и при разных токах возбуждения подрегулировывают реостатом напряжение на якоре так, чтобы число оборотов его оставалось неизменным за все время опыта. Так как ток холостой работы двигателя невелик, то практически можно считать напряжение на якоре в этом случае равным электродвижущей силе. Следовательно, показания вольтметра у якоря и амперметра в цепи возбуждения дадут возможность построить характеристику холостой работы.

## 2. ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.

Динамическая, или нагрузочная, характеристика представляет собою зависимость напряжения генератора от намагничивающего тока при постоянном числе оборотов и при постоянном токе во внешней цепи (см. кривую II фиг. 46).



Фиг. 46.

постоянна, то и падение напряжения в омическом сопротивлении якоря при всех значениях тока возбуждения постоянно, т.-е. графически изобразится прямою  $rs$ , проведенной параллельно оси абсцисс на расстоянии  $J_a \cdot R_a$ . Если к ординатам кривой II прибавить ординаты линии  $rs$ , то получится кривая III, представляющая зависимость электродвижущей силы якоря при нагрузке от тока возбуждения, ибо эта электродвижущая сила  $E_n = V + J_a \cdot R_a$ . Разность ординат кривых I и II определяет, очевидно, падение напряжения как вследствие наличия омического сопротивления якоря, так и вследствие действия реакции якоря. Например, при токе возбуждения  $i_{m1} = OA$  общее падение напряжения равно  $ac$ , при чем часть его  $ab$  отвечает падению вследствие омического сопротивления якоря, а другая часть  $bc$  отвечает падению вследствие реакции якоря. Разность ординат кривых I и II тем больше, чем меньше ток возбуждения.

Имея динамическую характеристику и характеристику холостой работы генератора, нетрудно определить ампервитки, соответствующие падению напря-

Ординаты этой характеристики, представляющие напряжения при разных намагничивающих токах, меньше соответствующих ординат характеристики холостой работы — кривой I, — снятой при том же числе оборотов, вследствие падения напряжения в омическом сопротивлении якоря и вследствие размагничивающего действия реакции якоря.

Падение напряжения в омическом сопротивлении якоря равно  $J_a \cdot R_a$ , где  $J_a$  — ток в якоре, а  $R_a$  — общее сопротивление якоря, включая сопротивление контакта щеток. Так как при снятии динамической характеристики сила тока в якоре

жения вследствие омического сопротивления и реакции якоря. Пусть, например,  $V_0 = O_m$  — напряжение при холостой работе машины, отвечающее току возбуждения  $i_{m1} = OA$ , или если  $w_m$  — число витков индукторных катушек, — ампервиткам  $w_m \cdot i_{m1}$ . Для того, чтобы генератор при данном токе  $J_a$  имел на зажимах то же самое напряжение  $V_0$ , необходимо, как показывает динамическая характеристика (снятая для тока  $J_a$ ), увеличить намагничивающий ток до  $i_{m2} = OB$ , т.е. добавить  $w_m (i_{m2} - i_{m1}) = AB$  ампервитков возбуждения. Эти добавочные ампервитки идут, очевидно, на компенсацию падения напряжения, как от омического сопротивления, так и от реакции якоря. Часть их  $CB = kf$  соответствует омическому падению напряжения, другая часть  $AC = ck$  — реакции якоря, ибо при  $R_0 = 0$ , но при наличии реакции якоря для получения напряжения  $V_0 = AC$  потребовалось бы добавить ампервитков  $AC = ck$ .

Несмотря на то, что омическое падение напряжения при постоянной нагрузке остается почти постоянным, число ампервитков, необходимое для его компенсации, растет по мере увеличения намагничивающего тока  $i_m$ . Отрезки  $k_2 f_2$ ,  $k_1 f_1$ ,  $kf$  увеличиваются с увеличением возбуждения  $i_m$ . Это объясняется тем, что одновременно с увеличением намагничивающего тока увеличивается и насыщенность всей магнитной цепи, а, следовательно, уменьшается ее магнитная проводимость. Число ампервитков, компенсирующих реакцию якоря при постоянном внешнем токе и неизменном положении щеток, также не остается постоянным, а возрастает с увеличением возбуждения по той же причине. Поэтому, чем больше намагничивающий ток, тем далее динамическая кривая отодвигается от характеристики холостой работы.

Магнитный поток якоря при щетках, сдвинутых с нейтралей, можно рассматривать, как известно, состоящим из двух потоков: размагничивающего (продольного) и поперечного. Действие размагничивающего потока якоря при постоянном токе и неизменном положении щеток можно считать почти постоянным, а потому и ампервитки возбуждения, необходимые для его компенсации, приблизительно постоянны. Ампервитки же, компенсирующие действие поперечного потока якоря, всецело зависят от индукции в полюсных башмаках и зубцах. При небольшой индукции, следовательно, при небольшом токе возбуждения действие поперечной реакции на напряжение весьма мало. Этим обстоятельством и пользуются для разделения ампервитков реакции якоря при нормальном возбуждении, например, ампервитков  $ck = AC$  (фиг. 46), на продольные и поперечные ампервитки. При коротком замыкании якоря, т.е. при  $V = 0$ , ампервитки возбуждения равны  $OD$  (фиг. 46); часть их, именно равная  $OF$ , идет на создание электродвижущей силы, уравновешивающей падение в якоре  $J_a \cdot R_0$ , а другая часть, именно равная  $FD = C_k \cdot d_k$ , идет на компенсацию только продольных ампервитков реакции якоря, ибо действие поперечных ампервитков реакции якоря при слабом возбуждении ничтожно мало. Если теперь из точки  $d_k$  провести кривую  $IV$ , параллельную кривой  $I$ , то горизонтальные отрезки между кривыми  $IV$  и  $III$ , подобные отрезку  $dk$  при возбуждении  $i_{m2} = OB$ , дадут поперечные ампервитки реакции якоря.

Имея динамические характеристики для разных сил токов в якоре, трудно построить графически зависимость ампервитков реакции якоря от нагрузки. Точно так же, снимая динамические характеристики при разных углах сдвига щеток, можно изучить влияние реакции якоря на напряжение генератора при разных положениях щеток.

При снятии динамических характеристик собирается схема, изображенная на фиг. 44. Поддерживая число оборотов генератора постоянным, замыкают якорь на короткое через амперметр  $A$  помощью реостата  $R$  и регулируют ток возбуждения реостатом  $r$  так, чтобы чрез якорь проходил ток желаемой силы. Произведя отсчет тока возбуждения  $i_m$  ( $V=0$ ), включают во внешнюю цепь генератора сначала очень небольшое сопротивление проволочным реостатом  $R$  и увеличивают намагничивающий ток  $i_m$  до тех пор, пока амперметр не покажет тот же ток, что и при первом отсчете. Затем включают реостатом  $R$  большее сопротивление и снова увеличивают возбуждение настолько, чтобы через якорь шел тот же ток, и т. д. После каждой подрегулировки тока в якоре делают отсчеты тока возбуждения  $i_m$  и напряжения  $V$ .

ТАБЛИЦА.

$n$	$J$	$i_m$	$V$
пост.	пост.		

Динамические характеристики полезно снять для токов  $J_a = 1/2$  и  $1/1$  нормального. Щетки необходимо поставить предварительно на наименьшее искрение при нормальной нагрузке.

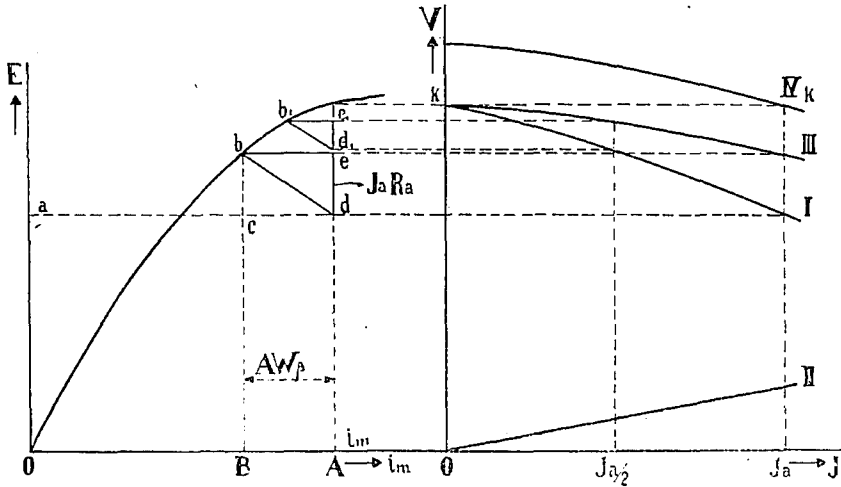
### 3. ВНЕШНЯЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.

Внешняя характеристика представляет собою зависимость напряжения на зажимах генератора от внешнего тока при постоянном возбуждении и при постоянном числе оборотов. На фиг. 47 изображена кривая  $I$ , имеющая вид, обычный для кривой внешней характеристики генератора с независимым возбуждением. Как показывает эта кривая, напряжение генератора по мере увеличения внешнего тока не остается постоянным, а уменьшается, и притом непропорционально внешнему току. Причинами уменьшения напряжения на зажимах генератора являются, как уже было сказано, омическое сопротивление и реакция якоря. Величину падения напряжения от омического сопротивления якоря легко определить, зная общее сопротивление его. Графически зависимость этого падения напряжения от силы внешнего тока изобразится кривою  $II$ , близкою к прямой. Прибавляя ординаты кривой  $II$  к ординатам кривой  $I$ , нетрудно построить и так называемую внутреннюю характеристику — кривую  $III$ , т.-е. зависимость внутренней электродвижущей силы генератора от внешнего тока при постоянном токе возбуждения и постоянном числе оборотов. Разность ординат кривой  $III$  и прямой  $kk$  даст величину падения напряжения от реакции якоря, так как если бы не было ни реакции, ни сопротивления якоря, напряжение на зажимах генератора с изменением нагрузки осталось бы неизменным, т.-е. изобразилось бы графически прямой, параллельной оси абсцисс.



Если кривая *III* мало отклоняется от прямой *kk*, то это значит, что размагничивающая составляющая потока якоря незначительна, т.-е. при снятии внешней характеристики сдвиг щеток от нейтрали был небольшой.

Для практики, вообще говоря, весьма желательно, чтобы падение напряжения генератора при увеличении нагрузки было возможно малым. И так как это падение напряжения появляется вследствие омического сопротивления и реакция якоря, то стараются спроектировать генератор так, чтобы он имел малое внутреннее сопротивление и мог работать с возможно малым сдвигом щеток. Такое побуждение оправдывается еще и тем обстоятельством, что с уменьшением сопротивления якоря уменьшается и потеря энергии в нем на нагревание, а, следовательно, повышается коэфф. полезного действия генератора.



Фиг. 47.

Далее, хотя реакция якоря непосредственно и не увеличивает вредных потерь в генераторе,<sup>1</sup> тем не менее понижает его коэффициент полезного действия вследствие того, что для своей компенсации требует добавочного числа намагничивающих ампервитков, а это ведет, конечно, к большим потерям в индукторных катушках.

Что касается степени влияния реакции якоря на работу генератора, то практика и теория показывают, что чем меньше отношение главного потока к потоку якоря, тем сильнее сказывается действие реакции последнего, т.-е. тем быстрее уменьшается напряжение генератора при увеличении нагрузки. А потому, если генератор при нормальной скорости и при нормальном возбуждении дает незначительное падение напряжения, т.-е. работает хорошо, то при повышенном числе оборотов, но с ослабленным магнитным полем, генератор будет работать хуже,—падение напряжения его будет больше; при этом коммутирование у него будет менее удовлетворительно, т.-е. он может искрить.

<sup>1</sup> За исключением „добавочных потерь“ (см. далее).

Схема включения генератора при опытном получении внешней характеристики представлена на фиг. 44. Самый опыт ведется в следующем порядке. Запускают генератор вхолостую, доводят число оборотов его до нормального и реостатом  $r$  регулируют ток возбуждения так, чтобы напряжение на зажимах было нормально. Поддерживая этот ток возбуждения постоянным, включают постепенно внешнюю нагрузку, врубив предварительно рубильники  $T-T$ , и каждый раз отмечают по амперметру ток нагрузки  $J_a$  и по вольтметру напряжение  $V$  на зажимах. Откладывая напряжения по оси ординат, а соответствующие токи по оси абсцисс, получают внешнюю характеристику, кривую  $I$  фиг. 47. Если теперь у нагруженного нормальным током генератора увеличить ток возбуждения настолько, чтобы напряжение его было нормально, а затем уменьшать ток нагрузки, то напряжение будет повышаться. Отмечая ток нагрузки  $J_a$  и напряжение на зажимах  $V$ , легко построить внешнюю характеристику, имеющую вид кривой  $IV$ .

Если  $V_n$  — нормальное напряжение,  $V$  — напряжение при нормальном токе нагрузки первого опыта, то отношение

$$\frac{V_n - V}{V_n} \cdot 100\%$$

будет называться относительным понижением напряжения генератора. Если  $V_0$  — напряжение при холостой работе генератора во втором опыте (с повышенным возбуждением), то отношение

$$\frac{V_0 - V_n}{V_n} \cdot 100\%$$

будет называться относительным повышением напряжения генератора. Обычно относительные повышения и понижения напряжения у генераторов почти равны друг другу.

Величина относительного изменения напряжения у генераторов с независимым возбуждением находится в пределах:

- 8 — 12% у генераторов без дополнительных полюсов.
- 6 — 10% " " с дополнительными полюсами.
- 5 — 8% " турбогенераторов.

ТАБЛИЦА.

$n$	$l_m$	$J$	$V$
пост.	пост.		

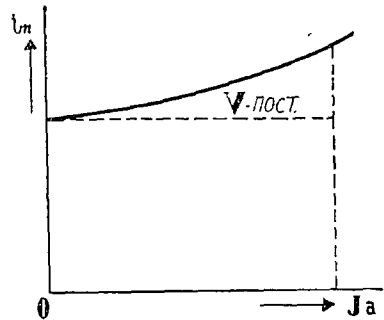
Предполагается, что число оборотов генераторов нормально и щетки стоят в положении наименьшего искрения.

Внешнюю характеристику генератора с независимым возбуждением можно построить, пользуясь характеристикой холостой работы, зная ампервитки реакции якоря (способы определения их см. п. 5) и омическое сопротивление якоря. Пусть, например, на фиг. 47  $OA$  — ампервитки возбуждения, при которых генератор работает и которые считаются постоянными. Вычтя из них ампервитки реакции якоря при заданном токе  $J_a$ , именно  $AW_\beta = BA$ , получают равнодействующие намагничивающие ампервитки  $OB$ . Им отвечает электродвижущая

сила при нагрузке  $E_{II} = Bb$ ; вычтя из нее падение напряжения в якоре  $J_a \cdot R_a = bc$ , получают напряжение на зажимах  $Bc = Ad$ . Точно же так поступают и для другого тока, зная, что ампервитки реакции якоря и омическое падение напряжения пропорциональны току. На фиг. 47 показано определение еще одного напряжения, равного  $Ad_1$ , при токе  $J_a/2$ . Снося точки  $d, d_1 \dots$  на вертикали из точек оси абсцисс, отвечающих токам  $J_a, J_a/2 \dots$ , получают кривую внешней характеристики  $I$ ; снося же на те же вертикали точки  $e, e_1 \dots$ , получают кривую внутренней характеристики  $III$ .

#### 4. РЕОСТАТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.

Для полной характеристики генератора с независимым возбуждением необходимо снять еще кривую, представляющую зависимость намагничивающего тока от тока нагрузки при постоянном напряжении и постоянном числе оборотов. Эту кривую пользуются иногда при расчете ступеней шунтового реостата, и потому она называется реостатной характеристикой (фиг. 48). В начале когда нагрузка генератора мала, когда, следовательно, реакция якоря незначительна, кривая почти горизонтальна. По мере увеличения внешнего тока, а следовательно, и реакции якоря, а также и индукции магнитной цепи, кривая загибается к оси ординат. Чем больше реакция якоря, т.е. чем больше сдвиг щеток от нейтрали и чем насыщеннее магнитная цепь, т.е. чем дальше отстоит рабочая точка генератора от колена кривой Гопкинсона, тем больше отношение  $(i_{mi} - i_{mo})/i_{mo}$ , где  $i_{mo}$  — намагничивающий ток при нормальном напряжении ненагруженного генератора, а  $i_{mi}$  намагничивающий ток нормально нагруженного генератора при том же напряжении. Согласно нормам С. Г. Э. обмотка возбуждения должна быть так рассчитана, чтобы генератор при нормальном числе оборотов и при нормальном ее нагреве мог развивать нормальное напряжение при перегрузке на 25%.



Фиг. 48.

При опытном получении реостатной характеристики пользуются схемой, изображенной на фиг. 44. Запустив генератор вхолостую с нормальным числом оборотов, устанавливают возбуждение так, чтобы напряжение на зажимах было нормально. Затем постепенно нагружают генератор, одновременно увеличивая ток возбуждения каждый раз настолько, чтобы напряжение оставалось неизменным, и записывают показания обоих амперметров.

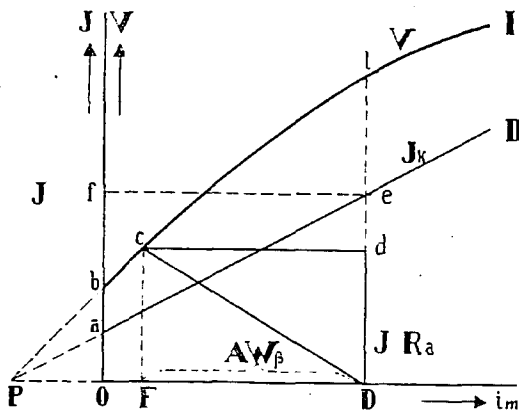
ТАБЛИЦА.

$n$	$V$	$J$	$i_m$
пост.	пост.		

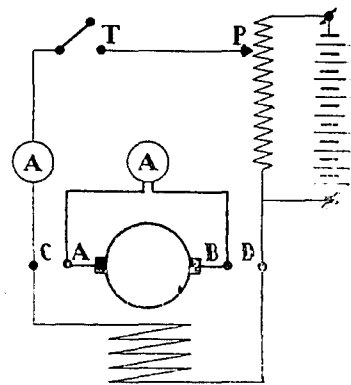
#### 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЕРВИТКОВ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ.

а) По характеристикам холостой работы и короткого замыкания. Включив обмотку возбуждения генератора на независимый источ-

ник тока, снимают сначала характеристику холостой работы, или характеристику намагничивания, кривую *I* фиг. 49, а затем характеристику короткого замыкания, кривую *II* фиг. 49. Последняя представляет собою зависимость тока в якоре, замкнутого толстыми проводами только на один амперметр, от тока возбуждения; графически изображенная, эта зависимость дает почти прямую линию. Теоретически продолжения кривых *I* и *II* должны пересекаться в одной точке *P*, так как отрезок *OP* в масштабе абсцисс дает ток возбуждения, необходимый для приведения машины в нейтральное состояние, т. е. до полного размагничивания. Если требуется определить ампервитки реакции якоря для какого-либо тока  $J_a$ , то поступают следующим образом: из точки оси ординат *f*, отвечающей току  $J_a$ , проводят линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения в точке *e* с характеристикой короткого замыкания; затем через точку *e* проводят вертикаль и на этой вертикали от точки *D*, отвечающей



Фиг. 49.



Фиг. 50.

току возбуждения  $OD$  при коротком замыкании с током  $J_a$ , откладывают в масштабе вольт отрезок  $Dd$ , равный падению напряжения в якоре  $J_a R_a$ , а из точки *d* проводят линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с характеристикой холостой работы в точке *c*. Тогда отрезок  $dc$ , равный отрезку  $FD$  в масштабе абсцисс, дает ток возбуждения, который, будучи умножен на число витков обмотки возбуждения, определит число размагничивающих ампервитков реакции якоря (сравнить с фиг. 46). Следует заметить, что получающиеся размагничивающие ампервитки реакции якоря несколько меньше тех, которые имеются при нормальной работе, когда магнитная цепь насыщена и к размагничивающему действию продольных ампервитков присоединяется действие поперечных ампервитков реакции якоря.

При опытном получении характеристики короткого замыкания поступают следующим образом. Собирают схему, изображенную на фиг. 50. Замкнув якорь толстыми проводниками на один только амперметр, доводят его до нормального числа оборотов и отмечают ток от остаточного магнетизма. Поставив, далее, движок реостата *P* на наименьшее напряжение (на фиг. 50—вниз),

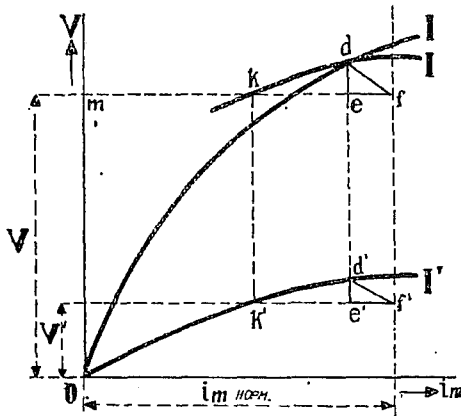
врубают рубильник  $T$  и отмечают токи в цепи возбуждения и в цепи якоря. Перемещая движок  $P$  в сторону увеличения тока возбуждения, наблюдают токи в якоре. (Так как якорь замкнут накоротко, то нужна большая осторожность в регулировании тока возбуждения.)

ТАБЛИЦА.

$n$	$i_{mh}$	$J_a$	$AW_2$
пост.			

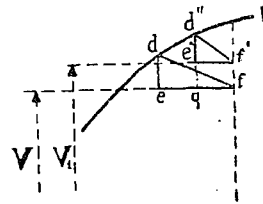
б) По двум характеристикам холостой работы. Снимают две характеристики холостой работы для двух разных чисел оборотов (фиг. 51а) и определяют напряжения на зажимах при тех же числах оборотов, но при каком-либо, хотя бы нормальном токе нагрузки, и для какого-либо, например, нормального возбуждения.

Пусть  $V$  — напряжение при токе  $J_a$  для  $n$  оборотов и для возбуждения  $i_{mh}$ , а  $V'$  — напряжение при том же токе  $J_a$  и при том же возбуждении  $i_{mh}$ , но для  $n'$  оборотов. Проведя горизонталы на расстояниях  $V$  и  $V'$  от оси



Фиг. 51а.

абсцисс, переносят затем кривую  $I'$  (или часть ее) параллельно самой себе так, чтобы точка  $k'$  совпала с точкой  $k$ , и находят точку пересечения двух кривых  $I$  и  $I''$ , именно точку  $d$  (фиг. 51а). Эта точка даст одну из



Фиг. 51б.

вершин треугольника  $def$  (см. также фиг. 43); другие вершины его определяются уже сами собою, так как точки  $e$  и  $f$  лежат на горизонтали  $fm$ .

Приведенное построение треугольника  $def$  основано на том обстоятельстве, что при одном и том же возбуждении как ампервитки реакции якоря ( $ef$ ), так и падение напряжения от омического сопротивления ( $de$ ) не зависят от числа оборотов генератора, т.-е.  $\Delta def$  для числа оборотов  $n$  равен  $\Delta$ -ку  $d'e'f'$  для числа оборотов  $n'$ . Поэтому и фигура  $kdf$  равна фигуре  $k'd'f'$ , а точка  $d$  находится в пересечении кривых  $I$  и  $I''$ .

Таким образом, ампервитки реакции якоря на пару полюсов для данного тока  $J_a$  будут равны  $ef \cdot \omega_m$ , где  $\omega_m$  — число витков шунтовой обмотки, отвечающее одной паре полюсов.

Для того, чтобы определить ампервитки продольной и поперечной реакции якоря в отдельности, поступают следующим образом: располагают щетки на нейтрали, и при тех же значениях внешнего тока  $J_a$  и тока возбуждения  $i_{mh}$ , находят напряжение  $V_1$  (в этом случае имеет место только поперечная реакция.

якоря). Нанося затем это напряжение на диаграмму (см. фиг. 51b) и полагая  $d''e'' = de$  (ибо омическое падение напряжения остается неизменным), строят треугольник  $d''e''f''$ . Тогда отрезок  $e''f''$  представит собою ампервитки поперечной реакции якоря при токе  $J_a$ . Очевидно, разность отрезков  $ef$  и  $e''f''$  даст ампервитки продольной реакции якоря для случая, когда щетки находятся не на нейтрали, а в том их положении, при котором сделаны первые наблюдения.

Так как треугольник  $def$ , вообще говоря, довольно мал, то для успешности его построения опыт следует вести особенно тщательно. Необходимо отметить, что неодинаковые условия коммутирования при разных числах оборотов, и — как следствие этого — неодинаковое действие на главное поле токов коротко-замкнутых щетками секций, затрудняют иногда отчетливое построение треугольника  $def$ .

ТАБЛИЦЫ.

$n_1$	$i_m$	$V$	$n_2$	$i_m$	$V$
пост.			пост.		

$n_1$	$J$	$V_1$
$n_2$	$i_m$	$V_2$
пост.	пост.	

## ГЛАВА ШЕСТАЯ.

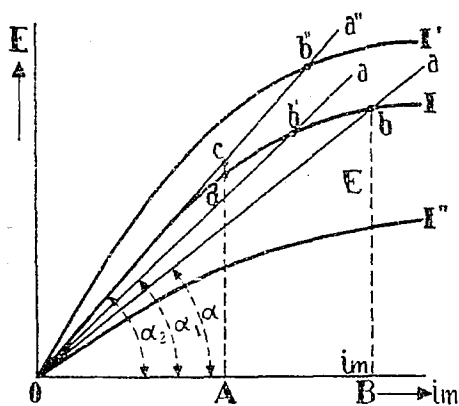
### ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА.

Шунтовой генератор есть машина самовозбуждающаяся, т.-е. ток возбуждения берется от якоря самого же генератора. При каждом пуске шунтового генератора происходит процесс самовозбуждения его, т.-е. процесс нарастания магнитного потока индукторов, а следовательно—напряжения на зажимах якоря и тока возбуждения. Необходимо помнить, что процесс самовозбуждения шунтового генератора может происходить лишь при соблюдении определенных условий: 1) при наличии в магнитной цепи остаточного магнетизма, 2) при таком соединении цепи возбуждения с якорем, при котором ток возбуждения поддерживает остаточный магнетизм, 3) при сопротивлении цепи возбуждения или шунта, меньшем „критического“, 4) при правильном положении щеток (и при отсутствии перерывов в цепи возбуждения). Остаточный магнетизм в магнитной цепи генератора почти всегда имеется, а если бы он исчез, магнитную цепь следует возбудить от какого-либо, хотя бы и слабого, источника тока; к этому средству нужно прибегать лишь после того, как попытки возбудить генератор при соблюдении остальных условий не удаются. Неправильное подключение цепи возбуждения легко обнаружить по уменьшению напряжения от остаточного магнетизма в момент включения рубильника в цепи возбуждения. Неправильное положение щеток обнаруживается по отсутствию напряжения от остаточного магнетизма или же осмотром генератора. Что же касается сопротивления цепи возбуждения или шунта, то при пуске генератора оно должно быть по возможности небольшим; иногда приходится в первые моменты самовозбуждения выводить даже все сопротивление шунтового реостата, в особенности, когда щетки неплотно прилегают к коллектору.

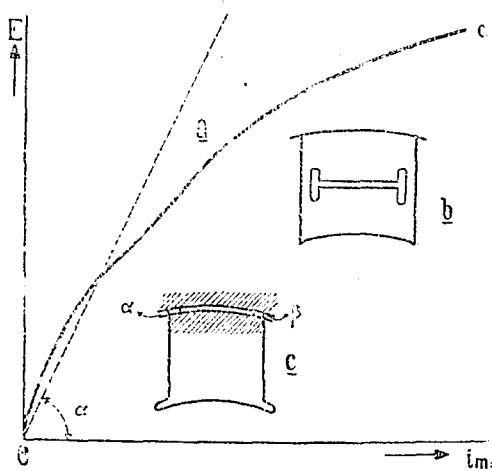
Сопротивление цепи возбуждения, при котором возможно еще самовозбуждение генератора, зависит от формы характеристики холостой работы и определяется углом между касательной линией, проведенной из начала координат к этой характеристике (фиг. 52) и осью абсцисс. Действительно, линия  $Oa$ , проведенная под каким-либо углом  $\alpha$ , тангенс которого равен  $1/f \cdot (R_m + r)$ , где  $R_m + r$ —сопротивление шунтовой обмотки и шунтового реостата, а  $f$ —масштабный коэффициент, представляет геометрическое место падений напряжений в цепи возбуждения  $i_m(R_m + r)$  при изменении намагничивающего тока  $i_m$ . Точка  $b$  пересечения линии  $Oa$  и характеристики холостой работы  $I$  опре-

деляет собою напряжение генератора при данном сопротивлении цепи возбуждения ( $R_m + r$ ). С увеличением сопротивления ( $R_m + r$ ), т.е. с увеличением угла  $\alpha$  точка  $b$  перемещается вниз; при некотором значении сопротивления цепи возбуждения линия  $Oa$  превращается в касательную к характеристике холостой работы и точка  $b$  совпадает с началом координат  $O$ . При этом сопротивлении цепи возбуждения генератор не разовьет никакого напряжения, т.е. не будет возбуждаться. В самом деле, для того, чтобы через сопротивление ( $R_m + r$ ), выражаемое углом  $\alpha_2$ , шел какой-либо ток, напр., равный  $OA$ , необходимо напряжение на зажимах  $Ac$ , тогда как имеется при этом токе напряжение  $Ad$ , меньшее, чем необходимое напряжение; следовательно, тока не может быть, не будет и магнитного потока.

Сопротивление цепи возбуждения, при котором генератор возбуждается называется критическим. Оно является, однако, таковым только для определенного числа оборотов. Так, при характеристике холостой работы  $I'$  (фиг. 52),



Фиг. 52.



Фиг. 53a, b, c.

имеющей место при большем числе оборотов, сопротивление, выраженное углом  $\alpha_2$ , уже не является критическим, так как линия  $Oa''$  пересекает кривую  $I'$  в точке  $b''$ . При меньшей скорости может получиться такая характеристика  $I''$ , при которой и сопротивление, выраженное углом  $\alpha$ , будет критическим.

Итак, для определения скорости вращения имеется такое критическое сопротивление цепи возбуждения, при котором генератор не возбуждается. С другой стороны, для определенного сопротивления цепи возбуждения имеется такая критическая скорость, при которой генератор также не возбуждается. По этой причине при пуске шунтовых генераторов необходимо уменьшать сопротивление цепи возбуждения. Для того, чтобы возбуждение генератора начиналось при возможно большем сопротивлении цепи возбуждения, стараются придать кривой намагничения более изогнутую форму у ее начала. Это достигается или вырезами в сердечниках индукторов (фиг. 53b), или же прокладками из железа  $\alpha$  и  $\beta$  между сердечниками индукторов и станиной (фиг. 53c). В обоих случаях

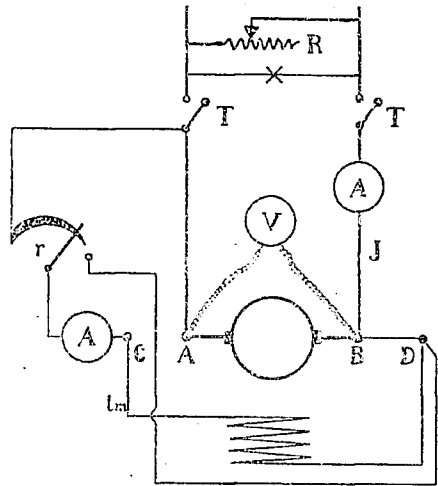


при небольших магнитных потоках происходит быстрое насыщение тонких перешейков сердечников индукторов или прокладок между ними и станиной, благодаря чему кривая намагничения и при небольших потоках становится изогнутой, а не прямой, как это имеет место у обычных генераторов (фиг. 53а). Оба устройства требуют, однако, увеличения ампервитков возбуждения.

Изучение свойств шунтового генератора производится помощью тех же характеристик, что и генератора с независимым возбуждением.

**1. ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОСТОЙ РАБОТЫ.**

Эта характеристика представляет собою зависимость напряжения на зажимах якоря от тока возбуждения ненагруженного генератора. В том случае, когда в распоряжении имеется подходящий по напряжению источник постоянного тока, характеристика холостой работы шунтового генератора получается возбуждением генератора от этого именно источника как генератора с независимым возбуждением. Так и поступают обычно в лабораторной обстановке. Однако ту же характеристику можно снять, беря ток возбуждения от якоря самого же генератора, т.е. запустив его с самовозбуждением. В этом случае напряжение будет несколько отличаться от электродвижущей силы якоря (на величину падения в нем), но так как ток возбуждения у шунтовых генераторов невелик (1—3% от нормального тока), то и разница между ними незначительна. Одним из неудобств получения характеристики холостой работы при самовозбуждении является затруднение в измерении низких напряжений в виду их неустойчивости (см. о самовозбуждении). Схема соединений приборов изображена на фиг. 54; рубильники *T—T* во время опыта разомкнуты.



Фиг. 54.

ТАБЛИЦА.

<i>n</i>	<i>i<sub>m</sub></i>	<i>V</i>
пост.		

**2. ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.**

Динамическая характеристика шунтового генератора ничем не отличается от той же характеристики генератора с независимым возбуждением, и потому сказанное о пей приложимо и к настоящему случаю.

ТАБЛИЦА.

<i>n</i>	<i>J</i>	<i>i<sub>m</sub></i>	<i>V</i>
пост.			

Эту характеристику можно снять или при независимом возбуждении (если имеется подходящий источник тока), или при самовозбуждении. Схему см. фиг. 54.

### 3. ВНЕШНЯЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ШУНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА.

Внешняя характеристика шунтового генератора с самовозбуждением представляет собою зависимость напряжения на зажимах генератора от внешнего тока при постоянном сопротивлении шунтовой цепи и при постоянном числе оборотов якоря. Графически эта зависимость изображается кривой, подобною кривой *I* фиг. 55.

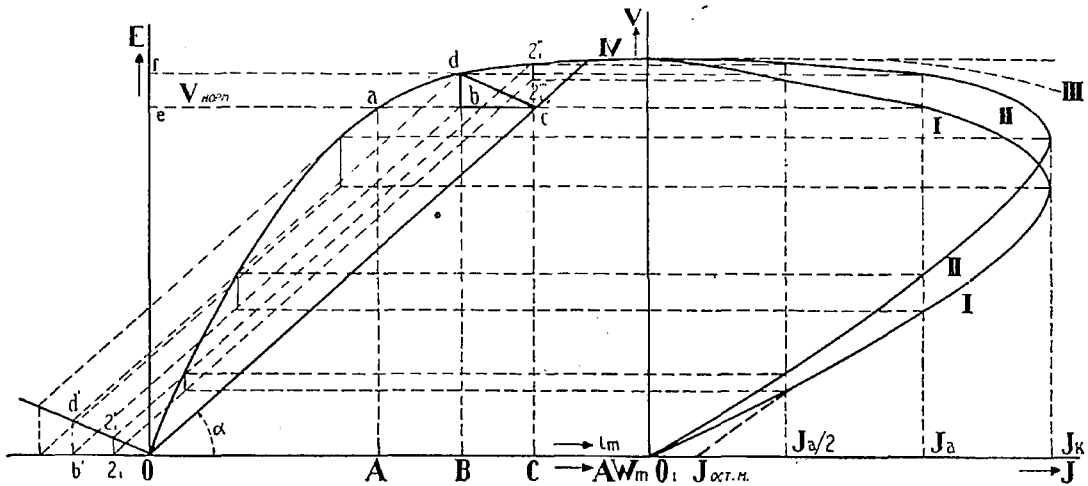
Сравнивая кривую внешней характеристики, снятую при самовозбуждении с кривой внешней характеристики, снятой при независимом возбуждении одного и того же генератора (кривая *III*), нетрудно усмотреть, что ординаты первой кривой меньше соответствующих ординат второй кривой. Причина этого обстоятельства заключается в том, что у шунтового генератора с самовозбуждением уменьшение напряжения при увеличении нагрузки происходит не только вследствие омического сопротивления и реакции якоря, но и вследствие убывания намагничивающего тока, ибо при постоянном сопротивлении цепи возбуждения намагничивающий ток всецело зависит от напряжения на зажимах генератора, а оно-то и уменьшается при увеличении нагрузки. Убывание намагничивающего тока при увеличении нагрузки обуславливает главным образом и своеобразную форму кривой внешней характеристики шунтового генератора. Как видно из фиг. 55, кривая *I* при некотором значении тока загибается, приближаясь к началу координатных осей. Такая форма кривой показывает, что шунтовой генератор с самовозбуждением при неизменном сопротивлении цепи возбуждения можно перегружать только до известного предела — до „критической силы тока“  $J_k$ , так как дальнейшее уменьшение сопротивления внешней цепи уже вызывает не возрастание тока, а, наоборот, его убывание. Когда сопротивление внешней цепи равно нулю, когда, следовательно, генератор замкнут накоротко (намагничивающий ток равен нулю), тока в якоре не должно бы быть, т.-е. кривая *I* должна бы пройти через начало координат. Однако, благодаря остаточному магнетизму магнитной цепи, ток в якоре имеет место и при коротком замыкании, хотя сила этого тока меньше нормальной.

Форма кривой *I* показывает далее, что короткое замыкание шунтового генератора при полном напряжении не опасно, если только это замыкание протекает очень быстро. Если же сопротивление внешней цепи уменьшается медленно и доходит до наименьшей своей величины (до нуля) в течение продолжительного промежутка времени и если критический ток генератора в несколько раз превосходит нормальный, то, конечно, такое короткое замыкание не пройдет бесследно для якоря генератора. В том случае, когда критический ток в 1,5—2 раза больше нормального, даже и медленная перегрузка генератора до его короткого замыкания не представляет большой опасности.

Падение напряжения у обычного шунтового генератора при нагрузке от холостой до полной без подрегулирования шунтовым реостатом составляет, в зависимости от условий, около 10—25%; у небольших генераторов даже: 50% от нормального напряжения. Генераторы, работающие со щетками на нейтрали, дают падение напряжения около 5—10%.

Пользуясь внешней характеристикой машины и зная сопротивления якоря и контактной поверхности щеток, можно построить внутреннюю характеристику, т. е. зависимость внутренней электродвижущей силы от внешнего тока, кривую II фиг. 52.

При снятии внешней характеристики шунтового генератора собирается схема, изображенная на фиг. 54; к зажимам якоря, кроме вольтметра, подключается внешнее сопротивление, допускающее широкую регулировку, например, ламповый, проволочный или жидкостный реостат, а последовательно с внешней цепью включается амперметр, предельное показание которого превосходит удвоенный или утроенный нормальный ток генератора. Для того, чтобы сопротивление цепи возбуждения не менялось от нагрева обмоток и реостата, полезно



Фиг. 55.

предварительно прогреть их, погнав генератор вхолостую; или же поддерживать это сопротивление постоянным, определяя его из выражения  $V/i_m$ .

В том случае, когда исследуется шунтовой генератор небольшой мощности и приводится во вращение мощным двигателем, внешнюю характеристику удастся снять полностью с переходом через критический ток, начав с напряжения несколько выше нормального (или при таком сопротивлении шунтовой цепи, при котором генератор развивает нормальное напряжение при нормальной амперной нагрузке). В том же случае, когда исследуется генератор большой мощности, а двигатель его неспособен выносить большой перегрузки, приходится устанавливать сопротивление шунтовой цепи на напряжение при холостой работе, меньшее нормального, или же ограничиться снятием только верхней части характеристики (с перегрузкой генератора на 25 — 30%). Если бы оказалось необходимым снять и нижнюю часть кривой, то можно было бы повести опыт следующим порядком: дойдя до предельной точки верхней кривой, быстро увеличить сопротивление шунтовой цепи и затем продолжать уменьшать внешнее сопротивление без записи тока и напряжения. После того

как генератор несколько размагнитится, вернуться к прежнему сопротивлению шунтовой цепи, продолжая уменьшать внешнее сопротивление (на этот раз записывая показания приборов).

Подобно тому как это было у генераторов с независимым возбуждением, у шунтового генератора относительным изменением напряжения называется отношение разности нормального напряжения при нормальной нагрузке  $V_n$  и напряжения при холостой работе  $V_0$  к нормальному напряжению, т. е.

$$\Delta V = \frac{V_0 - V_n}{V_n} \cdot 100\%.$$

При этом предполагается, что ток возбуждения, число оборотов и положение щеток остаются неизменными.

ТАБЛИЦА.

$n$	$R_m + r$	$J$	$i_m$	$V$
пост.	пост.			

Внешнюю характеристику шунтового генератора нетрудно построить графически по характеристике холостой работы. Это построение, в предположении, что ток возбуждения мал, указано на фиг. 55.

На расстоянии  $Oe = V$  проводят горизонталь до пересечения с характеристикой холостой работы  $IV$  в точке  $a$ . Затем, на расстоянии  $Of = V + J_a R_a$  проводят вторую горизонталь до пересечения с той же кривой в точке  $d$ . От точки пересечения первой горизонтали с ординатой, проходящей через точку  $d$ , откладывают отрезок  $bc$ , эквивалентный ампервиткам реакции якоря при токе  $J_a$ . Соединив точку  $c$  с точкой  $d$ , получают прямоугольный треугольник  $bdc$ , катеты которого пропорциональны току в якоре  $J_a$ . Соединив точку  $c$  с точкой  $O$ , получают угол  $\alpha$ , пропорциональный сопротивлению шунтовой цепи при токе  $J_a$  и напряжении  $V$ . Так как это сопротивление при построении характеристики предполагается постоянным, то и угол  $\alpha$  также постоянен. При таком условии графическое построение точек внешней характеристики идет в следующем порядке: переносят  $\triangle bdc$  параллельно самому себе в положение  $Ob'd'$ ; делят линию  $Ob'$  на равное число частей и из точек  $1_1, 2_1, 3_1$ , и т. д. проводят вертикали до пересечения с линией  $Od'$ . Из полученных точек проводят линии, параллельные  $Oc$ , до пересечения с характеристикой холостой работы. Тогда ординаты, отвечающие точкам пересечения  $1_1'', 2_1''$  и т. д., дадут значения внутренней электродвижущей силы при данных токах. Вытя падения напряжения в якоре, равные отрезкам  $1_1'' - 1_1'''$ ,  $2_1'' - 2_1'''$  и т. д., находят напряжения на зажимах. Если от точки  $O_1$  отложить в каком-либо масштабе силу тока внешней цепи и провести из точек  $1_1''', 2_1''', 3_1'''$  и т. д.

горизонталю до пересечения с ординатами, отвечающими  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  и т. д. нормальной силы тока  $J_n$ , то в пересечении получатся точки, принадлежащие внешней характеристике. Построение точек нижней части характеристики ясно из фиг. 55.

4. РЕОСТАТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.

Реостатная характеристика шунтового генератора, представляющая собою зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при постоянном напряжении, имеет такой же вид, как и у генератора с независимым возбуждением (фиг. 48). Опытным путем она снимается при самовозбуждении до перегрузки на 25%. Щетки должны стоять на положении наименьшего искрения.

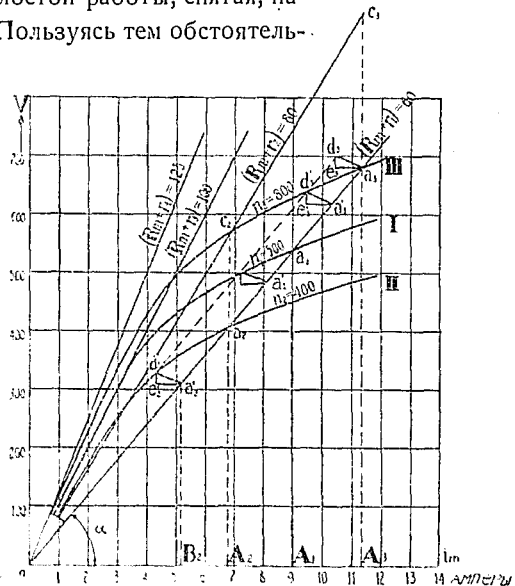
ТАБЛИЦА.

$n$	$V$	$J$	$i_m$
пост.	пост.		

5. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ЧИСЛА ОБОРОТОВ НА НАПРЯЖЕНИЕ ШУНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА.

Случай холостой работы.

Чтобы изучить влияние изменения числа оборотов на напряжение шунтового генератора при холостой его работе, поступают следующим образом. Снимают характеристику холостой работы при нормальном числе оборотов; на фиг. 56 кривая I — характеристика холостой работы, снятая, например, для числа оборотов  $n_1 = 500$ . Пользуясь тем обстоятельством, что при одном и том же возбуждении напряжения генератора, работающего вхолостую, пропорциональны числам оборотов, строят характеристики холостой работы для числа оборотов немного большего и немного меньшего нормального числа оборотов; на фиг. 56 характеристика III построена для числа оборотов  $n_3 = 600$ , а характеристика II — для числа оборотов  $n_2 = 400$ . Если провести теперь из начала координатных осей прямую под углом  $\alpha$  к оси абсцисс, отвечающую некоторому сопротивлению цепи шунта (это сопротивление равно отношению ординат какой-либо точки характеристики холостой работы к абсциссе той же точки), то точки пересечения этой прямой с характеристиками холостой работы и дадут напряжения при соответ-

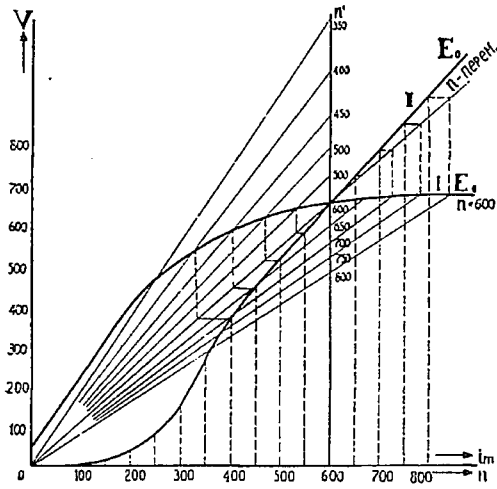


Фиг. 56.

тремя напряжениями при соответ-

ствующих числах оборотов и при неизменном сопротивлении цепи возбуждения. Исходя из масштабов осей ординат и абсцисс (фиг. 56), легко усмотреть, что нанесенному на фиг. 56 углу  $\alpha$  отвечает сопротивление цепи возбуждения  $(R_m + r_1) = 60$  омам. При этом сопротивлении цепи возбуждения напряжение холостой работы для числа оборотов  $n_1 = 500$  равно  $A_1 a_1$ ; для числа оборотов  $n_2 = 400$  оно равно  $A_2 a_2$ , и для числа оборотов  $n_3 = 600$  это напряжение равно  $A_3 a_3$ . Зная пределы изменения числа оборотов первичного двигателя, можно описанным способом найти изменение напряжения, обязанное изменению числа оборотов двигателя. Из фиг. 56 легко видеть, что чем больше сопротивление цепи возбуждения, т.е. чем больше угол  $\alpha$ , следовательно, чем слабее насыщен генератор при нормальном числе оборотов, тем большее изменение напряжения причиняет колебание числа оборотов.

Чтобы полнее изучить влияние насыщенности магнитной цепи шунтового генератора на изменение напряжения его при изменении числа оборотов, по-



Фиг. 57.

лезно снять так называемую кривую самовозбуждения. Эту кривую снимают следующим образом. К зажимам якоря подключают обмотку возбуждения или непосредственно, или же через постоянное сопротивление, н, изменяя постепенно число оборотов якоря от наименьшего до наибольшего, наблюдают напряжение на зажимах. Откладывая затем эти напряжения по оси ординат, а соответствующие числа оборотов по оси абсцисс, получают так называемую кривую самовозбуждения, на фиг. 57 кривую II.

Кривая самовозбуждения показывает, что в начале напряжение генератора очень мало и растет пропорционально числу оборотов. Электродвижущая сила в якоре индуцируется при этом, очевидно, только остаточным магнетизмом. Магнитный же поток, создаваемый током индукторов, весьма мал. По мере увеличения скорости вращения сила намагничивающего тока увеличивается, и создаваемый им магнитный поток начинает превышать поток остаточного магнетизма; генератор возбуждается, а напряжение на его зажимах быстро возрастает до некоторой определенной величины. С дальнейшим повышением числа оборотов магнитный поток индукторов, а следовательно, и насыщение всей магнитной цепи, возрастает настолько сильно, что увеличение намагничивающего тока уже в слабой степени отзывается на напряжении. И наконец, при некотором числе оборотов увеличение возбуждения совсем не влияет на напряжение, и последнее растет пропорционально числу оборотов. Кривая, начиная с этого момента превращается в прямую.

ТАБЛИЦА.

$R_m$	$n$	$V$	$i_m$
пост.			

Кривую самовозбуждения нетрудно построить по кривой намагничения, снятой при каком-либо одном числе оборотов, исходя из следующих соображений. Пусть имеются кривые намагничения для чисел оборотов  $n_3 = 600$  и  $n_2 = 400$  (фиг. 56). При сопротивлении цепи возбуждения  $(R_m + r_1) = 60$  омам токи возбуждения соответственно равны  $OA_3$  и  $OA_2$ , а напряжения на якоре —  $A_3a_3$  и  $A_2a_2$ . Так как при холостой работе напряжения при одном и том же возбуждении пропорциональны числам оборотов, то можно написать (фиг. 53):

$$\frac{n_2}{n_3} = \frac{A_2a_2}{A_2c_2} = \frac{A_3a_3}{A_3c_3},$$

откуда получается

$$A_2a_2 = \frac{n_2}{n_3} A_2c_2 \text{ и } A_3c_3 = \frac{n_3}{n_2} A_3a_3.$$

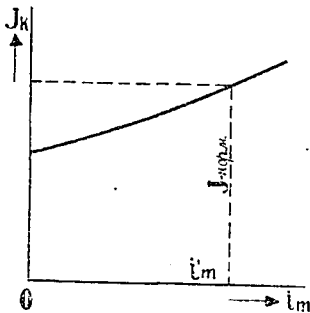
Легко видеть, что точку  $a_2$  можно получить, не имея кривой намагничения для пониженного числа оборотов  $n_2$ . В самом деле, определив по последнему соотношению отрезок  $A_3c_3$ , из точки  $c_3$  проводят прямую через начало координат  $O$ , а через точку пересечения этой прямой с кривой намагничения для числа оборотов  $n_3$  проводят вертикальную линию. Пересечение ее с прямою  $OA_3$  и даст точку  $a_2$ , определяющую напряжение при числе оборотов  $n_2$ . Задаваясь разными значениями чисел оборотов  $n$  и вычисляя каждый раз отрезок  $A_3c_3$ , нетрудно указанным способом определить напряжения для ряда чисел оборотов и затем построить кривую самовозбуждения. Подобное построение приведено на фиг. 57.

#### СЛУЧАЙ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА С НАГРУЗКОЙ.

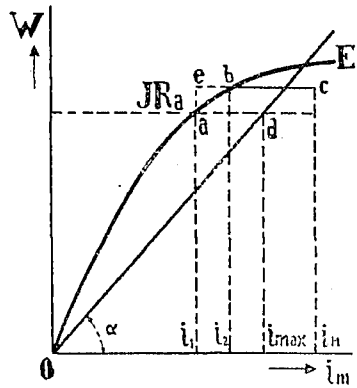
Определение напряжения на зажимах якоря при пониженном числе оборотов нагруженного генератора весьма просто, раз найдено напряжение генератора, работающего вхолостую при том же пониженном числе оборотов. Если бы, например, в разобранный уже примере число оборотов генератора понизилось с  $n_3 = 600$  до  $n_2 = 400$ , то при холостой работе напряжение понизилось бы с  $A_3a_3$  до  $A_2a_2$  (фиг. 56). Чтобы определить напряжение при нагрузке, строят при точке  $a_3$  треугольник  $a_3d_3e_3$  с катетами, равными падению напряжения от омического сопротивления и току возбуждения, эквивалентному действию реакции якоря (т.-е. равного  $AW_3/\omega_m$ , см. ранее), и сносят его вниз так, чтобы его вершина  $d_3$  расположилась на кривой намагничения для числа оборотов  $n_2 = 400$  в точке  $a'_2$ . Тогда точка  $a'_2$  и определит напряжение  $a'_2B_2$  при заданной нагрузке и при пониженном числе оборотов. Точка  $a'_3$  определит напряжение при числе оборотов  $n_3 = 600$  и точка  $a'_1$  напряжение при числе оборотов  $n_1 = 500$ .

## 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ШУНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ.

Если шунтовой генератор, подлежащий испытанию, настолько велик по мощности, что нагрузить его искусственно — реостатами — оказалось бы невозможным, то при разрешении вопроса, способен ли этот генератор дать определенной силы ток при данной скорости вращения и при данном напряжении, пользуются иногда следующим способом: снимают характеристику холостой работы генератора для нормального числа оборотов, и затем для того же числа оборотов кривую короткого замыкания, т.-е. зависимость силы тока в якоре от намагничивающего тока при коротко-замкнутых зажимах генератора (фиг. 58). По этой последней кривой (в действительности она почти прямая) определяют тот намагничивающий ток  $i'_m$ , который соответствует нормальному току генератора  $J_n$ . Намагничивающие ампервигки, отвечающие намагничивающему току, при коротко-замкнутом якоре идут почти исключи-



Фиг. 58.



Фиг. 59.

тельно на компенсацию реакции якоря,<sup>1</sup> так как вся электродвижущая сила теряется в самом генераторе, — напряжение на зажимах его равно нулю.

С некоторою, однако небольшою, неточностью (см. § 5 главы V), можно допустить, что такой же ток возбуждения идет на компенсацию реакции якоря и при нормальной работе генератора, т.-е. при нормальном напряжении и при нормальном возбуждении его. Откладывая этот ток  $i'_m$  вправо от точки  $b$ , лежащей на кривой холостой работы и соответствующей электродвижущей силе при полной нагрузке  $E_a = V + R_n J_n$  (фиг. 59), находят точку  $c$ , определяющую тот ток возбуждения  $i_n$ , который необходим для того, чтобы при внешнем токе  $J_n$  на зажимах генератора было напряжение  $V$ . Наибольший же ток возбуждения при напряжении  $V$  и при сопротивлении обмотки возбуждения  $R_m$  (без реостата):  $i_{max} = V/R_m$ . Если этот ток  $i_{max}$  меньше намагничивающего тока  $i_n$ , то, очевидно, генератор не будет в состоянии дать ток  $J_n$  при данном напряжении  $V$  и при данном числе оборотов. Если же  $i_n < i_{max}$ ,

<sup>1</sup> Ампервигки омического падения напряжения весьма малы, так как возбуждение а следовательно и магнитное насыщение, в этом случае очень незначительны.



то генератор не только может выработать ток  $J_n$  при напряжении  $V_n$ , но и способен дать при том же напряжении перегрузку, определяемую величиной разности абсцисс ( $i_{\max.} - i_n$ ).

ТАБЛИЦЫ.

$n$	$i_m$	$V$
пост.		

$n$	$i_{mk}$	$J_k$
пост.		

## 7. ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ШУНТОВОГО РЕОСТАТА.

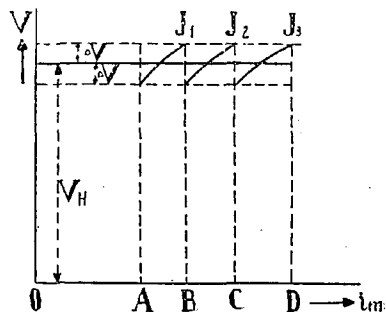
Шунтовой реостат при шунтовых генераторах, вообще говоря, составляет весьма важную принадлежность; им отчасти обуславливается возможность получить определенное напряжение при той или иной нагрузке и поддержать это напряжение постоянным при изменении нагрузки от нуля до нормальной и даже до перегрузки на 10—20%. Так как напряжение генератора при увеличении нагрузки вследствие омического сопротивления и реакции якоря понижается, то сопротивление шунтового реостата должно быть так рассчитано, чтобы напряжение при холостой нагрузке было значительно, а при допустимой перегрузке немного больше нормального.

Для того, чтобы определить наибольшее сопротивление шунтового реостата, пускают ненагретый еще генератор вхолостую с нормальным числом оборотов и измеряют силу тока возбуждения  $i_m$ , отвечающего нормальному напряжению  $V$ . Если  $R_m$  — сопротивление индукторных катушек в холодном состоянии, то наибольшее сопротивление шунтового реостата будет:

$$r_{\max.} = \frac{V}{i_m} - R_m.$$

На случай повышенного, в сравнении с нормальным, числа оборотов и более низкой температуры машинного зала, нежели она была при последнем измерении, к полученному сопротивлению прибавляется еще около 20—30%.

Общее сопротивление шунтового реостата делится на части (ступени), число которых всецело зависит от желаемой тонкости регулировки. В реостатах, предназначенных для небольших генераторов, сопротивление отдельных ступеней не рассчитывается; обыкновенно все ступени имеют одно и то же сопротивление. В шунтовых реостатах больших генераторов сопротивление каждой ступени должно быть точно определено. Исходным пунктом при этом служат пределы, в которых допустимы колебания напряжения.



Фиг. 60.

При определении сопротивлений отдельных ступеней шунтового реостата опытным путем поступают следующим образом: пускают генератор (для дан-

ного опыта уже нагретый) вхолостую и дают ему такое возбуждение  $i_m = \dot{O}A$  (фиг. 60), при котором напряжение на зажимах было бы равно допустимому пределу, т.-е.  $V_{н} + \Delta V$ , где  $V_{н}$  — нормальное напряжение. В этом случае общее включенное сопротивление реостата будет:

$$r' = \frac{V_{н} + \Delta V}{OA} - R_m.$$

Поддерживая возбуждение  $OA$  постоянным, нагружают постепенно генератор до тех пор, пока напряжение не понизится до допускаемого низшего предела, т.-е. до  $V_{н} - \Delta V$ . Затем, поддерживая ток в якоре постоянным повышают возбуждение настолько, чтобы напряжение снова сделалось равным  $V_{н} + \Delta V$ . Пусть возбуждение при этом —  $OB$ ; тогда сопротивление первой ступени реостата будет:

$$r_1 = r' - \left[ \frac{V_{н} + \Delta V}{OB} - R_m \right].$$

Нагружая, далее, генератор до тех пор, пока напряжение не понизится до  $V_{н} - \Delta V$ , снова увеличивают возбуждение настолько, чтобы и при этой нагрузке напряжение было равным  $V_{н} + \Delta V$ . Тогда сопротивление второй ступени реостата будет:

$$r_2 = r' - r_1 - \left[ \frac{V_{н} + \Delta V}{OC} - R_m \right].$$

Поступая таким образом до полной нагрузки (и даже до перегрузки), определяют сопротивление всех ступеней шунтового реостата.

ТАБЛИЦА.

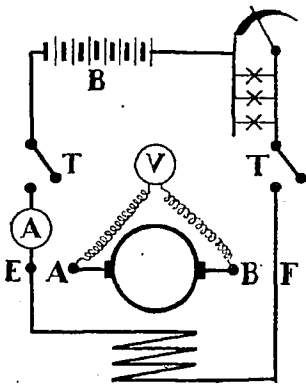
$n$	$V \pm \Delta V$	$J$	$i_m$
пост.			

## ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

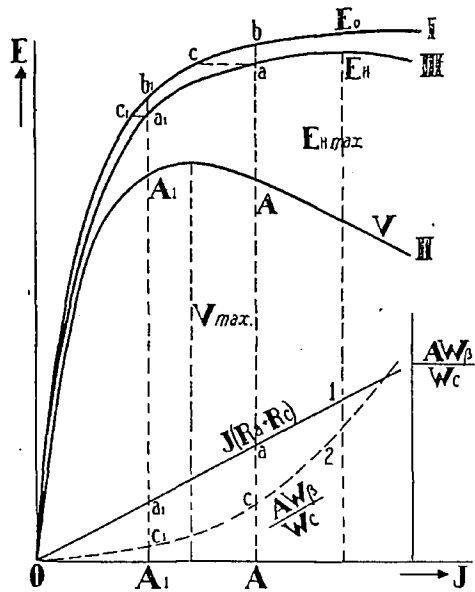
### ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕРИЕС-ГЕНЕРАТОРА, ИЛИ ГЕНЕРАТОРА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ.

#### 1. ХАРАКТЕРИСТИКА НАМАГНИЧЕНИЯ.

Под характеристикой намагничения сериес-генератора подразумевается зависимость напряжения на якоре от намагничивающего тока при токе в якоре, равном нулю. Так как ток якоря у сериес-генератора при нормальной его работе является намагничивающим током, и, следовательно, сериес-генератор не может намагничиваться без внешней нагрузки, то при опытном получении характеристики намагничения приходится отключать обмотку возбуждения от якоря и питать ее от какого-либо постороннего источ-



Фиг. 61.



Фиг. 62.

ника тока (см. схему фиг. 61). При этом не следует забывать, что в противоположность обмотке возбуждения шунтового генератора обмотка возбуждения сериес-генератора имеет весьма малое сопротивление (приблизительно порядка сопротивления якоря), и потому при питании ее от источника тока относи-

тельно высокого напряжения необходимо последовательно включить реостат с большим сопротивлением.

Характеристика намагничивания сериес-генератора дает ясное представление о магнитном состоянии его при разных токах нагрузки, так как ток нагрузки, как было сказано, является при нормальной работе и током намагничивающим.

В зависимости от предназначения сериес-генератора характеристика намагничивания его более прямолинейна (у бустеров) или более криволинейна (у дуговых генераторов); примерный вид ее подобен кривой *I* (фиг. 62).

ТАБЛИЦА.

<i>n</i>	$J_{\text{поз.}}$	<i>V</i>
пост.		

## 2. ВНЕШНЯЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕРИЕС-ГЕНЕРАТОРА.

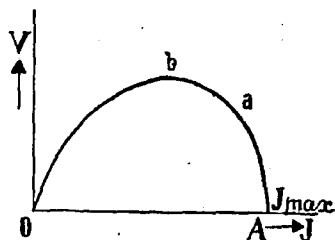
Внешняя характеристика сериес-генератора представляет собою зависимость напряжения на зажимах от тока нагрузки. Она имеет вид кривой *II* фиг. 62. Ее ординаты меньше ординат характеристики намагничивания на величину падения напряжения вследствие омического сопротивления обмоток якоря и возбуждения и вследствие размагничивающего действия реакции якоря. Падение напряжения в омическом сопротивлении генератора равно  $J_a \cdot (R_a + R_c)$ , где  $R_a$  и  $R_c$  — сопротивление якоря и обмотки возбуждения; его можно считать приближенно пропорциональным току. В таком случае графически оно представится прямою *1* (фиг. 62). Если прибавить ординаты этой прямой к ординатам внешней характеристики *II*, то получится внутренняя характеристика — кривая *III* фиг. 62, представляющая зависимость электродвижущей силы при нагрузке, равной  $V - J_a (R_a + R_c)$ , от тока нагрузки. Разность ординат кривых *I* и *III*, например, отрезки *ab*,  $a_1b_1$  и т. д. дадут, очевидно, падения напряжения, обзаянные реакции якоря.

По внутренней характеристике и по характеристике холостой работы легко определить и приблизительное число ампервитков реакции якоря для любой нагрузки. Так, например, для тока  $J_a = OA$  число ампервитков реакции якоря определится произведением из числа витков индукторных катушек  $w_m$  на силу тока, эквивалентную заключенному между кривыми *I* и *III* отрезку *ac*, т. е. произведением  $ac \cdot w_m$ , так как если бы реакции якоря не было, генератор работал бы на точке *c* при намагничивающем токе, меньшем нормального на величину *ac*. На фиг. 62 кривая *2* представляет собою зависимость между током возбуждения, эквивалентным реакции якоря, или между ампервитками реакции якоря и током нагрузки.

Кривые внешней и внутренней характеристик имеют максимумы, которые могут быть и не при одной и той же силе тока. Это обстоятельство обуславливается тем, что с увеличением внешнего тока, кроме омического падения напряжения, возрастает и реакция якоря, и притом не пропорционально току, а несколько быстрее. И так как на форму внешней характеристики влияют обе причины одновременно, а на форму внутренней характеристики только одна — реакция якоря, — то первая характеристика — внешняя — имеет максимум раньше второй — внутренней, если падение напряжения от омического сопро-

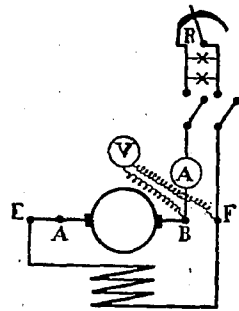
тивления превышает падение напряжения от реакции якоря. В том же случае, когда максимумы обеих кривых совпадают, действие реакции является обычно преобладающим.

Практически относительное влияние омического сопротивления и реакции якоря на падение напряжения легко проследить, снимая кривые внешней характеристики при разных положениях щеток. При щетках, сдвинутых по направлению вращения сравнительно далеко от нормального их положения, внешняя характеристика при некоторой силе тока получает крутой перегиб, быстро склоняясь к оси абсцисс (фиг. 63). В этом случае на протяжении части кривой  $Aa$  размагничивающее действие реакции якоря почти равно намагничивающему действию индукторных катушек. Серийс-генераторы с подобною характеристикой часто употребляются при освещении дуговыми лампами, так как сила тока при работе генератора за перегибом  $ab$ , как показывает кривая, постоянна при любом напряжении в пределах участка  $Aa$ , т.е. при любом числе последовательно включенных дуговых ламп. Генератор является в этом случае как бы саморегулирующимся.



Фиг. 63.

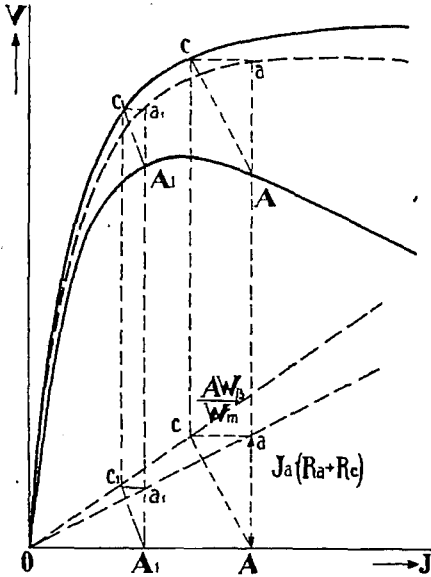
Схема включения для получения внешней характеристики изображена на фиг. 64. Опыт удобнее начинать с нормального или с несколько больше нормального тока, постепенно уменьшая его до нуля. Предварительно следует установить щетки на наименьшее искрение и на нормальное напряжение при нормальном токе. На схеме фиг. 64 указан проволочный реостат  $R$ , служащий для ускорения процесса самовозбуждения. Дело в том, что серийс-генератор может самовозбуждаться лишь при наличии тех же условий, что у шунтового генератора: во-первых, в магнитной цепи генератора должен иметься остаточный магнетизм; во-вторых, обмотка возбуждения должна быть подключена к якорию так, чтобы ток возбуждения поддерживал остаточный магнетизм; в-третьих, сопротивление внешней цепи при данном числе оборотов должно быть меньше „критического“. Реостат  $R$  в схеме фиг. 64 и служит для ускорения самовозбуждения генератора, так как им легче подобрать сопротивление, меньшее критического. Следует отметить, что при угольных щетках, с большим сопротивлением контактной поверхности серийс-генератор возбуждается иногда лишь при коротком замыкании его зажимов. Так как в этом случае может получиться быстрое и значительное нарастание тока, при котором могут пострадать приборы или получить сильные толчки двигатель, то рекомендуется поступать следующим образом: реостатом  $R$  включить в генератор сопротивление, приблизительно равное сопротивлению внешней цепи при нормальной нагрузке (равное  $V/J$ ), и через тонкую медную проволочку замкнуть генератор на-



Фиг. 64.

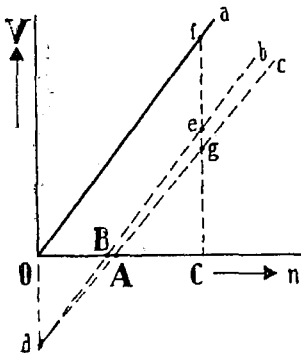
ротко. При некотором небольшом токе проволока сгорает, и в цепь генератора включается сопротивление реостата.

Внешнюю характеристику сериес-генератора легко построить, зная размагничивающие ампервитки реакции якоря (способы их определения см. гл. V), и сопроти-



Фиг. 65 а.

Повторяя подобное построение для разных токов, нетрудно построить и кривые характеристик; на фиг. 65 произведено построение еще для тока, равного  $OA_1$ .



Фиг. 65 б.

генератора является и намагничивающим током, то теоретически эта характеристика должна бы быть прямой, выходящей из начала координат, на фиг. 65 б прямой  $Oa$ . Благодаря влиянию омического сопротивления и реакции якоря,

ТАБЛИЦА.

$n$	$J$	$V$
пост.		

вление обмоток якоря и возбуждения. Пусть, например, точка  $A$  на фиг. 65 а отвечает нормальному току нагрузки, при чем размагничивающие ампервитки реакции якоря на пару полюсов равны  $AW_3$  ( $AW_3 = N \cdot J \cdot 2\beta/2a \cdot 360$ , где  $N$  — число проводников якоря,  $J$  — сила тока,  $2a$  — число параллельных ветвей обмотки и  $\beta$  — угол сдвига щеток). При точке  $A$  строят треугольник  $Aac$ , у которого отрезок  $ca = AW_3/\omega_m$ , где  $\omega_m$  — число витков обмотки возбуждения, отвечающее паре полюсов, а отрезок  $Aa = J_a(R_a + R_c)$ . Поднимают затем треугольник  $Aac$ , вверх так, чтобы сторона его  $Aa$  находилась на вертикали, проходящей через точку  $A$ , а вершина  $c$  легла на кривую холостой работы; тогда вершина треугольника  $A$  даст точку внешней характеристики, а вершина  $a$  — точку внутренней характеристики.

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКА СЕРИЕС-ГЕНЕРАТОРА ПРИ ПОСТОЯННОМ ТОКЕ.

Эта характеристика представляет собою зависимость напряжения от числа оборотов при постоянном токе во внешней цепи. Так как ток нагрузки у сериес-

характеристика получает вид прямой  $Ac$ , отодвинутой вправо и не параллельной линии  $Oa$ . Если бы было одно омическое сопротивление, то характеристика получила бы вид прямой  $Bb$ , идущей параллельно линии  $Oa$  на расстоянии  $fe$ , равном омическому падению напряжения. Отрезок  $eg$  отвечает, очевидно, падению напряжения от действия реакции якоря. Как показывает фигура 65 b, отрезок  $Od$  равен  $ef$ , т.-е. этот отрезок дает падение напряжения от омического сопротивления. Точка  $d$  является точкою пересечения прямой  $Ac$  и продолжения оси ординат. Таким образом, имея прямую  $Ac$  и продолжая ее до пересечения с осью ординат, можно получить падение напряжения от омического сопротивления генератора. Проведя же из точки  $d$  линию, параллельную линии  $Oa$  (эту линию легко нанести по предварительному опыту с генератором при независимом возбуждении), легко найти отрезки  $eg$ , равные падению напряжения от реакции якоря.

Серийес-генераторы с постоянным током работают в передачах энергии по способу Тюри.

ТАБЛИЦА

$J$	$n$	$V$
пост.		

## ГЛАВА ВОСЬМАЯ.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПАУНД-ГЕНЕРАТОРОВ.

#### 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОСТОЙ РАБОТЫ.

Характеристика холостой работы компаунд-генератора подобна той же характеристике шунтового генератора и может быть снята или при независимом возбуждении (пропуская ток через шунтовую обмотку от постороннего источника тока), или при самовозбуждении, если ток, идущий при этом через шунтовую обмотку, сравнительно невелик. Характеристика холостой работы компаунд-генератора имеет обычно вид более прямолинейный, чем шунтового генератора, так как этого требует хорошее компаундирование (см. далее).

ТАБЛИЦА

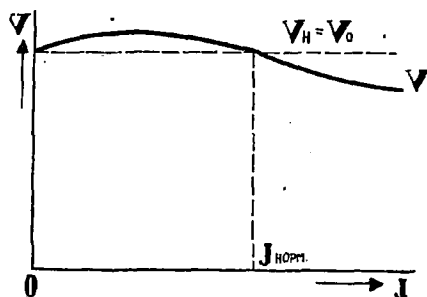
$n$	$i_m$	$V$
пост.		

#### 2. ВНЕШНЯЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПАУНД-ГЕНЕРАТОРА.

Из сопоставления внешних характеристик шунтового и серийес-генераторов легко усмотреть, что в то время как напряжение шунтового генератора с увеличением нагрузки падает, напряжение серийес-генератора, наоборот, повышается. Ясно, что для поддержания напряжения на зажимах постоянным при разных нагрузках, генератор можно снабдить двумя намагничивающими обмотками — шунтовой и последовательной — и притом так, чтобы одна из них, последовательная, компенсировала падение напряжения как от омического сопротивления, так и от реакции якоря. Приблизительно можно положить, что напряжение шунтового генератора определяется выражением:  $V_H = V_0 - k_1 J_a$ , где  $V_0$  — напряжение при холостой работе,  $J_a$  — ток в якоре, а  $k_1$  — коэффициент снижения внешней характеристики, который в пределах кривой до нормальной нагрузки можно считать постоянным, так как верхняя часть кривой внешней характеристики почти прямолинейна. Если через  $k_2$  обозначить коэффициент повышения напряжения, обязанного последовательной обмотке, действующей согласно с шунтовой, то выражение для напряжения компаунд-генератора можно написать так:  $V_H = V_0 - k_1 J_a + k_2 J_c$ , где  $J_c$  — ток в последовательной обмотке, почти равный току в якоре  $J_a$ . При равенстве  $k_1 J_a = k_2 J_c$  напряжение при нагрузке  $V_H$  будет равно напряжению при холостой работе  $V_0$ . Генераторы, снабженные двумя обмотками — шунтовой и последовательной, называются компаунд-генераторами.



Внешняя характеристика, представляющая зависимость напряжения от тока нагрузки компаунд-генератора при неизменном сопротивлении шунтовой цепи возбуждения, имеет вид кривой, изображенной на фиг. 66. Вначале эта кривая идет несколько выше прямой  $V_0$ , определяющей напряжение при холостой работе генератора, затем, при некотором токе нагрузки пересекает ее, и далее идет уже ниже прямой  $V_0$ . Приведенная кривая внешней характеристики компаунд-генератора, показывает, что полная компенсация падения напряжения возможна только при каком-либо одном токе нагрузки. При других токах нагрузки полной компенсации уже нет, и вот почему: ампервитки, необходимые для компенсации действия реакции якоря, вследствие уменьшения проницаемости железа при повышении магнитной индукции (насыщения), должны бы расти не пропорционально внешнему току, а несколько быстрее последнего. По той же причине и ампервитки, идущие на компенсацию действия омического падения напряжения, должны бы увеличиваться быстрее внешнего тока. В действительности же ампервитки последовательной обмотки пропорциональны току в якоре; поэтому, если эта обмотка так рассчитана, что она вполне компенсирует падение напряжения от обеих причин при каком-либо, например, нормальном токе на-



Фиг. 66.

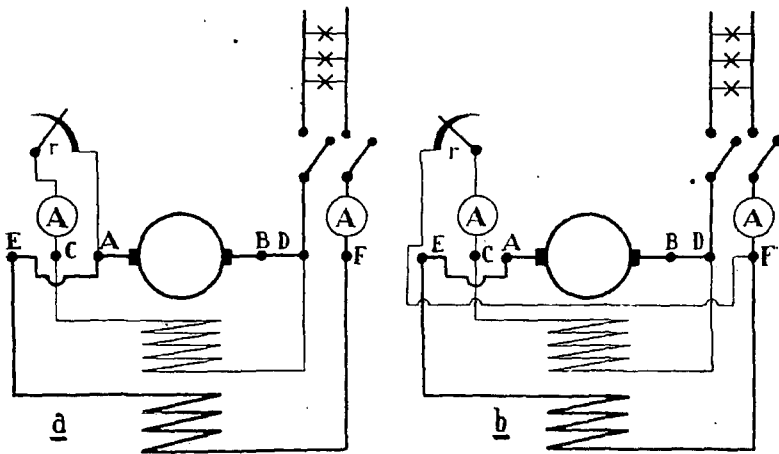
грузки, то при токе нагрузки, большем нормального, компаундирование будет недостаточно, и напряжение генератора несколько понизится; при токе нагрузки, меньшем нормального, компаундирование будет велико, и напряжение возрастет. В первом случае говорят, что генератор перекомпаундирован, во втором — недокомпаундирован. Изменение напряжений компаунд-генератора при изменении нагрузки от холостой до нормальной не велико и составляет у генераторов с правильно рассчитанной последовательной обмоткой всего 2—3% нормального напряжения. Оно тем меньше, чем прямее характеристика намагничивания генератора (см. далее построение внешней характеристики компаунд-генератора). На практике у компаунд-генераторов, служащих для передачи энергии на расстояние, последовательная обмотка рассчитывается часто так, чтобы полное компаундирование происходило при нормальном токе нагрузки; у генераторов, предназначенных для освещения — при токе нагрузки, составляющем  $1/2$ — $2/3$  от нормального тока, так как в последнем случае процентное колебание напряжений при изменении нагрузки меньше, нежели в первом случае.

Следует заметить, что неодинаковое процентное изменение напряжения компаунд-генераторов имеет следствием затруднения в отношении распределения нагрузки между ними при параллельной работе (см. далее).

Схема включения компаунд-генератора с коротким ответвлением шунтовой цепи (т.-е. от зажимов якоря) изображена на фиг. 67 а; схема включения того же генератора с длинным ответвлением шунтовой цепи (т.-е. от зажимов генератора) изображена на фиг. 67 б. При опытном получении внешней характеристики

нормальное напряжение генератора, работающего сначала вхолостую, устанавливают помощью шунтового реостата, а затем, не трогая последнего, постепенно нагружают на соответствующий реостат, поддерживая число оборотов генератора постоянным и отмечая ток и напряжение во внешней цепи, а также ток шунтовой цепи возбуждения.

Если полученная опытным путем внешняя характеристика генератора значительно отстает от прямой, то это означает, что или последовательная обмотка рассчитана неправильно, или щетки во время опыта стояли не на месте, или же число оборотов вращения было ненормально и не поддерживалось постоянным. Перестановкою щеток, изменением числа оборотов (если это практически



Фиг. 67.

осуществимо) удастся иногда получить желаемую форму кривой внешней характеристики.

При обнаружившемся перекомпаундировании необходимо включить параллельно с последовательной обмоткой сопротивление (шунт), подобрав величину этого сопротивления опытным путем так, чтобы получилось надлежащее компаундирование, т.-е. при каком-либо токе нагрузки, например, при нормальном токе, напряжение было равно нормальному. Если опыт производится с ненагретым генератором, то для учета некоторого увеличения падения напряжения в якоре при нагреве берут сопротивление шунта таким, чтобы при нормальном токе напряжение было больше нормального приблизительно на  $1\%$ .

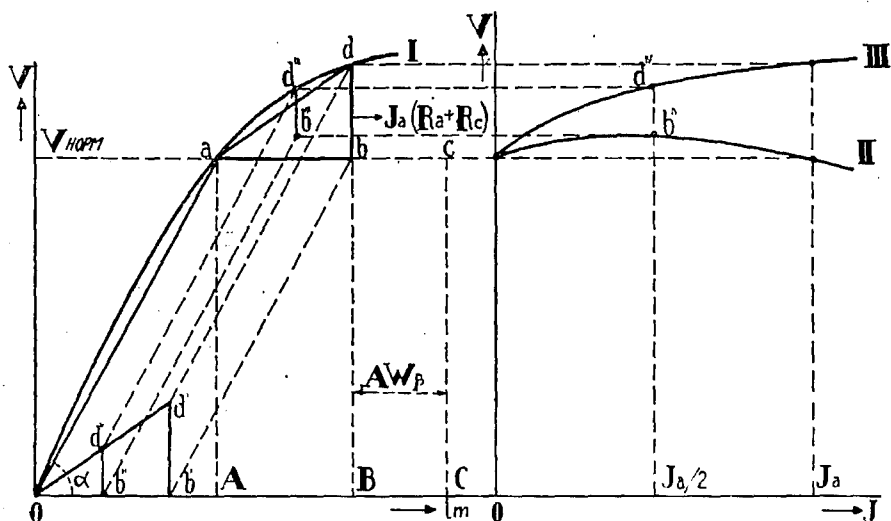
При обнаружившемся недокомпаундировании, т.-е. уменьшении напряжения с увеличением нагрузки, следует изменить направление тока в последовательной обмотке переключением концов ее. Если надлежащего эффекта после переключения обмотки не получится, необходимо проверить правильность соединения отдельных катушек последовательной обмотки, т.-е. проверить, не действуют ли некоторые катушки против шунтовой обмотки. С этой целью последовательную обмотку включают на какой-либо источник тока и последовательно соединенным сопротивлением устанавливают ток, приблизительно рав-

ный 20% нормального тока генератора, и затем проверяют полярность полюсов магнитной стрелкой, или же снимают потенциальную кривую на коллекторе, и по течению этой кривой судят о правильном чередовании полярностей полюсов.

Внешнюю характеристику компаунд-генератора можно построить по характеристике холостой работы его, зная сопротивления обмотки якоря и последовательной обмотки; это построение указано на фиг. 68. На этой фигуре кривая  $I$  — характеристика холостой работы, отрезок  $Aa$  — нормальное напряжение генератора  $V_{норм}$ , отрезок  $bd$  — падение напряжения в генераторе

ТАБЛИЦА

$n$	$R_m+r$	$J$	$V$	$i_m$
пост.	пост.			



Фиг. 68.

$J_a (R_a + R_c)$  при нормальном токе  $J_a$ , отрезок  $bc = BC$  — ампервитки реакции якоря, отрезок  $ac = AC$  — ампервитки последовательной обмотки при нормальном токе  $J_a$ , необходимые для того, чтобы напряжение при этом токе было равно  $Aa$ . Полагая, что падение напряжения  $db$  пропорционально току нагрузки, а угол  $\alpha = aOC$ , соответствующий сопротивлению шунтовой цепи, остается неизменным, построение внешней характеристики ведут в следующем порядке. Треугольник  $adb$  переносят параллельно самому себе в положение  $Ob'd'$ . Желая найти напряжение при токе  $J_a/2$ , делят катет  $Ob'$  пополам, из точки деления  $b''$  проводят вертикаль до пересечения с гипотенузой  $Oa'$  в точке  $d''$ . Затем отрезок  $b'd''$  переносят параллельно линии  $Oa$  вверх так, чтобы конец его  $d'''$  расположился на характеристике холостой работы в точке  $d'''$ . Тогда другой конец отрезка  $b'''$  определит напряжение при токе  $J_a/2$ . Проектируя точку  $b'''$  на вертикаль, проведенную из точки абсциссы  $J_a/2$  правой координатной системы, находят точку  $b''v$  внешней характеристики; проектируя на ту же вертикаль точку  $d''$ , получают точку внутренней харак-

теристики  $d^{IV}$ . Поступая так при разных значениях тока нагрузки, легко построить как внешнюю характеристику — кривую *II* фиг. 68, так и внутреннюю характеристику — кривую *III* фиг. 68.

Из приведенного построения ясно, что кривая внешней характеристики компаунд-генератора превратилась бы в прямую, если бы участок кривой намагничивания  $ad$  был прямолинейным, ибо в этом случае точки  $d, d'''$  и т. д. располагались бы на гипотенузе треугольника  $abd$ , а точки, определяющие напряжения, т.-е. точки  $b, b'''$  и т. д., располагались бы на катете  $ab$  того же треугольника. Кривую намагничивания с прямолинейным участком в пределах нормальной работы машины, т.-е. около точки  $a$  фиг. 68, можно получить, применяя железные прокладки между сердечниками индукторов и станиною (фиг. 53), беря их сечение (для прохождения магнитного потока) таким, чтобы железо этих прокладок насытилось не у начала кривой намагничивания, как это требуется для надежного самовозбуждения, а у точки нормального намагничивания, на кривой фиг. 68 — у точки  $a$ .

### 3. ВНЕШНЯЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИПЕРКОМПАУНД-ГЕНЕРАТОРА.

Гиперкомпаунд-генератор — это такой компаунд-генератор, который поддерживает напряжение постоянным не на своих зажимах, а на каком-либо питающем пункте. У этого генератора последовательная обмотка рассчитывается так, чтобы она не только компенсировала действие на напряжение реакции и сопротивления якоря, но и давала превышение напряжения, равное падению напряжения в линии, идущей от генератора к питающему пункту. Следовательно, напряжение на его зажимах должно быть  $V = V_{\text{п.п.}} + JR$ , где  $V_{\text{п.п.}}$  — напряжение питающего пункта, а  $R$  — сопротивление линии. Внутренняя характеристика генератора гиперкомпаунд подобна кривой *I*, внешняя его характеристика подобна кривой *II*, изменение же напряжения на питающем пункте подобно кривой *III* (фиг. 69).

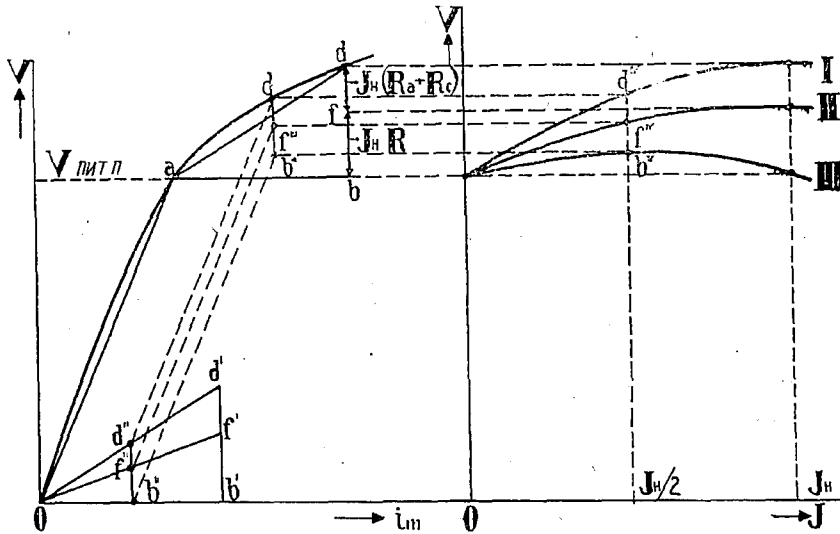
Опытное получение внешней характеристики генератора гиперкомпаунд ведется так же, как и генератора компаунд, при чем собирается схема, указанная на фиг. 67. Если в качестве нагрузки будут применены лампы накаливания, то во избежание перекала их последовательно с ними необходимо включить реостат. Включив реостат с сопротивлением  $R$ , равным сопротивлению предполагаемой линии, можно наблюдать напряжение не только у зажимов генератора, но и у нагрузки.

ТАБЛИЦА.

$n$	$R_m + r$	$J$	$V_a$	$V_{\text{п.п.}}$	$i_m$
пост.	пост.				

Внешнюю характеристику генератора-гиперкомпаунд можно построить графически по кривой намагничивания, если известны сопротивления якоря, после-

довательной обмотки и предполагаемой линии. Это построение приведено на фиг. 69; оно производится следующим образом: у точки  $a$ , отвечающей нормальному напряжению питательного пункта, строится треугольник  $abd$ , у которого катет  $bd = J_{II} \cdot R + J_{II}(R_a + R_c)$ , где  $J_{II}$  — нормальный ток,  $R$ ,  $R_a$  и  $R_c$  — сопротивления линии, якоря и последовательной обмотки. Затем треугольник  $abd$  переносится к началу координат в положение его  $Ob'd'$ . Если требуется определить напряжение при токе  $J_{II}/2$ , то катет  $Ob'$  делится пополам в точке  $b''$ , восставляется в этой точке перпендикуляр до пересечения в точках  $d''$  и  $f''$  с гипотенузами  $Od'$  и  $Of'$  и отрезок  $b''d''$  переносится параллельно самому себе так, чтобы точка  $d''$  расположилась на кривой намагничения в точке  $d'''$ . Тогда



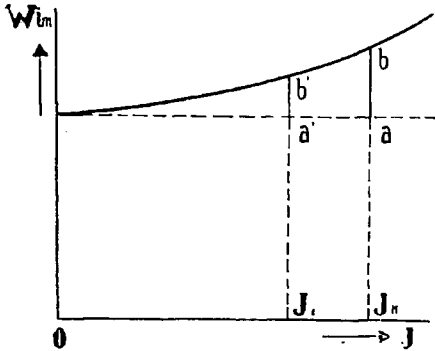
Фиг. 69.

точка  $d'''$  даст внутреннюю электродвижущую силу генератора, точка  $f'''$  напряжение на зажимах генератора и точка  $b'''$  — напряжение на питательном пункте при токе  $J_{II}/2$ . Таким же порядком можно найти напряжения и при других значениях тока нагрузки. Дальнейшее построение внешних характеристик ясно из фиг. 69.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ВИТКОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОБМОТКИ КОМПАУНД-ГЕНЕРАТОРА.

Число витков последовательной обмотки компаунд-генератора легко найти, как было только-что указано, графическим построением по характеристике холостой работы. На практике же, при фабрикации компаунд-генераторов, число витков последовательной обмотки удобнее определять опытным путем, так как выше-описанное графическое построение может иногда привести к ненадежным результатам. С этой целью генератор, снабженный только одной шунтовой обмоткой (для последовательной обмотки оставляется место), нагружают на реостат и, при данной скорости вращения, определяют зависимость между внешним током

и ампервитками шунтовой обмотки при постоянном нормальном напряжении — снимают, другими словами, реостатную характеристику (фиг. 70). По этой



Фиг. 70.

характеристике и находят уже число витков последовательной обмотки, необходимое для поддержания напряжения на зажимах генератора постоянным при каком угодно внешнем токе. Если бы требовалось, например, получить полное компаундирование при нормальном токе  $J_n$ , то необходимое число витков последовательной обмотки было бы

$$w_c = \frac{(ab)}{J_n},$$

где  $ab$  отвечает увеличению числа ампервитков шунтовой обмотки при пере-

ходе от холостой к полной нагрузке. Если же полное компаундирование желательно было бы иметь при токе  $J_1$ , то число витков последовательной обмотки было бы

$$w_c' = \frac{(a'b')}{J_1}.$$

Число витков последовательной обмотки генератора-гиперкомпаунд определяется совершенно так же; только при снятии кривой  $w_i_m = f(J)$  (фиг. 70) напряжение на зажимах при изменении внешнего тока не остается постоянным, а постепенно повышается помощью шунтового реостата настолько, насколько это требуется условием перекомпаундирования.

Схема для снятия кривых  $w_i_m = f(J)$  изображена на фиг. 67.

ТАБЛИЦА.

$n$	$V$	$i_m$	$J$	$w_c$
ноет.	пост.			

## ГЛАВА ДЕВЯТАЯ.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ШУНТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

#### 1. ВКЛЮЧЕНИЕ, ВЫКЛЮЧЕНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧИСЛА ОБОРОТОВ ДВИГАТЕЛЯ.

Основные уравнения двигателей имеют вид:

$$V = E + J_a R_a, \quad \text{и} \quad V J_a = E J_a + J_a^2 R_a,$$

где  $V$  — напряжение на зажимах двигателя,  $E$  — противоэлектродвижущая сила,  $J_a$  — сила тока в якоре и  $R_a$  — сопротивление якоря.

Противоэлектродвижущая сила двигателя, т.-е. та электродвижущая сила, которая индуцируется в якоре при вращении его с числом оборотов  $n$  в минуту в магнитном поле  $\Phi$ , как известно, выражается формулой:

$$E = 10^{-8} \frac{p}{a} \cdot N \Phi \cdot \frac{n}{60}.$$

Здесь  $p$  — число пар полюсов двигателя,  $a$  — число пар параллельных ветвей и  $N$  — число проводников обмотки якоря.

Если положить

$$\frac{10^{-8}}{60} \cdot \frac{p}{a} \cdot N = k,$$

то

$$E = k \cdot n \cdot \Phi, \quad \text{и} \quad E J_a = k \cdot n \cdot \Phi \cdot J_a.$$

Последнее произведение представляет собою, очевидно, ту электрическую мощность, которая, за вычетом потерь от трения в подшипниках, превращается в механическую мощность. И так как последняя выражается произведением момента вращения  $M$  в *кгм/сек.* на угловую скорость вращения  $2\pi n/60$ , то

$$\frac{E \cdot J_a}{9,81} = \frac{k \cdot n \cdot \Phi \cdot J_a}{9,81} = \frac{2\pi n}{60} \cdot M,$$

откуда

$$M = \frac{60 \cdot k \cdot \Phi \cdot J_a}{9,81 \cdot 2\pi} = \frac{10^{-8} p \cdot N}{9,81 a} \cdot \Phi \cdot \frac{J_a}{2\pi},$$

или, полагая

$$\frac{10^{-8}}{9,81 \cdot 2\pi} \cdot \frac{p}{a} \cdot N = A,$$

$$M = A \cdot \Phi \cdot J_a,$$

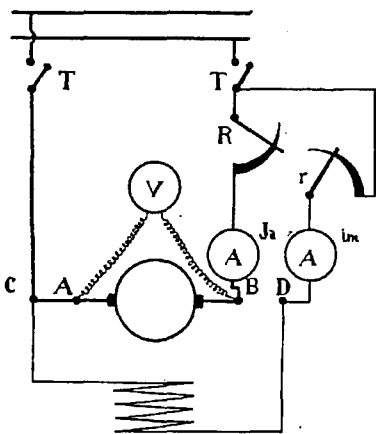
т.-е., момент вращения двигателя пропорционален магнитному потоку и силе тока в якоре. Отсюда следует, что для того, чтобы двигатель при пуске в ход развил наибольший вращательный момент, необходимо включить его таким образом, чтобы магнитное поле индукторов и сила тока в якоре имели возможно большие величины.

Наибольшая величина магнитного потока индукторов, другими словами, намагничивающего тока  $i_m$ , у шунтового двигателя обуславливается сопротивлением индукторных катушек и напряжением сети, к которой подключается двигатель. Сила же тока в якоре двигателя ограничивается, во-первых, допустимой величиной ее для данной обмотки, и, во-вторых, допустимым колебанием напряжения сети <sup>1</sup>. Так как в момент пуска двигателя в ход противоэлектродвижущая сила его равна нулю, а в следующие затем моменты она очень незначительна, то сила тока при непосредственном включении якоря на сеть может достигнуть слишком большой величины, ибо сопротивление якоря, вообще говоря, величина очень малая. Во избежание этого обстоятельства последовательно с якорем включают сопротивление (пусковой реостат), постепенно выводимое из цепи по мере нарастания противоэлектродвижущей силы при увеличении числа оборотов двигателя.

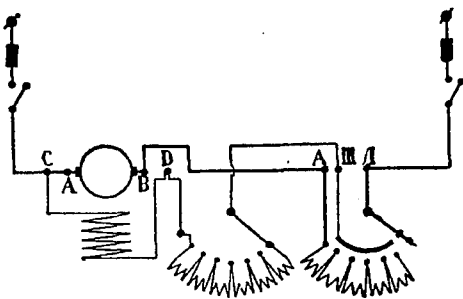
Сопоставляя указанные условия пуска двигателя, схемы соединения их с реостатами следует осуществлять по нижеследующим схемам.

На фиг. 71 дана принципиальная схема включения шунтового двигателя:

зажим якоря и зажим индукторных катушек (на фиг. 71 зажимы *A* и *C*) соединяются между собою и через рубильник *T* соединяются с одним полюсом источника тока. Вторые зажимы якоря и индуктор-



Фиг. 71.



Фиг. 72.

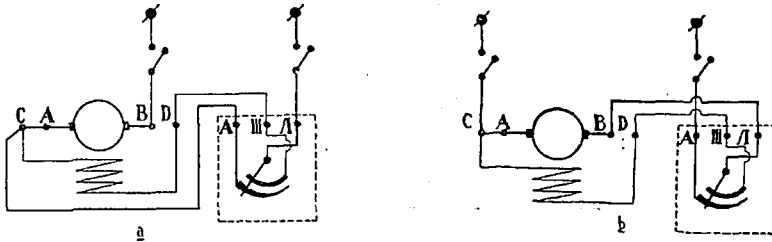
ных катушек (на фиг 71 зажимы *B* и *D*) через реостаты — пусковой *R* и шунтовой *r* — соединяются через рубильник *T* с другим полюсом источника тока.

На фиг. 72 изображена та же схема, но с применением пускового реостата промышленного типа. У этого реостата имеются три зажима, обозначен-

<sup>1</sup> Включение двигателя, берущего вначале слишком большой ток, вызывало бы чувствительное понижение напряжения сети вследствие падения напряжения в питающих проводах.



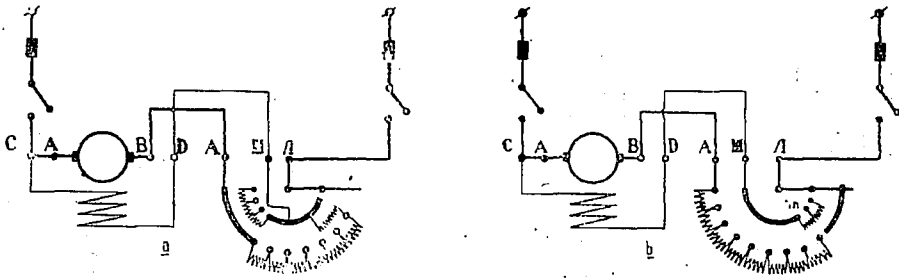
ные русскими или латинскими буквами:  $A$ ,  $\text{Ш}(F)$ ,  $\text{Л}(L)$ . Зажим реостата  $A$  необходимо соединить со свободным зажимом якоря, зажим  $\text{Ш}(F)$  — через шунтовой реостат со свободным зажимом индукторных катушек, зажим  $\text{Л}(L)$  — через рубильник с полюсом источника тока. Было бы неправильно выполнять схему так, как указано на фиг. 73 а и б. В первом случае оба зажима шунтовой цепи оказались бы соединенными с одним и тем же полюсом и двигатель при пуске мог бы сгореть; во втором случае намагничивающий ток при пуске был бы ослаблен сопротивлением пускового реостата, и двигатель не взял бы с места даже и при небольшом моменте сопротивления.



Фиг. 73.

На фиг. 74 а изображена схема соединения шунтового двигателя с применением комбинированного реостата, т.-е. такого, в котором пусковой и шунтовой реостат соединены в одно конструктивное целое.

На фиг. 74 б изображена схема соединения шунтового двигателя при наличии лишь одного пускового реостата. Шунтовая обмотка при пуске и при нор-



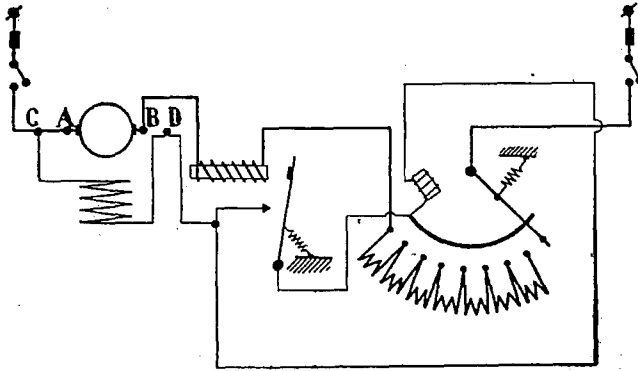
Фиг. 74.

мальной работе находится под полным напряжением сети; сопротивление  $m$  вводится перед выключением двигателя в цепь индукторных катушек с той целью, чтобы ослабить электродвижущую силу самоиндукции их в момент выключения.

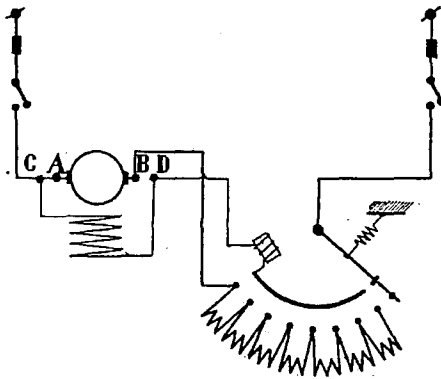
На фиг. 75 а дана схема включения шунтового двигателя при наличии пускового реостата, снабженного минимальным выключателем, возвращающим ручку реостата на холостой контакт в случае перерыва тока в линии двигателя.

На фиг. 75 б изображена схема включения с реостатом, снабженным минимальным и максимальным выключателями; последний выключает двигатель при чрезмерной перегрузке.

Что касается выключения двигателей из сети, то и в этом отношении не следует упускать из виду некоторые предосторожности. Во-первых, нельзя выключать сначала возбуждение, а потом якорный ток, так как без потока противоэлектродвижущая сила будет равна нулю, и ток в якоре может сразу возрасти до опасной величины; во-вторых, при выключении возбуждения необходимо по



Фиг. 75 а.



Фиг. 75 б.

возможности ослабить электродвижущую силу самоиндукции индукторных катушек, вредную для их изоляции.

В том случае, когда шунтовой реостат связан электрически с пусковым, выключение возбуждения происходит одновременно с выключением якорного тока. Ослабление же электродвижущей силы самоиндукции ин-

дукторных катушек на практике достигается особыми конструкциями шунтовых реостатов. В некоторых реостатах индукторные катушки при выключении замыкаются на какое-либо большое сопротивление с целью превратить энергию исчезающего магнитного поля в теплоту Джоулева эффекта при прохождении экстратока размыкания чрез сопротивление; в других реостатах та же энергия идет на вольтову дугу, образуемую искусственно между угольными контактами реостата при его выключении.

Для того чтобы изменить направление вращения двигателя, недостаточно изменить полярность подводимого тока на зажимах его, так как при этом изменилось бы направление тока как в якоре, так и в индукторах, и двигатель вращался бы в ту же сторону. Необходимо пересоединить зажимы якоря и индукторных катушек так, чтобы ток изменил свое направление только в одной из этих цепей.

Что касается регулирования числа оборотов шунтового двигателя, то оно может быть произведено, как показывает выражение для числа оборотов

$$n = \frac{E}{k \cdot \Phi} = \frac{V - J_a R_a}{k \cdot \Phi},$$

или путем изменения потока индукторов  $\Phi$ , следовательно, изменения намагничивающего тока, или же путем изменения напряжения у якоря  $V$ . Изменение тока возбуждения производится шунтовым реостатом  $r$  (фиг. 71); изменение напряжения у якоря производится реостатом, включенным перед якорем. (Только не пусковым, так как последний не рассчитывается на длительное прохождение тока).

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА НАМАГНИЧЕНИЯ.

При исследовании шунтовых двигателей определяются главным образом зависимости между величинами: силы тока в якоре, силы намагничивающего тока, числа оборотов вращения и мощности двигателя при всевозможных условиях работы. И в то время как при исследовании генератора устанавливаются соотношения преимущественно между напряжением на зажимах и другими величинами, характеризующими его работу при постоянном числе оборотов, при исследовании двигателя находятся зависимости между числом оборотов и другими факторами обычно при постоянном напряжении и на зажимах. Однако и при исследовании двигателей нельзя обойтись без получения характеристики намагничения, так как она иллюстрирует степень насыщенности магнитной цепи двигателей.

Под характеристикой намагничения подразумевается зависимость электродвижущей силы якоря от тока возбуждения при постоянном числе оборотов. Эту характеристику можно получить двумя способами. В том случае, когда в распоряжении имеется вспомогательный двигатель, спаривают его механически с испытуемым двигателем, заставляют последний работать генератором вхолостую с постоянным числом оборотов и при разных токах возбуждения определяют напряжение у якоря. В том же случае, когда вспомогательного двигателя не имеется, просто запускают испытуемый двигатель вхолостую и при разных напряжениях у якоря, устанавливаемых помощью реостата в цепи якоря, регулируют ток возбуждения так, чтобы число оборотов было постоянно. Тогда показания вольтметра, подключенного к якору, за вычетом небольшого падения напряжения в якоре  $J_0 R_a$ , где  $J_0$  — ток в якоре, дадут электродвижущие силы, соответствующие разным токам возбуждения. Полагая, что при небольшом токе холостой работы  $J_0$  действие реакции якоря незначительно, можно считать полученные электродвижущие силы равными тем, которые были бы без тока в якоре.

Если бы оказалось невозможным менять напряжение у якоря, то при постоянном напряжении  $V$  меняют возбуждение и определяют число оборотов якоря и ток  $J_0$ . Тогда электродвижущие силы для нормального числа оборотов  $n_0$  определяют из соотношения

$$\frac{E}{V - J_0 R_a} = \frac{n_0}{n},$$

где  $n$  — наблюдаемые числа оборотов, а  $E$  — искомые электродвижущие силы.

Схема включения приборов указана на фиг. 71.

ТАБЛИЦА.

$n$	$i_m$	$V$
пост.		

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКА СКОРОСТИ ИЛИ ЗАВИСИМОСТЬ ЧИСЛА ОБОРОТОВ ОТ НАГРУЗКИ ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПРЯЖЕНИИ НА ЗАЖИМАХ.

Основные уравнения двигателей суть:

$$\begin{aligned} V &= E + J_a R_a \\ E &= k \cdot n \cdot \Phi \\ n &= \frac{E}{k \cdot \Phi} = \frac{V - J_a R_a}{k \cdot \Phi} \end{aligned}$$

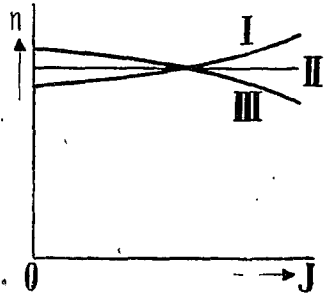
С увеличением нагрузки двигателя, а следовательно и тока в якоре, магнитный поток индукторов, благодаря размагничивающему действию реакции якоря, уменьшается, а потому, как это видно из последней формулы, число оборотов двигателя должно возрастать. С другой стороны, с увеличением нагрузки увеличивается и падение напряжения от омического сопротивления якоря, а следовательно, как показывает первая формула, должна уменьшаться электродвижущая сила  $E$ ; число оборотов при постоянном потоке должно при этом убывать. Таким образом, при нормальной работе двигателя падение напряжения от омического сопротивления якоря и реакция последнего в отношении скорости вращения действуют в противоположном друг другу смысле. И если реакция якоря, по своему действию, имеет перевес над омическим падением напряжения, число оборотов двигателя с увеличением нагрузки возрастает. Если же, наоборот, действие омического падения напряжения превышает действие реакции якоря, как это обыкновенно и имеет место на практике, число оборотов двигателя с увеличением нагрузки убывает. Так как действие реакции якоря находится в тесной связи с насыщенностью магнитной цепи, то оба последние случая могут иметь место у одного и того же двигателя (при неизменном положении щеток), если этот двигатель один раз будет работать слабо возбужденным, другой раз сильно возбужденным.

Для того, чтобы выяснить опытным путем относительное влияние насыщенности магнитной цепи на число оборотов двигателя, поступают следующим образом: ставят щетки в такое положение, при котором они при полной нагрузке давали бы наименьшее искрение, и затем определяют зависимость между числом оборотов двигателя и силой тока в якоре для намагничивающих токов: нормального,  $\frac{3}{4}$  и  $\frac{3}{4}$  нормального, поддерживая эти токи каждый раз постоянными в продолжение всего опыта.<sup>1</sup> (Нагрузкою для двигателя может служить динамо, работающая на какое-либо сопротивление.) Откладывая по оси ординат числа оборотов двигателя, а по оси абсцисс соответствующие силы тока в якоре, строят кривые, которые могут быть подобны изображенным на фиг. 76: кривая I — для намагничивающего тока  $i_1 < i_{mн}$ , кривая II — для намагничивающего тока  $i_2 = i_{mн}$ , и кривая III — для намагничивающего тока  $i_3 > i_{mн}$ , если  $i_{mн}$  — нормальный намагничивающий ток. Эти кривые показывают, что при малом насыщении маг-

<sup>1</sup> Опыт можно вести и при постоянном возбуждении, но при разных положениях щеток, если только перестановка последних не вызывает сильного искрения. Схему включения см. фиг. 71.

нитной цепи, т.-е. при малом возбуждении (кривая I) действие реакции якоря преобладает над действием омического падения напряжения — число оборотов двигателя с увеличением нагрузки возрастает. При большем же насыщении магнитной цепи (кривая III), т.-е. при большем ее магнитном сопротивлении, размагничивающее действие якоря меньше, чем в предыдущем случае, и число оборотов двигателя с увеличением нагрузки уменьшается.

Для данного положения щеток можно, очевидно, подобрать такое возбуждение, или для данного возбуждения найти такое положение щеток, при которых реакция якоря будет почти вполне компенсировать омическое падение напряжения и число оборотов двигателя при изменении нагрузки останется почти постоянным. Однако полная взаимная компенсация омического падения напряжения и реакции якоря, строго говоря, может быть получена только для одной какой-либо нагрузки, так как, в то время как омическое падение напряжения изменяется пропорционально силе тока в якоре, магнитный поток реакции отстает несколько от этой пропорциональности, и тем больше, чем больше нагрузка двигателя. Снабдив индуктора добавочной компаундной обмоткой, соединенной последовательно с якорем так, чтобы она содействовала реакции последнего, можно получить почти полное постоянство числа оборотов двигателя при изменении его нагрузки. Но на практике к этому средству прибегают редко, так как шунтовые двигатели и без того достаточно хорошо держат число оборотов постоянным.



Фиг. 76.

Ниже приведена таблица относительного уменьшения скорости шунтового двигателя при переходе от холостой работы к работе с полной нагрузкой.

PS	Обычные двигатели	Двигатели с до-полнит. полюсами
1	6—9%	8—12%
5	3—5%	6—10%
25	1—2%	4—8%
50	ок. 1%	
100	0—1%	

Для того, чтобы с наибольшей наглядностью выяснить влияние реакции якоря на скорость двигателя при постоянном возбуждении, передвигают щетки, по мере увеличения нагрузки, в направлении противоположном направлению вращения, и снимают кривую зависимости числа оборотов от тока в якоре, на фиг. 77 кривая I. Сравнивая эту кривую с кривой II, снятой при положении щеток на нейтрали, легко видеть, что относительное изменение

ТАБЛИЦА

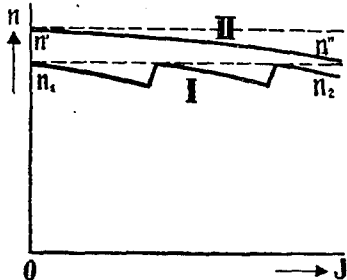
$V$	$i_m$	$J$	$n$
пост.	пост.		

числа оборотов при возрастании тока нагрузки от 0 до  $J$  в первом случае (кривая I) меньше, нежели во втором (кривая II), т.-е.

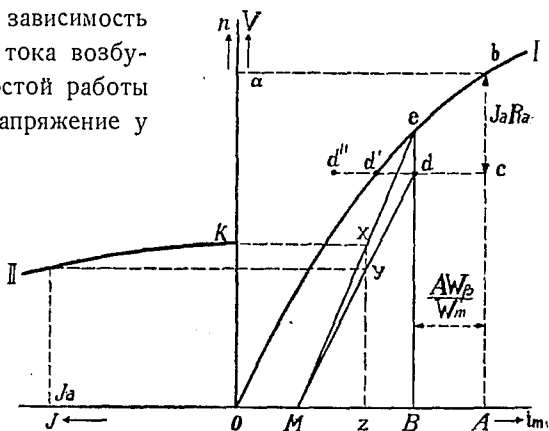
$$\frac{n_1 - n_2}{n_1} < \frac{n' - n''}{n'}$$

Однако перестановкою щеток, как средством регулирования числа оборотов шунтового двигателя, пользуются весьма редко, так как в этом случае коммутирование тока почти всегда сопровождается заметным искрением. Поэтому-то при поддержании числа оборотов шунтового двигателя постоянным всегда манипулируют током возбуждения, с каковою целью шунтовая цепь и снабжается реостатом.

Характеристику скорости шунтового двигателя нетрудно построить графически по кривой намагничения, если известно падение напряжения в сопротивлении якоря и размагничивающие ампервитки реакции якоря. Это построение приведено на фиг. 78. На этой фигуре кривая  $I$  — кривая намагничения, т.-е. зависимость электродвижущей силы якоря от тока возбуждения, при числе оборотов холостой работы двигателя  $n_0$ . Если нормальное напряжение у



Фиг. 77.



Фиг. 78.

якоря  $V = Ab = Oa$ , то ток возбуждения, при котором число оборотов  $n_0$  будет иметь место, определится отрезком  $OA$ , так как при холостой работе  $V \cong E_0$ . При работе двигателя под нагрузкою с током в якорь  $J_a$  электродвижущая сила  $E = V - J_a \cdot R_a$ ; на фиг. 78 она равна отрезку  $Ac$ , так как отрезок  $bc = J_a \cdot R_a$ . Эту электродвижущую силу двигатель должен развить при нагрузке, вращаясь в магнитном потоке, соответствующем разности ампервитков индукторов и ампервитков реакции якоря, т.-е. соответствующем току возбуждения  $OB = OA - AB$ , где  $AB = A W_\beta / \omega_m$ , при чем  $A W_\beta$  — ампервитки реакции якоря, приходящиеся на пару полюсов при токе  $J_a$ , а  $\omega_m$  — число витков обмотки возбуждения, приходящееся на пару полюсов. Но вращаясь в этом потоке с числом оборотов  $n_0$  вхолостую, якорь развил бы электродвижущую силу  $E'_0 = Be$ . Следовательно, электродвижущая сила при нагрузке  $E$  будет развиваться при другом числе оборотов, определяемом из отношения:  $n_x : n_0 = E : E'_0 = Bd : Be$ . Отсюда

$$n_x = n_0 \cdot \frac{Bd}{Be}$$

Если отрезок  $Ok$  в определенном масштабе равен  $n_0$ , то для нахождения  $n_x$  берут любую точку на оси абсцисс  $M$  и соединяют ее с точками  $e$  и  $d$ ; из точки  $k$  проводят линию, параллельную оси абсцисс до пересечения с линией  $Me$  в точке  $x$ , и из точки  $x$  опускают вертикаль до пересечения с осью абсцисс в точке  $z$ . Тогда отрезок  $uz$  и даст искомое число оборотов, ибо  $uz : xz = Bd : Be = n_x : n_0$  и  $n_0 = Ok = xz$ .

Поступая так для разных значений токов нагрузки  $J_a$  и определяя соответствующие числа оборотов  $n_x$ , легко уже затем построить и характеристику скорости, см. кривую II, фиг. 78.

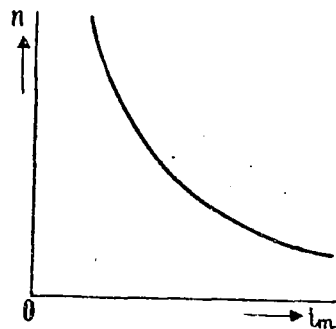
Из фиг. 78 и способа построения кривой скорости нетрудно убедиться, что если реакция якоря при токе  $J_a$  определяется отрезком  $cd'$ , то число оборотов при нагрузке с током  $J_a$  будет равно числу оборотов холостой работы ( $uz = xz$ ); если же реакция якоря при токе  $J$  определяется отрезком  $cd''$ , то число оборотов при нагрузке с током  $J_a$  будет больше числа оборотов холостой работы ( $uz > xz$ ). Опытное определение реакции якоря см. главу V.

#### 4. ЗАВИСИМОСТЬ ЧИСЛА ОБОРОТОВ ДВИГАТЕЛЯ ОТ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ХОЛОСТОЙ РАБОТЕ И ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПРЯЖЕНИИ.

Из основной формулы  $n = E/k\Phi$  следует, что число оборотов двигателей при постоянной противоэлектродвижущей силе обратно пропорционально магнитному потоку. Но так как последний, в свою очередь, пропорционален силе намагничивающего тока и проводимости магнитной цепи двигателя, то число оборотов будет обратно пропорционально этим двум факторам. При малом насыщении магнитной цепи (т.-е. при малом намагничивающем токе), магнитная проводимость ее почти постоянна, а потому число оборотов двигателя в этом случае будет меняться почти обратно-пропорционально величине намагничивающего тока. С увеличением насыщения магнитной цепи (т.-е. с увеличением возбуждения) магнитная проводимость ее уменьшается, и потому число оборотов двигателя убывает не обратно-пропорционально силе тока индукторов, а несколько медленнее. Графически зависимость числа оборотов двигателя от тока возбуждения представится кривой фиг. 79, обращенной выпуклостью к координатным осям.

Для того чтобы опытным путем получить эту кривую при холостой работе двигателя, осуществляют схему, приведенную на фиг. 71, и начиная с наибольшего возбуждения, определяют ток возбуждения  $i_m$  и число оборотов  $n$  при разных сопротивлениях шунтовой цепи. Откладывая затем числа оборотов по оси ординат, а соответствующие токи возбуждения по оси абсцисс, строят искомую кривую (фиг. 79).

Наибольшая скорость которую можно допустить при этом для данного двигателя, всецело зависит от конструкций его якоря и коллектора, т.-е. от



Фиг. 79.

надежности укрепления обмотки в пазах, от прочности бандажей, стягивающих якорь и коллектор, и т. д. Вообще говоря, у малых двигателей она больше, у больших—меньше. Так, допускаемое увеличение скорости двигателя мощностью:

в 1 kW . . . . .	80—90%	норм. скорости
" 5 kW . . . . .	60%	" "
" 25 kW . . . . .	50%	" "
" 50 kW . . . . .	3%	" "
" 100 kW . . . . .	30%	" "

Рекомендуется считать эти цифры предельными, если не уверены в достаточной прочности конструкции якоря испытуемого двигателя.

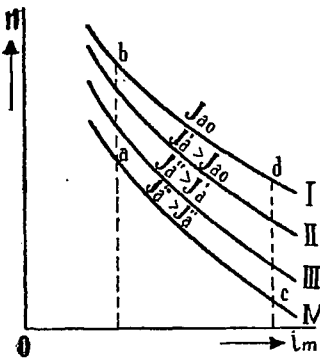
ТАБЛИЦА

$V$	$i_m$	$n$
пост.		

### 5. ЗАВИСИМОСТЬ ЧИСЛА ОБОРОТОВ ДВИГАТЕЛЯ ОТ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ПОСТОЯННОМ ТОКЕ В ЯКОРЕ И ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПРЯЖЕНИИ.

К двум факторам—возбуждению и магнитной проводимости, — оказывающим влияние на число оборотов двигателя при холостой его работе, прибавляется еще третий фактор—реакция якоря—при работе двигателя под нагрузкой.

Ранее было уже разобрано влияние реакции якоря на число оборотов при постоянном возбуждении. С целью еще раз исследовать совокупное влияние трех факторов—реакции якоря, возбуждения и проводимости магнитной цепи—на скорость двигателя, полезно определить зависимость между числом оборотов и возбуждением при постоянном токе в якоре. При определении этой зависимости поступают так же, как и в предыдущем опыте, с той разницей, что в данном случае сила тока в якоре при изменении возбуждения поддерживается постоянной помощью механически соединенной с двигателем и работающей на какое-либо сопротивление динамомашин. Определив упомянутую зависимость для разных токов в якоре, нетрудно построить кривые, подобные кривым I, II, III, IV фиг. 80.



Фиг. 80.

Эти кривые снова подтверждают то положение, что при слабом намагничении влияние реакции якоря сказывается сильнее, нежели при сильном намагничении, — отрезок  $ab < cd$ ; другими словами, изменение числа оборотов при увеличении тока от  $J=0$  до нормального (от  $a$  до  $b$  и от  $c$  до  $d$ ) меньше в том случае, когда двигатель работает при слабом насыщении магнитной цепи,



нежели в том случае, когда он работает при сколько-нибудь значительном насыщении последней.

ТАБЛИЦА

$V$	$J$	$i_m$	$n$
пост.	пост.		

### 6. РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЛИ ЗАВИСИМОСТЬ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА, ЧИСЛА ОБОРОТОВ И КОЭФФ. ПОЛ. Д. ОТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПОСТОЯННОМ ВОЗБУЖДЕНИИ И ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПРЯЖЕНИИ.

Перечисленные зависимости легко определить торможением двигателя механическими или же магнитно-электрическими тормозами. В первом случае механическая работа двигателя превращается в работу трения, и следовательно, в теплоту, во втором случае она расходуется на преодоление магнитного сопротивления, превращаясь в результате также в теплоту. О способах торможения двигателей см. гл. I, § 7.

При торможении шунтового двигателя собирается схема, указанная на фиг. 71. Двигатель запускается вхолостую, шунтовым реостатом доводится число оборотов его до нормального значения и затем уже прилаживается тормоз. За все время опыта с торможением поддерживается ток возбуждения постоянным.

Если торможение производится тормозом Прони, то мощность, развиваемая двигателем на валу при торможении, будет:

$$P_{\text{лош. с.}} = \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{1}{75} \cdot G \cdot l,$$

и

$$P_{\text{ввтг}} = \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{1}{75} \cdot 736 \cdot G \cdot l = 1,028 \cdot G \cdot l,$$

а момент вращения

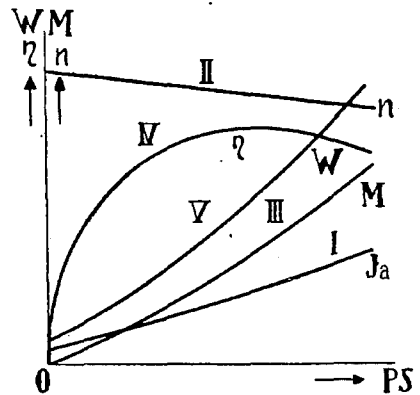
$$M_{\text{кгм}} = G \cdot l.$$

Здесь  $n$  — число оборотов двигателя,  $G$  — вес в килограммах груза, подвешенного к плечу тормоза,  $l$  — длина в метрах плеча тормоза.

Откладывая по оси абсцисс мощность  $P$ , а по оси ординат соответствующие измеренные значения: тока в якоре  $J_a$ , числа оборотов  $n$ , вращающего момента  $M$  и коэффициента полезного действия, определяемого из отношения

$$\eta = \frac{P_{\text{ввтг}}}{V \cdot J} \cdot 100,$$

легко построить кривые I, II, III и IV фиг. 81, вполне характеризующие работу двигателя при постоянном напряжении на зажимах его V.



Фиг. 81.

Кривые *I* и *III* показывают, что сила тока в якоре и момент вращения шунтового двигателя почти пропорциональны развиваемой на валу мощности. Коэфф. полезного действия, как это видно из кривой *IV*, меняется весьма заметно при малых мощностях и почти постоянен при мощностях, близких к нормальной.

ТАБЛИЦА

$V$	$i_m$	$G$	$J$	$n$
пост.	пост.			

### 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ШУНТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ХОЛОСТОМУ ХОДУ.

Поступаясь некоторою точностью, все величины, характеризующие работу шунтового двигателя, как-то: число оборотов, момент вращения, коэфф. полезного действия, можно определить помощью двух только измерений — числа оборотов и силы тока в якоре при холостой работе (предполагая при этом, что сопротивления якоря  $R_a$  и индукторных катушек  $R_m$  известны).

Пусть двигатель, запущенный вхолостую, при напряжении на зажимах  $V$  берет ток  $J_{a0}$  и вращается с числом оборотов  $n_0$  в минуту. По этим данным требуется определить условия работы двигателя при нагрузке, когда через якорь его идет некоторый ток  $J_a$ .

Противоэлектродвижущая сила при токе  $J_a$  выражается формулою:

$$E = V - J_a \cdot R_a.$$

Электрическая мощность, превращающаяся при этом в механическую, будет:  $EJ_a = VJ_a - J_a^2 R_a$ . Полезная же мощность двигателя, т.-е. та мощность, которую он развивает на своем валу:

$$P_{\text{втт}} = E \cdot J_a - E_0 \cdot J_{a0},$$

где  $E_0$  — противоэлектродвижущая сила при холостой работе. Эта мощность в лошадиных силах:

$$P \text{ л. с.} = \frac{EJ_a - E_0J_{a0}}{736}$$

Число оборотов двигателя  $n$  при токе в якоре  $J_a$  можно определить из приближенного соотношения:

$$\frac{n}{n_0} = \frac{E}{E_0}.$$

Полученное таким образом число оборотов  $n$  будет тем ближе к истинной величине, чем меньше реакция якоря.

Коэфф. полезного действия найдется из отношения развиваемой двигателем мощности к мощности, им расходуемой, т.-е.

$$\eta^0/0 = \frac{P_{\text{втт}}}{V \cdot J_a + V \cdot i_m} \cdot 100,$$

где  $i_m$  — ток возбуждения.

Полный вращающий момент двигателя определяется из соотношения:

$$\frac{E \cdot J_a}{9,81} = \frac{2\pi n}{60} \cdot M,$$

откуда

$$M_{кгм} = \frac{E J_a}{9,81} \cdot \frac{60}{2\pi n}.$$

Полезный же момент вращения будет:

$$M'_{кгм} = \frac{E J_a - E_0 \cdot J_{a0}}{9,81} \cdot \frac{60}{2\pi n}.$$

Пользуясь приведенными формулами, нетрудно построить кривые I, II, III, IV и V (фиг. 81), вполне характеризующие работу данного двигателя.

Сравнивая эти кривые с соответствующими кривыми, полученными опытным путем, можно выяснить влияние реакции якоря на все только что вычисленные величины.

## 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ШУНТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ.

Тяговое усилие, развиваемое двигателем на своем шкиве, определяется из выражения для момента вращения:  $M = F \cdot r$ , где  $F$  — тяговое усилие, а  $r$  — радиус шкива. Момент вращения, развиваемый двигателем,  $M = A \cdot J_a \cdot \Phi$ , где  $A$  — постоянная,  $J_a$  — ток в якоре и  $\Phi$  — магнитный поток индукторов. У шунтовых двигателей поток индукторов можно считать во время работы постоянным. В таком случае момент вращения, а следовательно и тяговое усилие шунтового двигателя прямо пропорциональны току в якоре. Графически зависимость момента вращения и тягового усилия шунтового двигателя изобразится прямою, подобною прямой I фиг. 91.

Об опытном определении момента вращения и тягового усилия см. главу I, § 6.

ТАБЛИЦА.

$i_m$	$G$	$J$
пост.	пост.	

## 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ШУНТОВОГО РЕОСТАТА.

Шунтовый реостат шунтового двигателя должен быть так рассчитан, чтобы, во-первых, при наибольшей нагрузке (и даже при перегрузке) можно было получить нормальное число оборотов и, во-вторых, чтобы это число оборотов можно было поддержать постоянным при изменении нагрузки от нуля до наибольшей. За нормальное число оборотов шунтового двигателя можно считать то число оборотов, которое он разовьет, пущенный (в нагретом состоянии) вхолостую при нормальном положении щеток (т.-е. при положении их, отвечающем наименьшему искрению при нагрузке) и при нормальном напряжении на зажимах.

Для того чтобы определить наибольшее сопротивление шунтового реостата, пускают двигатель в холодном состоянии при нормальном напряжении и быстро нагружают его до той нагрузки, при которой желательно еще получить

нормальное число оборотов. Затем вводят сопротивление в шунтовую цепь до тех пор, пока это число оборотов будет в действительности иметь место. Если  $i_m$  — сила тока, циркулирующего при этом в шунтовой цепи, а  $R_m$  — сопротивление индукторных катушек, то наибольшее сопротивление реостата будет:

$$r_{\max} = \frac{V}{i_m} - R_m.$$

К полученному сопротивлению полезно прибавить еще 15—20%.

При определении сопротивления ступеней шунтового реостата двигателя поступают подобно тому, как при определении сопротивления ступеней шунтового реостата генератора. Пусть требуется, например, поддержать число оборотов при переменной нагрузке в пределах  $n + \Delta n$  и  $n - \Delta n$ , где  $n$  — нормальное число оборотов (фиг. 82). Пускают двигатель вхолостую и отмечают силу тока в шунте  $i_{m\max} = OA$  (реостат выведен); тогда сопротивление одной только шунтовой обмотки будет:

$$R_m = \frac{V}{i_{m\max}}.$$

Затем нагружают двигатель до тех пор, пока число оборотов его не уменьшится до  $n - \Delta n$  и, начиная с этого момента, уменьшают (введением сопротивления в шунтовую цепь) возбуждение настолько, чтобы число оборотов сделалось равным  $n + \Delta n$ ; при этом ток в якоре поддерживается постоянным. Пусть ток возбуждения в этом случае  $i_{m1} = OB$ ; тогда сопротивление первой ступени реостата будет:

$$r_1 = \frac{V}{i_{m1}} - R_m.$$

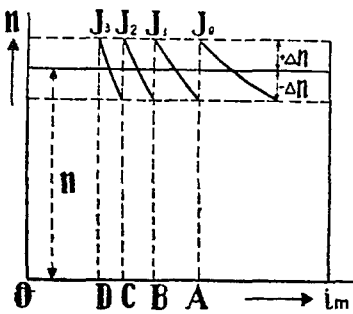
Для того чтобы определить сопротивление второй ступени реостата, снова нагружают двигатель до тех пор, пока число оборотов не понизится до  $n - \Delta n$ ; затем уменьшают возбуждение настолько, чтобы при той же нагрузке число оборотов попрежнему было  $n + \Delta n$ . Если при этом ток возбуждения  $i_{m2} = OC$ , то искомое сопротивление будет:

$$r_2 = \frac{V}{i_{m2}} - (R_m + r_1).$$

Произведя подобные манипуляции для других токов нагрузки, находят и сопротивление всех ступеней реостата.

ТАБЛИЦА.

$V$	$n \pm \Delta n$	$J$	$i_m$
пост.	.	.	.



Фиг. 82.

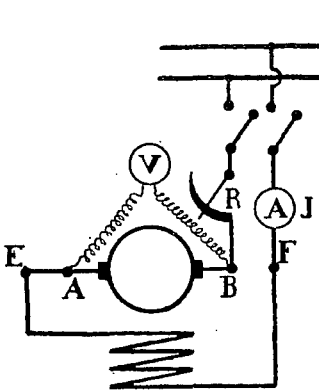
## ГЛАВА ДЕСЯТАЯ.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРИЕС- И КОМПАУНД-ДВИГАТЕЛЕЙ.

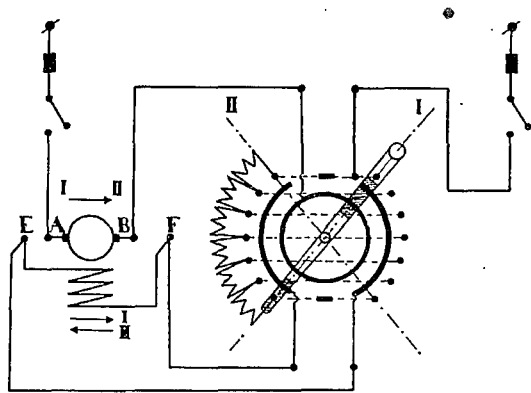
#### 1. ВКЛЮЧЕНИЕ СЕРИЕС-ДВИГАТЕЛЕЙ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧИСЛА ОБОРОТОВ.

Так как в момент пуска сериес-двигателя противоэлектродвижущая сила его якоря равна нулю, то для ограничения пускового тока необходимо уменьшить напряжение на его зажимах. При работе сериес-двигателя от сети с постоянным напряжением понижение напряжения у зажимов двигателя при пуске производится помощью реостата, включенного последовательно с двигателем. На фиг. 83 изображена принципиальная схема включения сериес-двигателя; на ней  $R$  — пусковой реостат.

Для того чтобы изменить направление вращения сериес-двигателя, необходимо изменить направление тока или в якоре, или в обмотке возбуждения.



Фиг. 83.

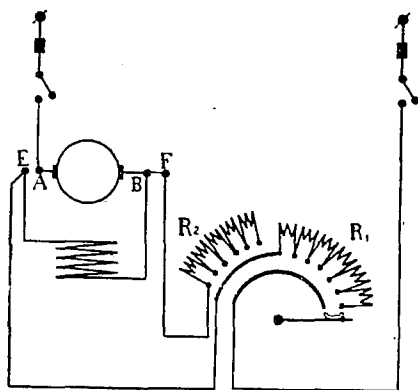


Фиг. 84.

На фиг. 84 изображена схема включения сериес-двигателя с пусковым реостатом, позволяющим менять направление тока в намагничивающей обмотке, а, следовательно, запускать двигатель в ту или иную сторону.

Следует помнить, что при пуске сериес-двигатель должен быть уже нагружен, ибо без нагрузки и при нормальном напряжении он может развить чрезмерно большое число оборотов, опасное для якоря.

Что касается регулирования числа оборотов сериес-двигателя, то оно может быть осуществлено двояко: во-первых, изменением напряжения на зажимах двигателя, ибо в таком случае меняется и противоэлектродвижущая сила, а, следовательно, и число оборотов; во-вторых, изменением магнитного потока. Напряжение на зажимах двигателя на практике меняется помощью реостата  $R$ , включенного последовательно с якорем и индукторной обмоткой (фиг. 83). Магнитный же поток меняется или помощью реостата, включенного параллельно индукторной обмотке, или же через параллельное соединение самих индукторных катушек. При первом способе регулирования скорости значительная часть энергии тратится совершенно бесполезно на нагревание реостата, а потому коэфф. полезного действия двигателя уменьшается. Но при этом момент вращения остается



Фиг. 85.

без изменения, так как он зависит исключительно от силы тока в якоря и магнитного потока индукторов. При втором способе регулирования скорости, хотя коэфф. полезного действия двигателя и остается почти постоянным, момент вращения его, соответствующий какому-либо току, например,  $J$ , будет, однако, меньше, нежели при первом способе регулирования скорости, ибо магнитный поток индукторов создается в этом случае уже только частью тока  $J$ . Это обстоятельство в некоторых установках исключает возможность регулирования скорости сериес-двигателя изменением магнитного потока индукторов. На фиг. 85 изображена схема включения сериес-двигателя с реостатом, позволяющим регулировать число оборотов как сопротивлением, включаемым последовательно с якорем (сопротивление  $R_1$ ), так и сопротивлением, включаемым параллельно обмотке возбуждения (сопротивление  $R_2$ ).

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА НАМАГНИЧЕНИЯ.

Характеристика намагничения сериес-двигателя представляет собою зависимость электродвижущей силы якоря от тока возбуждения при токе в якоря, равном нулю. Для получения этой характеристики якорь двигателя вращается каким-либо вспомогательным двигателем с нормальным для него (сериес-двигателя) числом оборотов, а к обмотке возбуждения подводится ток от подходящего по напряжению источника тока (через реостат большого сопротивления, см. гл. VII, § 1). Щетки сериес-двигателя должны находиться при этом на нейтрали. Меняя ток возбуждения, отмечают показания вольтметра, соединенного с якорем, и амперметра, включенного в цепь возбуждения, и строят затем графическую зависимость наблюдаемых напряжений якоря от тока возбуждения, т.-е. кривую намагничения, на фиг. 87 кривую  $I$ .

ТАБЛИЦА.

$n$	$J$	$V$
пост.		

### 3. КРИВАЯ СКОРОСТИ ИЛИ ЗАВИСИМОСТЬ ЧИСЛА ОБОРОТОВ ОТ НАГРУЗКИ ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПРЯЖЕНИИ НА ЗАЖИМАХ ДВИГАТЕЛЯ.

В противоположность шунтовому двигателю, скорость сериес-двигателя с изменением нагрузки при постоянном напряжении меняется в весьма широких пределах и теоретически может достигнуть почти бесконечности. Такая разница в работе обоих двигателей происходит оттого, что у сериес-двигателя ток якоря является вместе с тем и током намагничивающим. Поэтому число оборотов сериес-двигателя  $n$ , как это следует из основных формул:

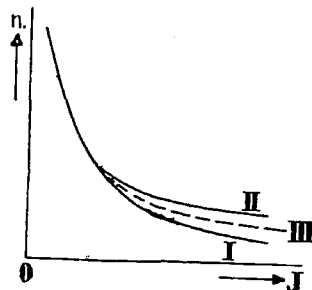
$$E = V - J(R_a + R_c)$$

и

$$n = E/k\Phi,$$

меняется не только от одного изменения противоэлектродвижущей силы, но и от изменения главного магнитного потока. Обе эти причины действуют в одну и ту же сторону: с увеличением тока в якоре противоэлектродвижущая сила уменьшается, а, следовательно, убывает и число оборотов двигателя; с другой стороны, увеличение магнитного потока влечет за собою также уменьшение числа оборотов.

Полагая, во-первых, что магнитный поток индукторов пропорционален току, и, во-вторых, что электродвижущая сила весьма мало отличается от напряжения, можно написать:  $n \cdot \Phi = E/k = V/k$ , или  $n \cdot I \cong k' \cdot V$ ; здесь  $k'$  — постоянная. Это равенство показывает, что при постоянном напряжении на зажимах сериес-двигателя произведение числа оборотов и тока нагрузки есть величина постоянная. Следовательно, зависимость числа оборотов от тока нагрузки графически представляется гиперболой (фиг. 86, кривая I). В действительности магнитный поток индукторов при насыщении магнитной цепи не растет пропорционально току, а медленнее; благодаря этому и число оборотов с увеличением тока убывает медленнее, чем это имеет место при ненасыщенной магнитной цепи, — кривая II фиг. 86. Реальная кривая числа оборотов III лежит несколько ниже кривой II, так как при больших токах электродвижущая сила все же заметно меньше напряжения.



Фиг. 86.

При токе  $J=0$  число оборотов двигателя теоретически должно бы равняться бесконечности, но, благодаря существованию в двигателе вредных сопротивлений, ток в якоре и при холостой нагрузке не может сделаться равным нулю, а потому и число оборотов двигателя не может быть бесконечно велико, оно будет, однако, значительно превосходить допустимое конструкцией якоря число оборотов. Поэтому-то сериес-двигатель никогда не следует включать без нагрузки на сеть с нормальным для него напряжением.

При получении кривой скорости сериес-двигателя опытным путем собирают схему (фиг. 83) и, начиная с наибольшего значения нагрузки, постепенно уменьшают ее, каждый раз отсчитывая число оборотов двигателя и силу тока

в якоре. Наибольшее значение скорости не должно выходить из границ, указанных ранее, см. гл. IX.

Для того чтобы изучить опытным путем влияние сопротивления, включенного последовательно с серийс-двигателем, на его число оборотов, полезно снять кривые скорости при разных положениях ручки реостата  $R$ , т.-е. при разных сопротивлениях, вводимых в цепь двигателя.

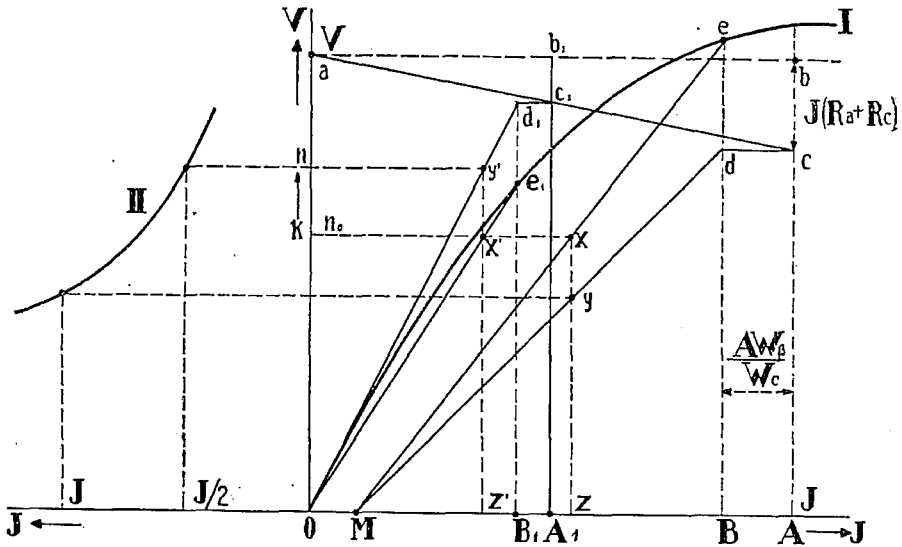
ТАБЛИЦА.

$V$	$J$	$n$
пост.		

ТАБЛИЦА.

$V$	$R$	$J$	$n$
пост.	пост.		

Характеристику скорости серийс-двигателя можно построить по кривой намагничивания, представляющей зависимости электродвижущей силы якоря от тока возбуждения при определенном постоянном числе оборотов. Это построение приведено на фиг. 87, на которой кривая  $I$  — кривая намагничивания, отве-



Фиг. 87.

чающая некоторому числу оборотов  $n_0$ . Отрезок  $Oa$  равен нормальному напряжению на зажимах двигателя; при каком-либо токе нагрузки  $J = OA$  электродвижущая сила выразится отрезком  $Ac = Ab - cb$ , если  $cb = J(R_a + R_c)$ , ибо  $E = V - J(R_a + R_c) = Ab - cb$ . Расстояния между линией  $ac$  и осью абсцисс определяют величины электродвижущей силы при разных токах нагрузки. Магнитный поток при токе нагрузки  $J$  отвечает отрезку  $OB = OA - AB$ , если  $AB = AW_p / \omega_c$ , где  $AW_p$  — размагничивающие ампервитки реакции якоря при токе  $J$ , отвечающие паре полюсов, а  $\omega_c$  — число витков обмотки возбуждения,



отвечающее также паре полюсов. Вращаясь в этом потоке с числом оборотов  $n^0$  якорь развил бы электродвижущую силу  $E'_0$ , равную отрезку  $Be$ ; но при нагрузке, с током  $J$  якорь развивает электродвижущую силу  $E$ , равную  $Bd$ . Следовательно, он должен вращаться с числом оборотов  $n_x$ , определяемым из отношения:

$$n_x : n_0 = E : E'_0 = Bd : Be,$$

Откуда

$$n_x = n_0 \cdot \frac{Bd}{Be}.$$

Чтобы найти графически число оборотов  $n_x$ , берут на оси абсцисс любую точку  $M$  и соединяют ее с точками  $d$  и  $e$ . Затем из точки  $k$ , отвечающей числу оборотов  $n_0$  (ибо  $Ok = n_0$ ), проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с линией  $Me$  в точке  $x$ ; из этой последней точки проводят вертикаль до пересечения с осью абсцисс. Тогда отрезок  $uz$  и даст число оборотов  $n_x$ , ибо  $uz : xz = Bd : Be = n_x : n_0$ ; и так как  $n_0 = xz$ , то  $n_x = uz$ .

Поступая аналогично и для других токов нагрузки, легко затем построить и кривую скорости (см. на фиг. 87 кривую  $II$ ). Опытное определение реакции якоря см. гл. V.

#### 4. РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЛИ ЗАВИСИМОСТЬ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА, СИЛЫ ТОКА, ЧИСЛА ОБОРОТОВ И КОЭФФ. ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ СЕРИЕС-ДВИГАТЕЛЯ ОТ МОЩНОСТИ ЕГО ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПРЯЖЕНИИ.

Перечисленные зависимости нетрудно определить торможением двигателя тем или иным способом (см. гл. I, § 7). Собрав схему, указанную на фиг. 83, и приладив к двигателю тормоз, запускают его, постепенно выводя пусковое сопротивление. Одновременно увеличивают момент сопротивления, наблюдая за тем, чтобы тормозящее усилие случайно не уменьшилось до нуля. Добившись равновесия, отмечают силу тока  $J$ , напряжение  $V$ , число оборотов  $n$ , вес уравновешивающего грузика  $G$  кг и плечо действия этого грузика  $l$  м. Тогда мощность, развиваемая двигателем на валу, будет

$$P_{л.с.} = \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{1}{75} \cdot G \cdot l,$$

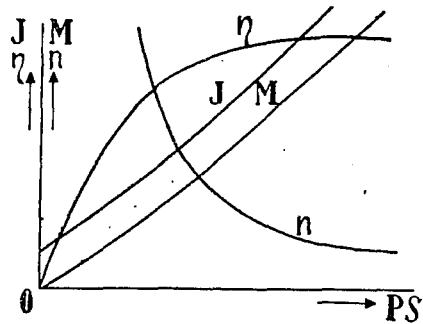
$$P_{\text{ватт}} = \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{1}{75} \cdot G \cdot l = 1,028 \cdot G \cdot l;$$

момент вращения

$$M_{\text{к.м.}} = G \cdot l$$

и коэфф. полезного действия

$$\eta = \frac{P_{\text{ватт}}}{V \cdot J} \cdot 100\%.$$



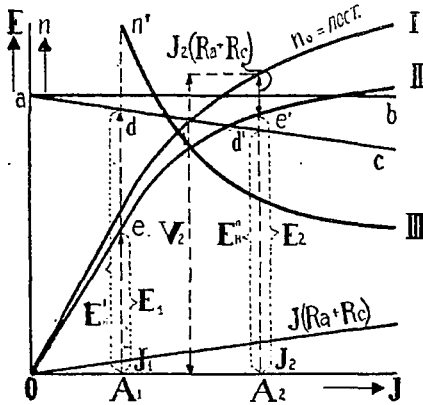
Фиг. 88.

Проделав опыт торможения при разных нагрузках, нетрудно построить затем кривые фиг. 88.

ТАБЛИЦА.

$V$	$J$	$n$	$G$	$l$
пост.				пост.

Для того чтобы построить первую характеристику опытным путем, поступают следующим образом: нагружают постепенно двигатель и каждый раз регулируют реостатом  $R$ , включенным последовательно с якорем, напряжение на его зажимах так, чтобы число оборотов оставалось неизменным, например, равным нормальному  $n_0$ . Откладывая затем по оси ординат напряжение, а по



Фиг. 89.

оси абсцисс соответствующие силы тока, получают кривую внешней характеристики (кривая I фиг. 89).  
Вычитая из ординат этой кривой падение напряжения в индукторной и якорной обмотках  $J(R_a + R_c)$ , находят внутреннюю характеристику двигателя, т.е. зависимость противоэлектродвижущей силы  $E$  от силы тока в якорю (кривая II фиг. 89). Имея же эту характеристику и зная, что при одном и том же токе в индукторной обмотке противоэлектродвижущие силы пропорциональны числам оборотов, можно построить характеристику скорости двигателя для какого угодно постоянного напряжения на зажимах. Действительно, пусть прямая  $ab$ , параллельная оси абсцисс, проведена на расстоянии  $Oa$ , равном постоянному напряжению на зажимах  $V$ , а линия  $ac$  определяет противоэлектродвижущую силу при разных токах и равную  $E_{II} = V - J(R_a + R_c)$ . Тогда для какого-либо тока  $J_1 = OA_1$

$$\frac{E'_{II}}{E_1} = \frac{A_1 d}{A_1 e} = \frac{n'}{n_0},$$

откуда

$$n' = \frac{A_1 d}{A_1 e} n_0,$$

т.е. искомое число оборотов равняется отношению ординат прямой  $ac$  к соответственным ординатам кривой II, умноженному на то число оборотов  $n_0$ , для которого построена внутренняя характеристика II. Определяя таким образом число оборотов для разных токов  $J$ , легко построить затем и характеристику скоростей, т.е.  $n = f(J)$ , (кривая III фиг. 89).

Мощность, момент вращения и коэфф. полезного действия для серийного двигателя при постоянном числе оборотов, например  $n_0$ , но при переменном напряжении, находится, далее, по внутренней характеристике II и по потерям при холостом ходе. Пусть, например, при данном токе в якорю  $J_2$ ,

Те же самые кривые можно построить, имея: 1) внешнюю характеристику двигателя, представляющую зависимость напряжения на зажимах двигателя  $V$  от силы тока в якорю  $J$  при постоянном числе оборотов, и 2) потери при холостом ходе.

получают кривую внешней характеристики (кривая I фиг. 89).

Вычитая из ординат этой кривой падение напряжения в индукторной и якорной обмотках  $J(R_a + R_c)$ , находят внутреннюю характеристику двигателя, т.е. зависимость противоэлектродвижущей силы  $E$  от силы тока в якорю (кривая II фиг. 89). Имея же эту характеристику и зная, что при одном и том же токе в индукторной обмотке противоэлектродвижущие силы пропорциональны числам оборотов, можно построить характеристику скорости двигателя для какого угодно постоянного напряжения на зажимах.

равном  $OA_2$ , потери вращения, равные мощности холостого хода при соответствующем числе оборотов и возбуждении током  $J_2$ , будут  $W_{вр}^1$

Электродвижущая сила, отвечающая току  $J_2$  при заданном постоянном числе оборотов  $n_0$ , будет  $E_2 = A_2 e'$ , см. кривую II фиг. 89. Поэтому полезная мощность двигателя при токе  $J_2$

$$P_{\text{ввт}} = E_2 J_2 - W_{вр},$$

или в лошадиных силах

$$P_{\text{л.с.}} = \frac{E_2 J_2 - W_{вр}}{736}.$$

Коэффициент же полезного действия

$$\eta^0 / 0 = \frac{P_{\text{ввт}}}{V_2 \cdot J_2},$$

где  $V_2$  — напряжение на зажимах двигателя, соответствующее электродвижущей силе  $E_2$ , см. кривую I фиг. 89.

Полный вращающий момент двигателя найдется по формуле:

$$M'_{\text{к.л.м}} = \frac{E_2 J_2}{9,81} \cdot \frac{60}{2\pi n_0} = 0,973 \frac{E_2 J_2}{n_0}.$$

Полезный вращающий момент двигателя будет:

$$M_{\text{к.л.м}} = \frac{E_2 J_2 - W_{вр}}{9,81} \cdot \frac{60}{2\pi n_0} = 0,973 \frac{E_2 J_2 - W_{вр}}{n_0}.$$

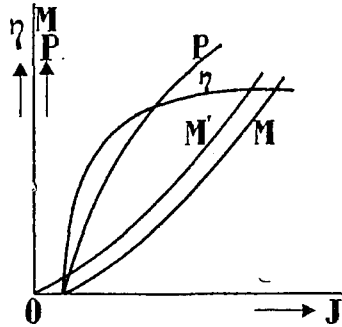
Вычисляя величины  $P$ ,  $\eta$ ,  $M'$  и  $M$  для разных токов, а следовательно, и электродвижущих сил, им соответствующих, и откладывая их по оси ординат, нетрудно получить диаграмму, фиг. 90, для заданного постоянного числа оборотов  $n_0$ .

Для того чтобы найти мощность, момент вращения, коэфф. полезного действия двигателя при переменном числе оборотов, но при постоянном напряжении  $V$ , подставляют в формулы для  $P$ ,  $\eta$ ,  $M$  вместо  $E_2$  —  $E''_n$ , вместо  $n_0$  —  $n'$ , определяя последние величины для какого-либо тока, напр.  $J_2$ , по прямой  $ac$  и кривой III фиг. 89. В таком случае мощность двигателя при силе тока  $J_2$  и при напряжении  $V$  будет

$$P_{\text{ввт}} = E''_n J_2 - W'_{вр}$$

или

$$P_{\text{л.с.}} = \frac{E''_n J_2 - W'_{вр}}{736},$$



Фиг. 90.

где  $W_{вр}$  — потери на холостой ход двигателя уже при числе оборотов  $n'$  ( $W'_{вр}$  — для разных чисел оборотов будет иметь, конечно, разные значения, см. ниже главу XI).

<sup>1</sup> Определение потерь при холостом ходе серийс-двигателя см. ниже, главу XI.

Коэффициент полезного действия будет:

$$\eta^0/\% = \frac{P_{\text{ввт}}}{V \cdot J_2} 100\%.$$

Полный момент вращения:

$$M'_{\text{к.л.м}} = \frac{E''_n J_2}{9,81} \cdot \frac{60}{2\pi n'} = 0,973 \frac{E''_n J_2}{n'}$$

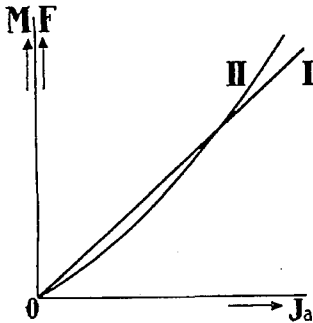
и полезный момент вращения

$$M_{\text{к.л.м}} = 0,973 \frac{E''_n J_2 - W'_{\text{ар}}}{n'}$$

Определяя по последним формулам величины: мощности, момента вращения и коэфф. полезного действия для разных токов, легко построить диаграмму фиг. 88, т.-е. зависимость перечисленных величин от мощности двигателя.

### 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ СЕРИЕС-ДВИГАТЕЛЯ.

Так же как и у шунтового двигателя, тяговое усилие, развиваемое сериес-двигателем, определяется из выражения для момента, именно  $M = F \cdot r$ , где  $F$  — тяговое усилие, а  $r$  — радиус шкива двигателя. Вращающий момент двигателя, с другой стороны,  $M = A \cdot J_a \cdot \Phi$ , где  $A$  — постоянная,  $J_a$  — ток в якоре и  $\Phi$  — магнитный поток индукторов. У сериес-двигателей поток индукторов представляет собой некоторую функцию тока в якоре, т.-е. величину переменную. Если магнитная цепь двигателя не насыщена, то можно считать вращающий момент его пропорциональным квадрату силы тока. Но так как обычно магнитная цепь сериес-двигателя более или менее насыщена — в особенности при токах, больших нормального, — то последнее соотношение между вращающим моментом и током для сериес-двигателей не вполне оправдывается. Само собою разумеется, что указанные соотношения относятся и к начальному моменту, т.-е. к тому моменту, который дви-



Фиг. 91.

гатель развивает при трогании с места. Зависимость момента вращения, а, следовательно, и тягового усилия от тока у сериес-двигателя изображается примерно кривою II фиг. 91. При небольших токах кривая близка к параболе ( $M = k \cdot J^2$ ); при больших токах кривая приближается к прямой (ибо  $\Phi \cong \text{пост.}$  и  $M = k' \cdot J$ ).

Об опытном определении момента вращения и тягового усилия двигателей см. гл. I, § 6.

ТАБЛИЦА.

J	G	I

### 6. КОМПАУНД-ДВИГАТЕЛИ.

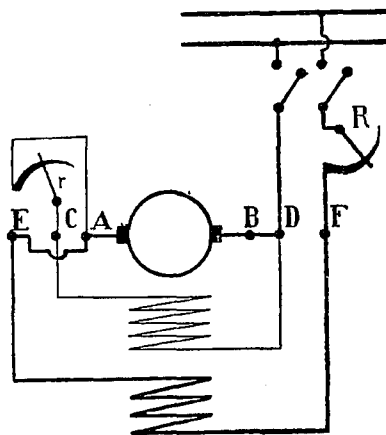
Свойства компаунд-двигателя определяются способом компаундирования. Если на индуктора шунтового двигателя наложить небольшую компаундную обмотку так, чтобы создаваемое ею поле ослабляло поле шунтовой обмотки,

то при правильно рассчитанной компаундной обмотке получится двигатель, скорость которого будет почти постоянна при всех нагрузках. Такой двигатель можно назвать компаундированным шунтовым двигателем. У него шунтовая обмотка составляет приблизительно 67% общего числа ампервитков индукторов, а компаундная — около 33%.

Если на индуктора серийс-двигателя наложить небольшую шунтовую обмотку, и притом так, чтобы магнитные поля обеих обмоток складывались, то получится двигатель, развивающий большой момент при пуске и в меньшей степени, чем серийс-двигатель, меняющий свою скорость при изменении нагрузки. Такой двигатель можно назвать компаундированным серийс-двигателем. У него серийс-обмотка составляет около 67%, и шунтовая обмотка около 33% общего числа ампервитков индукторов.

При пуске компаундированного шунтового двигателя компаундная обмотка замыкается обычно накоротко для того, чтобы не ослаблять начального момента; иногда на время пуска она переключается так, чтобы ее поле складывалось с полем шунтовой обмотки. Точно также и у компаундированного серийс-двигателя компаундная обмотка иногда замыкается накоротко, как только скорость двигателя сделалась нормальной. На фиг. 92 изображена схема включения компаунд-двигателя.

Следует заметить, что у компаунд-двигателя при изменении направления тока в шунтовой обмотке необходимо изменить направление тока и в последовательной обмотке. Это значит, что при переключении шунтовой обмотки следует переключить и компаундную обмотку. Последнее не нужно делать в том случае, когда для перемены направления вращения переключается якорь. Если у двигателя имеются дополнительные полюсы, то их обмотка переключается одновременно с якорем.



Фиг. 92.

## ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ.

### КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ДИНАМОМАШИН. <sup>1</sup>

#### 1. ПОТЕРИ В ДИНАМОМАШИНЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Как при превращении механической мощности в электрическую, так и обратно, при превращении электрической мощности в механическую, имеют место потери как той, так и другой мощности одновременно, т.-е. часть мощности теряется в ее первоначальном виде, часть в превращенном. Так, при превращении механической мощности в электрическую, у генераторов, некоторая доля механической мощности тратится на преодоление сопротивления механического трения и магнитного сопротивления, и только остальная ее часть, конечно, большая, превращается в электрическую. В свою очередь, часть этой последней тратится на Джоулев эффект в якоре и в индукторных катушках. При превращении электрической мощности в механическую, у двигателей, часть электрической мощности тратится на возбуждение и на нагревание якоря, тогда как другая, большая ее часть, превращается в механическую мощность, некоторая доля которой, в свою очередь, идет на преодоление трения и магнитных сопротивлений.

Потери мощности в динамомашине могут быть подразделены на потери:

1) в железе якоря:

- а) от гистерезиса,
- б) от токов Фуко;

2) в меди якоря:

- а) от тока нагрузки,
- б) от токов Фуко;

3) на коллекторе:

- а) от токов нагрузки,
- б) от токов Фуко в пластинах коллектора,
- с) от механического трения щеток о коллектор,
- д) от коммутирования;

4) потери на возбуждение  $V i_m$

---

<sup>1</sup> См. в приложении §§ 32—43 проекта норм для электрических машин.

и 5) на потери механические:

- а) от трения в подшипниках,
- б) от трения о воздух,
- с) от вибрации динамо.

К потерям машины относятся потери во всех вспомогательных аппаратах для нее, как-то: реостаты, добавочные сопротивления и т. д., без которых она не может работать. Если машина имеет отдельный возбудитель, то потери в нем причисляются к потерям машины.

#### а) ПОТЕРИ ОТ ГИСТЕРЕЗИСА.

Потери от гистерезиса имеют место в якоре динамомашин вследствие перемагничивания частиц железа его при вращении в магнитном поле индукторов чередующейся полярности. Эти потери при индукциях в железе якоря меньших 10 000 пропорциональны индукции в степени 1,6 или 1,7; кроме того, они пропорциональны частоте перемагничивания и объему железа якоря. При индукциях больших 10 000, как это обычно и бывает в якорях динамомашин постоянного тока, потери на гистерезис можно считать пропорциональными индукции во второй степени. Придерживаясь обозначений Арнольда, эти потери можно определить по формуле

$$W_i = \sigma_i \cdot k_a \cdot \left(\frac{f}{100}\right) \left(\frac{B_a}{1000}\right)^2 \cdot Q \text{ ватт,}$$

где  $f$  — число перемен намагничивания  $= pn/60$ ,  $Q$  — объем железа в куб. дециметрах,  $B_a$  — средняя индукция в железе,  $\sigma_i$  — коэфф., зависящий от качества железа и связанный с постоянной Штейнмеца  $\eta$  следующим приближенным соотношением:  $\sigma_i = 251\eta$ , и  $k_a$  — коэфф., учитывающий неравномерное распределение магнитного потока по сечению железа якоря; этот коэфф., зависящий от числа полюсов, меняется в пределах 1,2—1,7 (большее значение — при большем числе полюсов). Коэффициент Штейнмеца  $\eta$  для железа  $\approx 0,002$ , для литой стали  $\approx 0,0027$ .

На величину потерь от гистерезиса влияют размеры и конструкция машины. Чем компактнее машина при одной и той же мощности, чем больше, следовательно, допущена магнитная индукция в магнитной цепи (в особенности в сердечнике якоря и в зубцах), тем больше будут в ней и потери на гистерезис, несмотря на меньший объем ее. Такая машина может дать меньший коэффициент полезного действия. У зубчатого якоря потери на гистерезис в зубцах составляют довольно значительную часть общей потери, в особенности, когда зубцы довольно тонки и индукция в них велика.

#### б) ПОТЕРИ ОТ ТОКОВ ФУКО.

При вращении якоря в магнитном поле, в его металлической массе возбуждаются токи Фуко, сила которых зависит от величины магнитной индукции поля и от скорости вращения якоря, а направление совпадает с направлением главного тока в обмотке. Эти токи, по закону Ленца, представляют сопро-

тивление движению, на преодоление которого требуется некоторая механическая мощность. Для возможного уменьшения токов Фуко, как известно, якорь делается не сплошным, а из листов железа, толщиной в 0,5 мм, покрытых или тонкою бумагою, или лаком. Благодаря этому электродвижущие силы, индуцируемые в массе якоря, раздробляются, и разность потенциалов между крайними точками листа делается незначительною. Кроме того, и радиальное сопротивление такого листа больше, нежели массивного якоря.

Придерживаясь обозначений Арнольда, потери на токи Фуко можно определить по формуле

$$W_{\text{ф}} = \sigma_{\text{ф}} \left( \Delta \cdot \frac{f}{100} \cdot \frac{B_{\text{max}}}{1000} \right)^2 \cdot Q \text{ ватт,}$$

здесь  $\Delta$  — толщина листов железа в мм,  $f$  — число периодов вращения, равное  $pn/60$ ,  $Q$  — объем железа в куб. дециметрах,  $\sigma_{\text{ф}}$  — постоянная, зависящая от проводимости железа, а следовательно, от химического состава железа и от способа обработки якоря. Для якорей, обрабатываемых на станках, коэфф.  $\sigma_{\text{ф}}$  можно положить = 10—15, тогда как для якорей, не обрабатываемых на станках, а составляемых из штампованных листов,  $\sigma_{\text{ф}} = 4—5$ .

Токи Фуко индуцируются не только в железе якоря, но также в проводниках якоря и в башмаках индукторов. Причина — наличие зубцов на якоря. При слабой индукции в зубцах плотность магнитных линий на дне паза очень небольшая, тогда как у коронки, благодаря боковому рассеянию, она довольно значительна. При большой же индукции в зубцах плотность магнитных линий на дне паза, вследствие сужения [зубцов в радиальном направлении, тоже значительна, тогда как в середине паза она сравнительно мала. Благодаря такому неравномерному распределению потока в пазу в расположенных в них проводниках индуцируются токи Фуко, тем большие по величине, чем больше сечение этих проводников и чем глубже пазы. Далее, так как магнитная индукция в межжелезном пространстве против зубцов значительно больше индукции против пазов, то при вращении якоря в каждый момент времени какой-либо замкнутый элемент полюсного башмака будет пронизываться неодинаковым числом магнитных линий. Это обстоятельство имеет непременно следствием появление токов Фуко в башмаках, тем больших по величине, чем шире и глубже пазы и чем меньше межжелезное пространство.

Токи Фуко образуются, кроме того, и в коллекторных пластинах, пересекающих при вращении неподвижное магнитное поле, создаваемое идущим через щетки током. В обыкновенных машинах эти токи Фуко незначительны, тогда как в электролитических машинах с малым числом коллекторных пластин и большими токами они могут достигнуть заметной величины.

### с) Потери от сопротивления якоря.

Потери от сопротивления якоря определяются формулою:

$$W_a = J_a^2 (R_a + R_k),$$

где  $R_a$  — сопротивление якоря и  $R_k$  — сопротивление контакта между щетками и коллектором. Как видно, эти потери пропорциональны квадрату силы тока.



При медных щетках это вполне правильно. Но так как сопротивление контакта угольных щеток с увеличением тока убывает, то потеря  $W_a$  в этом случае будет возрастать не вполне пропорционально  $J^2$ . Согласно нормам С. Г. Э. потери в контактах щеток определяются отдельно, считая для щеток одной полярности падение напряжения: 1 вольт — для угольных щеток и 0,3 вольта для щеток, содержащих медь.

#### д) ПОТЕРИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ.

Потери на механические сопротивления могут быть подразделены на потери от трения в подшипниках, от трения щеток о коллектор и от трения якоря о воздух. Потери от трения в подшипниках легко определяются, раз известен соответствующий коэфф. трения. Этот же последний зависит от давления вала на подшипник, от температуры подшипника, от скорости вала и от сорта смазочного масла.

Если  $\mu$  — коэфф. трения,  $g$  — удельное давление в  $\text{кг/см}^2$ ,  $d$  — диаметр цапфы в  $\text{см}$ ,  $l_z$  — длина подшипника в  $\text{см}$ ,  $v_z$  — скорость цапфы в  $\text{м/сек}$ ,  $q$  — давление в подшипниках в  $\text{кг}$ ,  $R_m$  — работа трения в  $\text{кг/сек}$  и  $W_m$  — работа трения в ваттах, то

$$R_m = \mu \cdot q \cdot v_z,$$

$$g = \frac{q}{d_z \cdot l_z}$$

и

$$W_{mp} = 9,81 \cdot R_m = 9,81 \cdot \mu \cdot q \cdot v_z.$$

Из опытов Детмара следует:

1) Коэфф. трения, при постоянной температуре и постоянной скорости вала, пропорционален удельному давлению в подшипниках; при этом работа трения не зависит от давления, коль скоро последнее не превосходит 36—44  $\text{кг/см}^2$ . И так как это давление у нормальных машин не выходит из упомянутых пределов, то можно считать, что потери на трение при изменении нагрузки постоянны.

2) При постоянном удельном давлении и постоянной скорости вала коэфф. трения обратно пропорционален температуре подшипников; следовательно, работа трения обратно пропорциональна температуре. Поэтому-то потери на трение в динамомашине нужно определять только после 3—4 часов нормальной работы ее, когда температура подшипников делается приблизительно постоянной.

3) При постоянной температуре и постоянном удельном давлении коэфф. трения растет приблизительно пропорционально корню квадратному из скорости вала, а работа трения — пропорционально числу оборотов в степени 1,5. Поэтому-то при определении потерь на трение в подшипниках необходимо, чтобы машина вращалась с такою же скоростью, с какою она вращается и при той нагрузке, для которой определяется коэфф. полезного действия.

Приближенные значения коэфф. трения для некоторых смазочных материалов при удельном давлении  $29,2 \text{ кг/см}^2$  линейной скорости цапфы  $1,6 \text{ м/сек.}$  и температуре подшипника  $32^\circ \text{Ц.}$  следующие:

Оливковое масло .....	0,00 172
Спермацетовое масло .....	0,00 208
Минеральное масло .....	0,00 176
Минеральный жир .....	0,00 233

Потери от трения щеток почти пропорциональны скорости вращения коллектора, давлению на коллектор и коэфф. трения щеток о коллектор. Практически эти потери часто определяются нераздельно с потерями в подшипниках.

Потери на трение о воздух при обычных линейных скоростях вращения якоря (до  $40 \text{ м}$  в сек.) можно считать пропорциональными скорости вращения в третьей степени. Они зависят от общей конструкции якоря и обычно не отделяются от общих механических потерь.

Для того чтобы несколько ориентироваться в распределении потерь в динамомашинах, ниже приведена таблица, содержащая приближенные значения их для машин разных мощностей.

Мощность в киловаттах	Коэффи- циент полезного действия в %	Приблизительное распределение потерь в %				Общие потери в %
		Потери якоря		Обмотка возбу- ждения	Трение	
		Медь	Железо			
30	90	4,0	3,0	2,5	0,5	10
40	90,5	3,8	2,8	2,4	0,5	9,5
50	91	3,6	2,7	2,3	0,4	9
75	91,5	3,4	2,5	2,2	0,4	8,5
100	92	3,2	2,4	2,0	0,4	8
200	93	2,7	2,15	1,8	0,35	7
300	93,5	2,5	2,0	1,65	0,35	6,5
500	94	2,3	1,8	1,55	0,35	6
750	94,5	2,0	1,7	1,5	0,3	5,5
1000	95	1,8	1,5	1,4	0,3	5

Согласно нормам С. Г. Э. при определении коэфф. полезного действия следует учитывать еще так называемые добавочные потери. Эти потери вызваны искажением поля индукторов при нагрузке. Те потери от токов Фуко в проводниках якоря, в железе и в коллекторных пластинах, которые имеются при холостой работе, увеличиваются при нагрузке, и тем в большей степени, чем сильнее реакция якоря. В процентах от полезной мощности добавочные потери составляют: у компенсированных машин  $0,1—0,3\%$ , у машин с допол-

нительными полюсами 0,2—0,6%, у машин без дополнительных полюсов 0,4—1,2%; большие значения — у машин с сильной реакцией якоря, меньшие значения — у машин с высоким коэффициентом полезного действия.

Из перечня потерь в генераторе видно, что их можно разбить на три группы. В первую группу войдут потери, происходящие от прохождения тока в обмотках якоря и индукторов. Эти потери часто называют потерями в меди машины (или просто медными потерями); они не зависят от скорости вращения якоря. Во вторую группу войдут потери, обязанные вращению якоря в магнитном поле от гистерезиса и токов Фуко. Эти потери имеют место главным образом в железных частях машины, а потому их часто называют потерями в железе машины (или просто железными потерями).

В третью группу войдут потери, появляющиеся при вращении от трения в подшипниках и о воздух.

Так как потери двух последних групп, т.-е. потери в железе и потери трения, обязаны вращению машины, то их иногда объединяют и называют потерями вращения.

## 2. ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ.

Коэффициентом полезного действия динамомашинны называют отношение

$$\eta = \frac{\text{отдаваемая мощность}}{\text{доставляемая мощность}}.$$

Это отношение показывает, что для определения коэфф. полезного действия динамомашинны опытным путем нужно измерить обе мощности — механическую и электрическую. Но так как измерение механической мощности представляет на практике большие затруднения и может быть произведено с относительно небольшим приближением к истинной ее величине, то при определении промышленного коэффициента полезного действия рекомендуется исходить для генератора из отношения:

$$\eta = \frac{\text{отдаваемая электрическая мощность}}{\text{отдаваемая электр. мощность} + \text{потери}},$$

а для двигателя из отношения

$$\eta = \frac{\text{подводимая мощность} - \text{потери}}{\text{подводимая мощность}}.$$

В таком случае необходимы два измерения: электрической мощности и мощности потерь. Первое измерение не представляет никаких затруднений и может быть выполнено с весьма большою точностью. Что же касается второго измерения, то и в этом отношении практикою выработаны методы, пользуясь которыми можно легко и удобно определить потери с достаточною точностью.

Обозначая через  $V$  напряжение на зажимах динамомашинны;  $J$  — силу тока в проводниках, подходящих к машине;  $i_m$  — силу тока возбуждения в шунтовой обмотке;  $J_a$  — силу тока в якоре, при чем  $J_a = J + i_m$  — у шунтового

генератора и  $J_a = J - i_m$  — у шунтового двигателя, выражения для коэффициента полезного действия можно написать в следующем виде:

для генератора с независимым возбуждением

$$\eta = \frac{V \cdot J}{V \cdot J + J^2 R_a + i_m^2 R_m + W_i + W_\phi + W_{mp}};$$

для шунтового генератора

$$\eta = \frac{V \cdot J}{V \cdot J + V \cdot i_m + (J + i_m)^2 R_a + W_i + W_\phi + W_{mp}};$$

для серийно-генератора

$$\eta = \frac{V \cdot J}{V \cdot J + J^2 (R_a + R_c) + W_i + W_\phi + W_{mp}};$$

для компаунд-генератора с длинным ответвлением

$$\eta = \frac{V \cdot J}{V \cdot J + V \cdot i_m + (J + i_m)^2 (R_a + R_c) + W_i + W_\phi + W_{mp}};$$

для компаунд-генератора с коротким ответвлением

$$\eta = \frac{V \cdot J}{V \cdot J + (V + J_a R_c) + (J + i_m)^2 R_a + J^2 R_c + W_i + W_\phi + W_{mp}};$$

для шунтового двигателя

$$\eta = \frac{V \cdot J - V \cdot i_m - J_a^2 R_a - W_i - W_\phi - W_{mp}}{V \cdot J};$$

для серийно-двигателя

$$\eta = \frac{V \cdot J - J^2 (R_a + R_c) - W_i - W_\phi - W_{mp}}{V \cdot J};$$

для компаунд-двигателя с длинным ответвлением

$$\eta = \frac{V \cdot J - J_a^2 (R_a + R_c) - V \cdot i_m - W_i - W_\phi - W_{mp}}{V \cdot J}.$$

В таблицах I и II приведены средние значения коэффициентов полезного действия машин небольших, средних и больших мощностей. Гарантийные значения коэффициентов полезного действия ниже приведенных:

при $\eta = 95\%$	на $1/2 - 1\%$
„ $\eta = 90\%$	„ $1 - 1\frac{1}{2}\%$
„ $\eta = 80\%$	„ $2 - 3\%$
„ $\eta = 70\%$	„ $3 - 4\%$

В соответствии с двоякою формулировкой коэффициента полезного действия: а) как отношение отдаваемой мощности к проводимой и б) как отношение отдаваемой мощности к сумме мощностей, отдаваемой и затрачиваемой на потери, методы определения его разбиваются на две группы:

I. Группа непосредственного измерения отдаваемой и подводимой мощностей.

II. Группа измерения потерь.

ТАБЛИЦА I.  
Коэффициент полезного действия небольших машин  
постоянного тока.

Мощность в PS	Число оборотов в минуту				
	62 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	125	250	500-2000	3000
1	—	—	67,0	73,0	73,0
2	—	68,0	73,0	78,5	78,0
5	70,0	76,0	79,5	83,0	82,5
10	75,0	80,0	84,5	87,0	86,5
20	79,0	84,0	87,0	90,0	89,5
30	81,5	85,5	88,0	91,0	90,0
40	83,0	86,5	89,0	91,5	90,5
50	84,0	87,5	90,0	91,8	90,8
60	85,0	88,8	90,5	92,0	90,9
70	85,8	89,2	90,5	92,0	91,0
80	86,5	89,7	91,0	92,0	91,0
90	87,0	90,0	91,0	92,0	91,0
100	87,8	90,0	91,2	92,0	91,0
110	88,1	90,0	91,3	92,0	91,0

ТАБЛИЦА II.  
Коэффициент полезного действия больших машин  
постоянного тока.

Мощность в kW	Число оборотов в минуту					
	62 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	125	250	500-1500	2000	3000
100	88,0	90,5	92,0	93,0	92,0	91,0
250	90,0	92,0	93,5	94,0	92,8	91,2
500	92,0	93,5	94,5	94,5	93,0	91,7
750	93,0	94,0	95,0	94,8	93,0	91,8
1000	93,7	94,7	95,4	95,0	93,2	—
1500	94,5	95,2	95,7	95,0	—	—
2000	—	96,6	96,0	95,2	—	—
3000	—	96	96,0	95,2	—	—
5000	—	—	95,7	95,0	—	—

Первая группа содержит методы:

- 1) непосредственной электрической нагрузки машины, и
- 2) механического торможения.

Вторая группа содержит методы:

- 3) холостой работы,
- 4) холостой работы и короткого замыкания,
- 5) взаимной нагрузки,
- 6) определения потерь по выделяемому машиною теплу.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ПО МЕТОДАМ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТЕЙ.

#### а) Метод электрической нагрузки.

Определение коэффициента полезного действия генератора по этому методу сводится к измерению электрической мощности, отдаваемой машиною какому-либо приемнику, что легко осуществляется помощью амперметра, включенного в линию приемника и вольтметра у зажимов якоря, а также к измерению механической мощности, подводимой к валу генератора. Последняя мощность измеряется тем или иным методом в зависимости от рода двигателя. Если двигатель — электрический, то измеряется забираемая им мощность и множится на коэффициент его полезного действия. Таким образом, коэффициент полезного действия двигателя в этом случае должен быть известен. Если двигатель — первичный, то подводимая к валу генератора мощность измеряется или помощью индикаторных диаграмм — у паровых двигателей и у двигателей внутреннего сгорания, или же путем измерения количества расходуемого пара — у паровых турбин. В обоих случаях следует отдельным опытом измерить мощность, расходуемую на механические трения двигателя, запуская последний вхолостую и разобщенным механически от генератора. Эта мощность вычитается из мощности, определенной по индикаторной диаграмме при нагрузке или по количеству расходуемого пара. Точность измерения механической мощности в данном случае небольшая.

Механическую мощность, подводимую к генератору, можно измерить также и помощью динамометра (см. гл. I, § 7).

При определении коэффициента полезного действия двигателя по данному методу, подводимая к двигателю электрическая мощность измеряется помощью амперметра и вольтметра, а отдаваемая мощность измеряется динамометром, или же, если двигатель связан механически с электрическим генератором, определяется как частное от деления отдаваемой генератором электрической мощности на коэффициент полезного действия его (и передачи, если таковая существует). При наличии двух или нескольких одинаковых двигателей в качестве генератора может быть использован один из двигателей.

На фиг. 93 иллюстрировано определение коэффициента полезного действия трамвайных двигателей с передачей по описываемому методу. Два совершенно одинаковых двигателя подвешиваются на особых козлах так, как они обычно подвешиваются между рамами вагона; их зубчатки работают на одну и ту же зубчатку, насаженную на общую для обоих двигателей подвесную ось. При

испытании один из двигателей работает как двигатель, другой — как генератор, отдавая вырабатываемую энергию водяному реостату. Если  $V_1 J_1$  — мощность, забираемая двигателем  $M$  от внешнего источника тока, а  $V_2 J_2$  — мощность, отдаваемая генератором реостату, то разность  $V_1 J_1 - V_2 J_2$  будет равна, очевидно, мощности, покрывающей все потери в двигателе и передаче. Полагая что потери обонх двигателей одинаковы, коэффициент полезного действия определяется из выражения

$$\eta = \sqrt{\frac{V_2 \cdot J_2}{V_1 \cdot J_1}}$$

#### б) МЕТОД МЕХАНИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ.

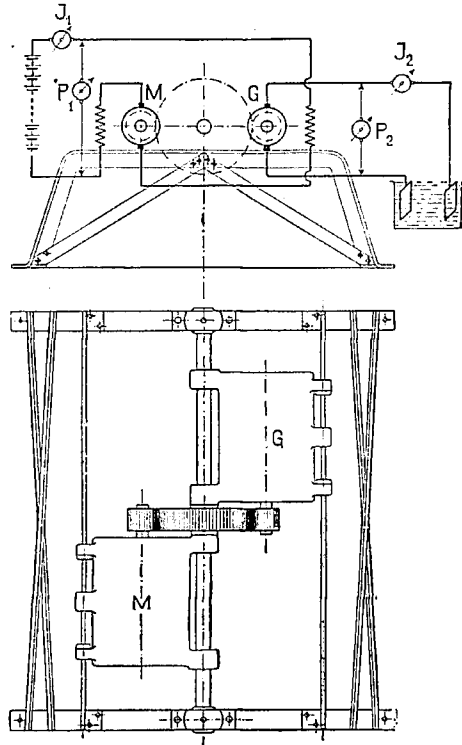
Об определении коэффициента полезного действия двигателей по методу торможения см. гл. IX и X. По отношению к генераторам этот метод применяется лишь тогда, когда мощность их невелика. Он основан на допущении, что коэффициенты полезного действия одной и той же машины, работающей генератором или двигателем при одинаковых электрических, механических и магнитных условиях, равны. Испытуемый генератор снаряжается как двигатель и тормозится тормозом Прони или электромагнитным тормозом (см. гл. I, § 7).

Коэффициент полезного действия определяется по формулам для электродвигателей (см. гл. IX и X).

### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ПО МЕТОДАМ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ.

#### а) Метод холостой работы в применении к шунтовым генераторам.

Из рассмотрения потерь, имеющихсх в генераторе, видно, что их можно подразделить на две группы: 1) потери, не зависящие от вращения, именно потери в меди обмоток якоря и индукторов, и 2) потери, зависящие от вращения и магнитной индукции в железе якоря. Первую группу потерь легко определить, измерив предварительно (в нагретом состоянии) сопротивления обмоток и зная токи, которые циркулируют в обмотках при нормальной работе генератора. Следует только помнить, что у шунтового генератора и у компаунд-генератора к потерям в обмотках возбуждения прибавляются потери в шунтовых реостатах, т.-е. эти потерн определяются произведением тока в об-



Фиг. 93.

мотке возбуждения на напряжение, действующее на всю цепь возбуждения (см. выражения для коэфф. пол. д., гл. XI, § 2).

Вторую группу потерь генератора, т.-е. потери вращения, также нетрудно определить с достаточной для практики точностью, исходя из того соображения, что генератор, запущенный в качестве двигателя вхолостую с нормальным для него числом оборотов и с такою противоэлектродвижущей силой в якоре, которая была бы равна электродвижущей силе генератора при нормальном токе в якоре, имеет потери вращения, равные потерям вращения при нормальной работе. В самом деле, оба фактора, от которых зависят потери вращения, в данном случае имеются налицо: 1) нормальное число оборотов, 2) такое магнитное состояние машины двигателя, какое имеется и при работе машины-генератора, ибо в обоих случаях работы машины электродвижущие силы равны, а они ведь пропорциональны магнитным потокам; след., и магнитные потоки должны быть в обоих случаях одинаковы.

То напряжение, которое необходимо подвести к якору машины-генератора, работающей вхолостую двигателем, определяется из следующих соображений. Электродвижущая сила шунтового генератора при токе в якоре  $J_a$  и его сопротивлении  $R_a$  будет  $E = V + J_a R_a$ , где  $V$  — напряжение у якоря или на зажимах. Электродвижущая сила той же машины, работающей вхолостую двигателем с током в якоре  $J_0$ , будет  $E_0 = V_{a0} - J_0 R_a$ , где  $V_{a0}$  — напряжение на якоре. Так как по условию  $E = E_0$ , то необходимое напряжение на якоре при холостой работе двигателя будет

$$V_{a0} = V + J_a R_a + J_0 R_a = V + (J_a + J_0) \cdot R_a.$$

Входящий в это выражение ток холостой работы  $J_0$  определяется предварительным измерением, при чем подводимое к якору напряжение берется равным нормальному напряжению  $V$ . Однако, в виду того, что ток холостой работы  $J_0$  обычно очень мал сравнительно с током нагрузки  $J_a$ , то им пренебрегают и считают  $V_{a0} = V + J_a \cdot R_a$  (см. в приложении § 39 проекта норм для электрических машин).

Практически определение потерь вращения генератора производится в следующем порядке. Предварительно заставляют генератор работать под полною нагрузкою достаточно продолжительное время для того, чтобы все его части имели температуру нормальной работы. Это время используют обыкновенно для получения внешней характеристики и реостатной характеристики, а также для подготовки схем, необходимых при измерении сопротивления обмоток генератора и схем, необходимых для пуска генератора двигателем. Эти последние схемы см. в гл. I, § 4, и в гл. IX, § 1.

Убедившись по термометру, что генератор достаточно прогрет, быстро выключают нагрузку, нарушают механическую связь с первичным двигателем и измеряют сопротивления обмоток. Затем, собрав окончательно схему для пуска двигателем и поставив щетки на геометрическую нейтраль, дают в обмотку возбуждения полный ток возбуждения и, шунтировав амперметр в цепи якоря рубильником, начинают постепенно выводить пусковой реостат (на схе-

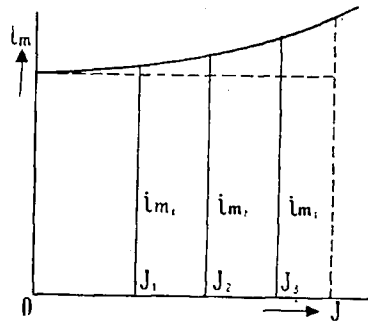


мах фиг. 71 реостат  $R$ ) до тех пор, пока якорь не будет вращаться с числом оборотов, близким к нормальному. Подобрав тем же реостатом напряжение на якоре, равное необходимому  $V_{a0}$  (см. ранее), меняют ток возбуждения так, чтобы число оборотов якоря было строго нормальным, и, выключив рубильник, шунтировавший амперметр, по возможности точно отмечают показания вольтметра у якоря  $V_{a0}$  и амперметра в цепи якоря  $J_{a0}$ . Тогда потери вращения будут

$$W_{вр} = W_i + W_{\phi} + W_{mp} = V_{a0} \cdot J_{a0} - J_{a0}^2 R_a.$$

Зная потери в меди генератора при нормальной его работе и потери вращения, легко уже определить и коэффициент полезного действия, пользуясь формулами, приведенными в § 2 настоящей главы.

Если бы требовалось построить кривую коэффициента полезного действия генератора, иллюстрирующую изменение коэффициента полезного действия с изменением нагрузки его, то опыт с определением потерь вращения пришлось бы повторить при разных напряжениях на якоре, вычисляя их по формуле  $V_{a0} = V + (J_a + J_0) R_a$ , для разных значений тока  $J_a$  в пределах от нуля до нормального. При определении же коэффициента полезного действия для разных нагрузочных токов, главным образом шунтового генератора, следует учесть режим его работы, т.-е. работает ли он с неизменным током возбуждения, или с неизменным напряжением. В последнем случае в выражение для коэффициента полезного действия необходимо подставлять значения токов возбуждения, соответствующие токам нагрузки, беря их по реостатной характеристике (фиг. 94).

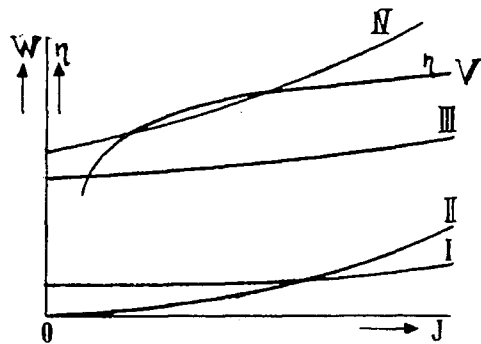


Фиг. 94.

ТАБЛИЦА.

$n$	$V_{a0}$	$i_m$	$J_{a0}$
пост.			

На фиг. 95 приведены примерные кривые, иллюстрирующие изменение с нагрузкою отдельных потерь и коэффициента полезного действия шунтового генератора. Кривая I иллюстрирует изменение потерь возбуждения  $V \cdot i_m$ , параболическая кривая II — потеря в обмотке якоря  $J_a^2 R_a$ , кривая III — потеря вращения  $W_{вр} = W_i + W_{\phi} + W_{mp}$ , кривая IV — общих потерь в генераторе, кривая V — коэффициента полезного действия.



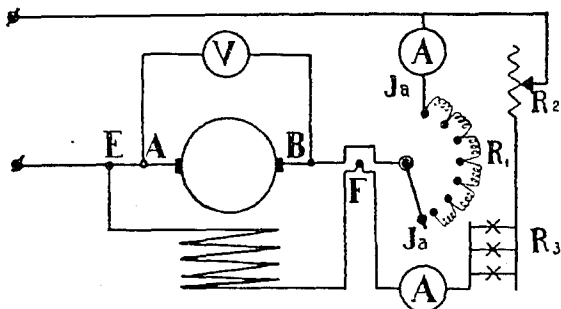
Фиг. 95.

Число оборотов генератора, работающего двигателем вхолостую, можно определять тахометром, если испытуемый генератор достаточно велик и давле-

ние тахометра на вал его не меняет положение цапф в подшипниках и не увеличивает потерь холостого хода. Но если генератор маломощный, то во избежание добавочных потерь, причиняемых тахометром, лучше (хотя и сложнее) число оборотов измерять стробоскопическим методом (см. гл. I, § 3).

б) МЕТОД ХОЛОСТОЙ РАБОТЫ В ПРИМЕНЕНИИ К СЕРИЕС-И КОМПАУНД-ГЕНЕРАТОРАМ.

Определение коэффициента полезного действия сериес- и компаунд-генераторов по методу холостой работы производится совершенно так же, как шунтового генератора. Предварительно генераторы прогреваются под нагрузкой, при чем снимаются внешние их характеристики (фиг. 62 и 66). После прогрева быстро измеряют сопротивления всех обмоток и собирают схемы, позволяющие генераторы запустить двигателями.



Фиг. 96.

на якоре так, чтобы оно равнялось  $V_{a0} = V + J(R_a + R_c)$  при сериес-генераторе и  $V_{a0} = V + J_a R_a$  — при компаунд-генераторе, если  $V$  — напряжение на зажимах генератора,  $J$  и  $J_a$  — токи в якорях,  $R_c$  — сопротивление последовательной обмотки возбуждения. Затем током возбуждения устанавливают число оборотов вращения нормальным и отмечают ток в якоре. Если этот ток —  $J_{a0}$ , то потери вращения будут

$$W_{вр} = W_l + W_{gf} + W_{mp} = V_{a0} \cdot J_{a0} - J_{a0}^2 R_a.$$

Задаваясь разными значениями тока нагрузки  $J$ , определяя соответствующие напряжения  $V$  по внешним характеристикам, вычисляют подводимые к якору двигателя напряжения  $V_{a0}$  и поступают дальше так, как описано выше. Таким образом определяют потери вращения, соответствующие всем режимам нагрузки генераторов. Зная эти потери, легко уже определить и коэффициенты полезного действия по формулам, приведенным в § 2 настоящей главы.

ТАБЛИЦА.

$n$	$V_{a0}$	$i_m$
пост.		

изображена на фиг. 96; на этой схеме  $R_1$  — пусковой реостат, а  $R_2$  и  $R_3$  — реостаты, ограничивающие ток в последовательной обмотке. Схема для компаунд-генератора подобна схеме фиг. 71; компаундная обмотка остается не включенной в цепь якоря.

Запустив генераторы двигателями, реостатами в цепи якоря регулируют напряжение

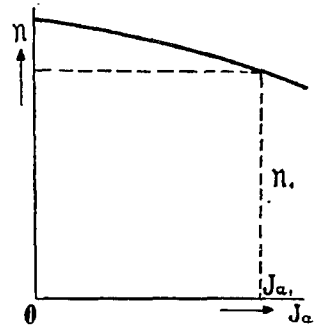
с) МЕТОД ХОЛОСТОЙ РАБОТЫ В ПРИМЕНЕНИИ К ШУНТОВЫМ ДВИГАТЕЛЯМ.

Определение коэффициента полезного действия двигателя по методу холостой работы подобно определению коэффициента пол. д. генератора. Предварительно заставляют двигатель работать под нагрузкой достаточно продолжительное время, чтобы его части имели температуру нормальной работы, при этом снимают характеристику скорости, т.-е. зависимость числа оборотов его от развиваемой им мощности или от тока в якоре (фиг. 97). Нарушив затем механическую связь с валом нагрузочной машины, запускают двигатель вхолостую и подводят к зажимам якоря такое напряжение  $V_{a0}$ , при котором бы электродвижущая сила  $E_{a0} = V_{a0} - J_{a0} R_a$ , где  $J_{a0}$  — ток в якоре при холостой работе, была равна электродвижущей силе при нагрузке  $E = V - J_a \cdot R_a$ , где  $V$  — нормальное напряжение,  $J_a$  — ток в якоре при нагрузке. Это напряжение,

$$V_{a0} = V - (J_a - J_{a0}) R_a,$$

или если пренебречь током холостой работы  $J_{a0}$ ,

$$V_{a0} = V - J_a \cdot R_a.$$



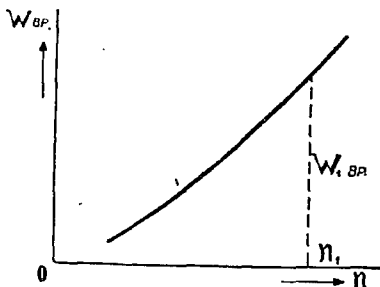
Фиг. 97.

Затем регулируют возбуждение так, чтобы двигатель вращался с числом оборотов  $n$ , соответствующим по характеристике скорости току  $J_a$ , для которого определяется коэффициент полезного действия. Тогда потери вращения двигателя будут

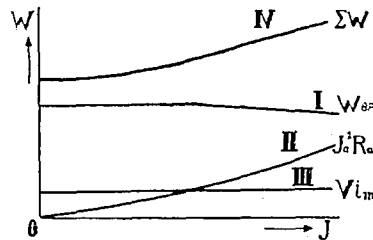
$$W_{вр} = W_i + W_{\phi} + W_{mp} = V_{a0} \cdot J_a - J_a^2 R_a.$$

Потери в меди при нагрузке  $J_a^2 R_a + V \cdot i_m$  определяются предварительным измерением в нагретом состоянии сопротивления обмотки якоря  $R_a$  и измерением тока возбуждения  $i_m$  при нагрузке.

Откладывая потери вращения по оси ординат, а соответствующие числа оборотов по оси абсцисс, получают кривую (фиг. 98), пользуясь которой и



Фиг. 98.



Фиг. 99.

кривой скорости, легко построить кривую I фиг. 99, представляющую зависимость потерь вращения от силы тока в якоре при нагрузке и при по-

стоянном возбуждении. Нанеся на той же фигуре кривые потерь в якоре (кривая *II*) и потерь возбуждения (кривая *III*) и просуммировав ординаты этих кривых, нетрудно получить кривую *IV* всех потерь в двигателе. Имея эту последнюю кривую, легко уже определить и коэффициент полезного действия двигателя, пользуясь формулой

$$\eta = \frac{V \cdot J - \Sigma W}{V \cdot J},$$

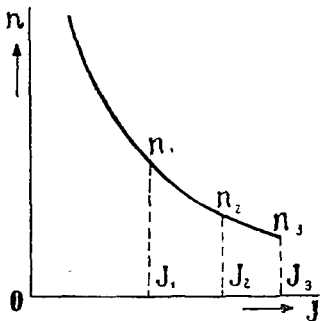
где  $V$  — напряжение на зажимах двигателя,  $J$  — ток, забираемый двигателем, равный  $J_a + i_m$ , и  $\Sigma W$  — все потери в двигателе (найденные по кривой *IV* фиг. 99). Схема соединений приборов указана на фиг. 71.

ТАБЛИЦА.

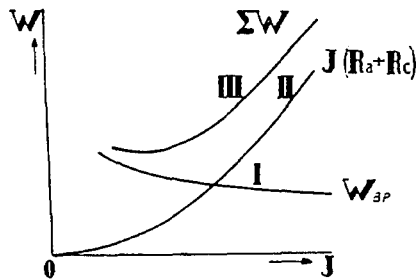
$n$	$V_{a0}$	$J_{a0}$

д) МЕТОД ХОЛОСТОЙ РАБОТЫ В ПРИМЕНЕНИИ К СЕРИЕС-ДИВГАТЕЛЯМ.

При определении коэффициента полезного действия сериес-двигателя по методу холостой работы предварительно прогревают двигатель под нагрузкой, снимая одновременно кривую скорости, т.е. зависимость числа оборотов от тока нагрузки (фиг. 100). Затем, собрав схему, указанную на фиг. 96, подводят к якору при посредстве реостата  $R$  напряжение  $V_{a0} = V - J(R_a + R_c)$ ,



Фиг. 100.



Фиг. 101.

где  $J$  — ток нагрузки, для которой определяются потери вращения, и реостатами  $R_2$  и  $R_3$  регулируют ток возбуждения так, чтобы число оборотов двигателя было равно тому числу оборотов, которое отвечает (по характеристике скорости, фиг. 100) току нагрузки  $J$ . Тогда потери вращения будут

$$W_{вр} = W_i + W_{\phi} + W_{mp} = V_{a0} \cdot J_{a0} - J_{a0}^2 R_a,$$

где  $J_{a0}$  — ток в якоре при холостой работе. Поступая подобным же образом для разных значений тока нагрузки  $J$ , легко затем построить кривую *I* фиг. 101, представляющую зависимость потерь вращения от тока нагрузки. Вычисляя, далее, потери на нагревание якоря и индукторной обмотки  $J^2(R_a + R_c)$  для разных токов нагрузки, строят кривую *II*, представляющую зависимость потерь на Джоулев эффект от силы тока в якоре. Суммируя ординаты кривых *I* и *II*, получают, наконец, кривую *III*, представляющую зависимость всех потерь  $\Sigma W$ , имеющих место в сериес-двигателе, от тока нагрузки.

Коэффициент полезного действия двигателя для какого-либо тока, напр.,  $J$ , будет при этом

$$\eta^0/\% = \frac{VJ - \Sigma W}{V \cdot J} \cdot 100.$$

Сравнивая кривую  $I$  с такою же кривой для шунтового двигателя, нетрудно усмотреть, что потери у шунтового двигателя при разных нагрузках почти постоянны, а у сериес-двигателя они уменьшаются с увеличением нагрузки. Причина этого обстоятельства заключается в том, что ни возбуждение, ни скорость шунтового двигателя с изменением нагрузки почти не меняются, тогда как у сериес-двигателя скорость, а следовательно, и механические потери уменьшаются с увеличением нагрузки.

#### ТАБЛИЦЫ.

$n$	$J$

$n$	$V_{a0}$	$J_{возб.}$

#### е) Метод холостой работы и короткого замыкания.

Если в распоряжении имеется калиброванный вспомогательный двигатель, т.-е. двигатель с известным коэффициентом полезного действия при разных забираемых им мощностях, то опыт холостой работы удобно соединить с опытом короткого замыкания испытуемой машины; этот опыт может дать потери в меди якоря, тогда как опыт холостой работы даст потери в железе якоря и потери на трение. Таким образом, два названные опыта дадут все потери, имеющиеся в машине, за исключением потерь на возбуждение.

Опыт короткого замыкания ведется в следующем порядке. Испытуемая машина спаривается с вспомогательным двигателем, который, будучи запущен, доводит ее до нормальной скорости, вращая в нормальную для машины сторону. Щетки машины замыкаются накоротко через амперметр, и если остаточный магнетизм мал, то слегка возбуждают ее так, чтобы в якоре циркулировал желаемый ток  $J_a$ . Если  $W'$  — мощность, забираемая вспомогательным двигателем, а  $\eta'$  — его коэффициент полезного действия, то произведение  $W' \cdot \eta'$  — равно мощности, покрывающей потери в меди якоря  $W_a$ , небольшие потери в железе якоря  $W'_{ж}$  и механические потери  $W'_{тр}$ , т.-е.  $W' \cdot \eta' = W_a + W'_{ж} + W'_{тр}$ . Открыв, далее, коротко-замкнутую цепь якоря, при том же возбуждении снова определяют забираемую двигателем мощность. Если эта мощность  $W''$ , а коэффициент полезного действия двигателя при этой мощности  $\eta''$ , то в предположении, что потерн в железе и потери на трение остались неизменными, получают  $W'' \cdot \eta'' = W'_{ж} + W'_{тр}$ . Следовательно, потери в меди якоря

$$W_a = W' \cdot \eta' - W'' \cdot \eta''.$$

Следует отметить, что определенные по короткому замыканию потери несколько больше потерь, вычисленных по формуле  $J_a^2 \cdot R_a$ , ибо в них входят и потери от токов Фуко в проводниках.

Коэффициент полезного действия машины-генератора в этом случае будет

$$\eta = \frac{V \cdot J}{V \cdot J + W_a + W_{op} + W_i},$$

а машины-двигателя

$$\eta = \frac{V \cdot J - (W_a + W_{op} + W_i)}{V \cdot J};$$

здесь  $W_{op}$  — потери вращения, определенные по опыту холостой работы, а  $W_i$  — потери возбуждения ( $W_i = V \cdot i_{ш}$  — у шунтовых машин,  $W_i = J^2 R_c$  — у сериес-машин).

ТАБЛИЦА.

$W'$	$W''$	$J$

### 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ПО МЕТОДУ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ.

В тех случаях, когда испытанию подлежит несколько (или по крайней мере две) одинаковых машин, и притом относительно большой мощности, и когда при испытании не преследуется особая точность, а быстрота и экономия энергии, коэффициент полезного действия динамомашин можно определять по методу взаимной нагрузки. Этот метод основывается на том допущении, что одна и та же машина, работающая как двигатель и как генератор, при одном и том же напряжении на зажимах и при одном и том же токе в якоре, имеет один и тот же коэффициент полезного действия. Такое допущение, строго говоря, не совсем оправдывается. Действительно, если  $V$  — напряжение машины,  $J$  — сила тока ее, а  $\Sigma W$  — общие потери, то коэфф. полезн. д. машины-генератора:

$$\eta_r = \frac{V \cdot J}{V \cdot J + \Sigma W} = \frac{1}{1 + \frac{\Sigma W}{V \cdot J}},$$

тогда как коэфф. пол. д. машины-двигателя:

$$\eta_d = \frac{V \cdot J - \Sigma W}{V \cdot J} = 1 - \frac{\Sigma W}{V \cdot J},$$

откуда следует, что  $\eta_r > \eta_d$ . Пусть, напр., общие потери  $\Sigma W$  составляют 25% всей мощности, т.е.  $\frac{\Sigma W}{V \cdot J} = 0,25$ ; тогда  $\eta_r = 1/1,25 = 0,8$ , а  $\eta_d = 1 - 0,25 = 0,75$ .

Таким образом, одна и та же машина при одних и тех же значениях  $V$ ,  $J$  и  $\Sigma W$ , работая двигателем, дает коэфф. пол. д. меньший, нежели работая генератором. Однако разница в величинах коэфф. пол. действия в этом случае в действительности незначительна; она будет тем меньше, чем больше сам коэфф. пол. д., и чем больше нагрузка, для которой последний определяется.

При определении коэфф. пол. д. по методу взаимной нагрузки поступают следующим образом: соединяют механически — непосредственно или ременной

передачею — две совершенно одинаковые по мощности и типу машины, и затем, приведя их тем или иным способом во вращение с нормальной скоростью, соединяют обе машины электрически так, чтобы одна из них работала генератором и отдавала ток другой машине, которая вследствие этого будет работать двигателем для первой машины. Благодаря такому взаимному снабжению мощностями машины могут работать при полном токе в якорях, требуя на свое вращение от постороннего источника только той мощности, которая покрывает потери в обеих машинах. Определяя эту мощность, находят и коэфф. пол. д. каждой машины в отдельности. Меняя возбуждение машины-двигателя и машины-генератора, нетрудно установить любой ток в якорях их и найти, таким образом, коэфф. пол. д. машин для разных нагрузок.

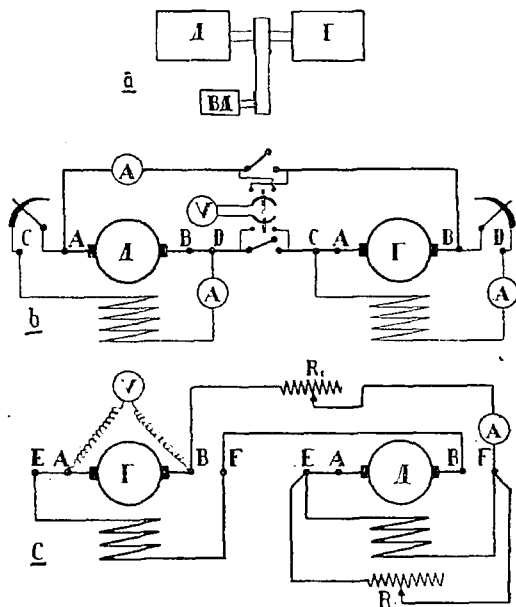
#### а) Метод Гопкинсона.

В качестве источника дополнительной мощности Гопкинсон предложил использовать вспомогательный двигатель небольшой мощности с наперед известным коэффициентом полезного действия при разных нагрузках, механически спаренный с машинами. На фиг. 102 а изображено относительное расположение машин и вспомогательного двигателя; на фиг. 102 б приведена схема включения шунтовых машин; на фиг. 102 с — схема включения сериес-машин.

В случае шунтовых машин поступают следующим образом. Помощью вспомогательного двигателя, питаемого от какого-либо подходящего источника постоянного тока, весь агрегат доводят до нормального числа оборотов; затем обе машины возбуждают до нормального для них напряжения, после чего рубильником  $T-T$  их электрически соединяют между собою параллельно (т. е.  $+c+$ ,  $-c-$ )

Небольшим увеличением возбуждения какой-либо машины эта машина превращается в генератор, а другая в двигатель, заимствуя ток от первой машины. Число оборотов регулируют возбуждением вспомогательного двигателя, напряжение же машин их собственным возбуждением.

В случае машин-сериес поступают двояко. Если коэффициент полезного действия определяется сериес-генератора, вращающегося с постоянным числом оборотов, то после того, как агрегат будет доведен до этого именно числа



Фиг. 102.

оборотов, желаемый ток в цепи машин устанавливается реостатом  $R_1$ . Если же коэфф. пол. д. определяется сериес-двигателя, вращающегося при разных числах оборотов, то одновременно реостатом  $R_2$  устанавливают то или иное число оборотов. При этом возбуждение вспомогательного двигателя регулируется так, чтобы он брал из сети наименьшую мощность.

Пусть на вращение связанных машин вспомогательный двигатель расходует мощность  $W$  (эту мощность легко, конечно, измерить амперметром и вольтметром). Если коэфф. пол. д. его при этом —  $\eta$ , то потери каждой из испытуемых машин —  $\eta \cdot W/2$ . Общий коэфф. пол. д. связанных машин выразится отношением мощности, отдаваемой машиною-двигателем, к мощности, расходуемой машиною-генератором:

$$\eta = \eta_r \eta_g = \frac{VJ - \frac{\eta W}{2}}{VJ + \frac{\eta W}{2}},$$

откуда коэфф. пол. д. каждой машины:

$$\eta_r = \eta_g = \sqrt{\frac{VJ - \frac{\eta W}{2}}{VJ + \frac{\eta W}{2}}}$$

В этом выражении  $V$  и  $J$  — напряжение и ток связанных машин.

ТАБЛИЦА.

$W$	$V$	$J$	$\eta_r$

б) МЕТОД КАППА И РЭЛЕЯ.

Капп и Рэлей в качестве вспомогательного источника мощности предложили пользоваться электрическим источником, включая его параллельно к обеим машинам. На фиг. 103 приведена схема включения шунтовых машин.

Предварительно помощью реостата  $R$  запускают двигателем одну машину, а затем, остановив ее, запускают другую машину. Если обе машины вращаются в одну и ту же сторону, то запускают их обе вместе. Когда число оборотов их будет нормально, увеличивают шунтовое сопротивление одной из машин, след., повышают число оборотов ее до тех пор, пока другая не будет работать как генератор. Если коэфф. пол. д. желают определить для тока машины  $J_a$ , напр., нормального тока, то дают такие возбуждения им, чтобы  $J_a = \frac{J_{ад} + J_{ар}}{2}$ , где  $J_{ад}$  — ток в якоре двигателя,  $J_{ар}$  — ток в якоре генератора. Общий коэфф. пол. д. будет:

$$\eta = \frac{V \cdot J_{ар}}{V \cdot J_{ад}},$$

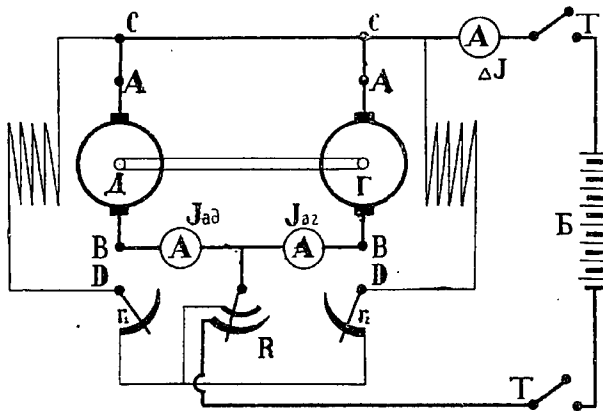


или, так как  $J_{ax} = J_{ar} + \Delta J$ , где  $\Delta J$  — ток вспомогательного источника, то

$$\eta = \frac{V J_{ar}}{V (J_{ar} + \Delta J)} = \frac{J_{ar}}{J_{ar} + \Delta J};$$

след., коэффициент полезного действия каждой машины будет:

$$\eta_r = \eta_m = \sqrt{\eta} = \sqrt{\frac{J_{ar}}{J_{ar} + \Delta J}}.$$



Фиг. 103.

Регулируя шунтовые сопротивления машин, легко подобрать желаемые силы тока  $J_{ar}$  и  $J_{ax}$ . При этом ток, доставляемый посторонним источником энергии  $\Delta J$ , составляет только разность токов двигателя и генератора, т.е. равен  $J_{ax} - J_{ar}$ . Напряжение же вспомогательного источника мощности должно быть немного больше нормального напряжения испытуемой машины.

ТАБЛИЦА.

$J_{ax}$	$J_{ar}$	$\Delta J$	$V$	$i_{m1}$	$i_{m2}$

Если в распоряжении имеется источник тока низшего напряжения, чем напряжение испытуемой машины, то по предложению Потье обмотки якорей машин включают последовательно с источником тока (фиг. 104), а индукторные катушки или параллельно последнему, или же параллельно машине, работающей как генератор. Обе машины пускаются вначале как двигатели помощью реостата  $R$ . Затем, изменяя напряжение и возбуждение у одной из машин, уравнивают в якорях обеих машин желаемую силу тока  $J = J_r = J_g$ . При этом напряжение  $V_d$  машины, работающей как двигатель, будет больше напряжения  $V_g$  машины, работающей как генератор, а потому напряжение источника

тока должно быть  $\Delta V = V_A - V_T$ . Общий коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{V_T J}{V_A J} = \frac{V_T}{V_A},$$

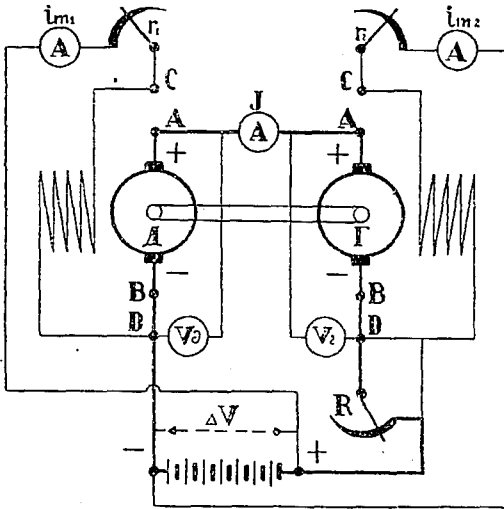
а, следовательно, искомый коэффициент пол. действия:

$$\eta_r = \eta_m = \sqrt{\eta} = \sqrt{\frac{V_T}{V_A}}.$$

ТАБЛИЦА.

$V_A$	$V_T$	$J$	$\eta$

Следует заметить, что дополнительный источник тока (на фиг. 104 батарея) является вольтодобавочным для машины, работающей генератором, а потому нужно позаботиться о том, чтобы он был соединен последовательно с этой



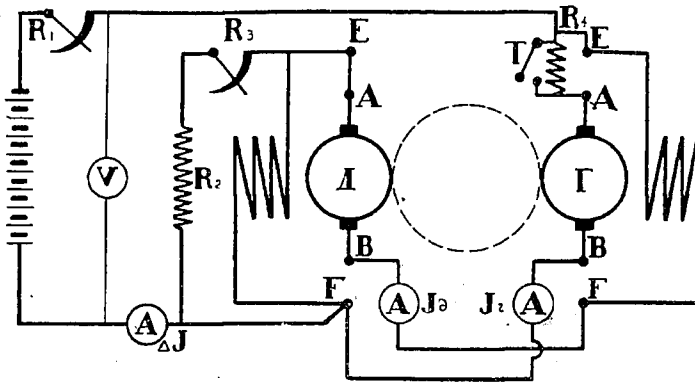
Фиг. 104.

машиной, т.-е. чтобы возбуждение ее было правильным. Практически этого добиваются предварительным опытом: запускают ту машину, которая должна быть испытана двигателем, так, чтобы она вращалась в нормальную для нее сторону, при этом вторая машина вращается без возбуждения. Давши последней небольшое возбуждение, наблюдают, повысилось ли напряжение на зажимах двигателя, или нет. Если повысилось, то машина-генератор возбуждена правильно; иначе пришлось бы переключить ток возбуждения. Можно поступить еще и следующим образом. Запустить поочередно обе машины в качестве

двигателя, каждый раз возбуждая лишь ту, которая пускается двигателем (другую оставляя без возбуждения). Машина, предназначенная для испытания двигателем, должна при этом вращаться в нормальную для нее сторону, другая же должна вращаться в обратную сторону, так как она при испытании включается последовательно с вольтодобавочной машиной.

При определении коэффициента полезного действия трамвайных двигателей с последовательным возбуждением по методу Каппа-Рэля собирается схема фиг. 105, при чем двигатели монтированы на станке фиг. 93.

Ток якоря одной машины является намагничивающим током для другой; оба якоря параллельно подключены к дополнительному источнику тока, с напряжением, почти равным нормальному напряжению двигателей. Машины запускаются помощью реостата  $R_1$ , при чем рубильник  $T$  в первый период пуска открыт, а во второй период — закрыт. Реостат  $R_3$  служит для установления того или иного тока нагрузки; реостат  $R_2$ , последовательно включенный с реостатом  $R_3$ , так подбирается, чтобы при выведенном реостате  $R_3$  магнитное поле двигателя не было сильно ослаблено и нагрузка не возрастала бы чрез-



Фиг. 105.

мерно. Если требуется определить коэффициент полезного действия двигателя при токе  $J$  и напряжении  $V$ , то ток при опыте так устанавливается, чтобы  $\frac{J_{\Delta} + J_{\Gamma}}{2} = J$ , а напряжение  $V' = V - J \cdot R_a$ , где  $J \cdot R_a$  — падение напряжения в якоре.

Дополнительная мощность источника тока  $V' \cdot \Delta J$  покрывает потери в обеих машинах, при чем на каждую с одною зубчаткою приходится  $V' \cdot \Delta J / 2$ . След., коэффициент полезного действия машины-двигателя будет

$$\eta_{\Delta} = \frac{V \cdot \frac{J_{\Delta} + J_{\Gamma}}{2} - V' \cdot \frac{\Delta J}{2}}{V \cdot \frac{J_{\Delta} + J_{\Gamma}}{2}},$$

или, если положить  $V = V'$ ,

$$\eta_{\Delta} = \frac{J_{\Delta} + J_{\Gamma} - \Delta J}{J_{\Delta} + J_{\Gamma}}.$$

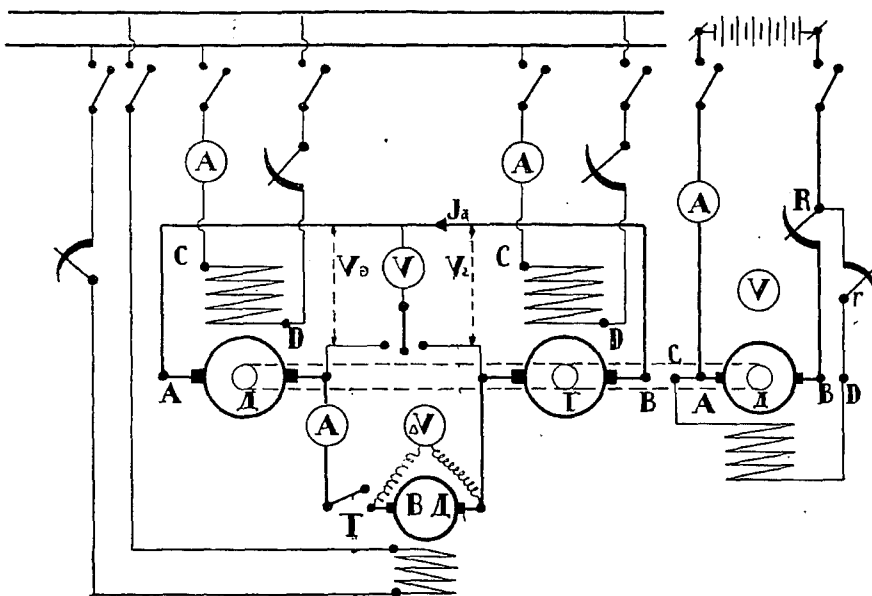
ТАБЛИЦА.

$V$	$V$	$J_{\Gamma}$	$J_{\Delta}$	$\Delta J$	$\eta_{\Gamma}$

## с) МЕТОД БЛОНДЕЛЯ.

Метод Блонделя совмещает в себе методы Гопкинсона и Потье. Он дает возможность определить коэффициент полезного действия в условиях нормальной работы машины. Схема включения машин указана на фиг. 106.

Спаренные механически машины вращаются вспомогательным двигателем  $\mathcal{D}_в$ , а в цепь якорей их включена вольтодобавочная машина (или аккумуляторная батарея) невысокого напряжения (на фиг. 106 — машина  $\mathcal{B}\mathcal{D}$ ). Агрегат запускается вспомогательным двигателем, при чем при разомкнутом рубильнике  $T$  машины возбуждаются так, чтобы соединяемые зажимы их были однополярны



Фиг. 106.

и напряжения равны, что определяется вольтметром  $V$ . Включив затем рубильником  $T$  вольтодобавочную машину и меняя возбуждение последней, повышают напряжение на зажимах той машины, которая должна работать в качестве двигателя, до тех пор, пока не установится в цепи якорей желаемый ток. (Если это напряжение понижается, следует переключить возбуждение у вольтодобавочной машины). Напряжение у генератора регулируется возбуждениями обеих испытуемых машин и притом одновременно и в одну сторону. Число оборотов регулируется вспомогательным двигателем. Таким образом, три переменные величины, от которых зависят потери, именно ток в якорях, напряжение машин и число оборотов их регулируются независимо, что составляет особенность метода. Напряжения у генератора и двигателя берутся те, при которых требуется определить коэфф. полезного действия. Пусть напряжение у генератора  $V_Г$ , напряжение у двигателя  $V_Д$ , напряжение вольтодобавочной машины  $\Delta V$ , ток в цепи якорей  $J_a$ , сопротивление якоря машины  $R_a$ . Тогда электродвижу-

щие силы, пропорциональные магнитному потоку машин, будут: у генератора  $V_{\Gamma} + J_a R_a$ , и у двигателя  $V_{\lambda} - J_a R_a$ . Равенство магнитных состояний обеих машин (а след., и потерь) равносильно равенствам электродвижущих сил их, т.-е. равенству:

$$V_{\Gamma} + J_a R_a = V_{\lambda} - J_a R_a = V_{\Gamma} + \Delta V - J_a R_a,$$

так как

$$V_{\lambda} = V_{\Gamma} + \Delta V;$$

откуда

$$\Delta V = 2 J_a R_a,$$

и, следовательно, мощность вольтодобавочной машины  $\Delta V \cdot J_a = 2 J_a^2 R_a$ , т.-е. вольтодобавочная машина покрывает потери в меди обеих машин; потери в железе машин и механические потери их, т.-е. потери вращения, покрываются, очевидно, вспомогательным двигателем. Если мощность, забираемая последним,  $W_{\lambda}$ , а его коэфф. полезного действия  $\eta_{\lambda}$ , то потери вращения обеих машин будут

$$2 W_{\text{вр}} = W_{\lambda} \cdot \eta_{\lambda}.$$

Таким образом, общие потери в якорях обеих машин будут

$$2 J_a^2 R_a + 2 W_{\text{вр}} = \Delta V \cdot J_a + W_{\lambda} \cdot \eta_{\lambda};$$

потери же в меди и железе одного якоря будут

$$\frac{\Delta V \cdot J_a + W_{\lambda} \cdot \eta_{\lambda}}{2}.$$

Если прибавить к ним потери возбуждения  $i_m \cdot V_{\Gamma}$ , где  $i_m$  — ток возбуждения в шунте при нормальной работе, то получатся потери во всей машине. Следовательно, коэфф. полезного действия генератора будет

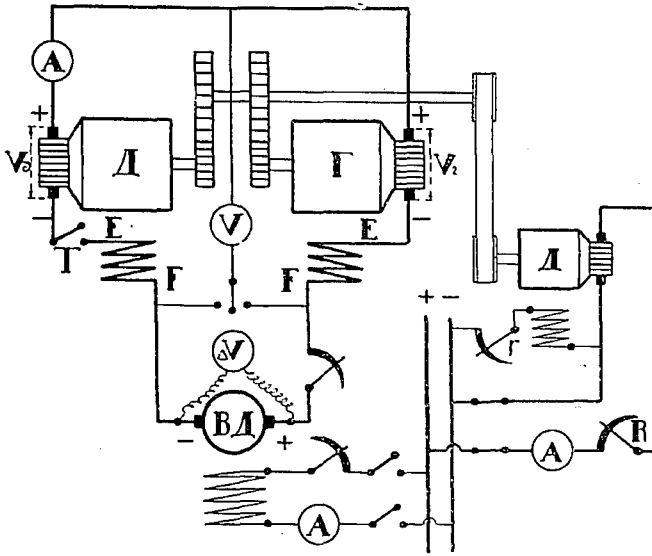
$$\eta_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma} (J_a - i_m)}{V_{\Gamma} \cdot (J_a - i_m) + \frac{\Delta V \cdot J_a + W_{\lambda} \cdot \eta_{\lambda}}{2} + i_m V_{\Gamma}} = \frac{V_{\Gamma} (J_a - i_m)}{V_{\Gamma} \cdot J_a + \frac{\Delta V \cdot J_a + W_{\lambda} \cdot \eta_{\lambda}}{2}}.$$

ТАБЛИЦА.

$V_{\Gamma}$	$V_{\lambda}$	$\Delta V$	$J_a$	$W_{\lambda}$	$\eta$

На фиг. 107 изображена схема включения трамвайных двигателей (серийно-двигателей) при определении коэффициента полезного действия их по методу Блонделя. Двигатели соединены механически между собою и с вспомогательным двигателем  $D$ . В цепь двигателей включена вольтодобавочная машина. Агрегат приводится во вращение вспомогательным двигателем, при чем в период пуска рубильник  $T$  разомкнут, и вольтодобавочная машина не возбуждена. При нормальной скорости вращения рубильник  $T$  замыкается и возбуждение вольтодобавочной машины настолько увеличивается, чтобы в цепи машин шел желаемый ток.

Следует иметь в виду, что машины работают параллельно, а потому необходимо, чтобы при замыкании рубильника  $T$  оказались соединенными между собою однополярные зажимы  $+c+$  и  $-с-$ . Чтобы убедиться в правильности соединения, предварительно запускают поочередно каждый двигатель от вспомогательной вольтодобавочной машины, замыкая накоротку обмотку возбуждения другого двигателя. Испытуемый двигатель должен при этом вращаться в ту



Фиг. 107.

сторону, куда он нормально вращается; другой же двигатель должен вращаться в противоположную сторону. Только при этом условии последний двигатель, работая как генератор, окажется соединенным последовательно с вольтодобавочной машиной.

Потери магнитные и механические покрываются вспомогательным двигателем, потери в меди — вольтодобавочной машиной. Если мощность, забираемая вспомогательным двига-

телем  $W_{\Delta}$ , а его коэфф. полезного действия  $\eta_{\Delta}$ ; то мощность, покрывающая магнитные и механические потери, т.е. потери вращения, в обоих двигателях  $2W_{вр} = W_{\Delta} \cdot \eta_{\Delta}$ ; если, далее, напряжение вольтодобавочной машины  $\Delta V$ , а циркулирующий в цепи машин ток  $J$ , то потери в меди двигателей  $\Delta V \cdot J = 2J^2 (R_a + R_c)$ , где  $R_a$  и  $R_c$  — сопротивления якоря и обмотки возбуждения двигателя. Следовательно, коэфф. полезного действия двигателя будет

$$\eta = \frac{(V_{\Gamma} + \Delta V) \cdot J - \frac{W_{\Delta} \cdot \eta_{\Delta} + \Delta V \cdot J}{2}}{(V_{\Gamma} + \Delta V) \cdot J} = \frac{2(V_{\Gamma} + \Delta V) \cdot J - W_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}}{2(V_{\Gamma} + \Delta V) \cdot J}.$$

Здесь  $V_{\Gamma}$  — напряжение у генератора, и потому  $V_{\Delta} = V_{\Gamma} + \Delta V$  — напряжение у двигателя.

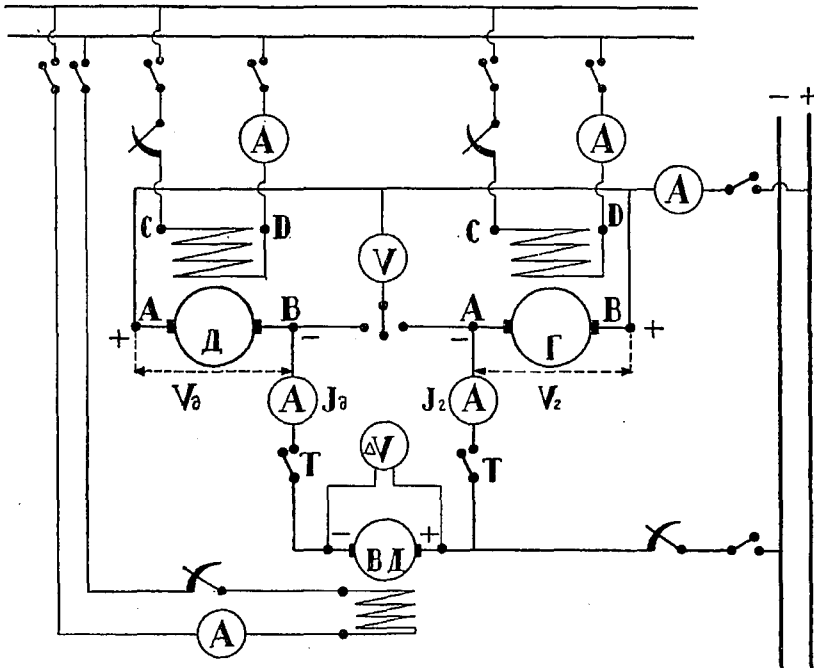
ТАБЛИЦА.

$J$	$V_{\Gamma}$	$V_{\Delta}$	$\Delta V$	$W_{\Delta}$	$\eta$

## d) Метод Гетчинсона.

Метод Гетчинсона представляет собою соединение методов Рэлея и Потье. Этим методом достигается равенство в обеих машинах условий в отношении потерь в железе, ибо магнитные потоки машин одинаковы.

Схема включения изображена на фиг. 108: спаренные механически машины подключаются параллельно к вспомогательному источнику —  $\pm$ , при чем в цепь машин включается вольтдобавочная машина ВД. Если определяется



Фиг. 108.

коэфф. полезного действия генератора, то вольтдобавочная машина включается последовательно с двигателем, а генератор подключается непосредственно к вспомогательному источнику тока (см. фиг. 108). Если же определяется коэфф. полезного действия двигателя, то удобнее вольтдобавочную машину включить последовательно с генератором, а двигатель приключить непосредственно к вспомогательному источнику тока (на схеме фиг. 108 место генератора Г занял бы двигатель Д). Возбуждение всех трех машин независимое.

Агрегат запускается от вспомогательного источника тока помощью одной какой-либо машины, работающей в этом случае как двигатель; вторая машина отключена рубильником Т. Возбудив последнюю до напряжения вспомогательного источника тока, вольтметром определяют ее полярность, и если она отвечает полярности источника тока, включают рубильник Т. Затем возбуждают вольтдобавочную машину настолько, чтобы в цепи машин циркулировал желаемый ток. Предварительно же, слабо возбуждая вольтдобавочную машину,

проверяют ее полярность (при правильной полярности напряжение у двигателя  $D$  больше, чем у генератора  $G$ ). Если  $V_G$  и  $J_G$ ,  $V_A$  и  $J_A$  — напряжение и ток соответственно генератора и двигателя, а  $\Delta V$  и  $\Delta J$  — напряжение вольтодобавочной машины и ток, забираемый от вспомогательного источника тока, то для электродвижущих сил (характеризующих магнитное состояние) генератора и двигателя получатся выражения:  $V_G + J_G R_a$  и  $(V_G + \Delta V) - J_A R_a$ . Равенство их приводит к равенству

$$V_G + J_G R_a = V_G + \Delta V - J_A R_a,$$

откуда

$$\Delta V = (J_G + J_A) R_a = (2J_G + \Delta J) R_a,$$

ибо

$$J_A = J_G + \Delta J.$$

Из последнего выражения для  $\Delta V$  следует, что напряжение вольтодобавочной машины равно падению напряжения в обеих машинах, но потери в меди их  $J_G^2 R_a + J_A^2 R_a$  не равны мощности вольтодобавочной машины  $\Delta V \cdot J_A = (J_G + J_A) R_a \cdot J_A$ . Разность этой последней мощности и потерь в меди машин  $(J_G + J_A) R_a J_A - (J_G^2 + J_A^2) R_a = J_G J_A R_a$  покрывает, очевидно, другие потери в машинах.

Выражения для коэффициентов полезного действия машин можно было бы получить, учитывая мощности, расходуемые вспомогательным источником тока и вольтодобавочной машиной и деля напряжение последней пропорционально токам  $J_G$  и  $J_A$ . Однако удобнее их определять более коротким путем, данным Блонделем. Пусть  $P_T$  — механическая мощность на валу агрегата, а  $W_{вр}$  — потери механические и магнитные каждой машины. Если обозначить электродвижущую силу машин через  $E$ , т. е. положить  $E = V_G + J_G R_a = V_T + \Delta V - J_A R_a = V_A - J_A R_a$ , где  $V_A$  — напряжение у двигателя, то получаются следующие равенства:

для двигателя

$$E \cdot J_A - W_{вр} = P_T$$

и для генератора

$$E \cdot J_G + W_{вр} = P_T,$$

откуда

$$P_T = \frac{E \cdot (J_G + J_A)}{2}.$$

Коэффициент полезного действия генератора

$$\eta_G = \frac{V_G \cdot J_G}{P_T} = \frac{2V_G \cdot J_G}{E \cdot (J_G + J_A)} = \frac{2V_G \cdot J_G}{(V_G + J_G R_a)(J_G + J_A)}.$$

Имея в виду, что  $(J_G + J_A) R_a = \Delta V$  и  $J_A = J_G + \Delta J$ , можно выражение для коэффициента полезного действия генератора написать в другом виде, именно

$$\eta_G = \frac{2V_G \cdot J_G}{V_G (J_G + J_A) + \Delta V \cdot J_G} = \frac{V_G J_G}{V_G \Delta J + \frac{\Delta V \cdot J_G}{2}}.$$



Из этого выражения следует, что потери в генераторе равны  $(V_{\Gamma} \Delta J + \Delta V J_{\Gamma})/2$ , т.е. равны половине мощности, доставляемой обоими источниками энергии, уменьшенной на  $\Delta V \cdot \Delta J$ , ибо  $V_{\Gamma} \Delta J + \Delta V J_{\Gamma} = V_{\Gamma} \Delta J + \Delta V J_{\Gamma} - \Delta V \Delta J$ . Если ввести в выражение для  $\eta_{\Gamma}$  напряжения и токи машин  $V_{\Gamma}$ ,  $V_{\Lambda}$ ,  $J_{\Gamma}$  и  $J_{\Lambda}$ , то оно преобразуется в следующее

$$\eta_{\Gamma} = \frac{2V_{\Gamma} J_{\Gamma}}{V_{\Gamma} J_{\Lambda} + V_{\Lambda} J_{\Gamma}} = \frac{2}{\frac{V_{\Lambda}}{V_{\Gamma}} + \frac{J_{\Lambda}}{J_{\Gamma}}}$$

Если, далее, ввести в последнее выражение потери на возбуждение, предполагая, что при нормальной работе ток возбуждения  $i_m$  берется от самой машины при напряжении  $V_{\Gamma}$ , то оно получит окончательный вид:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{2}{\frac{V_{\Lambda}}{V_{\Gamma}} + \frac{J_{\Lambda}}{J_{\Gamma}} + 2 \frac{i_m}{J_{\Gamma}}}$$

Для двигателя коэфф. полезного действия

$$\eta_{\Lambda} = \frac{P_{\Gamma}}{V_{\Lambda} \cdot J_{\Lambda}} = \frac{(V_{\Lambda} - J_{\Lambda} R_a)(J_{\Gamma} + J_{\Lambda})}{2 \cdot V_{\Lambda} \cdot J_{\Lambda}}$$

или, заменяя  $(J_{\Lambda} + J_{\Gamma})R_a$  через  $\Delta V$ ,

$$\begin{aligned} \eta_{\Lambda} &= \frac{V_{\Lambda}(J_{\Gamma} + J_{\Lambda}) - \Delta V \cdot J_{\Lambda}}{2 \cdot V_{\Lambda} \cdot J_{\Lambda}} = \frac{2 \cdot V_{\Lambda} \cdot J_{\Lambda} - V_{\Lambda} \cdot \Delta J - \Delta V \cdot J_{\Lambda}}{2 \cdot V_{\Lambda} \cdot J_{\Lambda}} = \\ &= \frac{V_{\Lambda} \cdot J_{\Lambda} - \frac{V_{\Lambda} \cdot \Delta J - \Delta V \cdot J_{\Lambda}}{2}}{V_{\Lambda} \cdot J_{\Lambda}} \end{aligned}$$

В данном случае потери  $(V_{\Lambda} \cdot \Delta J - \Delta V \cdot J_{\Lambda})/2$ , в предположении, что вольтодобавочная машина находится в цепи двигателя, равны половине мощности, доставляемой обоими источниками энергии, уменьшенной на  $\Delta V \cdot \Delta J$ .

Если ввести в последнее выражение напряжения и токи машин, то оно примет вид

$$\eta_{\Lambda} = \frac{V_{\Lambda} \cdot J_{\Lambda} + V_{\Gamma} \cdot J_{\Lambda}}{2 \cdot V_{\Lambda} \cdot J_{\Lambda}} = \frac{1}{2} \left( \frac{V_{\Gamma}}{V_{\Lambda}} + \frac{J_{\Gamma}}{J_{\Lambda}} \right)$$

Если, далее, учесть потери на возбуждение  $V_{\Lambda} \cdot i_m$ , то окончательно

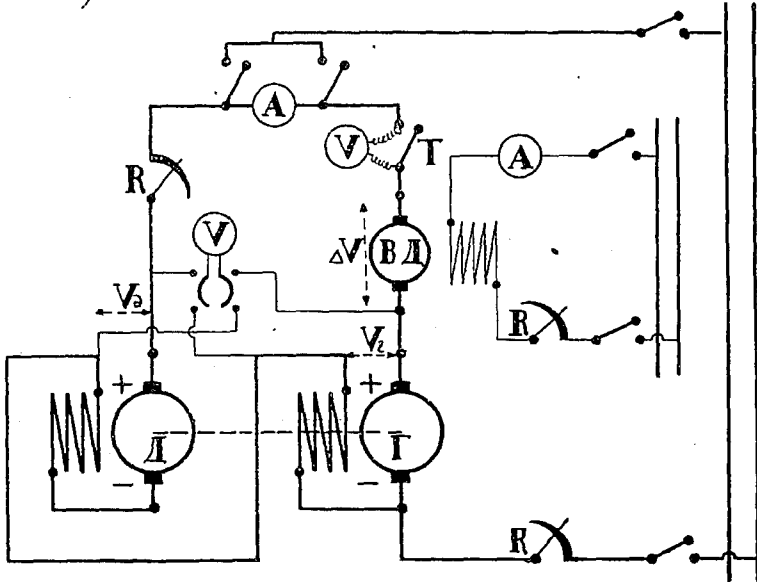
$$\eta_{\Lambda} = \frac{1}{2} \left( \frac{V_{\Gamma}}{V_{\Lambda}} + \frac{J_{\Gamma}}{J_{\Lambda}} - 2 \frac{i_m}{J_{\Lambda}} \right)$$

ТАБЛИЦА.

$V_{\Gamma}$	$V_{\Lambda}$	$\Delta V$	$J_{\Gamma}$	$J_{\Lambda}$	$\Delta J$

В применении к трамвайным двигателям, т.-е. к двигателям с последовательным возбуждением, определение коэффициента полезного действия по методу Гётчинсона производится следующим образом.

Спаренные механически двигатели собираются по схеме фиг. 109. Обе машины соединены параллельно с вспомогательным источником тока, при чем в цепи той, которая будет работать двигателем, имеется обмотка возбуждения другой машины, а в цепи этой последней машины, предназначенной работать генератором, имеется вольтодобавочная машина, возбуждаемая от постороннего источника тока. Сначала запускают двигатель помощью реостатов  $RR$ , включенных последовательно, при чем цепь генератора разомкнута рубильником  $T$ .



Фиг. 109.

Так как в обмотке возбуждения генератора циркулирует ток двигателя, то генератор даст некоторое напряжение. Вольтметром, подключенным к рубильнику  $T$ , определяют, во-первых, правильна ли полярность генератора, и во-вторых, правильна ли полярность вольтодобавочной машины (которая при пуске слабо возбуждается). Если полярность генератора правильна, то вольтметр у рубильника  $T$  покажет разность напряжений вспомогательного источника тока и генератора (ибо в конце пуска генератор должен работать параллельно с вспомогательным источником тока). Если полярность вольтодобавочной машины правильна, то увеличение ее возбуждения должно вызвать увеличение напряжения цепи генератора (ибо она должна быть соединена последовательно с генератором). Проверив полярности, повышают возбуждение вольтодобавочной машины настолько, чтобы вольтметр у рубильника  $T$  показал нулевое отклонение; затем врубят рубильник  $T$ . Выводя постепенно реостаты из цепи двигателя, приводят систему к состоянию, необходимому для измерений. Желаемый ток в цепи двигателей устанавливается вольтодобавочной машиной. Токи в цепях

двигателя и генератора измеряются одним амперметром с переключением его то в одну, то в другую цепь.

Если  $V_G$  и  $J_G$ ,  $V_A$  и  $J_A$  — напряжения и ток и генератора и двигателя,  $R_a$  и  $R_c$  — сопротивления обмоток якоря и обмоток возбуждения, то из равенства электродвижущих сил генератора и двигателя

$$E = V_G + J_G R_a + J_A R_c = V_A - J_A (R_a + R_c)$$

следует

$$(J_G + J_A)R_a = V_A - V_G - 2J_A R_c.$$

Подобно тому как это было сделано при исследовании шунтовых генераторов, можно получить для коэффициента полезного действия двигателя выражение

$$\eta_A = \frac{E(J_G + J_A)}{2V_A J_A} = \frac{[V_A - J_A (R_a + R_c)](J_G + J_A)}{2V_A J_A},$$

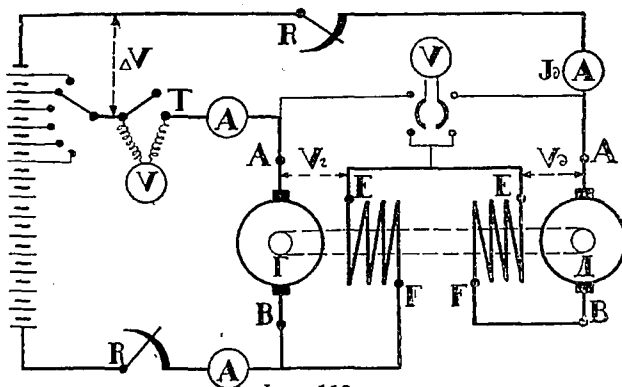
или, заменяя  $(J_G + J_A)R_a$  через  $V_A - V_G - 2J_A R_c$ ,

$$\eta_A = \frac{V_A J_G + V_G J_A + (J_A - J_G) J_A R_c}{2V_A J_A} = \frac{1}{2} \left[ \frac{V_G}{V_A} + \frac{J_G}{J_A} + \left(1 - \frac{J_G}{J_A}\right) \frac{J_A}{V_A} R_c \right].$$

Для генератора

$$\eta_G = \frac{2}{\frac{V_A}{V_G} + \frac{J_A}{J_G} + \left(\frac{J_A}{J_G} - 1\right) \frac{J_A}{V_G} R_c}.$$

Последнее выражение можно упростить, если пренебречь незначительным сопротивлением обмотки возбуждения  $R_c$ .



Фиг. 110.

В том случае, когда в распоряжении не имеется вольтодобавочной машины, но имеется батарея, можно воспользоваться схемой фиг. 110. Коэфф. полезного действия определяется по вышеприведенным формулам.

ТАБЛИЦА.

$V_G$	$V_A$	$J_G$	$J_A$	$\eta$

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ ПО ТЕПЛУ, ВЫДЕЛЯЕМОМУ МАШИНОЮ.

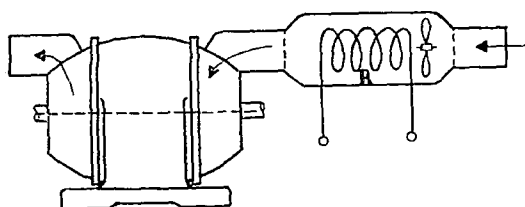
Полные потери, имеющие место при нормальной работе машины, когда теплоотдача ее установилась, т.е. температура ее частей уже не меняется, можно определить по количеству тепла, освобождаемого в единицу времени машиною. У закрытых машин с самовентиляцией или с искусственной вентиляцией это количество тепла можно вычислить, зная объем воздуха, прогоняемого через машину в единицу времени, и температуру его при входе в машину и при выходе из нее. У открытых машин количество освобождаемого ею тепла можно определить также по нагреву воздуха, прогоняемого через закрытый со всех сторон ящик (или чехол) с установленной в нем испытуемой машиною.

Принимая удельную теплоемкость воздуха при 38° Ц. и 760 мм давления равной 0,242, вес одного кубического метра воздуха равным 1130 г и одну калорию в секунду эквивалентной 4,2 ватта, для общих потерь  $\Sigma W$  машины в ваттах получается следующее выражение

$$\Sigma W = \frac{Qh(T_2 - T_1)}{0,00212(273 + T_2)},$$

где  $Q$  — объем воздуха в куб. м в секунду,  $h$  — барометрическое давление в мм,  $T_1$  и  $T_2$  — температуры воздуха в градусах Цельсия до нагрева и после нагрева.

Температуры входящего в машину и выходящего из нее воздуха можно измерить или термометрами, или термопарами (см. о нагреве машин), при чем как при



Фиг. 111.

входе воздуха в машину (или ящик с машиною), так и при выходе его необходимо поставить несколько термометров в разных местах сечения потока воздуха с целью измерить среднюю температуру всего потока. Для того же, чтобы поток воздуха равномернее входил и выходил из машины, полезно вставить у входного и выходного отверстий сеточки, разбивающие поток воздуха на отдельные струйки.

Что касается объема проходящего через машину воздуха, то его можно определить или по сечению трубы, подводящей воздух, и по скорости воздуха в ней, измеренной, например, анемометром, или же по искусственному нагреву воздуха.

В последнем случае к машине прикладывают электрическую печку (фиг. 111), представляющую собою жестяной цилиндрический чехол с наружной тепловой изоляцией, содержащий внутри несколько рядов спиралей из проволоки большого и известного сопротивления. Пропуская через это сопротивление  $R$  тот или иной ток  $J$ , легко определить количество тепла, освобождаемое им в единицу времени. ( $J^2 R / 4,2$  калории в сек.). Если измерить температуры

входящего в печку и выходящего из нее воздуха при некотором определенном числе оборотов вращения крыльев вентилятора, то по приведенной выше формуле нетрудно вычислить и объем воздуха, проходящего через печку при данном именно числе оборотов вентилятора. (Само собою разумеется, что во время самого опыта с определением потерь машины печка не действует, но и не отнимается от машины, а вентилятор вращается с тем числом оборотов, для которого определен объем воздуха описанным предварительным опытом). Электрическую печку рациональнее выполнить в виде сетки, заполняющей все сечение железного чехла.

Коэфф. полезного действия генератора определяется по формуле

$$\eta_g = \frac{V \cdot J}{V \cdot J + \Sigma W}$$

и двигателя

$$\eta_d = \frac{V \cdot J - \Sigma W}{V \cdot J}.$$

Здесь  $V$  и  $J$  — напряжения на зажимах машины и  $J$  — ток в линии, подходящей к машине.

## ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ.

### РАЗДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДИНАМОМАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Для более детального ознакомления с данной динамомашинной недостаточно знать только общую сумму потерь, имеющих место при работе ее, но необходимо еще уметь разделить эту сумму потерь на отдельные ее слагающие, так как величины их могут указать на недостатки как фабрикации, так и материалов (железа, стали и меди) частей машины.

Все потери в динамомашине по своей природе разбиваются, как уже известно, на потери от Джоулева эффекта в обмотках якоря и в индукторных катушках, потери от токов Фуко, потери от гистерезиса, и, наконец, потерн от механических сопротивлений. Первые потери — потери на Джоулев эффект — отделить от остальных потерь не представляет никаких затруднений, если известны сопротивления якоря и индукторных катушек и токи, в них циркулирующие. Разделение же остальных потерь друг от друга требует особых методов, основанных, вообще говоря, на двух положениях: во-первых, потери на трение при установившейся температуре машины зависят только от скорости и совершенно не зависят от магнитного состояния ее; во-вторых, потери на гистерезис пропорциональны первой степени, потери на токи Фуко пропорциональны второй степени числа оборотов, и, кроме того, эти последние потери зависят от магнитного состояния машины, т.-е. от индукции ее магнитной цепи.

Методы разделения потерь в динамомашине следующие: метод вспомогательного двигателя, метод холостой работы двигателем, метод самоторможения, метод нагрева.

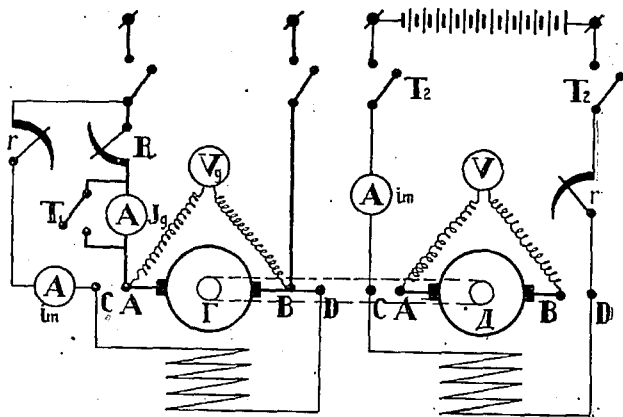
#### 1. РАЗДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДИНАМОМАШИНЫ ПО МЕТОДУ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ.

Метод разделения потерь динамомашинны помощью вспомогательного двигателя основан на измерении сообщаемой валу машины мощности каким-либо двигателем, когда она возбуждена и когда не возбуждена. В качестве вспомогательного двигателя можно взять любой двигатель, лишь бы он позволял измерить мощность на его валу. Обычно же берут шунтовой двигатель постоянного

тока небольшой мощности, равной 10—15% от нормальной мощности испытуемой машины; мощность двигателя должна покрывать лишь мощность потерь машины, работающей вхолостую.

Вспомогательный двигатель механически связывается с динамомашинной или непосредственно муфтой, если позволяют числа оборотов двигателя и динамомашинной, или помощью ременной передачи. В последнем случае необходимо подобрать шкивы у машины и двигателя так, чтобы при нормальном числе оборотов машины число оборотов двигателя было по возможности нормально. Ремень лучше взять узкий и мягкий, натяжение дать ему такое, чтобы не было никакого скольжения. При точных измерениях передаваемую двигателем машине мощность необходимо помножить на коэфф. полезного действия передачи. Вспомогательный двигатель должен иметь весьма хорошее коммутирование при всех нагрузках в пределах от нуля до наибольшей.

Самый опыт измерения потерь машины производится в следующем порядке. Собрав схему, указанную на фиг. 112, шунтировав амперметр в цепи якоря рубильником  $T_1$ , запускают двигатель помощью реостата  $R$ , при чем помогают двигателю взять с места подталкиванием рукою якоря генератора (если двигатель маломощный). При нормальном напряжении на якоре двигателя возбуждением его доводят число оборотов (невозбужденной) машины до нормального и оставляют агрегат работать в продолжение двух-трех часов, следя за температурой подшипников машины. Убедившись, что температура подшипников установилась, еще раз точно устанавливают возбуждением двигателя число оборотов испытуемой машины и, разомкнув рубильник  $T_1$  у амперметра в цепи якоря двигателя, делают отсчеты тока  $J'_x$  и напряжения  $V_x$  якоря двигателя. Так как машина не возбуждена,<sup>1</sup> то мощность  $V_x \cdot J'_x - J_x^2 R_{ax} - W_{врx}$ , где  $R_{ax}$  — сопротивление якоря двигателя, а  $W_{врx}$  — потери вращения двигателя, будет равна, очевидно, механическим потерям от трения в подшипниках и о воздух машины и от трения щеток о коллектор. Повторив тот же опыт с невозбужденною машиною и с приподнятыми щетками, можно определить только потери от трения в подшипниках и о воздух, а путем вычитания из измеренной в первом опыте мощности найти потери от трения щеток о коллектор. Далее, включают ток возбуждения машины и, постепенно уве-



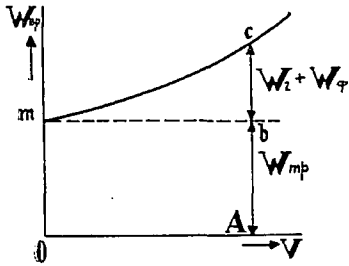
Фиг. 112.

Далее, включают ток возбуждения машины и, постепенно уве-

<sup>1</sup> Если у машины обнаруживается (по вольтметру ее) большой остаточный магнетизм, рекомендуется уничтожить его предварительным перемагничиванием.

личивая его (доводя до нормального его значения), каждый раз возбуждением двигателя доводят число оборотов машины до нормального значения и затем берут отсчеты тока  $J_\lambda$  и напряжения  $V_\lambda$  якоря двигателя, а также тока возбуждения двигателя и машины и ее напряжения. Тогда мощность, покрывающая все потери вращения машины, будет равна  $V_\lambda \cdot J_\lambda - J_\lambda^2 R_{a\lambda} - W_{орд}$ , где  $W_{орд}$  — потери вращения двигателя. Произведя указанные измерения, снова повторяют измерения с недовозбужденною машиною, чтобы убедиться, что нагрев подшипников не изменил условий опыта.

Остановив агрегат (или на ходу), быстро нарушают механическую связь между двигателем и машиною и тотчас же запускают двигатель холостую; затем реостатом  $R$  устанавливают на якоре его напряжения  $V_{\lambda_0}$ , равные  $V_\lambda - J_\lambda \cdot R_{a\lambda}$ ,<sup>1</sup> где  $V_\lambda$  — напряжение у якоря двигателя при первых опытах, а  $J_\lambda$  — токи в якоре двигателя, измеренные в первых опытах, и доводят воз-



Фиг. 113.

буждением число оборотов до того числа оборотов двигателя, какое было в первых опытах. Убедившись, что число оборотов установилось, берут отсчеты тока  $J_{\lambda_0}$  и напряжения  $V_{\lambda_0}$  якоря двигателя. Тогда потери вращения двигателя  $W_{орд} = V_{\lambda_0} \cdot J_{\lambda_0} - J_{\lambda_0}^2 R_{a\lambda}$ . Определив, таким образом, потери вращения вспомогательного двигателя  $W_{орд}$  для разных значений токов  $J_\lambda$  (взятых из первого опыта) и вычтя их из соответствующих токам  $J_\lambda$  мощностей, забираемых двигателем в первых опытах, находят мощности потерь механических и магнитных в самой машине при разных возбуждениях или при разных напряжениях на зажимах. Откладывая эти потери по оси ординат, а соответствующие напряжения по оси абсцисс, получают кривую параболического вида (фиг. 113). Точка  $m$  этой кривой определяет, очевидно, потери ( $Om = Ab$ ) только от механических сопротивлений. Проведя из этой точки горизонталь, находят отрезки, подобные отрезку  $bc$ , которые дадут потери в машине от магнитных сопротивлений при разных токах возбуждения, но при постоянной скорости вращения.

Чтобы разделить потери от магнитных сопротивлений на потери от токов Фуко и на потери от гистерезиса, описанный выше опыт повторяют при каком-либо числе оборотов машины меньшем нормального.<sup>2</sup> Если нормальное число оборотов генератора  $n_1$ , то рекомендуется опыт повторить при числе оборотов  $n_2 = n_1/2$ .

Пусть при нормальном возбуждении машины магнитные потери в ней, отвечающие нормальному числу оборотов  $n_1$ , будут  $W' = W'_i + W'_{\phi}$ , а те же потери, отвечающие числу оборотов  $n_2$ , будут  $W'' = W''_i + W''_{\phi}$ . Принимая,

<sup>1</sup> Точнее, эти напряжения должны быть равны  $V_\lambda - (J_\lambda + J_{\lambda_0}) R_{a\lambda}$ , где  $J_{\lambda_0}$  — ток холостой работы двигателя, см. определение потерь методом холостой работы.

<sup>2</sup> Само собою разумеется, этот опыт производится вслед за первым, когда число оборотов поддерживается нормальным.



что потери на гистерезис  $W_i$  пропорциональны первой степени числа оборотов, а потери на токи Фуко  $W_{\phi}$  пропорциональны второй степени числа оборотов (см. ранее выражения для  $W_i$  и  $W_{\phi}$ ), можно написать равенства

$$W' = W'_i + W'_{\phi} = C_1 \cdot n_1 + C_2 \cdot n_1^2$$

и

$$W'' = W''_i + W''_{\phi} = C_1 \cdot n_2 + C_2 \cdot n_2^2.$$

Из последних равенств получаются значения для постоянных  $C_1$  и  $C_2$ , именно

$$C_1 = \frac{W'' \cdot n_1^2 - W' \cdot n_2^2}{n_1^2 \cdot n_2 - n_2^2 \cdot n_1}$$

и

$$C_2 = \frac{W' \cdot n_2 - W'' \cdot n_1}{n_1^2 \cdot n_2 - n_2^2 \cdot n_1}.$$

Определив значения постоянных  $C_1$  и  $C_2$ , легко уже найти потери в отдельности на гистерезис и на токи Фуко, как при нормальном числе оборотов, так и при любом ином числе оборотов, пользуясь равенством:

$$W_i = C_1 \cdot n$$

и

$$W_{\phi} = C_2 \cdot n^2.$$

ТАБЛИЦА.

n	Генератор		Вспомогательный двигатель					$V_A \cdot J_A - J_A^2 R_a$	$W_i + W_{\phi}$
	$i_m$	V	$V_A$	$J_A$	$i_{mA}$	ватты	$J_A^2 R_a$		
пост.			пост.						

## 2. РАЗДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ПО МЕТОДУ ХОЛОСТОЙ РАБОТЫ.

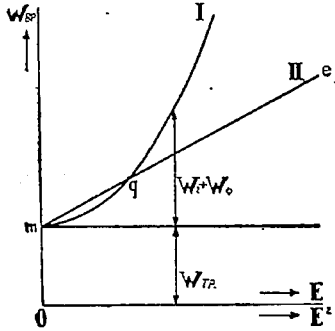
### 1-й способ.

При разделении потерь по методу холостой работы поступают следующим образом: заранее хорошо прогретую при продолжительной работе под нагрузкой машину собирают как двигатель (фиг. 71), включая последовательно с якорем точный амперметр, шунтированный рубильником, а параллельно якорю точный же вольтметр. Зашунтировав рубильником амперметр, пускают двигатель вхолостую и, установив ту или иную силу тока возбуждения, помощью реостата, включенного последовательно с индукторами, меняют напряжение на зажимах якоря так, чтобы число оборотов последнего было постоянно, равно, например, нормальному, и определяют ту мощность, которую якорь забирает при этом из сети. Эта мощность, за вычетом потерь в меди якоря, расходуется, очевидно, на преодоление вредных сопротивлений — механических и магнитных.

Пусть, например, напряжение на зажимах двигателя  $V$ , сила тока в якоре  $J_0$  и сопротивление обмотки якоря  $R_a$ , тогда потери вращения

$$W_{op} = V \cdot J_0 - J_0^2 R_a = W_{mp} + W_i + W_{\phi}.$$

Откладывая потери  $W_{op}$  по оси ординат, а электродвижущую силу якоря, равную  $E = V - J_0 R_a$ , по оси абсцисс, получают параболическую кривую  $I$  фиг. 114, подобную кривой фиг. 113, снимаемой помощью вспомогательного двигателя.

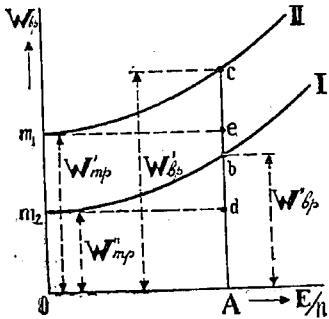


Фиг. 114.

Беря при опыте возможно малое возбуждение, а следовательно, и напряжение на якоре, можно получить кривую, левый конец которой будет близко расположен к оси ординат. Это обстоятельство позволяет на глаз довести кривую до пересечения с осью ординат с целью определить механические потери (при  $E = 0$ )  $W_{mp} = Om$ . Горизонталь из точки  $m$  делит ординаты кривой на две части, из которых верхние и дадут потери на гистерезис и токи Фуко. Следует отметить, что хотя нахождение точки  $m$  продолжением на глаз кривой  $I$  фиг. 114 довольно просто и точно, тем не менее можно эту же точку получить, исходя из построения, основанного на следующем. Потери на гистерезис и токи Фуко при постоянной скорости вращения пропорциональны второй степени индукции или магнитного потока якоря, или электродвижущей силы, т.-е.:

$$W_i + W_{\phi} = kE^2.$$

Поэтому кривая  $I$  фиг. 114 есть парабола, уравнение которой  $W_{op} - W_{mp} = kE^2$ . Имея это в виду, строят зависимость  $W_{op}$  от  $E^2$  (фиг. 114) и получают прямую  $II$ , продолжение которой и должно пройти через точку  $m$ , ибо при  $E^2 = 0$  потери магнитные  $W_{op} - W_{up} = 0$  и, следовательно, потери вращения  $W_{op} = W_{mp}$ , т.-е. равны одним механическим потерям.



Фиг. 115.

Чтобы разделить магнитные потери, можно воспользоваться способом Мордея. С этой целью повторяют только-что описанный опыт, но при другом числе оборотов  $n_2$ , значительно отличающемся от первого (напр., при  $n_2 = n_1/2$ , где  $n_1$  — нормальное число оборотов), т.-е. определяют потери вращения  $W_{op}$  при разных электродвижущих силах  $E$  при числе оборотов  $n_2$ . Затем строят две кривые, представляющие зависимость потерь вращения  $W_{op}$  от  $E/n$  или от электродвижущей силы, приходящейся на один оборот (кривые  $I$  и  $II$  фиг. 115). (Отношение  $E/n = k_1 \Phi = k_2 B$ , т.-е. пропорционально потоку или индукции и может служить их мерою). Продол-

жение этих кривых до оси ординат дает потери от механических сопротивлений при обоих числах оборотов.

Пусть для какого-либо значения  $E/n$  или, что одно и то же для какого-либо магнитного потока, а следовательно и индукции, общие потери при обоих числах оборотов будут  $W_{\text{вп}}' = Ac$  и  $W_{\text{вп}}'' = Ab$ . Тогда потери на гистерезис и токи Фуко при тех же числах оборотов будут  $W' = W_{\text{вп}}' - W_{\text{мп}}' = ce$ , и  $W'' = W_{\text{вп}}'' - W_{\text{мп}}'' = bd$ . Так как индукция в железе в обоих случаях одна и та же, то, пользуясь выражениями для постоянных  $C_1$  и  $C_2$  (см. ранее), получают для потерь на гистерезис и токи Фуко при каком-либо числе оборотов  $n$  следующие выражения:

$$W_i = \frac{W''n_1^2 - W'n_2^2}{n_1^2n_2 - n_2^2n_1} \cdot n \quad W_{\text{ф}} = \frac{W'n_2 - W''n_1}{n_1^2n_2 - n_2^2n_1} \cdot n^2.$$

Если бы опыты были произведены при числах оборотов  $n_1 = n$  и  $n_2 = n/2$  (где  $n$ , напр., нормальное число оборотов машины), то формулы упростились бы и приняли бы вид:

$$\begin{aligned} W_i &= 4 W'' - W' \\ W_{\text{ф}} &= 2 W' - 4 W''. \end{aligned}$$

Пользуясь приведенными формулами, можно получить потери на гистерезис и токи Фуко для любого значения электродвижущей силы  $E$  при каком-либо, хотя бы нормальном, числе оборотов.

Тем же методом можно разделить механические потери на потери трения в подшипниках и на потери трения о воздух, полагая, что первые пропорциональны первой степени числа оборотов, а вторые — второй степени числа оборотов (с некоторым отступлением от действительности, ибо потери на трение о воздух пропорциональны числу оборотов в степени, равной почти трем). В таком случае для чисел оборотов предыдущего опыта  $n_1$  и  $n_2$  будут иметь место равенства:

$$W_{\text{мп}}' = C_3n_1 + C_4n_1^2$$

и

$$W_{\text{мп}}'' = C_3n_2 + C_4n_2^2,$$

где  $C_3$  и  $C_4$  — постоянные, зависящие от конструкции машины.

Из этих равенств, решая их относительно  $C_3$  и  $C_4$ , для потерь в подшипниках  $W_{\text{под}}$  и потерь о воздух  $W_{\text{возд}}$  при каком-либо числе оборотов  $n$  можно получить выражения:

$$W_{\text{под}} = C_3n = \frac{W_{\text{мп}}''n_1^2 - W_{\text{мп}}'n_2^2}{n_1^2n_2 - n_2^2n_1} n$$

$$W_{\text{возд}} = C_4n^2 = \frac{W_{\text{мп}}'n_2 - W_{\text{мп}}''n_1}{n_1^2n_2 - n_2^2n_1} n^2.$$

Если взять  $n = n_1$  и  $n_2 = n_1/2$ , то последние выражения значительно упростятся, именно будут:

$$\begin{aligned} W_{\text{под}} &= 4 W_{\text{мп}}'' - W_{\text{мп}}' \\ W_{\text{возд}} &= 2 W_{\text{мп}}' - 4 W_{\text{мп}}''. \end{aligned}$$

Значения для  $W_{mp}'$  и  $W_{mp}''$  берутся по кривым фиг. 115.

ТАБЛИЦА.

$n$	$V$	$J_0$	$i_{ш}$	$V \cdot J_0$	$J_0^2 R_a$	$V \cdot J_0 - J_0^2 R_a$
пост.						

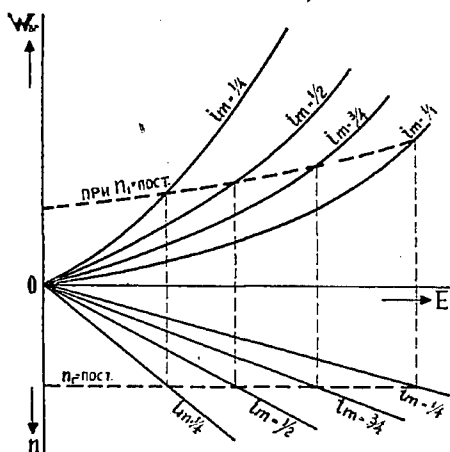
## 2-й способ.

Изложенный способ разделения потерь требует значительного понижения напряжения у якоря, чтобы можно было затем успешно продолжить получающуюся при этом кривую  $I$  фиг. 114 до пересечения с осью ординат. Иногда большое понижение напряжения затруднительно. В таких случаях пользуются следующим способом. Запускают испытуемую машину, заранее хорошо прогретую при продолжительной работе под нагрузкой, как двигатель, вхолостую и, установив тот или иной ток возбуждения, меняют в возможно широких пределах приложенное к якорю напряжение, другими словами, меняют число оборотов двигателя, и определяют ту мощность, которую якорь при этом расходует.

Если, например, напряжение на якоре  $V$ , сила тока в якоре  $J_0$ , а сопротивление якоря  $R_a$ , то мощность, расходуемая на механические и магнитные потери, т.-е. на потери вращения, будет:

$$W_{вр.} = V \cdot J_0 - J_0^2 R_a = W_{mp} + W_i + W_{\phi}.$$

Опыт повторяют при разных токах возбуждения, например, при  $i_m = 1/1, 3/2, 1/2, 1/4, 1/8$  нормального (чем меньше будет взят этот ток, тем лучше) и строят

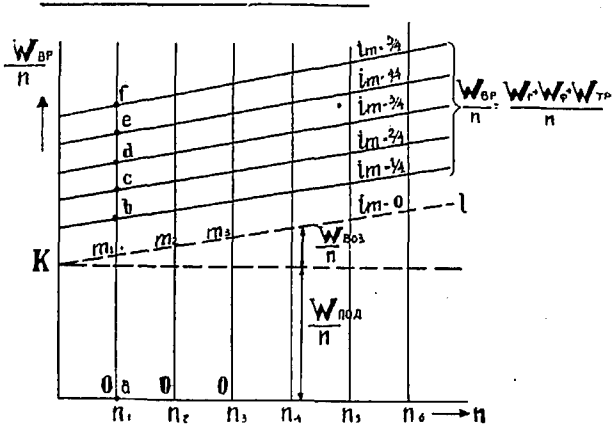


Фиг. 116.

кривые зависимости потерь вращения  $W_{вр}$  от электродвижущих сил  $E = V - J_0 R_a$  для разных токов возбуждения (фиг. 116); все эти кривые выходят из начала координат. Чтобы получить кривую потерь при постоянном числе оборотов и при разных возбуждениях, проводят в нижней части координатной системы прямые, представляющие зависимость электродвижущей силы  $E$  от числа оборотов при постоянном возбуждении (эти прямые строятся по одной лишь точке). Проводя затем для какого-либо числа оборотов  $n_1$  горизонтальную линию, параллельную оси абсцисс, и перенеся точки пересечения ее с прямыми на соответствующие кривые верхней части чертежа, получают кривую потерь вращения при постоянном числе оборотов, но при разных токах возбуждения. Повторяя

построение для других чисел оборотов, можно получить ряд таких кривых, которые и дадут возможность разделить потери, как указано в первом способе.

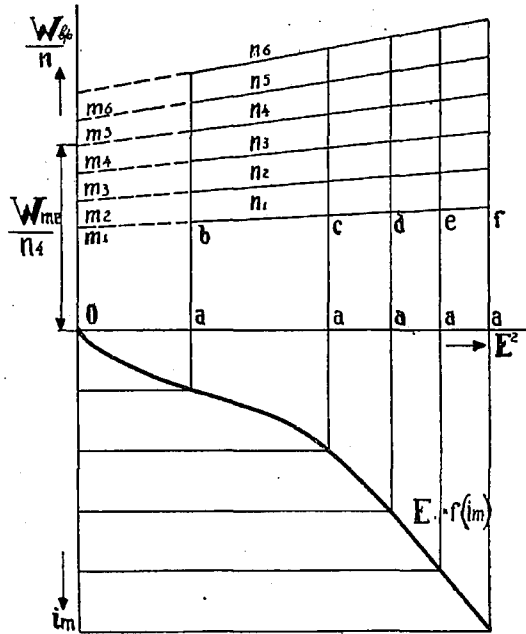
Чтобы увеличить степень точности построения (избегнуть построения кривых), идут следующим путем: откладывают по оси абсцисс число оборотов, а по оси ординат для разных токов возбуждения потери, приходящиеся на один оборот, т.-е.  $W_{op}/n$ . Так как  $W_{op}/n$  есть прямолинейная функция числа оборотов  $n$ , ибо  $(W_{op}/n) = (C_1 + C_3) + (C_2 + C_4) n$ , то в результате построения указанных зависимостей получаются прямые фиг. 117.



Фиг. 117.

(Некоторое отступление от прямых обязано потерям от трения о воздух.)

Далее, по опытным данным холостой работы двигателя строят кривую зависимости электродвижущей силы во второй степени от тока возбуждения при каком-либо одном постоянном числе оборотов, т.-е.  $E^2 = f(i_m)$ , — см. нижнюю часть фиг. 118. Эта кривая представляет собою видоизменение характеристики холостой работы машины  $E = f(i_m)$  при  $n = const$ . Затем, пользуясь кривыми фиг. 117, для разных чисел оборотов, считая их каждый раз постоянными, например, для  $n_1, n_2, n_3 \dots$ , находят потери на один оборот  $W_{op}/n$  и откладывают их в зависимости от  $E^2$ , — см. верхнюю часть фиг. 118. Так, для числа оборотов  $n_1$  откладывают отрезки  $ab, ac, ad$  и т. д. на фиг. 118 — по вертикалям, проведенным из точек  $a, a, a$  и т. д., и получают прямую  $bf$ .<sup>1</sup> Продолжая

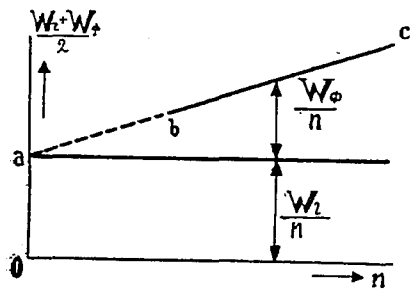


Фиг. 118.

<sup>1</sup> Следует заметить, что масштаб для  $E^2$ , разный для разных чисел оборотов, не играет роли в данном построении; будет ли у линии  $bf$  иной наклон, она при продолжении должна пройти через точку  $m_1$ , ибо при всех масштабах точка 0 отвечает  $E^2 = 0$ .

полученные прямые до оси ординат, находят отрезки  $Om_1, Om_2, Om_3$  и т. д., определяющие механические потери на один оборот при разных числах оборотов, т.-е.  $W_{mp}/n$ . Умножив их на соответствующие числа оборотов, получают искомые механические потери. Магнитные же потери при разных числах оборотов, но при постоянных токах возбуждения определяются путем нанесения на фиг. 117 зависимости  $W_{mp}/n = Om_1, Om_2, \dots$  от числа оборотов, т.-е. отложения отрезков  $Om_1, Om_2$  и т. д., от точек, соответствующих числам оборотов  $n_1, n_2, n_3 \dots$ . Части ординат выше полученной при этом прямой  $kl$  дадут магнитные потери, приходящиеся на один оборот, т.-е.  $(W_i + W_{\phi})/n$ .

Дальнейшее разделение потерь механических и магнитных можно было бы произвести так, как указано в первом способе, но можно это сделать еще и следующим образом. При разделении магнитных потерь, пользуясь кривыми фиг. 117, наносят эти потери, отвечающие одному обороту, т.-е.  $(W_i + W_{\phi})/n$  для какого-либо, напр., нормального тока возбуждения, по оси ординат, а соответствующие числа оборотов по оси абсцисс (фиг. 119) и получающуюся



Фиг. 119.

при этом прямую  $bc$  продолжают до пересечения с осью ординат в точке  $a$ . Отрезок  $Oa$  даст потери на один оборот только от гистерезиса, т.-е.  $W_i/n$ . Если провести через точку  $a$  прямую, параллельную оси абсцисс, то отрезки ординат между этой прямой и прямой общих потерь  $ac$  дадут потери на токи Фуко, приходящиеся на один оборот, т.-е.  $W_{\phi}/n$ . Умножая мощности, отвечающие отрезку  $Oa$  и отрезкам между прямой  $ac$  и горизонтальной из точки  $a$ ,

на соответствующие числа оборотов, легко найти в отдельности потери на гистерезис и токи Фуко при разных числах оборотов.

Что касается разделения механических потерь на потери трения в подшипниках и потери трения о воздух, то оно производится простым проведением на фиг. 117 линии, параллельной оси абсцисс из точки пересечения прямой механических потерь с осью ординат, т.-е. из точки  $k$ . Часть ординат между этой прямой и осью абсцисс даст потери на один оборот от трения в подшипниках, т.-е.  $W_{под}/n$ , а части ординат между тою же прямой и прямой общих механических потерь дадут потери от трения о воздух на один оборот, т.-е.  $W_{воз}/n$ . Умножив полученные отрезки на числа оборотов, находят потери при разных числах оборотов.

ТАБЛИЦА.

$i_m$	$V_a$	$J_0$	$n$	$W_{op}$	$E$

## 3. РАЗДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ПО МЕТОДУ САМОТОРМОЖЕНИЯ.

Наиболее точное разделение потерь динамомашин-генератора или двигателя относительно большой мощности на три группы: на потери от токов Фуко, гистерезис и трение — достигается методом самоторможения, предложенным в 1884 г. Марселем-Депре (а в 1899 — Детмаром) и усовершенствованным впоследствии Пеукертом. Этот метод заключается в следующем: приведя испытуемую машину, заранее хорошо прогретую при продолжительной работе под нагрузкою, во вращение с возможно бóльшим числом оборотов (на 20 — 25% больше нормального), быстро прерывают вращающее усилие, сбрасывая ремень, если машина приводилась в движение механически, или прекращая ток в якоре, если она, как двигатель, приводилась в движение электрически. Вследствие инерции машина должна бы вращаться далее с неизменной конечной скоростью, если бы не существовало никаких сопротивлений, ни механических — в машине невозбужденной, ни механических и магнитных — в машине возбужденной. Но так как эти сопротивления при вращении машины имеют место, и на преодоление их должна расходоваться кинетическая энергия вращающегося якоря, то число оборотов его будет постепенно уменьшаться, и тем быстрее, чем меньше кинетическая энергия вращающейся массы и чем больше вредные сопротивления машины. При этом в каждый момент времени расходуемая якорем мощность, по законам механики, должна равняться потерям, имеющим место в этот момент в машине. Т.-е., если  $L$  — кинетическая энергия якоря, то расход энергии в секунду  $\frac{dL}{dt} = W$  — потерям в машине.

Кинетическая энергия движущегося тела  $L$  определяется, как известно, формулою:

$$L = \sum \frac{m_x v_x^2}{2},$$

где  $m_x$  — масса какой-либо частицы тела в кг, а  $v_x$  — линейная скорость в м перемещения той точки, в которой предполагается сконцентрированной масса  $m_x$ . Так как у якоря динамомашин все части вращаются около оси вала, то, обозначив через  $\omega$  угловую скорость вращения точки с массою  $m_x$ , а через  $D_x/2$  расстояние этой точки до оси вала и имея в виду, что  $v_x = \omega \cdot \frac{D_x}{2} = \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{D_x}{2}$ , где  $n$  — число оборотов якоря в минуту, получим:

$$L = \sum \frac{m_x v_x^2}{2} = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{60} \right)^2 \cdot n^2 \cdot \sum m_x \cdot D_x^2 \text{ кгм/сек.}$$

или

$$L = 9,81 \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{60} \right)^2 \cdot n^2 \cdot \sum m_x \cdot D_x^2 \text{ ватт/сек.}$$

Если  $G$  — вес якоря в кг, а  $G/9,81$  кг — масса его, определенная сравнением с массою одного килограмма, и эта масса сконцентрирована на окружности с диаметром якоря  $D$ , то можно написать:

$$\sum m_x \cdot D_x^2 = \frac{G}{9,81} \cdot D^2 \text{ кгм}^2,$$

при чем  $GD^2$  — так называемый маховой момент якоря.

В таком случае

$$L = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\pi}{60}\right)^2 \cdot n^2 \cdot GD^2 \text{ ватт/сек.}$$

Следовательно, потери при самоторможении будут:

$$W = -\frac{dL}{dt} = -\left(\frac{\pi}{60}\right)^2 \cdot GD^2 \cdot n \cdot \frac{dn}{dt} \text{ ватт,}$$

или, обозначая произведение  $\left(\frac{\pi}{60}\right)^2 \cdot GD^2$  через  $C$ , окончательно:

$$W = -C \cdot n \frac{dn}{dt}.$$

Для машины невозбужденной эта мощность  $W$  расходуется, очевидно, только на механические сопротивления, т.-е.

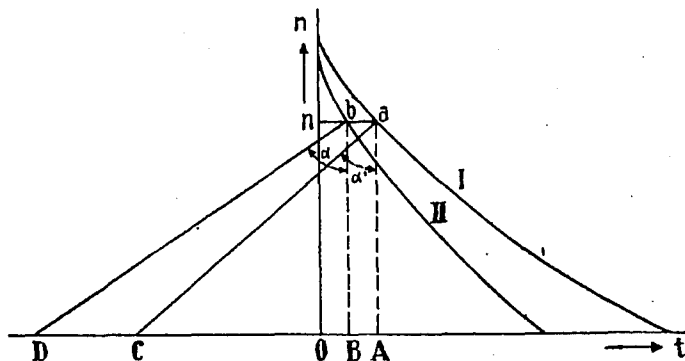
$$-C \cdot n \frac{dn}{dt} = W_{mp},$$

тогда как в машине возбужденной она расходуется не только на механические сопротивления, но и на магнитные, т.-е.

$$-C \cdot n \frac{dn}{dt} = W_{mp} + W_i + W_{\phi}.$$

Таким образом, потери на механические сопротивления и потери на сопротивления магнитные легко определить в отдельности, если только известны постоянная  $C$  и величина  $n \cdot dn/dt$ , как для случая, когда машина тормозится невозбужденной, так и для случая, когда она тормозится возбужденной.

Для определения величины  $n \cdot dn/dt$  снимают, сначала для невозбужденной, а потом для возбужденной машины, кривые самоторможения, иллюстрирующие изменение числа оборотов в зависимости от времени при самоторможении (фиг. 120). С этой целью разгоняют испытуемую динамомашину до возможно



Фиг. 120.

большой скорости и, сразу прервав действие вращающего усилия, наблюдают через некоторые промежутки времени (3—5 сек.) числа оборотов якоря.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Так как при сильно насыщенных машинах исчезновение магнетизма при выключении тока якоря и индукторов происходит не сразу, то отсчет числа оборотов начинают спустя некоторое время (2—3 сек.) после начала самоторможения. Поэтому то число оборотов машины вначале должно быть на 20—30% больше нормального.



Откладывая затем числа оборотов по оси ординат, а соответствующие моменты времени по оси абсцисс, получают кривые самоторможения *I* и *II* (кривая *I* — для невозбужденной машины, кривая *II* — для машины возбужденной). Чтобы определить по этим кривым величину  $n \cdot dn/dt$  для какого-либо числа оборотов, например  $n$ , проводят нормали к элементам кривых в точках  $a$  и  $b$ , отвечающих данному числу оборотов  $n$ ; тогда поднормали  $BD$  и  $AC$  дадут величины  $n \cdot dn/dt$  для обоих случаев самоторможения:

$$BD = bB \cdot \operatorname{tg} \alpha = -n \cdot \frac{dn}{dt} \text{ для машины возбужденной;}$$

$$AC = -aA \cdot \operatorname{tg} \alpha' = -n \cdot \frac{dn}{dt} \text{ для машины невозбужденной.}$$

Отрезки  $DB$  и  $AC$ , измеряемые в масштабе времени (в сек.), т.-е. в масштабе абсцисс, необходимо умножить на коэффициент, равный  $\left[ \frac{\text{масштаб ординат}}{\text{масштаб абсцисс}} \right]$ , так как  $BD$  и  $AC$  должны представлять собою, как показывают формулы, произведение числа оборотов  $n$  на изменение их в момент времени  $dn/dt$ . Действительно:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{\text{масштаб ординат}}{\text{масштаб абсцисс}} \right)^2 \cdot (BD \cdot \text{масштаб абсцисс}) = \\ & = \frac{(BD \cdot \text{масштаб абсцисс})}{\text{масштаб абсцисс}} \times \text{масштаб ординат} \times \frac{\text{масштаб ординат}}{\text{масштаб абсцисс}} = n \frac{dn}{dt}. \end{aligned}$$

Если в одном сантиметре оси ординат содержится  $a$  оборотов в минуту, а в одном сантиметре абсциссы —  $b$  секунд, то потери, например, возбужденной машины будут:

$$W = C \cdot (BD)_{\text{сек.}} \cdot \left( \frac{a}{b} \right)^2 \text{ ватт,}$$

или

$$W = C \cdot (BD)_{\text{см.}} \cdot \frac{a^2}{b} \text{ ватт,}$$

когда отрезок  $BD$  измерен в сантиметрах.

Постоянную  $C$  можно определить путем непосредственного вычисления махового момента якоря  $GD^2$ , зная, что  $GD^2 = G_1 D_1^2 + G_2 D_2^2 + G_3 D_3^2 + \dots$ , где  $G_1, G_2, \dots$  суть веса отдельных частей якоря и  $D, D_2, \dots$  суть средние диаметры этих частей. Но лучше эту постоянную определять опытным путем. Существует несколько способов для этой цели. Наиболее легким по выполнению является следующий. На шкив якоря машины навивают шнурок, при чем один его конец прикрепляют к шкиву, а другой перебрасывают через легкий блок, укрепленный выше якоря машины. К этому концу прикрепляют тарелку для размещения на ней груза (разновесок). В начале опыта на тарелку кладут такой груз весом  $G_1$  кг, чтобы он только-только мог преодолеть сопротивление трения в подшипниках якоря; затем, положив на тарелку некоторый груз весом  $G_2$  кг, определяют время  $t$  сек, в течение которого тарелка опустится на определенную высоту  $h_m$  (ибо якорь придет во вра-

ТАБЛИЦА.

$i_m$	$n$	$t_{\text{сек}}$
пост.		

нение и шнурок на шкиве начнет разматываться). Если  $D_{ш}$  — диаметр шкива в м,  $S_3$  — вес шнурка, блока и чашки, то искомая постоянная будет

$$C = \left(\frac{\pi}{60}\right)^2 \cdot D_{ш}^2 \left[ \frac{9,81}{2} \cdot \frac{G_3}{h} \cdot t^2 - G_1 - G_2 - G_3 \right].$$

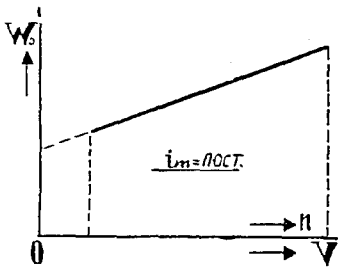
Для машин с шариковыми подшипниками применим следующий способ (Браггштада). К шкиву подвешивается грузик, нарушающий балансировку якоря. Если якорь подтолкнуть, то он придет в колебательное движение. Пусть время одного колебания (от одного крайнего положения до другого)  $t$  сек, вес грузика  $G$  кг и  $r$  — расстояние точки подвеса грузика от оси вала в м. Тогда

$$GD^2 = \left( t^2 - \frac{\pi^2}{9,81} r \right) \cdot \frac{9,81}{\pi^2} \cdot 4 r \cdot g \cdot \text{кг м}^2$$

и постоянная

$$C = \frac{9,81}{900} \cdot r \cdot g \cdot \left( t^2 - \frac{\pi^2}{9,81} r \right).$$

На том же принципе маятника основан и другой способ (Вельша) определения постоянной  $C$ . Якорь подвешивается к железной балочке (прилегающей к якорю вдоль оси), имеющей на концах заостренные ребра, которыми она опирается на железные же опоры. Якорь, будучи подтолкнут, начнет качаться как маятник. Если  $t$  — время одного качания в сек. (от одного крайнего положения до другого),  $G$  — вес якоря в кг и  $r$  — расстояние линии подвеса от центра тяжести (от оси) якоря в м, то постоянную  $C$  можно определять по только-что приведенной формуле.



Фиг. 121.

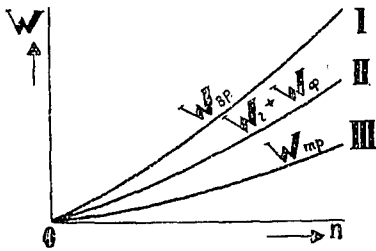
Постоянную  $C$  можно определить еще следующим способом. Запускают машину двигателем и снимают кривую, выражающую зависимость электрической мощности, расходуемой испытуемой машиной, работающей как двигатель вхолостую, от напряжения на зажимах (или, что одно и то же, от числа оборотов) при постоянном возбуждении (при том именно возбуждении, при каком снималась кривая самоторможения  $I$ ), фиг. 121. По этой кривой и находят мощность холостого хода  $W'_0$ , соответствующую той скорости, для которой определена величина поднормали  $n \cdot dn/dt$ . Тогда:

$$C = \frac{W'_0 - J^2 R_a}{-n \frac{dn}{dt}} = \frac{W_{0п}}{-n \frac{dn}{dt}};$$

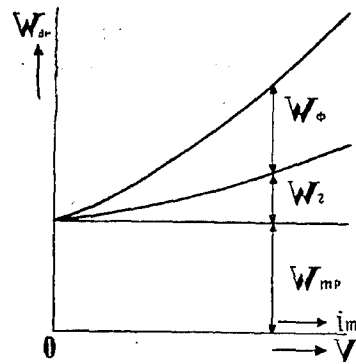
здесь  $J^2 R_a$  — потери в обмотке якоря, при числе оборотов  $n$ , а  $W_{0п}$  — потери вращения. Вычисляя таким образом  $C$  для разных чисел оборотов и взяв среднее значение из полученных величин, находят искомое  $C$ .

Имея постоянную  $C$  и кривые самоторможения для возбужденной и невозбужденной машины, легко определить магнитные и механические потери для разных чисел оборотов, умножая каждый раз  $C$  на величину поднормали  $n \cdot dn/dt$  обеих кривых для одного и того же значения  $n$ .

Откладывая по оси ординат в функции числа оборотов величины  $C \cdot n \cdot dn/dt$ , вычисленные сначала по кривой самоторможения *I*, а затем по кривой *II* фиг. 120, можно построить кривые *I* и *III* фиг. 122, разность ординат которых даст магнитные потери для разных чисел оборотов и для определенного возбуждения  $i_m$  — кривая *II*. Дальнейшее подразделение магнитных потерь на потери от токов Фуко и на потери от гистерезиса производится совершенно так же, как это было описано ранее. Если бы подобное разделение потерь было сделано для нескольких намагничивающих токов, для чего пришлось бы снять соответствующие кривые самоторможения, то можно было бы построить кривые: фиг. 123, представляющие изменения отдельных потерь при каком-либо постоянном числе оборотов, но при разных величинах индукции магнитной цепи, или, что одно и то же, при разных электродвижущих силах в якоре.



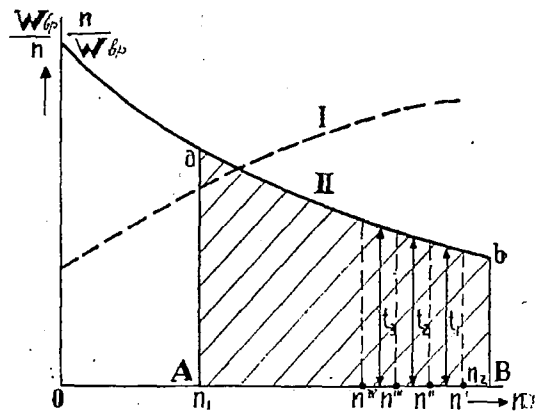
Фиг. 122.



Фиг. 123.

При испытании небольших машин время самоторможения якоря при возбуждении довольно коротко, а потому кривая выбега получается мало удовлетворительной, хотя кривая выбега невозбужденной машины вполне приемлема.

В таком случае постоянную  $C$  можно определить следующим образом. По опыту холостой работы машины в качестве двигателя находят потери вращения  $W_{вр} = W_{мп} + W_г + W_Фр$  при разных числах оборотов, но при определенном возбуждении, и наносят кривую зависимости  $\frac{W_{вр}}{n}$  от числа оборотов, на фиг. 124 кривую *I*. По этой кривой строят кривую зависимости  $\frac{n}{W_{вр}}$  от числа оборотов, на фиг. 124 кривую *II*. Далее, производят опыт самоторможения при том возбуждении, для которого получена кривая *I*, и отмечают промежуток времени  $t$  между моментом, когда число оборотов равно  $n_1$ , и моментом, когда число оборотов равно  $n_2$ . Этот промежуток времени может быть довольно длительным,



Фиг. 124.

а потому легко уловимым. Проведя на фиг. 124 вертикали из точек  $A$  и  $B$ , отвечающих числам оборотов  $n_1$  и  $n_2$ , и измерив площадь  $AaBb$ , заключенную между этими вертикалями, осью абсцисс и кривою  $II$ , определяют постоянную  $C$ , как отношение промежутка времени  $t$  к этой площади кривой  $n/W_{op} = f(n)$ . В правильности последнего нетрудно убедиться из следующего. Время  $t$ , протекающее при самоторможении возбужденного якоря от момента, когда якорь вращается с числом оборотов  $n_1$ , до момента, когда он вращается с числом оборотов  $n_2$ , определяется выражением

$$t = \int_{n_2}^{n_1} \frac{dt}{dn} \cdot dn = \int_{n_2}^{n_1} \frac{1}{s} \cdot dn,$$

где  $s$  — замедление (отрицательное ускорение) якоря при самоторможении.

Из уравнения же самоторможения следует

$$\frac{dn}{dt} = \frac{W_{op}}{n} \cdot \frac{1}{C},$$

а потому

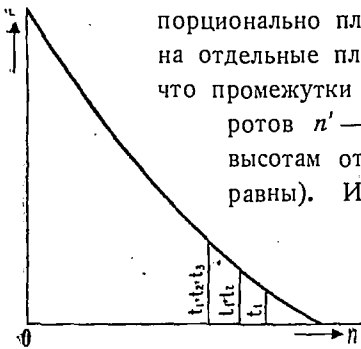
$$t = C \cdot \int_{n_2}^{n_1} \frac{n}{W_{op}} \cdot dn = C \times \text{площадь } AabB.$$

Следовательно,

$$C = \frac{t}{\text{площадь } AabB}.$$

При определении площади  $AabB$  необходимо ввести масштабные коэффициенты, т.-е. подставлять в знаменатель (пл.  $AabB$ )  $\times k_1 \times k_2$ , где  $k_1$  — число  $\frac{n}{W_{op}}$  в одном сантиметре ординат и  $k_2$  — число оборотов в одном сантиметре абсцисс.

Имея кривую  $II$  фиг. 124, можно построить кривую выбега при возбуждении, т.-е. ту кривую, которую трудно (у небольших машин) получить опытным путем. Из последней формулы следует, что время  $t$  пропорционально площади  $AabB$ . Если разбить площадь всей кривой на отдельные площадки с равными основаниями, то можно сказать, что промежутки времени, отвечающие двум соседним числам оборотов  $n' - n''$ ,  $n'' - n'''$  и т. д., пропорциональны средним высотам отдельных площадок (ибо основания у всех площадок равны). Исходя из этого, откладывают в любом масштабе



Фиг. 125.

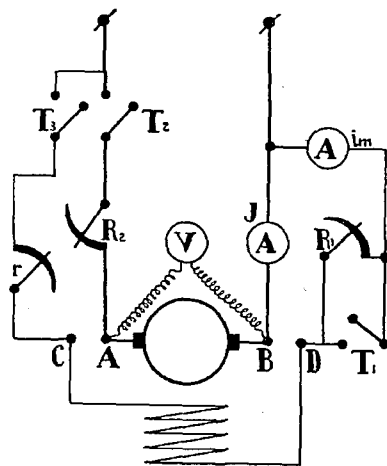
моменты времени  $t_1$ ,  $t_1 + t_2$ ,  $t_1 + t_2 + t_3$  и т. д. по оси ординат, а соответствующие им числа оборотов по оси абсцисс и получают кривую самоторможения (фиг. 125). Полное время выбега  $t_n = t_1 + t_2 + t_3 + \dots$ . Это время определяется опытным путем, и тем самым находится

масштаб для оси ординат. Таким образом, для небольшой машины можно иметь построенную кривую самоторможения (при возбуждении) и опытным путем полученную кривую самоторможения без возбуждения.

Схема соединения приборов при определении потерь по способу самоторможения приведена на фиг. 126. Реостат  $R_1$ , включенный последовательно с цепью

возбуждения и снабженный рубильником  $T_1$ , помощью которого он может быть взят на короткое, служит для того, чтобы иметь возможность снимать кривые самоторможения при токах возбуждения, меньших или больших нормального. Самый опыт получения кривых самоторможения при возбужденной машине ведется в следующем порядке. До пуска машины в ход реостатом  $R_1$  устанавливается желаемый ток возбуждения, при чем все сопротивление реостата  $r$  выводится. Замкнув затем реостат  $R_1$  на короткое рубильником  $T_1$ , запускают машину реостатом  $R_2$ . Доведя помощью реостата  $r$  число оборотов машины до наибольшей допустимой для нее величины, быстро выключают рубильники  $T_1$  и  $T_2$  и в то же время выводят сопротивление реостата  $r$ . Пропустив 2—3 секунды, начинают делать отсчеты времени и числа оборотов. В том случае, когда снимается кривая самоторможения невозбужденной машины, выключаются одновременно рубильники  $T_2$  и  $T_3$ .

Число оборотов больших машин можно определять тахометром с одной шкалой от наибольшего значения числа оборотов до нуля. Для удобства отсчета рекомендуется предварительно наклеить на стекло тахометра небольшой кружок бумаги, на котором можно было бы при опыте отмечать положения стрелки в определенные моменты. Время отсчитывается по секундомеру. При малых машинах, во избежание изменения положения якоря



Фиг. 126.

при нажатии на вал тахометром, число оборотов лучше измерять вольтметром, определив предварительно зависимость напряжения от числа оборотов при данном постоянном возбуждении, т.-е. найдя отношение  $K = \frac{\text{число оборотов}}{\text{напряжение}} = \text{const.}^1$  С этой целью, после снятия кривой самоторможения при каком-либо возбуждении, разгоняют машину и, установив необходимое возбуждение, предоставляют ее самой себе, т.-е. прерывают вращающее усилие. В некоторые моменты измеряют одновременно скорость тахометром и напряжение вольтметром, и берут среднее из отношений числа оборотов к напряжению для всех сделанных отсчетов.

Число оборотов за время выбега небольших машин удобно измерять также и стробоскопическим методом, описанным в гл. I, § 3, предварительно выбрав для зубчаток диска подходящее к возможным числам оборотов машины за время выбега число зубцов. Если бы, например, на диске были зубчатки, изображенные на фиг. 1, и число освещений в минуту было бы равно  $100 \cdot 2 \cdot 60 = 12\,000$ , а нормальное число оборотов машины 1000 оборотов, то при повышенном числе оборотов 1500 казались бы неподвижными зубчатки с числом зубцов  $z = 16$ ,

<sup>1</sup> Если машина тормозится невозбужденной, то для измерения числа оборотов помощью вольтметра достаточно и остаточного магнетизма машины.

зубчатка же с  $z = 12$  казалась бы неподвижной с удвоенным изображением. В самом деле, первичное число оборотов при  $z = 16$  равно  $12\ 000/16 = 750$ ; удвоенное число оборотов  $= 1500$ , след., зубчатка с числом зубцов  $z = 16$  будет казаться неподвижной. Первичное число оборотов для зубчатки с  $z = 12$  будет  $12\ 000/12 = 1000$ , но  $1500 = \frac{3}{2} \cdot 1000$ , след., зубчатка с  $z = 12$  при числе оборотов 1500 будет казаться с удвоенным изображением. При уменьшении числа оборотов до 1385 будет казаться неподвижной, но с удвоенным изображением, зубчатка с числом зубцов  $z = 13$ , ибо  $1385 = (\frac{3}{2}) \cdot (12\ 000/13)$ ; при уменьшении числа оборотов до 1285 будет казаться неподвижной, но с удвоенным изображением, зубчатка с  $z = 14$ , ибо  $1285 = (\frac{3}{2}) \cdot (12\ 000/14)$ ; при дальнейшем уменьшении числа оборотов до 1000 будет казаться неподвижной и в ординарном изображении зубчатка с числом зубцов  $z = 12$ , и т. д. Таким образом, наблюдая за неподвижными зубчатками диска во время опыта с выбегом якоря, можно затем вычислить и числа оборотов в моменты неподвижных изображений зубчаток. Само собою разумеется, в те же моменты необходимо отметить по секундомеру и время (наноса на предварительно наклеенный на циферблат кружочек бумаги черточки карандашом).

Метод самоторможения весьма удобен при испытании большой динамомашин, момент инерции якоря которой достаточно велик для того, чтобы машина, предоставленная самой себе, вращалась  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1 минуту при максимальном возбуждении. Для небольших машин, начиная с 2—3 kW, этот метод не всегда дает хорошие результаты, так как время самоторможения при наибольшем возбуждении довольно мало.

#### 4. РАЗДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ.

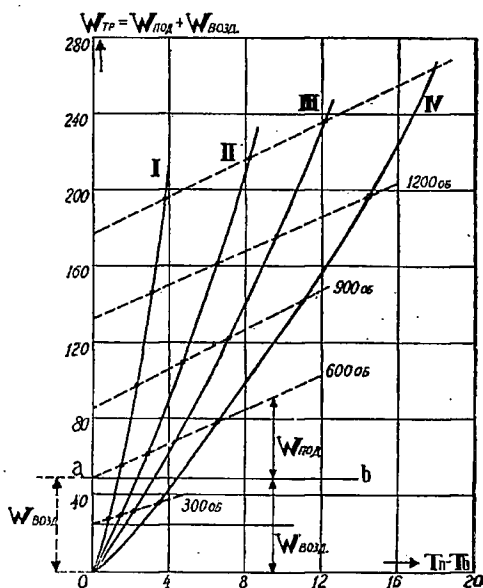
При рассмотрении способов разделения общих потерь были уже описаны два способа разделения механических потерь на потери трения в подшипниках и на потери трения о воздух. В случаях, когда интересуются только механическими потерями, их деление можно произвести, исходя из положения, что потери трения о воздух не зависят от температуры нагрева подшипников и что температура подшипников зависит от сорта масла, так как им отчасти определяется работа трения в подшипниках. Указанное положение практически используется следующим образом.

В подшипники испытуемой машины заливают какой-либо сорт смазочного масла (рациональнее начать с лучшего) и в один из подшипников (более удаленный от поля рассеяния индукторов) вставляют ртутный термометр, располагая его по возможности ближе к наиболее нагретой части подшипника и масла (можно погрузить его прямо в масло). Если в распоряжении имеется калиброванный (с известным коэффициентом полезного действия) вспомогательный двигатель, то испытуемую машину приводят во вращение этим двигателем вхолостую без возбуждения с каким-либо определенным числом оборотов и, выждав, пока не установилась температура подшипника, отмечают эту температуру и мощность, забираемую двигателем. По этой последней и по коэфф. полезного действия двигателя находят мощность, расходуемую на трение в под-

шипниках машины и на трение о воздух. [Приблизленно эта мощность равна разности мощностей, забираемых вспомогательным двигателем, соединенным с испытуемой машиной и не соединенным с нею.] Затем повышают число оборотов, выжидают установления постоянной температуры и снова определяют температуру подшипника и мощность, расходуемую двигателем на вращение, а по ней мощность потерь трения в подшипниках и о воздух при новой скорости вращения, и т. д. Отложив общие потери трения по оси ординат, а превышения температуры подшипника над температурой воздуха (которую нужно также отмечать по другому термометру) по оси абсцисс, получают кривую I фиг. 127.

Далее поступают так: или меняют сорт масла в подшипниках (если желают определить потери в подшипниках при другом сорте масла), или же разбавляют имеющееся в подшипниках масло керосином и снова производят указанный опыт, давши маслу и подшипникам остыть. Наливши затем в подшипники третий сорт масла, или разбавивши еще керосином имевшееся масло, повторяют опыт, и т. д. В результате опытов получаются кривые, подобные кривым фиг. 127, при чем кривая I — для одного сорта масла, кривая II — для другого сорта масла и т. д. Если соединить точки, отвечающие механическим потерям при одном числе оборотов, но при разных сортах масла, то получатся прямые (на фиг. 127 пунктирные), которые при продолжении до оси ординат дадут потери на трение о воздух при разных числах оборотов, ибо при нуле градусов превышения температуры подшипников работа трения

в них равна нулю (нагрев подшипника — следствие работы трения) и вся доставляемая мощность расходуется на потери трения о воздух. Так как эти потери от температуры не зависят, то, проведя из точек пересечения прямых и оси ординат линии, параллельные оси абсцисс (на фиг. 127 проведена лишь одна  $ab$ ), можно найти потери на трение в подшипниках при разных числах оборотов и разных сортах масла и затем построить графически зависимость этих потерь (и потерь трения о воздух) от числа оборотов для каждого сорта масла. Если такая зависимость не нужна, а требуется лишь разделить механические потери при одном каком-либо числе оборотов, то эти потери и определяются при этом именно числе оборотов, меняя сорта масла. В результате получится только одна прямая (на фиг. 127 одна из пунктирных), которая и дает возможность разделить механические потери.



Фиг. 127.

ТАБЛИЦА.

$n$	$T^\circ$	$W_{\lambda}$

В том случае, когда калиброванного двигателя в распоряжении не имеется, разделение механических потерь можно произвести таким образом: запустить испытываемую машину двигателем вхолостую и при разных сортах масла определить потери холостой работы при разных числах оборотов. Затем построить кривые зависимости потерь холостой работы (включая, очевидно, и магнитные) от превышения температуры подшипника — кривые, подобные кривым *I, II, III* фиг. 127; провести через точки, отвечающие одному числу оборотов прямые (на фиг. 127 пунктирные) и через пересечения их с осью ординат провести прямые, параллельные оси абсцисс. Тогда для каждого числа оборотов будут отделены потери трения о воздух. Части ординат над прямыми дадут потери магнитные и в подшипниках. Определив отдельным опытом магнитные потери при разных числах оборотов (см. ранее), легко затем найти и потери в подшипниках.

Для сокращения манипуляций разные числа оборотов устанавливаются не возбуждением, которое остается постоянным, а напряжением у якоря машины.

Чтобы ослабить влияние магнитного рассеяния на нагрев подшипников, возбуждение машины берется возможно небольшим.



## ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ.

### НАГРЕВ ЧАСТЕЙ ДИНАМОМАШИНЫ.

Степень нагрева, или наивысшая температура, до которой может быть нагрета динамомашинa, представляет собою фактор чрезвычайной важности одинаково как для фабриканта, изготовляющего машину, так и для покупателя последней, ибо этим именно фактором обуславливается отчасти стоимость (и коэфф. полезного действия) ее и почти исключительно им — продолжительность службы. Действительно: цена машины, помимо стоимости фабрикации, зависит, конечно, от ее размеров; последние же, в свою очередь, зависят от плотности тока и магнитной индукции, соответственно — в электрической и магнитной цепях машины. При большей плотности тока в обмотке якоря и индукторных катушках и при большей магнитной индукции в магнитной цепи (станина, якорь и сердечники индукторов) размеры машины, а след. и стоимость ее, будут меньше. Но так как уменьшение размеров машины влечет за собою уменьшение охлаждающей поверхности, то температура ее при той же скорости вращения и при тех же средствах охлаждения должна повыситься. Если бы пожелали в данном случае удержать температуру нагрева в допустимых пределах, то пришлось бы изменить способ охлаждения, т.-е. применить искусственное охлаждение, что, вероятно, понизило бы коэфф. полезного действия машины. Что же касается влияния чрезмерного повышения температуры на продолжительность службы динамомашин, то это влияние сказывается, главным образом, в уменьшении изолирующих свойств изоляции обмоток якоря и индукторных катушек и даже в полном ее разрушении. Так, при температуре  $100^{\circ}\text{C}$  и выше изоляция из хлопчатой бумаги, льняной ленты, шелка начинает уже обугливаться и крошиться, а изоляция из разных фабрикатов слюды становится сильно ломкою.

Предельные температуры, до которых можно нагревать части машин, содержащие разные сорта изоляции, указываются в ноомах для электрических машин (см. в приложении проект норм для электрических машин).

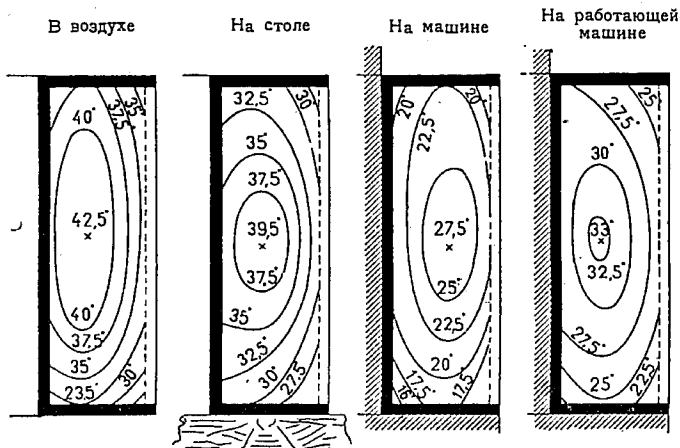
Необходимо заметить, что измерение температуры следует производить после работы динамомашин при полной нагрузке в течение определенного времени, т.-е. после того, как установится „режим“ работы машины, когда, следовательно, наступает равновесие между выделением тепла и его отдачею в воздух. Нормальный режим для машин большой мощности устанавливается через

8—10 час. работы при полной нагрузке; для машин небольшой мощности через 4—5 час. С целью ускорить нагрев машины поступают иногда двойко: перегружают машину процентов на 5—10 и в отношении тока и в отношении напряжения, и как только ее температура будет подходить к нормальной, устанавливают нормальный ток и напряжение. Через короткий промежуток времени устанавливается теплообмен, отвечающий нормальной нагрузке. Второй способ заключается в том, что машину заставляют работать в закрытом помещении без доступа свежего воздуха. Этот способ, однако, довольно неудобен, в особенности для обслуживающего машину персонала.

Так как разные части машины находятся в неодинаковых условиях охлаждения, то при испытании следует определять степень нагрева каждой в отдельности.

### 1. НАГРЕВ ИНДУКТОРНЫХ КАТУШЕК.

Главную причину нагрева индукторных катушек является теплота, в которую превращается мощность проходящего через них электрического тока; количество тепла, освобождающегося в индукторных катушках в грамм-калориях, равно  $0,24 i_m^2 R_m$ , где  $i_m$  — ток возбуждения и  $R_m$  — сопротивление индукторных катушек. Другими причинами, способствующими нагреву индукторных катушек, являются: 1) теплота, порождаемая в полюсных башмаках гисте-



Фиг. 128.

резисом и токами Фуко, и 2) теплота, излучаемая якорем машины. При установленном режиме работы динамомашины вся эта теплота рассеивается в воздух как непосредственно-наружную поверхность катушек, так и остовом машины (благодаря теплопроводности сердечников индукторов). Так как внутренние слои катушки удалены от окружающего воздуха и от сердечников индукторов, то температура их, конечно, выше температуры наружных слоев. Эта разница в температурах слоев будет тем больше, чем массивнее катушки и чем быстрее вращается якорь машины, т.е. чем интенсивнее движение воздуха около нее. Изотермы фиг. 128 иллюстрируют приблизительное распределение температур внутренних слоев катушки, находящейся в разных условиях.

Основываясь на факте неравномерного нагревания индукторных катушек, нормы для электрических машин всех стран рекомендуют измерять их температуру не методом термометра, а методом сопротивления (см. гл. I, § 5).

Если  $R_{\tau}$  — сопротивление обмотки в ее холодном состоянии, когда она имеет температуру окружающего воздуха,  $\tau$ ,  $R_T$  — сопротивление обмотки в нагретом состоянии, то средняя температура нагрева будет (см. гл. I, § 5):

$$T = \frac{R_T}{R_{\tau}} (235 + \tau) - 235,$$

а превышение над температурой окружающего воздуха:

$$T - \tau = \frac{R_T - R_{\tau}}{R_{\tau}} (235 + \tau).$$

Если бы температура окружающего воздуха во время опыта с нагревом обмотки менялась и конечное значение ее было бы  $\tau'$ , то превышение температуры обмотки определялось бы по формуле

$$T - \tau' = \frac{R_T - R_{\tau}}{R_{\tau}} (235 + \tau) + \tau - \tau'.$$

Так как описанный метод измерения температуры сопряжен с небольшими вычислениями и измерением сопротивлений, то на практике иногда отступают от норм и, поступаясь некоторою точностью, определяют температуру индукторных катушек термометром. В этом случае термометр прикладывается к разным местам наружной поверхности катушки (к нижнему и верхнему основаниям к середине катушки), и среднее из всех показаний его умножается на коэфф. 1,4 — 1,6 — 1,8, смотря по толщине и конструкции катушки. Шарик термометра при этом должен плотно прилегать к обмотке (напр., быть прижатым к ней станиолевым листком), и от охлаждения или нагрева от соседних полюсов покрыт какою-либо плохо проводящею теплоту массою, напр., ватою. При больших машинах рекомендуется брать два термометра, располагая один у верхнего конца катушки, а другой у нижнего. Так как, далее, у больших машин катушки, расположенные выше уровня пола, могут быть нагреты больше, нежели катушки, расположенные ниже уровня пола, или наоборот, то следует один или два термометра привязать к верхним катушкам и один или два термометра привязать к нижним катушкам. Привязывая термометр, необходимо убедиться, что головка его не легла на фибру капсуля катушки.

Если температура индукторных катушек измеряется во время работы машины, то необходимо следить за тем, чтобы шарик с ртутью не находился в переменном магнитном поле (напр., в зоне коммутирования), так как иначе токи Фуко, индуцируемые в ртути магнитным полем, введут в измерение ошибку. Удобнее всего в подобных случаях пользоваться спиртовыми термометрами.

## 2. НАГРЕВ ЯКОРЯ.

Наиболее нагретою частью якоря является активный слой его, т.е. тот наружный пояс, где находится обмотка. В этом слое сосредоточиваются главным образом потери от гистерезиса и токов Фуко в железе якоря и омиче-

ские потери обмотки. И так как охлаждение именно активного слоя затруднено в большей степени, нежели других частей якоря, то температура его будет наивысшей. (Температура наружного неактивного слоя обмотки на 5—10° ниже температуры активного слоя.) На этом-то основании рекомендуется измерение температуры якоря производить термометром, прикладывая его к наружной поверхности и для более лучшего контакта прижимая листочками станиоля. Само собою разумеется, для измерения температуры якоря машина останавливается, при чем тотчас же, без промедления, к разным частям якоря прикладываются термометры и делаются отсчеты через каждые две минуты до тех пор, пока температура не начнет снижаться. Если бы оказалось, что какой-либо из термометров показал чрезмерную температуру, то необходимо тотчас же заменить его другим, чтобы убедиться в правильности показания замененного. Одновременно с отсчетами температуры якоря производятся и отсчеты температуры окружающего воздуха.

Температуру якоря можно было бы, конечно, определить и по относительному увеличению омического сопротивления его обмотки от нагрева. Но в таком случае пришлось бы очень точно измерить сопротивление последней как в холодном, так и в нагретом состояниях машины, что при обмотках малого сопротивления (напр., у больших машин) представляется довольно затруднительным. Неточности же в обоих измерениях на небольшую величину, напр., на 5%, в случае их одностороннего характера, могут повлечь за собою ошибку в определении температуры до 20%. У машин небольшой мощности, в особенности у машин высоковольтных, у которых сопротивление обмотки якоря сравнительно велико, определение температуры по увеличению сопротивления дает часто довольно хорошие результаты.

Согласно нормам для электрических машин, при испытании динамомашин в отношении нагрева следует каждый раз избирать места с наивысшей температурой, в каковых пунктах и производить наблюдение над повышением последней. Если же эти пункты по причинам конструктивного характера машины недоступны для обыкновенного термометра, то при определении температуры их прибегают иногда к термоэлементу. Об измерении температуры термоэлементами см. гл. I, § 5.

### 3. НАГРЕВ КОЛЛЕКТОРА.

Нагрев коллектора происходит от трех причин: от трения щеток, от Джоулева эффекта на контактах щеток и от токов Фуко, индуктирующихся в коллекторных пластинках. Если машина плохо спроектирована в отношении коммутирования, то появляется четвертая причина нагрева — искрение, или большие поперечные токи в щетках. Температура коллектора измеряется термометром, соблюдая все предосторожности, сопровождающие вообще такое измерение. При небольших коллекторах достаточно иметь два термометра; при больших коллекторах необходимо иметь несколько термометров, располагая их вдоль коллектора. Температура коллектора измеряется одновременно с измерением температуры якоря, тотчас же после остановки машины.

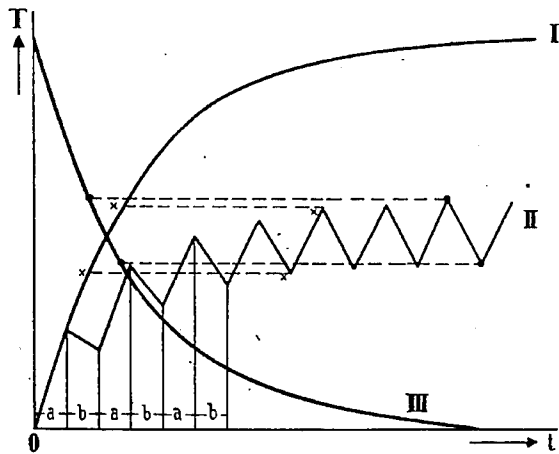
#### 4. НАГРЕВ ПОДШИПНИКОВ.

Температура подшипников при данном числе оборотов зависит от общей их конструкции, от тщательности сборки и от качества смазки. Наивысшая температура подшипников  $70^{\circ}\text{C}$ .; обычная же  $40^{\circ}\text{C}$ . Температура подшипников измеряется термометром, погружаемым в масло.

#### 5. КРИВЫЕ НАГРЕВА.

Нормальный „режим“ работы машины, при котором отдача тепла окружающей атмосфере равна притоку его, как сказано было ранее, устанавливается не тотчас же по включении нагрузки, а через некоторый, иногда довольно продолжительный, промежуток времени. В начале работы машины весьма быстро нагревается медь обмоток индукторов и якоря, затем уже прогревается изоляция обмоток и наконец — железо

и сталь магнитной цепи. Процесс нагрева частей машины иллюстрируется обычно кривыми, представляющими зависимость между температурой нагрева и временем работы машины при тех или иных условиях. На фиг. 129 кривая *I* подобна кривой нагрева машины, работающей с неизменною нагрузкою продолжительное время; кривая же *II* подобна кривой нагрева машины, работающей в период времени *a* с некоторою неизменною нагрузкою и в период времени *b* — без нагрузки; кривая *III*



Фиг. 129.

подобна кривой охлаждения машины, нагретой до некоторой температуры, высшей, нежели температура окружающей среды.

Кривая *I* показывает, что температура частей машины вначале быстро возрастает; затем повышение температуры уменьшается, и после некоторого промежутка времени повышение температуры прекращается, т.-е. температура машины устанавливается. Чем больше нагрузка, тем выше установившаяся конечная температура.

Кривая *II* показывает, что температура машины устанавливается при условии, что повышение температуры за период нагрузки будет равно понижению температуры за период простоя машины. Из сравнения кривых *I* и *II* видно, что при периодической работе машины нагревание ее за один и тот же промежуток времени будет меньше, нежели при непрерывной работе под тою же нагрузкою. Или иначе: при одной и той же температуре нагрева нагрузка машины, работающей периодически, может быть выше (и даже значительно выше) нагрузки той же машины, работающей непрерывно. Для того, чтобы

испытанием на нагрев установить в данном случае нормальную нагрузку машины необходимо, очевидно, знать продолжительность интервалов работы ее при нагрузке и без нагрузки.

Кривую *II* можно построить, имея кривую нагрева *I* при той нагрузке, при которой работает машина с паузами, т.-е. за период времени *a*, и кривую *III* охлаждения машины. Это построение легко выполнить, зная, что участки кривой *II*, отвечающие нагреву, за период работы машины параллельны частям кривой нагрева *I*, находящимся на одинаковой высоте с участками нагрева кривой *II*; точно также участки кривой *II*, отвечающие охлаждению, параллельны частям кривой охлаждения *III*, находящимся на одной высоте с участками охлаждения кривой *II*, в предположении, что кривая охлаждения машины начинается с конечной температуры нагрева, определяемой кривою *I*.

Таким образом, имея кривые нагрева машины при разных нагрузках и соответствующие им кривые охлаждения, нетрудно определить температуру нагрева и при периодической работе, если известны периоды работы и остановки машины.

Практически кривые нагрева и охлаждения частей машины снимаются просто: заставляют работать машину с определенной нагрузкой и измеряют описанными ранее методами температуры частей машины через равные промежутки времени. После того как температура установилась, снимают нагрузку, останавливают машину и снова измеряют температуру частей через равные промежутки времени. Произведенные записи и дадут возможность построить кривые нагрева и охлаждения. В том случае, когда испытывается машина небольшой мощности (5—10 kW), конечная температура устанавливается через 2—3 часа непрерывной работы; когда же испытывается машина большой мощности, конечная температура устанавливается через десять и более часов. Под конечной температурой здесь подразумевается та температура машины, которая, согласно норм С. Г. Э., повышается не более 2° Ц. за один час работы.

При испытании больших машин на нагрев получение всей кривой нагрева до конечной температуры часто затруднительно из-за продолжительности испытания, однако знать конечную температуру нагрева хотя бы при нормальной нагрузке — необходимо. В таких случаях конечную температуру нагрева можно определить, исходя из того обстоятельства, что кривая нагрева при постоянной нагрузке есть экспотенциальная кривая. Если *T* — конечная температура при установившемся теплообмене,  $\Theta$  — превышение температуры над окружающим воздухом (или средою), *t* — момент, для которого определяется превышение температуры  $\Theta$ , и *Z* — так называемая постоянная времени, равная периоду времени, в течение которого тело (часть машины) нагрелось бы до температуры *T*, если бы тепло никуда не рассеивалось, то связь между указанными величинами дается формулою:

$$\Theta = T \left( 1 - e^{-\frac{t}{Z}} \right).$$

Существует несколько способов нахождения конечной температуры; способ Лоппе заключается в следующем. Опытным путем снимается часть кривой

нагрева и наносится на график. Затем проводятся две касательные к кривой, одна из начала координатных осей, на фиг. 130 под углом  $\alpha_0$  к горизонтали, другая из точки, возможно дальше находящейся от начала координат, на фиг. 130 из точки  $a$ , под углом  $\alpha$  к горизонтали. Тогда конечная температура  $T$  будет определяться формулой:

$$T = \Theta_1 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{\operatorname{tg} \alpha_0 - \operatorname{tg} \alpha}.$$

Эту формулу легко вывести из следующих соображений. Угловой коэфф. для какого-либо момента:

$$\frac{d\Theta}{dt} = T \frac{1}{Z} \cdot e^{-\frac{t}{Z}} = \frac{1}{Z} (T - \Theta),$$

для момента времени  $t=0$  превышение температуры  $\Theta=0$ ; следовательно,

$$\frac{d\Theta}{dt}_{t=0} = \frac{1}{Z} \cdot T = \operatorname{tg} \alpha_0.$$

Для момента  $t=t_1$  превышение  $\Theta = \Theta_1$  и

$$\frac{d\Theta}{dt}_{t=t_1} = \frac{1}{Z} (T - \Theta_1) = \operatorname{tg} \alpha.$$

Из последних равенств следует:

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{T}{T - \Theta_1},$$

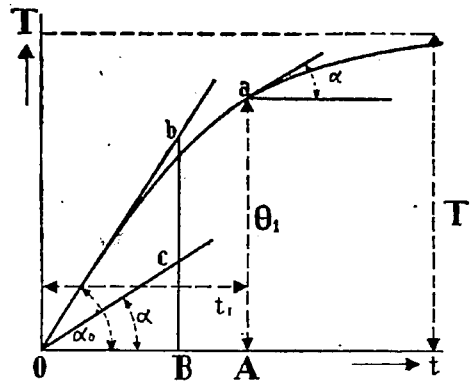
откуда и получается вышеприведенная формула.

Практически поступают так: из начала координатных осей проводят линию, параллельную касательной из точки  $a$  до пересечения в точке  $c$  с произвольной ординатой  $Bb$ . Тогда:

$$T_1 = \Theta_1 \frac{Bb}{Bb - Bc} = \Theta_1 \frac{Bb}{bc}.$$

В нормах для машины С. Г. Э. рекомендуется следующий метод определения конечной температуры. Начиная с некоторой температуры, через равные промежутки времени  $\Delta t$  отмечаются повышения температуры  $\Delta T$  и наносятся по оси абсцисс влево от начала координатных осей кривой нагрева в зависимости от соответствующих температур  $T$ , откладываемых по оси ординат (фиг. 131). Прямая, проведенная через полученные точки, в пересечении с осью ординат и даст конечную температуру нагрева.

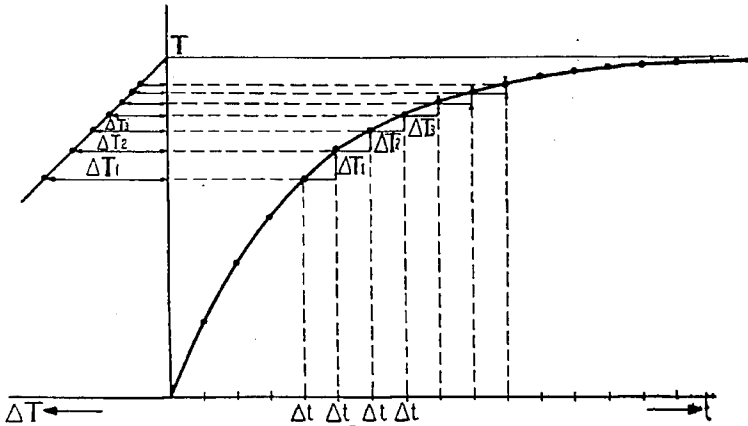
Конечную температуру нагрева машины можно определить и без графика, исходя из следующих соображений. Пусть  $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$  и  $\Theta_3$  — три превышения температуры машины над окружающей температурой в моменты времени  $t$ ,  $t+t_1$  и  $t+2t_1$ , т.е. в моменты, следующие друг за другом через равные промежутки времени.



Фиг. 130.

Для этих трех моментов имеются равенства:

$$\begin{aligned}\Theta_1 &= T \left(1 - e^{-\frac{t}{Z}}\right) \text{ или } T - \Theta_1 = T e^{-\frac{t}{Z}} \\ \Theta_2 &= T \left(1 - e^{-\frac{t+t_1}{Z}}\right) \text{ или } T - \Theta_2 = T e^{-\frac{t+t_1}{Z}} \\ \Theta_3 &= T \left(1 - e^{-\frac{t+2t_1}{Z}}\right) \text{ или } T - \Theta_3 = T e^{-\frac{t+2t_1}{Z}}.\end{aligned}$$



Фиг. 131.

Из этих равенств путем деления получается равенство:

$$\frac{T - \Theta_1}{T - \Theta_2} = \frac{T - \Theta_2}{T - \Theta_3} = e^{\frac{t_1}{Z}},$$

или

$$(T - \Theta_2)^2 = (T - \Theta_1) (T - \Theta_3);$$

откуда

$$T = \frac{\Theta_1^2 - \Theta_1 \cdot \Theta_3}{2\Theta_2 - (\Theta_1 + \Theta_3)}.$$

Чем дальше друг от друга отстоят значения  $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$  и  $\Theta_3$ , тем точнее результат. Время испытания в этом случае можно сократить вдвое или даже втрое.

## 6. НАГРЕВ ЗАКРЫТЫХ МАШИН.

Характер нагрева закрытых машин — главным образом двигателей, предназначенных для работы в местах пыльных или сырых, — несколько отличается от характера нагрева открытых машин. Температура всех частей закрытой машины более или менее одинакова, так как циркуляция воздуха, производимая вращающимся якорем, способствует относительно равномерному распределению тепла. Охлаждающею поверхностью закрытой машины является только наружная поверхность ее корпуса; корпусу же тепло передается отчасти непосредственно, отчасти через воздух. При испытании нагрева закрытой машины желательно поэтому измерять температуру находящегося внутри корпуса воздуха, что нетрудно сделать, просверливши в какой-либо крышке отверстие для термо-



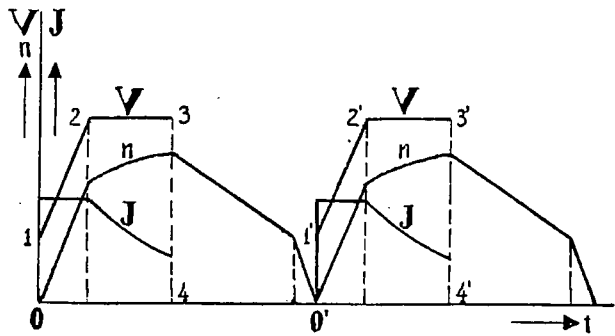
метра (это отверстие после испытания можно заделать), — и температуру наружной поверхности корпуса. Температуру обмоток индукторов и якоря в данном случае удобнее определять по увеличению сопротивления.

К числу закрытых двигателей относится и трамвайный двигатель. Так как он, кроме того, является и двигателем с периодической нагрузкой, то испытание нагрева необходимо вести, приняв во внимание его условия работы. За нормальную мощность при сравнении трамвайных двигателей принимают ту мощность, которую двигатель (с закрытыми крышками) развивает при испытании внутри помещения в течение одного часа, не нагреваясь выше определенного предела (см. в приложении нормы для электрических машин). Однако часовая мощность, полученная при этих условиях, не может еще определить пригодности двигателя для действительной работы его. При суждении о последней, т.-е. о пригодности данного двигателя к определенным условиям движения, или, что одно и то же, при выборе двигателя для определенных условий движения, исходят часто из величины так называемого нагревающего тока. Это есть тот ток, который, проходя через двигатель под некоторым вполне определенным напряжением, при продолжительной работе (в условиях нормального охлаждения при движении) нагревает его обмотки и железо настолько, насколько они нагреваются за время пробега вагона от начальной станции до конечной и обратно, или, вообще, за время рабочего периода. Если  $J_x$  — сила тока двигателя в каждый данный момент движения,  $t$  — время пробега, а  $\Delta t$  — время, в течение которого сила тока  $J_x$  остается постоянной, то сила нагревающего тока будет

$$J_{п.} = \sqrt{\frac{\int_0^t J_x^2 \Delta t}{t}},$$

где знак  $\int_0^t$  указывает на то, что нужно сложить произведения  $J_x^2 \Delta t$ , определенные для всех участков (с постоянной силой тока  $J_r$ ) за время от 0 до  $t$ .

Напряжение, при котором должен проходить через двигатель нагревающий ток  $J_{п.}$ , находится из того условия, чтобы железо двигателя нагрелось при непрерывной нагрузке настолько, насколько оно нагревается в действительности за рабочий период. Потери в железе сериес-двигателя, как известно (см. ранее), зави-



Фиг. 132.

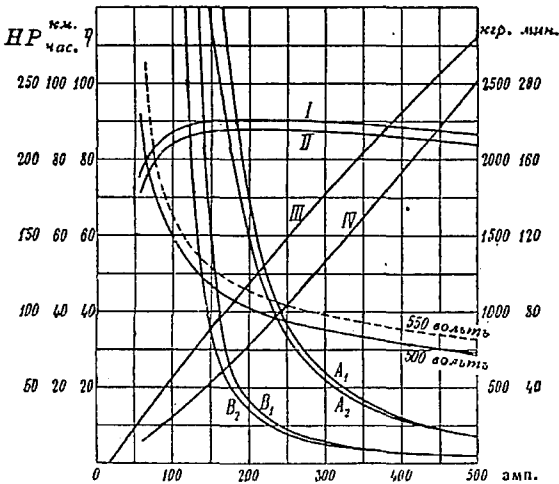
сят от напряжения на его зажимах. Это напряжение при движении вагона сильно меняется: при трогании с места оно мало, при нормальной скорости оно равно напряжению рабочего провода, и, наконец, при выключении тока оно равно

нулю. Имея график скорости вагона на участке (фиг. 132), легко определить среднюю величину напряжения. Для фиг. 132 она будет:

$$V_{\text{ср}} = \frac{01234 + 0'1'2'3'4' + \text{и т. д.}}{t \text{ (время всего рейса)}}$$

Найдя, таким образом, силу нагревающего тока и величину среднего напряжения, можно уже более определенно решить вопрос о пригодности испытуемого двигателя для данных условий движения. Если этот двигатель при испытании может работать продолжительно без чрезмерного нагрева при силе тока, равной силе нагревающего тока, и при напряжении, равном среднему напряжению, то он может считаться пригодным к данным условиям движения.

На заводе Westinghouse Manufacturing Co испытание трамвайных двигателей ведется следующим образом. Находятся промежутки времени, в течение которых двигатель при определенных и постоянных нагрузках нагревается, начиная с 25° Ц до температуры 75° Ц (американская норма для температуры нагрева трамвайных двигателей). По этим данным строится кривая, представляющая зависимость времени нагрева (до 75°) от силы



Фиг. 133.

проходившего по обмоткам двигателя тока. Полагая, что при действительной работе двигателя, вследствие усиленного охлаждения от движения вагона, двигатель, при тех же нагрузках и в течение тех же промежутков времени, нагреется всего до 55° Ц, перегревают (при испытании) двигатель еще на 20° сверх 75° и определяют промежутки времени, необходимые для перегрева. По этим данным строится кривая, устанавливающая зависимость между током и временем, перегрева двигателя

на 20° (сверх 75°). Построенные две кривые дают возможность, при сделанном предположении, найти для данной нагрузки то время, в течение которого испытуемый двигатель в условиях действительной работы нагреется не выше 75° Ц. Эти кривые, в совокупности с кривыми скорости и тяги, и решают вопрос, пригоден ли двигатель для того или иного графика движения.

На фиг. 133 изображены кривые, характеризующие работу двигателя Westinghouse'a на 150 лш. с., 500 вольт (передача  $20/31$  при диаметре колеса 910 мм). Кривые  $A_1$  и  $A_2$  дают время нагрева двигателя с закрытыми и открытыми крышками от 25° до 75° Ц. Кривые  $B_1$  и  $B_2$  дают время перегрева двигателя на 20° Ц. (сверх 75° Ц). Остальные кривые дают скорость в км/час

при напряжениях 500 и 550 вольт, силу тяги; полезную мощность и коэфф. пол. д. без передачи и с передачею. Продолжительная мощность двигателя с закрытыми крышками — 120 амп. при 300 вольтах и 115 амп. при 400 вольтах. Часовая же мощность двигателя (по кривой  $A_2$ ) — 264 амп. при 500 вольтах. Пользуясь кривою  $B_2$ , можно определить, какую перегрузку и в течение скольких минут двигатель может выдержать, не нагреваясь выше  $75^\circ \text{Ц}$ .

### 7. ИСПЫТАНИЕ НА НАГРЕВ МАШИН БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ.

В том случае, когда машина, подлежащая исследованию, настолько велика, что полная ее нагрузка в испытательной лаборатории, или на месте установки была бы невозможна, общую температуру можно приблизительно определить, исходя из того положения, что при установившемся режиме работы машины приток тепла равен рассеянию его в окружающий воздух. Действительно: количество тепла, освобождаемого динамомашинною, может быть выражено приблизительно формулою:

$$Q_1 = 0,24 (W_0 + J_a^2 R + i_m^2 R_m) \text{ кал.},$$

где  $W_0$  — потеря энергии на холостой ход машины;  $J_a$  — ток в якоре;  $i_m$  — ток в обмотке индукторов;  $R_a$  — сопротивление обмотки якоря;  $R_m$  — сопротивление обмотки индукторов.

Количество рассеиваемой машинною тепла, в свою очередь, может быть выражено формулою:

$$Q_2 = C \cdot T,$$

где  $T$  — разность температур машины и окружающего воздуха, а  $C$  — постоянная, характеризующая конструкцию и скорость вращения данной машины. Так как при установившемся режиме приток тепла равен рассеянию его, то

$$Q_1 = Q_2,$$

т.-е.

$$0,24 (W_0 + J_a^2 R_a + i_m^2 R_m) = C \cdot T.$$

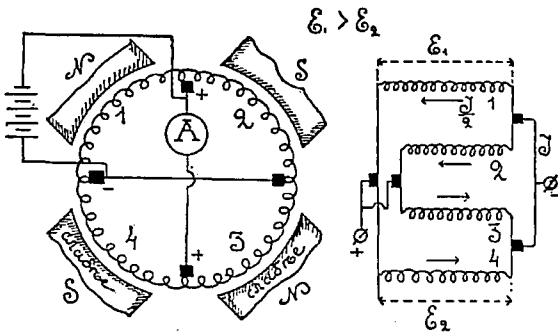
Из этого равенства легко вычислить  $T$ , если будет известна постоянная  $C$ . Для определения же этой постоянной поступают следующим образом: запускают испытуемую машину как двигатель — вхолостую, возбуждая ее при этом так, чтобы скорость вращения якоря была нормальна, и измеряют мощность  $W_0$ , расходуемую (на вращение) внешним источником тока. Затем, после довольно продолжительного промежутка времени, определяют разность температур машины и воздуха  $T_0$ . Тогда:

$$C = \frac{0,24 (W_0 + J_m^2 R_m)}{T_0}.$$

Приблизительную температуру индукторных катушек и якоря машин большой мощности иногда определяют по двум опытам — при холостой работе и при коротком замыкании. Машину заставляют работать один раз без нагрузки, но нормально возбужденною, и при установившемся теплообмене измеряют температуру индукторных катушек и якоря, другой раз — коротко-

замкнутою (при нормальном токе в якоре), и снова измеряют температуру тех же частей. Сложив соответственно наблюдаемые температуры, получают величины, которые немногим отличаются от действительных. Обычно эти температуры несколько выше действительных температур.

При испытании на нагрев машин значительной мощности можно пользоваться, кроме того, „методом самопитания“ машины (методом Мордея). Этот метод в принципе заключается в том, что машина вырабатываемый ею ток сама же и потребляет, т.-е. работает наполовину генератором, наполовину двигателем. Таким образом от постороннего источника такая машина требует незначительного количества энергии, необходимого только на покрытие механических и электрических потерь. Самопитание машины нетрудно осуществить искусственно, вызвав несимметрию магнитных полей индукторов таким образом, чтобы в одной половине обмотки якоря индуцировалась большая электродвижущая сила, нежели в другой половине. Тогда, очевидно, первая половина



Фиг. 134.

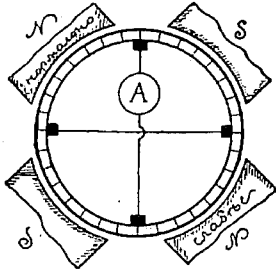
обмотки будет генераторно работать на вторую, а вторая будет развивать вращающее усилие. Если, например, у четырехполюсной машины с кольцевым якорем два соседние полюса возбуждать сильнее, нежели два другие полюса (фиг. 134), то параллельные ветви обмотки, находящиеся под первыми полюсами, развивая большую электродвижущую силу, будут работать

генераторно на параллельные ветви, лежащие под вторыми полюсами, которые в свою очередь, получая ток противоположный индуцируемой в них электродвижущей силе, будут давать с соответствующими индукторами вращающий момент. Якорь приводится во вращение или механически (особым двигателем), или же электрически. В последнем случае ток от внешнего источника подводится к якору так, как указано на фиг. 134. При якоре барабанного типа проволоки одной секции находятся под двумя соседними полюсами. Поэтому для получения самопитания необходимо один из однополярных полюсов возбуждать сильнее, другой — слабее; два полюса другой полярности возбуждаются одинаково (фиг. 135).<sup>1</sup>

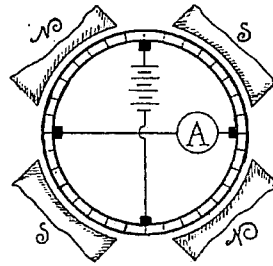
Следует заметить, что описанным способом самопитание можно получить только у машин с петлевой и кольцевой обмотками. К числу недостатков метода самопитания в применении к машинам с кольцевым якорем нужно отнести некоторую, хотя и небольшую, неуравновешенность магнитных притяжений между якорем и полюсами вследствие разного возбуждения последних. При барабанных якорах этой неуравновешенности не существует. Преимущество же этого метода нагрева перед методом нагрева при коротком замыкании — то, что возбуждение полюсов во время работы машины почти нормально, а по-

тому условия нагрева приближаются к тем, которые имеют место при нормальной работе машины.

Другой метод испытания мощных машин на нагрев, годный и для якорей с волновыми обмотками, заключается в том, что при нормально и одинаково возбужденных индукторах ток для нагрева якоря берется от постороннего



Фиг. 135.



Фиг. 136.

источника и так пропускается через однополярные щетки, чтобы он поровну распределялся на все параллельные ветви обмотки. Машина приводится при этом во вращение каким-либо небольшим двигателем. На фиг. 136 изображена схема включения на нагрев по последнему методу четырехполюсной машины. Недостаток описанного метода — тот, что он требует источника тока большой силы при низком напряжении.

## ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ.

### ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ДИНАМОМАШИН.

Еще в недавнее время суждение о качестве изоляции динамомашинь основывалось на величине омического сопротивления ее, измеренного при напряжении, не превосходящем нормального напряжения машины. В настоящее время суждение о качестве изоляции машины основывается уже не на величине омического сопротивления, а на степени ее „стойкости“, т.-е. способности выдерживать в течение некоторого времени определенное напряжение, значительно превосходящее нормальное напряжение машины. Дело в том, что омическое сопротивление изоляции, вообще говоря, величина весьма изменчивая и зависит в большой степени от напряжения, при котором оно определяется, и от температуры изоляции во время измерения. С повышением напряжения и температуры омическое сопротивление изоляции быстро уменьшается, и часто на довольно большую величину. Так, наир., сопротивление изоляции одной динамомашинь, измеренное при нормальном напряжении до пуска ее в ход, т.-е. в холодном состоянии, было 3,48 мегома; после же шести часов работы машинь при полной нагрузке сопротивление той же самой изоляции стало 0,252 мегома, т.-е. почти в 14 раз менее. Может случиться, далее, что омическое сопротивление изоляции высоковольтной машинь, измеренное при низком напряжении, будет достаточно велико, тогда как та же самая изоляция при нормальном рабочем напряжении машинь может быть легко пробита.

Конечно, между омическим сопротивлением изоляции и ее стойкостью есть некоторая зависимость: чем меньше сопротивление изоляции, тем меньше и ее стойкость на пробивание. Но определенного, выраженного формулой или кривой, общего соотношения между этими двумя факторами не существует. Поэтому при приемках рекомендуется вести испытания изоляции динамомашинь только в отношении ее стойкости на пробивание, и непременно при температуре, соответствующей нормальному режиму работы машинь.

Но так как измерение сопротивления изоляции дает часто полезные указания о состоянии последней в отношении присутствия в ней грубых дефектов, то это измерение обычно сопровождает каждое испытание динамомашинь.

## 1. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЧАСТЕЙ ДИНАМОМАШИНЫ.

У динамомашин постоянного тока сопротивление изоляции измеряется: 1) между обмоткой якоря и валом или корпусом машины, 2) между обмоткой возбуждения и корпусом машины, 3) между щеточными траверзами и корпусом, 4) между зажимами и корпусом. Само измерение сопротивления изоляции производится помощью вольтметра с большим и известным сопротивлением (см. гл. I, § 4 е). В качестве источника напряжения берется хорошо изолированная от земли аккумуляторная батарея. Можно, конечно, пользоваться и напряжением другой машины или напряжением сети постоянного тока, но в этом случае нужно быть уверенным, что названные источники напряжения сами хорошо изолированы от земли. Если же этого нет, то получающиеся результаты могут быть мало удовлетворительными. Чаще всего сопротивление изоляции измеряется помощью „меггера“, прибора, совмещающего в себе и измерительный орган и источник напряжения, хорошо изолированный от земли (см. гл. I, § 4 е). Что касается величины сопротивления изоляции машин, то согласно нормам А. И. И. Э.<sup>1</sup> она не должна быть менее получаемой по формуле:

сопротивление изоляции в мегомах =  $\frac{\text{напряжение на зажимах машины в вольтах}}{\text{нормальная мощность в килов.} \cdot 1000}$

Рекомендуется при этом измерение изоляции производить по возможности постоянным током при напряжении 500 вольт. Во всяком случае следует указать, при каком напряжении измерялось сопротивление изоляции, ибо это сопротивление меняется с изменением напряжения.

Практически считается достаточным сопротивление изоляции машин в один мегом.

## 2. ИСПЫТАНИЕ СТОЙКОСТИ ИЗОЛЯЦИИ.

Испытание стойкости изоляции на пробивание при действии высокого напряжения производится как во время изготовления отдельных частей машины, так и тотчас же после сборки их на самом заводе или на месте установки. После же того, как динамомашин проработала некоторое, довольно продолжительное время, производить повторные испытания стойкости изоляции уже опасно, так как постепенно осаждающаяся на изоляцию пыль, уменьшая ее поверхностное сопротивление, при высоком пробном напряжении может послужить причиной появления искры и, следовательно, порчи изоляции, несмотря на ее хотя бы прекрасное качество. В то время как остальные испытания возможны и желательны и после продолжительной службы динамомашин, испытания стойкости изоляции рекомендуется не производить без особой на то нужды даже у машин, вышедших из ремонта.

Испытание стойкости изоляции машин важно главным образом потому, что оно дает возможность не только судить о доброкачественности изоляции, но и найти те места, где изоляция попорчена или недостаточна. Действительно, если изоляция в каком-либо месте неудовлетворительна, то под действием высокого напряжения через нее пройдет небольшой ток, который, несмотря

<sup>1</sup> Американского Института Инженеров Электриков.

на свою незначительную величину, но благодаря все же большому сопротивлению изоляции, нагреет ее в этом месте и тем самым уменьшит омическое сопротивление. Непосредственным следствием этого явится увеличение силы тока, а потому и большое нагревание изоляции, что, в свою очередь, уменьшит ее омическое сопротивление, и т. д. — вплоть до того момента, пока изоляция в данном месте не сгорит совершенно, а между изолированными металлическими частями не проскочит электрическая искра.

Время, в течение которого происходит этот процесс разрушения, — если это разрушение, вообще говоря, возможно для данной изоляции при данном напряжении, — всецело зависит от качества изоляции. А потому при суждении о последнем необходимо установить тот промежуток времени, в течение которого изоляция должна находиться под действием пробного напряжения.

Согласно нормам С. Г. Э. и А. И. И. Э. время действия пробного напряжения на изоляцию равно одной минуте, при чем пробное напряжение, будучи приложено к изоляции, быстро доводится до надлежащего его значения. Пробное напряжение берется от источника переменного тока с частотой 50 периодов и с кривою напряжения практически синусоидальной. Величина пробного напряжения (действующего значения) значительно выше рабочего напряжения машины; это обстоятельство объясняется, во-первых, тем, что при работе машины ее напряжение по той или иной причине (напр., от увеличения числа оборотов у генераторов) может повыситься, и, во-вторых, тем, что данное испытание устанавливает до известной степени прочность изоляции.

Т А Б Л И Ц А.

Нормы С. Г. Э.	Пробное напряжение		Нормы А. И. И. Э.	Пробное напряжение	
	Наиб.	Наим.			
Машины с мощностью меньшей 500 ватт . . . . .	3V	2V + 500	Машины весьма малой мощности с напряжением до 25 вольт . . .	500	
Машины с мощностью большей 500 ватт и с напряжением до 5000 вольт . . . . .	3V	2V + 1000	Машины мощностью до 600 ватт или 0,5 HP с напряжением ниже 275 до 25 вольт .	2V + 1000	

В этой таблице  $V$  — нормальное напряжение машины; для обмоток возбуждения  $V$  — напряжение, приложенное к обмотке. Если машина работает с заземленным полюсом, то под  $V$  подразумевается напряжение, равное 1,1 нормального напряжения машины. В том случае, когда испытание длится больше одной минуты, величина пробного напряжения уменьшается. Пробное напряжение, вообще говоря, не должно быть ниже 100 вольт, хотя бы напряжение испытуемой машины было мало, напр., 5—10 вольт.

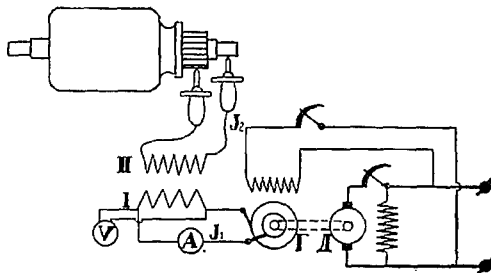


На фиг. 137 представлена схема испытания изоляции коллектора с применением переменного тока, трансформируемого обычным трансформатором: *Д* — двигатель постоянного тока, *Г* — генератор переменного тока малой мощности, *I* и *II* — первичная и вторичная обмотки трансформатора. Изменение напряжения вторичной цепи (пробного напряжения) в приведенном устройстве достигается или изменением возбуждения генератора переменного тока, или же изменением возбуждения двигателя *Д*, т.е. изменением его скорости.

В том случае, когда испытание изоляции производится на месте установки машины, где переменный ток отсутствует, а напряжение имеющегося постоянного тока для данного испытания недостаточно, прибегают или к последовательному соединению двух машин, или же к вращающимся трансформаторам — повысителям напряжения постоянного тока. При испытании изоляции машины на месте

установки следует ее предварительно высушить, так как за время транспорта она могла несколько отсыреть. Высушивание машины можно произвести струей теплого воздуха, или нагревом во время работы при коротком замыкании и низком напряжении.

Кроме испытания изоляции машины на стойкость относительно корпуса и, следовательно, земли, нормы С. Г. Э. рекомендуют производить испытание изоляции между обмотками, так как опыт показал, что часто изоляция машины относительно корпуса хороша, тем не менее при незначительном повышении нормального напряжения между витками получается короткое. Изоляция между витками испытывается при работе машины вхолостую путем повышения приложенного к ней или развиваемого ею напряжения до 1,3 нормального, при чем такое повышенное напряжение машина должна выдержать 3 минуты.



Фиг. 137.

## ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ.

### ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТИРОВАНИЯ.

Качество коммутирования в динамомашинах постоянного тока имеет весьма важное значение. Помимо того, что при неудовлетворительном коммутировании благодаря искрению теряется некоторая доля энергии, идущая на нагревание коллектора, сам коллектор быстро изнашивается, и динамомашина через самый короткий срок становится негодною. Поэтому при всяком испытании динамомашин необходимо обращать особое внимание на коммутирование, во всяком случае не меньшее, нежели на нагревание и на изоляцию. Следует заметить, однако, что машины постоянного тока с неудовлетворительным коммутированием при современном состоянии техники динамостроения встречаются все реже и реже и что замеченное при испытании новой машины небольшое искрение часто вызывается случайными обстоятельствами, легко устранимыми простыми средствами.

Причины неудовлетворительного коммутирования — искрения под щетками — могут быть весьма разнообразны. Одни из этих причин лежат в чисто механических недочетах как самого коллектора, так и щеткодержателей, другие — в неудовлетворительной сборке частей машины и, наконец, третьи — самые главные — в плохом качестве внутренних свойств машины. Причины искрения, обуславливаемые механическими недостатками щеток и щеткодержателей, суть: 1) дрожание щеток, 2) непрочное закрепление угля в щеткодержателе, 3) неплотное соприкосновение щеток с коллектором, 4) вибрация щеткодержателя, 5) слишком большое давление щеток на коллектор, 6) неудовлетворительное соединение щеток между собою, 7) медная пыль на угле, 8) плохое качество угля.

Причины искрения, вызываемые механическим несовершенством коллектора, следующие: 1) возвышение пластин коллектора над изоляцией, расположенной между ними, 2) возвышение изоляции над пластинами, 3) овальная форма коллектора, 4) вибрация коллектора, 5) загрязненная контактная поверхность, 6) короткое соединение между пластинами, 7) неодинаковая толщина изоляционных прокладок между коллекторными пластинами.

Причины искрения, приистекающие от недочетов, допущенных при сборке частей машины, суть: 1) неправильная установка щеток, 2) неправильная установка полюсов, 3) неодинаковое междужелезное пространство под разными полюсами, 4) несимметрия обмотки якоря, 5) короткое в обмотке якоря, 6) разрыв в обмотке якоря, 2) неправильная полярность полюсов, 8) короткое

в индукторных катушках, 9) плохой контакт между щеткодержателем и пальцем (траверзой), на котором он насажен.

Наконец, причины искрения, лежащие в несовершенстве внутренних качеств машины, могут быть следующие: 1) слишком большая реактивная электродвижущая сила (самоиндукции и взаимоиנדукции) короткозамкнутой секции, т.-е. той электродвижущей силы, которая индуктируется в секции в момент прохождения ее под щеткою (когда секция, следовательно, замыкается коротко, 2) слишком большая величина напряжения между соседними коллекторными пластинами, 3) сильное искажение поля индукторов полем якоря, другими словами, большая реакция якоря, 4) значительная пульсация магнитного потока, происходящая от чересчур широких пазов, 5) большая плотность тока на щетках, 6) слишком широкие щетки, 7) слишком узкие щетки, 8) большая проводимость щеток.

Из одного приведенного перечня возможных причин искрения уже видно, насколько трудно иногда найти истинную причину его, и что машина, работавшая безукоризненно при первом испытании на заводе, может искрить после установки на месте ее назначения или после работы в течение некоторого промежутка времени.

Прежде чем приступить к исследованию машины в отношении коммутирования, необходимо по возможности устранить причины, содействующие искрению щеток. В первую очередь необходимо тщательно осмотреть весь щеточный аппарат, начиная со щетки и кончая щеточной звездой. Щетки должны быть хорошо притерты, с надлежащим нажином прилегать к коллектору, должны быть так насажены, чтобы сбегающие их концы были расположены вдоль оси коллектора по прямой линии и чтобы расстояния между группами щеток соседних пальцев были равны. Об установке щеток см. гл. II, § 2.

Исследование коммутирования ведется двояко, в зависимости от требований, предъявляемых к нему. При промышленных испытаниях, напр., при приемке машин, необходимо установить лишь один факт: будет ли искрение при данной нагрузке (обычно нормальной) и при определенном положении щеток, или нет, и можно ли вообще найти такое положение щеток, при котором искрение не замечается при изменении нагрузки от нуля до полной и даже до перегрузки на 15—20%. (Нормы С. Г. Э. к современным машинам предъявляют требование, чтобы работа их была практически без искрения при любой нагрузке в пределах от холостой до нормальной.) Часто, однако, от испытаний на коммутирование требуют больших гарантий в отношении работы машины без искрения, или требуют более подробного исследования самого явления коммутирования. Первые испытания коммутирования несложны, вторые испытания могут быть произведены лишь при наличии специальных приспособлений и основательного знания явлений коммутирования.

## 1. ПРОМЫШЛЕННОЕ ИСПЫТАНИЕ КОММУТИРОВАНИЯ.

Промышленное испытание коммутирования осуществляется одновременно с испытанием машины на продолжительность нагрузки. С этой целью заста-

вляют машину работать довольно продолжительное время холостую для того, чтобы щетки могли притереться; при этом щетки ставятся в положение наименьшего искрения. Давши затем машине нормальную нагрузку, перемещают щетки сначала вперед (по вращению), а потом назад до положения, при котором они еще не искрят. Поставив наконец щетки в среднее положение между их положениями при холостой работе и при нормальной нагрузке, оставляют машину работать в течение периода времени, достаточного для того, чтобы она нормально нагрелась, и временами наблюдают внимательно за щетками. Машины, предназначенные для реверсивной работы, испытываются, конечно, со щетками на нейтрали.

В том случае, когда испытывается генератор и мощность его настолько велика, что нагрузить его было бы делом затруднительным, для исследования коммутирования можно воспользоваться методом короткого замыкания, впервые примененным с успехом на заводе Эрликона. Этот метод очень прост и заключается в следующем: располагают щетки на геометрической нейтрали, замкнув генератор на короткое через амперметр, при нормальной скорости так возбуждают индуктора, чтобы в якоре циркулировал нормальный ток. Если коммутирование при этом происходит без искрения, то можно надеяться, что и в обычных условиях работы генератора, при том же положении щеток, оно будет безукоризненно. Следует заметить, однако, что не все генераторы могут хорошо коммутировать коротко-замкнутыми при щетках, расположенных на нейтрали, и тем не менее эти генераторы нельзя еще назвать совершенно негодными в отношении коммутирования. На факт безыскрового коммутирования коротко-замкнутого генератора со щетками, помещенными на нейтрали, нужно смотреть как на лучшее обеспечение в отсутствии искрения при обычной работе генератора, когда могут появиться факторы, отягчающие коммутирование.

Существует другой метод исследования коммутирования генератора по короткому замыканию; он состоит в следующем. Запускают предварительно генератор холостую и устанавливают щетки так, чтобы они не искрили. Затем выключают возбуждение и при том же положении щеток замыкают зажимы генератора накоротко через амперметр и постепенно возбуждают его снова до такого тока в якоре, при котором начнут уже появляться искры на сбегавшем конце щеток (так называется конец щетки, сбегавший с коллекторных пластин). Этот ток может служить критерием при суждении о качестве генератора в отношении коммутирования. От правильно спроектированного генератора можно требовать, чтобы он при указанных условиях работы не искрил при токе, равном половине нормального тока. От машины, предназначенной для реверсивной работы, можно требовать, чтобы она не искрила при коротком замыкании с током, равным или почти равным нормальному току.

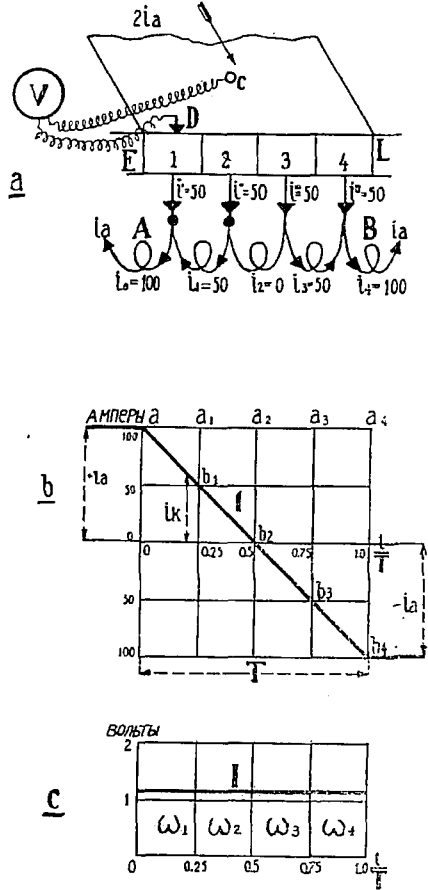
Согласно нормам С. Г. Э., при хорошем состоянии коллектора и хорошо притертых щетках машина постоянного тока должна работать практически без искр с неизменным положением щеток при нагрузках, находящихся в пределах

0,25 до 1,0 нормальной; при нагрузках, меняющихся в других пределах, щетки могут быть переставляемы. Считается, что машина работает практически без искр, если после продолжительной работы коллектор и щетки будут находиться в состоянии, пригодном для дальнейшей эксплуатации машины.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТИРОВАНИЯ.

Подробное исследование коммутирования представляет собою, как было уже указано, сложную задачу и требует соответствующей обстановки и подготовки. В дальнейшем будут описаны лишь простейшие способы исследования коммутирования, доступные и при скромных экспериментальных средствах. Для того чтобы способы были ясны, необходимо вкратце описать явление коммутирования.

При прохождении каждой секции обмотки якоря под щеткою ток, в ней циркулирующий, меняет свое направление, т.-е. коммутруется. На фиг. 138 верхний чертеж изображает отрицательную щетку с расположенными под нею секциями, при чем предполагается, что коллектор перемещается вправо. В секции *A*, подходящей под щетку, ток идет, как видно из чертежа, справа налево; в той же секции, когда она через промежуток времени *T*, называемый периодом коммутирования, будет выходить из-под щетки и займет положение секции *B*, в ней ток пойдет в обратном направлении, т.-е. слева направо. Таким образом, за время прохождения секции *A* под щеткою ток в ней действительно меняет свое направление, например, от  $+i_a$  до  $-i_a$ , где  $i_a$  — ток в одной параллельной ветви. Если бы в секции в период коммутирования *T* не было никаких электродвижущих сил, то убывание тока в ней от  $+i_a$  до нуля и нарастание тока от нуля до  $-i_a$  происходило бы равномерно, т.-е. скорость изменения этого тока  $\Delta i_k / \Delta t$ , где  $\Delta i_k$  — изменение тока в секции за время  $\Delta t$ , была бы постоянною. Графически изменение тока в коротко-замкнутой секции  $i_k$

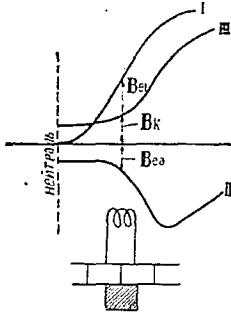


Фиг. 138.

в зависимости от времени нахождения ее под щеткою можно было бы изобразить прямою (на фиг. 138b прямою  $ab_4$ ). Такое коммутирование характеризуется как прямолинейное; оно является практически наилучшим, так как при нем плотность тока на всей контактной поверхности щетки постоянна и ток снимается с коллектора так, как будто он снимается со сплошного кольца. В равенстве плотностей на всей дуге щетки легко убедиться, рассматривая

фиг. 138а, на которой указаны токи в секции в разные моменты и токи в соединительных проводниках  $i'$ ,  $i''$ ,  $i'''$ ,  $i^{IV}$ . В действительности, однако, в коммутируемой секции имеют место следующие электродвижущие силы: 1) электродв. сила  $e_s'$ , индуцируемая магнитным полем самой секции (поле самоиндукции); это поле за время коммутирования меняет свое направление, соответственно изменению тока от  $+i_a$  до  $-i_a$ , 2) электродв. сила  $e_s''$ , индуцируемая магнитным полем рядом лежащих секций, находящихся одновременно в периоде коммутирования (поле взаимоиндукции), 3) электродв. сила  $e_a$ , индуцируемая от пересечения (при вращении) секцией поля якоря, 4) электродв. сила  $e_i$ , индуцируемая от пересечения секцией поля индукторов. Коммутирование будет только тогда прямолинейным, когда в каждый момент времени за период коммутирования сумма всех электродвижущих сил  $e_s'$ ,  $e_s''$ ,  $e_a$  и  $e_i$  равна нулю. Обозначив через  $e_k$  алгебраическую сумму электродвижущих сил  $e_i$  и  $e_a$  (ее иногда называют электродвижущей силой коммутирования) и через  $e_s$  сумму электродвижущих сил самоиндукции  $e_s'$  и взаимоиндукции  $e_s''$  (эту электродв. силу можно назвать реактивной), для прямолинейного коммутирования имеем условие:  $e_s = e_k$ .

Величина реактивной электродвижущей силы  $e_s$  зависит от величин коэффициентов самоиндукции и взаимоиндукции коротко-замкнутых секций; при постоянстве их она пропорциональна току в якоре. Электродвижущая сила коммутирования  $e_k$  пропорциональна индукции того действительного магнитного поля, которое имеется в зоне коммутирования и которое является равнодействующим полей индукторов и якоря. Если, напр.,  $B_{ci}$  — индукция в зоне коммутирования поля якоря (фиг. 139), то электродвижущая сила  $e_k$  пропорциональна индукции  $B_k = B_{ci} - B_{ca}$ . Индукция  $B_{ca}$  почти пропорциональна току в якоре; индукция же  $B_{ci}$  при неизменном возбуждении (напр., у шунт-машины) почти постоянна, т.-е. не зависит от тока якоря. Следовательно, если условие прямолинейного коммутирования выполнялось бы при определенном положении щеток для какой-либо одной нагрузки,

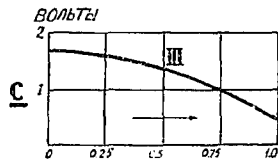
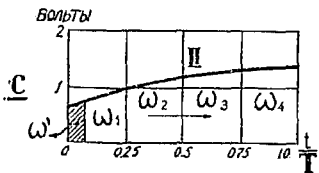
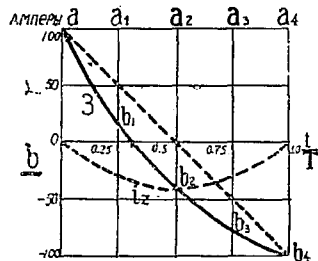
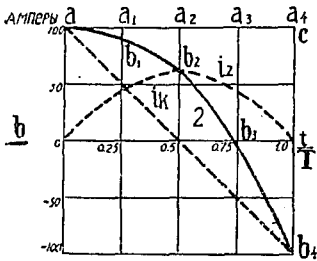
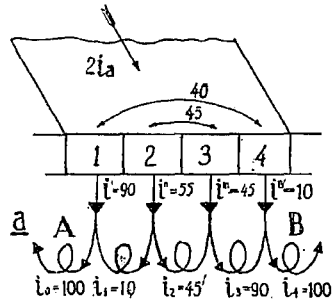
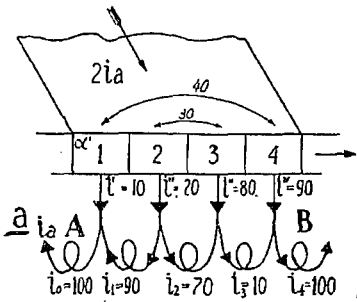


Фиг. 139.

то для другой нагрузки оно уже не будет иметь места. Чтобы и при новой нагрузке условие прямолинейного коммутирования выполнялось, необходимо сдвинуть щетки: при увеличении нагрузки — у генераторов — по направлению вращения якоря, у двигателей — против вращения якоря. Само собою разумеется, что практически весьма трудно устанавливать щетки на наилучшее коммутирование для каждой нагрузки. Обычно щетки устанавливаются на лучшее коммутирование для одного какого-либо режима работы машины, например, для полной нагрузки или для половинной нагрузки, и уже не смещаются при других режимах работы, если, конечно, нет сильного искрения.

Отсутствие равенства  $e_s = e_k$  ведет к коммутированию, при котором ток в коротко-замкнутой секции не меняется уже по прямой, а меняется по кривой той или иной формы. На фиг. 138, 140, 141 изображены кривые изменения

тока в секции при разных условиях коммутирования. Кривая 1 фиг. 138b отвечает, как уже было указано, прямолинейному коммутированию, когда электродвижущая сила коммутирования  $e_k$  в каждый момент времени уничтожает реактивную электродвижущую силу секции  $e_s$ . Кривая 2 фиг. 140b отвечает замедленному коммутированию, когда электродвижущая сила коммутирования слаба по сравнению с реактивной электродвижущей силой: ток в первые моменты медленно убывает, а в конце коммутирования падает до нуля и затем



Фиг. 140.

Фиг. 141.

быстро возрастает. Кривая 3 фиг. 141b отвечает случаю ускоренного коммутирования, когда электродвижущая сила коммутирования преобладает над реактивной электродвижущей силой: ток в секции в первые моменты быстро падает до нуля, а затем медленно нарастает в конце коммутирования. Кривая 4 фиг. 142a отвечает случаю замедленного коммутирования, при котором ток в коротко-замкнутой секции в первые моменты коммутирования не только не убывает, а нарастает и превосходит ток в секции до коммутирования. Кривая 5 фиг. 143 отвечает случаю ускоренного коммутирования, при котором ток

в коротко-замкнутой секции в последние моменты коммутирования превосходит ток в секции до коммутирования.

На верхних чертежах фиг. 140 и 141 даны значения токов  $i_0, i_1', i_2 \dots$  в секциях, находящихся под щеткою, которые, очевидно, равны токам в одной секции, например, в секции  $A$ , когда она, продвигаясь под щеткою, будет занимать последовательно положения изображенных на фиг. 140 и 141 секций. На тех же чертежах приведены значения токов  $i', i'', i''' \dots$  в соединительных проводах, имеющих между коллекторными пластинами и секциями.

Сравнивая названные выше токи с токами прямолинейного коммутирования (фиг. 138b), легко усмотреть, что распределение токов в секциях и соединительных проводах при криволинейном коммутировании получается путем наложения на токи прямолинейного коммутирования добавочного тока  $i_2$ , циркулирующего поперек щеток (см. верхние чертежи фиг. 140 и 141). Так как токи в секциях равны последовательно току в одной секции, например, секции  $A$ , когда она занимает их места под щеткою, то можно сказать, что при замедленном и ускоренном коммутировании в коротко-замкнутой секции, кроме тока прямолинейного коммутирования, циркулирует добавочный ток  $i_2$ , меняющийся во времени по пунктирным кривым (см. средний чертеж фиг. 140 и 141), полученным путем вычитания из ординат кривых 2 и 3 ординат прямых  $ab_1$ . Из фиг. 140 и 141 ясно видно, что добавочный ток, уменьшая плотность тока под щеткою на одном ее конце, увеличивает плотность тока на другом ее конце. И если эта плотность тока превзойдет некоторый предел, то материал щетки будет накаливаться и крошиться, появятся желтокрасные искры. Одновременно с этими искрами могут появиться искры зеленоватого или фиолетового цвета, именно в том случае, когда сумма электродвижущих сил в коротко-замкнутой секции не равна нулю в момент оставления секцией щетки, ибо в этот момент происходит разрыв цепи коротко-замкнутой секции и запасенная в ней электромагнитная энергия освобождается в виде искры.

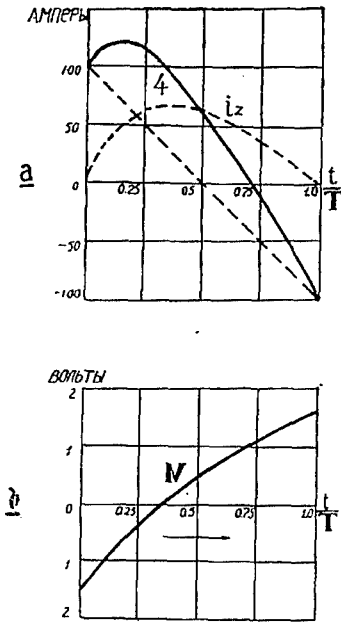
Кривые изменения тока в коротко-замкнутой щеткою секции можно получить лишь в лабораторной обстановке и при наличии осциллографа. С этою целью, разрезав в удобном месте секцию, впаивают в нее небольшое (около 0,1 ома) сопротивление и места пайки тонкими проводниками соединяют с положенными на якорь кольцами. Если теперь при посредстве щеток соединить с кольцами шлейф осциллографа, то последний под действием небольшого напряжения, имеющегося на вставленном в секцию сопротивлении, изобразит изменение тока в секции в момент коммутирования.

При практическом исследовании коммутирования можно ограничиться приближенным построением кривых тока в секции при коммутировании, пользуясь так называемыми потенциальными кривыми, получаемыми без затруднений при наличии довольно простых приспособлений.

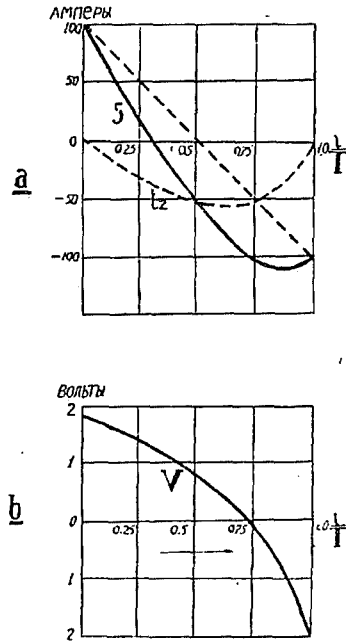
Потенциальная кривая под щеткою иллюстрирует распределение вдоль контактной дуги щетки разности потенциалов или напряжения между щеткою и точками части коллектора, находящейся под щеткою, например, на фиг. 138a между точкою  $C$  щетки и точками коллектора по длине контактной дуги  $EL$ .



Эти разности потенциалов при неизменном удельном сопротивлении контакта щетки пропорциональны, очевидно, плотностям тока, имеющимся под щеткою. При прямолинейном коммутировании, когда плотность тока на контактной поверхности щетки одна и та же, разности потенциалов между щеткою и точками части коллектора, находящейся под щеткою, одинаковы. След., распределение разности потенциалов или напряжения между щеткой и коллектором под щеткою изобразится прямою. Так как каждая коллекторная пластина при его вращении проходит по всей контактной дуге щетки, то кривая распределения напряжения между щеткою и частью коллектора, находящейся под щеткою, будет совершенно подобна кривой изменения напряжения между щеткою и какою-



Фиг. 142.



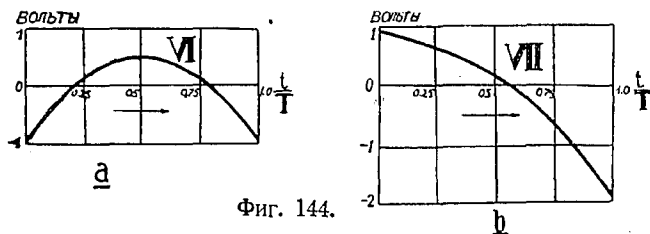
Фиг. 143.

нибудь одною коллекторною пластиною, например, пластиною № 1 на фиг. 138 а, за время коммутирования соединенной с нею секции (на фиг. 138 а секции А). Подобные кривые изображены на нижних чертежах фиг. 138, 140 — 144.

Кривая I фиг. 138 с отвечает прямолинейному коммутированию; кривая II фиг. 140 с — замедленному коммутированию; кривая III фиг. 141 с — ускоренному коммутированию; кривая IV фиг. 142 б — замедленному коммутированию с превышением тока в секции в первые моменты коммутирования над током в секции до коммутирования; кривая V фиг. 143 б — ускоренному коммутированию с превышением тока в секции в последние моменты коммутирования над током в секции до коммутирования. На фиг. 144 а представлена характерная потенциальная кривая, имеющая место при холостой работе машины со щетками на нейтрали; в этом случае коммутирование — замедленное в первые моменты

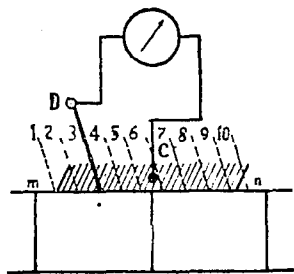
и ускоренное в последние моменты коммутирования. Наконец, на фиг. 144b изображена потенциальная кривая, имеющая место при холостой работе машины со щетками, смещенными на положение хорошего коммутирования при половине нагрузки.

Как видно из перечисленных фигур, ординаты кривых I, II, III имеют положительный знак; это значит, что ток по всей контактной дуге идет от щетки к коллекторным пластинам (см. верхние чертежи тех же фигур). Орди-



Фиг. 144.

наты же кривых IV, V, VI и VII имеют и положительный и отрицательный знаки; это значит, что в некоторых точках контактной дуги ток идет от щетки к коллекторным пластинам (положительные ординаты), в других же точках той же контактной дуги ток идет от коллекторных пластин к щетке. Последнего характера потенциальные кривые имеют место в тех случаях, когда дополнительный ток  $i_2$  превосходит ток, имеющийся в соединительных проводах при прямолинейном коммутировании (см. фиг. 142 и 143).



Фиг. 145.

Практически потенциальные кривые снимаются следующим образом. Берут точный маловольтный вольтметр и соединяют его зажимы (лучше через переключатель) — один со щеткою машины, а другой с вспомогательной щеточкой *D* (фиг. 145), имеющей возможность перемещаться по окружности коллектора в пределах контактной дуги щетки. Отмечая положения щеточки и показания вольтметра, легко затем

построить потенциальную кривую. Следует заметить, что получаемые при этом напряжения между щеткою и коллектором суть средние значения напряжений за период времени, когда через какую-либо точку контактной дуги щетки проходит одна коллекторная пластина.

ТАБЛИЦА.

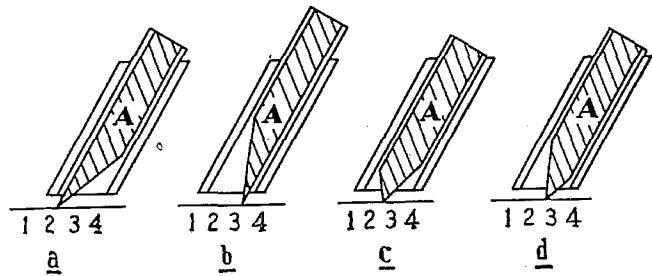
№	$\Delta V$	$V$	$J$
		пост.	пост.

В том случае, когда встречаются затруднения при прилаживании к щеточным траверзам направляющей для перемещения вспомогательной щеточки *D* (фиг. 145) и щетки относительно нешироки, можно ограничиться для построе-

ния потенциальной кривой лишь четырьмя отсчетами и произвести их при помощи следующего приспособления. У одной из главных щеток  $A$  конец срезывается сначала так, как указано на фиг. 146 а, а потом так, как указано на фиг. 146 с; затем эта щетка обвертывается тонким слоем бумаги и вставляется поочередно в щеткодержатель так, как указано на фиг. 146 а, в, с, д. Вольтметр присоединяется одним зажимом к щетке  $A$ , а другим — к соседней щетке того же щеточного пальца.

При испытании машины настолько большой мощности, что нагрузить искусственно ее не представляется возможным, потенциальные кривые получаются по опытам холостой работы и короткого замыкания. Сначала снимается потенциальная диаграмма под щетками при холостой работе, а затем — при коротком замыкании при том или ином токе. Сложением ординат получается потенциальная кривая, которая относительно мало отличается от потенциальной кривой, имеющей место

при нормальных условиях работы машины с тем же током в якоре. Хотя потенциальные кривые сами по себе могут уже дать представление о характере коммутирования, но, пользуясь ими, можно построить и при-



Фиг. 146.

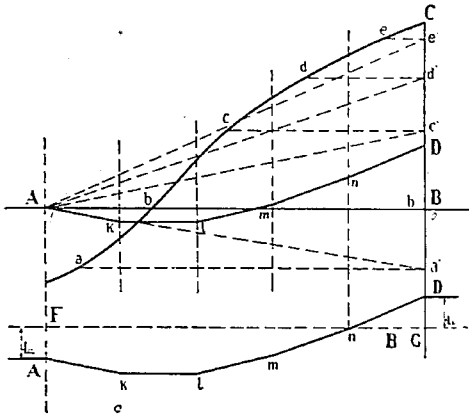
ближенные кривые изменения тока в коротко-замкнутой секции за период коммутирования. Это построение основывается на том обстоятельстве, что кривые тока в коротко-замкнутой секции суть интегральные кривые потенциальных кривых.

В самом деле, применяя закон Кирхгофа к разветвлениям тока в коротко-замкнутых секциях (фиг. 138 а), легко получить следующие равенства:

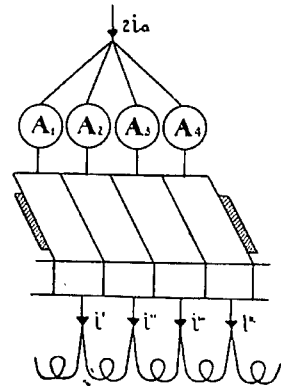
$$i' = i_a - i_1, \quad i' + i'' = i_a - i_2, \quad i' + i'' + i''' = i_a - i_3 \text{ и т. д.},$$

т.-е. ток, поступающий в секции через контактную поверхность от набегающего конца до какой-либо точки контактной дуги щетки, равен разности тока  $i_a$  и тока в секции, находящейся под этою точкою; на фиг. 138 б этот последний ток для разных секций равен ординатам  $a_1 b_1$ ,  $a_2 b_2$  и т. д. С другой стороны, тот же ток пропорционален площадке кривой  $II$  (фиг. 138 с) от точки 0 до какой-либо точки контактной дуги щетки. Например, площадка  $\omega_1 = \omega' + \omega'' + \omega''' + \dots$ , где каждая элементарная площадка равна  $\Delta \cdot \alpha \cdot I_k$ , если  $\alpha \cdot I_k$  — контактная поверхность полоски щетки шириною  $\alpha$ , а  $\Delta$  — плотность тока на этой полоске. Таким образом, ординаты кривой 2, например,  $a_1 b_1$ ,  $a_2 b_2 \dots$  и т. д. представляют площадки кривой  $II$ , взятые от начала координат 0 до соответствующей точки кривой 2. Другими словами, кривая 2 является интегральной по отношению к кривой  $II$ . Исходя из этого, построение кривой тока по потенциальной кривой производится следующим образом (фиг. 147): проводят ряд вер-

тикальных линий, разбивающих потенциальную кривую на отдельные участки; точки, находящиеся посередине каждого участка,  $a, b, c, \dots$ , проектируют на вертикаль, соответствующую концу коммутирования, т.е. на линию  $BC$ , и полученные при этом точки  $a', b', c', \dots$  соединяют с точкою  $A$ , отвечающей началу коммутирования. Затем, начиная с точки  $A$ , проводят в пределах данного участка отрезки, параллельные соответствующим этим участкам лучам  $Aa', Ab'$  и т. д., например,  $Ak \parallel Aa', kl \parallel Ab', lm \parallel Ac'$  и т. д. Поделив, далее,  $AD$  пополам и проведя горизонталь  $FG$ , находят искомую кривую изменения тока в коротко-замкнутой секции, при чем  $DG$  и  $AF$  отвечают току  $i_0$ , циркулирующему в секции до и после момента короткого замыкания (этим и опреаляется масштаб ординат для всей кривой).



Фиг. 147.



Фиг. 148.

Не входя в оценку того обстоятельства, поскольку получаемые таким образом кривые изменения тока в коротко-замкнутой секции согласуются с действительными (см. Arnold Gl. M. B. I), следует только заметить, что для петлевой обмотки эта согласованность большая, нежели для волновой обмотки. Так как в данном случае речь идет о неполном исследовании коммутирования, то и те результаты, которые получаются при снятии потенциальных кривых, составляют уже достаточную ценность.

Хорошей иллюстрацией коммутирования может служить нижеследующий опыт (см. схему фиг. 148). Берут щетку, состоящую из нескольких слоев, изолированных друг от друга и от щеточной обоймы тонкими прокладками из изоляции, и соединяют эти слои через амперметры со щеточным пальцем (лучше приспособить переключение одного и того же амперметра). Нагрузив машину так, чтобы на щетку приходился ее нормальный ток, измеряют токи во всех соединительных проводах. Эти токи, поделенные на контактные поверхности, дадут плотности тока на последних. Меняя положение щеток, можно изучить влияние этого положения на распределение плотности тока на контактной поверхности щетки. Следует заметить, что условия прохождения тока при слоистой щетке несколько отличны, чем при сплошной.

## ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ.

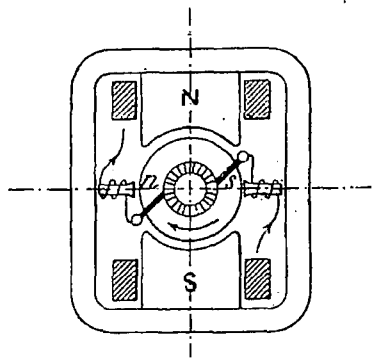
### ИСПЫТАНИЕ ДИНАМОМАШИН С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ПОЛЮСАМИ.

#### 1. ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЯ МАШИН С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ПОЛЮСАМИ.

При описании явлений, имеющих место при коммутировании, было указано, что наиболее благоприятные условия коммутирования будут тогда, когда ток в коротко-замкнутой секции меняется по прямой, и что у обычных машин выполнение этого условия связано с перемещением щеток. Однако во многих случаях перемещение щеток весьма неудобно, да и не всегда возможно. Кроме того, прямолинейное коммутирование требует, чтобы индукция поля индукторов, подобно индукции поля якоря, в зоне коммутирования по окружности якоря была почти постоянна, тогда как в обычных машинах она здесь-то сильно и меняется. По этим причинам машины с неподвижными щетками и такие машины, у которых коммутирование находится в неблагоприятных условиях, например, машины с большой скоростью вращения (турбогенераторы), с очень большой и внезапной перегрузкой (прокатные и трамвайные двигатели), с широким регулированием напряжения (вольтодобавочные машины) или скорости (шунто-регулируемые двигатели) и т. д., снабжаются дополнительными полюсами.

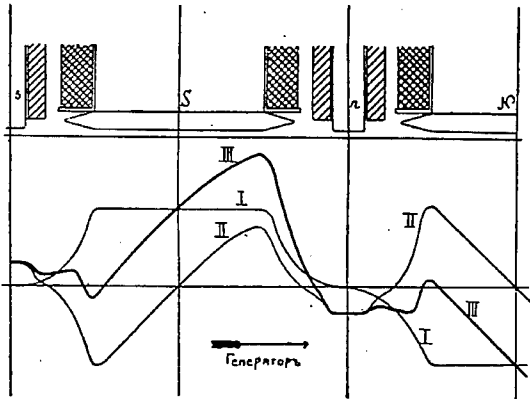
Дополнительные полюсы представляют собою небольших размеров железные или стальные сердечники с надетою на них обмоткою, через которую проходит весь ток, вырабатываемый машиною (фиг. 149). Помещенные между главными полюсами, они создают магнитный поток, при пересечении которого коротко-замкнутой секцией в ней индуцируется электродвижущая сила, противоположная электродвижущим силам  $e_s$  и  $e_a$ , т.-е. реактивной и от поля якоря. И так как через обмотку дополнительных полюсов проходит весь ток якоря, то их поток, а след. и создаваемая им электродвижущая сила в коммутлируемой секции почти пропорциональны нагрузке, также как и электродвижущие силы  $e_s$  и  $e_a$ .

Испытание динамомашин постоянн. тока.



Фиг. 149.

Если обозначить через  $B_{eg}$  индукцию дополнительного потока в зоне коммутирования, то условие прямолинейного коммутирования можно представить равенством:  $B_{eg} + B_{ei} = B_{ea} + B_{es}$ , где  $B_{es}$  — индукция такого внешнего поля, при пересечении которого в секции индуцируется электродвижущая сила, равная  $e_s$ . Так как дополнительные полюсы располагаются обыкновенно на нейтрали, где индукция главного поля равна нулю, то индукция дополнительных полюсов должна быть равна  $B_{eg} = B_{ea} + B_{es}$ . Т.е. дополнительные полюсы при всех нагрузках должны, во-первых, скомпенсировать поток якоря в зоне коммутирования, во-вторых, создать поле, индуцирующее в коротко-замкнутой секции электродвижущую силу, равную и противоположную реактивной электродвижущей силе  $e_s$ . Графически картина распределения потоков в зоне коммутирования должна, след., представиться примерно так, как это изображено на



Фиг. 150.

фиг. 150, где кривая I — поле индукторов, кривая II — поле якоря и кривая III — равнодействующее поле полей индукторов, якоря и дополнительных полюсов.

Для того чтобы дополнительные полюсы скомпенсировали поток якоря и создали магнитное поле с индукцией  $B_{es}$ , необходимо снабдить каждый полюс обмоткою, число ампервитков которой  $AW_g = (AW_a + AW_s)/2$ , где  $AW_a$  — число ампервитков якоря, приходящихся на два полюса, и  $AW_s$  — число ампервитков, соответствующих полю с индукцией  $B_{es}$ .

Только при вполне правильно определенном числе намагничивающих ампервитков дополнительных полюсов можно получить удовлетворительное коммутирование; в противном случае их присутствие может даже вызвать искрение.

Испытание машин с дополнительными полюсами ведется тем же порядком, как и испытание машин без дополнительных полюсов. Получаемые характеристики будут отличаться от соответствующих характеристик машин без дополнительных полюсов постольку, поскольку у машин с дополнительными полюсами не сказывается влияние реакции якоря на магнитном потоке индукторов, так как щетки у них располагаются на нейтрали. Приступая к испытанию машины с дополнительными полюсами, необходимо: 1) проверить правильное чередование полярностей их по отношению друг к другу и по отношению к полярностям главных полюсов, 2) проверить равенство расстояний между сердечниками дополнительных полюсов, 3) проверить равенство магнитных потоков под всеми дополнительными полюсами, 4) установить соответствие их магнитных потоков, а следовательно их обмотки, условию безыскрового коммутирования, 5) установить отсутствие качания якоря — у двигателей.

При проверке правильности намагничения дополнительных полюсов необходимо руководствоваться следующим правилом. У генератора дополнительный полюс должен иметь ту полярность, какую имеет следующий за ним по вращению якоря главный полюс; у двигателя дополнительный полюс должен иметь ту полярность, какую имеет следующий за ним против вращения якоря главный полюс. Таким образом, следование полярностей главных полюсов ( $N$  и  $S$ ) и дополнительных полюсов ( $n$  и  $s$ ) и направление вращения якоря должны иметь место у генератора по схеме:

следование полярностей  $Ns Sn Ns Sn \dots$   
 направление вращения якоря  $\longrightarrow$

у двигателей по схеме:

следование полярностей  $Ns Sn Ns Sn \dots$   
 направление вращения якоря  $\longleftarrow$

Правильность полярности дополнительных полюсов, как взаимная, так и по отношению к главным полюсам, может быть проверена простою магнитной стрелкою. Правильность расстановки дополнительных полюсов и равенство магнитных потоков их может быть проверена, во-первых, путем снятия кривой распределения магнитного поля главных и дополнительных полюсов при возбуждении их от постороннего источника тока, или же кривой распределения равнодействующего поля главных полюсов, дополнительных полюсов и якоря (см. гл. IV) и, во-вторых, путем получения потенциальных диаграмм под щетками всех пальцев (см. гл. XV). При получении кривой распределения поля с током в якоре щетки должны быть расположены на геометрической нейтрали; при получении же потенциальных кривых щетки должны быть поставлены на их рабочее положение: или на геометрической нейтрали, или сдвинуты немного назад, когда требуется получить некоторое компаундирование (для поддержания напряжения постоянным), или же сдвинуты вперед, когда требуется некоторое ослабление главного поля (для понижения напряжения, как это имеет место при параллельной работе с аккумуляторной батареей).

Потенциальные диаграммы, снятые под щетками, дают ясное представление о действии дополнительных полюсов. При дополнительных полюсах с сильным полем получаются кривые, подобные кривой III фиг. 141 с; при дополнительных полюсах со слабым полем получаются кривые, подобные кривой VI фиг. 140 с. И в том и в другом случае коммутирование может протекать без искрения. Было бы хуже, если бы потенциальные кривые получили вид кривых VI и VII, изображенных на фиг. 144. Если бы оказалось, что магнитное поле дополнительных полюсов сильно, т.-е. число ампервитков обмотки их велико, следует уменьшить эти ампервитки путем шунтирования обмотки каким-либо сопротивлением. В качестве такого сопротивления удобно взять канатик из нейзильберовой проволоки (или ленты), позволяющий путем постепенного удаления отдельных проводничков подбирать надлежащий ток в сопротивлении и, следовательно, в обмотке дополнительных полюсов. В том случае, когда испытывается машина, предназначенная для работы с быстро меняющейся нагрузкою, необходимо в шунт

к обмотке дополнительных полюсов включить еще и индуктивное сопротивление в виде катушки с самоиндукцией, при чем позаботиться о том, чтобы постоянная времени шунта приближалась к постоянной времени обмотки дополнительных полюсов, иначе распределение быстро меняющегося тока в обмотке и в шунте к ней не будет одинаково с тем, какое было бы при не меняющемся быстро токе. Если бы оказалось, что ток в сопротивлении превосходит  $10 - 15\%$  общего тока, то, установив опытом невыгоднейшее число ампервитков дополнительных полюсов, целесообразнее перемотать их обмотку.

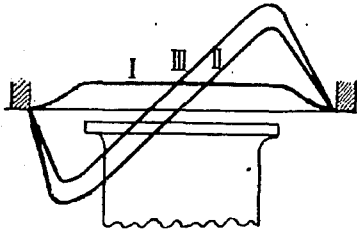
Преувеличенное действие ампервитков дополнительных полюсов можно ослабить путем удаления заранее вставленных прокладок из железных листов между сердечниками дополнительных полюсов и станиной, или же установкой новых башмаков, дающих большее междужелезное пространство.

При исследовании двигателей с дополнительными полюсами следует особенно позаботиться о правильной постановке щеток на нейтрали, ибо смещение щеток с нейтрали против вращения якоря у них может повести к колебаниям якоря. Это явление объясняется следующим образом. При значительном смещении щеток с нейтрали против вращения на обмотку якоря между соседними щетками действуют главный и дополнительный полюсы разных полярностей и индуктируют в ней две взаимно противоположные электродвижущие силы. Если, напр., ток двигателя по какой-либо причине увеличится, то вследствие увеличения потока дополнительных полюсов равнодействующая электродвижущая сила якоря понизится, что поведет снова к увеличению тока и к ускорению вращения якоря. Новое увеличение тока вызовет новое увеличение потока дополнительных полюсов и увеличение скорости вращения якоря. Так как, однако, при значительном увеличении тока дополнительные полюсы насытятся, то уменьшение электродвижущей силы от потока дополнительных полюсов уже будет меньше, нежели увеличение той же электродвижущей силы от главного потока вследствие увеличения скорости вращения якоря, и скорость последнего, начиная с некоторого момента, будет убывать. Вместе с тем будет убывать ток якоря и поток дополнительных полюсов. Это убывание скорости прекратится, как только действие дополнительных полюсов усилится и ток снова будет нарастать. Работа двигателя при таких условиях становится, конечно, невозможной. Чтобы дать устойчивость двигателю, необходимо поставить щетки на нейтрали, или же сдвинуть их на одну коллекторную пластину по вращению якоря. У реверсивных двигателей с дополнительными полюсами щетки должны находиться обязательно на нейтрали.

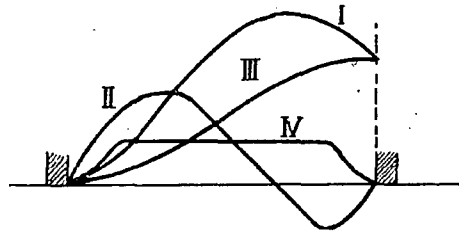
При исследовании двигателя с дополнительными полюсами, предназначенного для работы с регулировкой скорости в больших пределах, напр.,  $1 : 4$  или  $1 : 6$ , полезно снять потенциальную кривую коллектора при наибольшей скорости, так как у таких двигателей наблюдается иногда на коллекторе искрение, причиною которого является не коммутирование, а повышение напряжения между рядом лежащими коллекторными пластинами. Это явление обусловливается чрезмерным искажением главного поля полем якоря и наблюдается только тогда, когда двигатель работает с наибольшею скоростью, т.-е. при весьма



ослабленном главном поле. Соотношение между полями индукторов и якоря в этом случае будет примерно таким, каким оно изображено на фиг. 151, где кривая *I* — главное поле, кривая *II* — поле якоря и кривая *III* — поле равнодействующее. Потенциальная же кривая, т.-е. изменение потенциала на коллекторе от щетки (—) до щетки (+), представится при этом приблизительно кривою *I* фиг. 152, а диаграмма напряжений между соседними коллекторными пластинами — кривою *II*. Те же самые кривые для двигателя без нагрузки



Фиг. 151.



Фиг. 152.

должны бы иметь вид кривых *III* и *IV*. Разность ординат кривых *II* и *IV* дает, очевидно, упомянутое выше повышение напряжения между некоторыми пластинами. Если наибольшее напряжение, определяемое кривою *II*, значительно превзойдет допускаемый предел, 30 — 35 вольт, то между соответствующими пластинами появятся небольшие искры, которые при вращении дадут впечатление бисерного искрения вокруг коллектора (Rindfeuer).

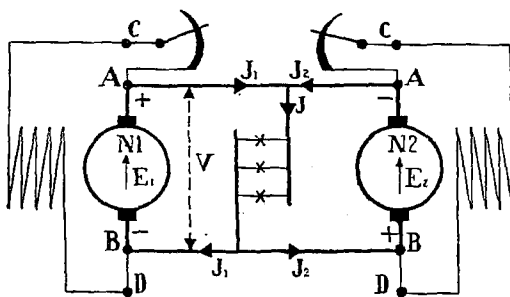
## ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ.

### ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

#### 1. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ШУНТОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ.

Условия нагрузки центральной станции редко бывают такими, чтобы им мог удовлетворить всего один генератор. В большинстве случаев требуется несколько генераторов, работающих совместно в таком сочетании, чтобы каждый из них был нагружен более или менее нормально. В таких случаях генераторы должны соединяться между собою параллельно.

Наименьшие затруднения представляет параллельная работа (и включение) шунтовых генераторов, в предположении, конечно, что они рассчитаны на вполне одинаковые напряжения и вращаются с нормальной для них скоростью. На



Фиг. 153.

фиг. 153 изображена схема включения шунтовых генераторов. Само включение шунтового генератора параллельно работающим производится следующим образом: дают подключаемому генератору нормальное число оборотов и регулируют возбуждение так, чтобы напряжение на его зажимах равнялось напряжению работающего уже генератора. Проверив (по вольтметру), одинакова ли полярность

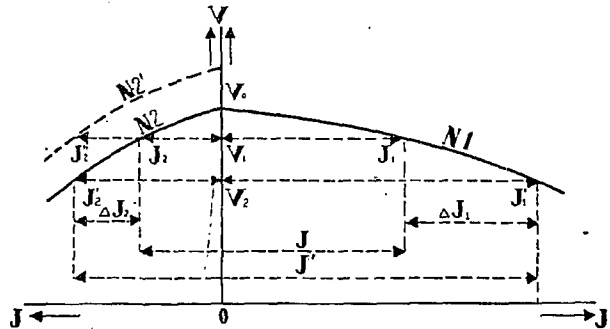
присоединяемых к одним и тем же шинам зажимов обоих генераторов, включают рубильник. Так как напряжения генераторов в момент включения одинаковы, то подключенный генератор тока в сеть не даст. Чтобы перевести на него часть нагрузки, повышают его возбуждение и тем самым электродвижущую силу. Вследствие того, что электродвижущая сила подключенного генератора будет выше напряжения на шинах, от него пойдет некоторой силы ток, т.-е. он нагружится. Пусть, например, генератор № 1 фиг. 153 нагружен током  $J'$ ; напряжение на его зажимах равно электродвижущей силе генератора № 2, т.-е.  $V' = E_1 - J'_1 R_{a1} = E_2$ , где  $E_1$  и  $E_2$  — электродвижущие силы обоих генераторов, а  $R_{a1}$  — омическое сопротивление генератора № 1. Если повысить электродвижущую

силу  $E'_2$  до  $E_2$ , то в цепи  $ABBA$  установится такое равновесное состояние, при котором от первого генератора пойдет ток  $J_1$ , а от второго ток  $J_2$  (ток сети  $J$  остается неизменным). По второму закону Кирхгофа для цепи  $ABBA$  должно иметь место соотношение  $E_2 - J_2 R_{a2} = E_1 - J_1 R_{a1}$ . Так как по первому закону Кирхгофа  $J_1 = J - J_2$ , то

$$E_2 - J_2 R_{a2} = E_1 - (J - J_2) R_{a1}.$$

Из этого равенства следует, что если второй генератор нагрузится током  $J_2$ , то первый будет нагружен уже током  $J_1 = J - J_2$ , при чем напряжение на шинах повысится до  $V = E_1 - (J - J_2) R_{a1}$ . Для того чтобы напряжение на шинах осталось неизменным, необходимо одновременно с повышением возбуждения подключенного генератора уменьшить возбуждение работающего уже генератора.

При параллельной работе генераторов часто ставится условие, чтобы колебание нагрузки воспринималось не одним каким-либо генератором, а всеми генераторами одновременно и притом пропорционально их мощностям, т.е. больший по мощности генератор брал бы на себя большую часть нагрузки, меньший генератор — меньшую часть. Это условие удовлетворится, если подобрать надлежащие внешние характеристики генераторов: для более мощного взять внешнюю характеристику с малым уклоном, для менее мощного внешнюю характеристику с большим уклоном. В таком случае при одном и том же падении напряжения более мощный генератор даст большую силу тока, менее мощный — меньшую силу тока. Пусть, например, внешняя характеристика более мощного генератора имеет вид кривой  $N_1$ , а менее мощного имеет вид кривой  $N_2$  (фиг. 154). При каком-либо общем для обоих генераторов напряжении  $V_1$  первый генератор дает ток  $J_1$ , а второй  $J_2$ , при чем полный ток нагрузки  $J = J_1 + J_2$ . Если бы этот последний ток возрос до величины  $J'$ , то первый генератор нагрузился бы током  $J'_1$ , а второй — током  $J'_2$ , при чем общее напряжение понизилось бы до  $V_2$ . Как видно из фиг. 154, добавочный ток первого генератора  $\Delta J_1$  больше, нежели добавочный ток второго генератора  $\Delta J_2$ . Подобрать соответствующие внешние характеристики не представляется затруднительным, так как обычно чем больше по мощности генератор, тем меньше его омическое сопротивление и тем меньший уклон имеет его внешняя характеристика.



Фиг. 154.

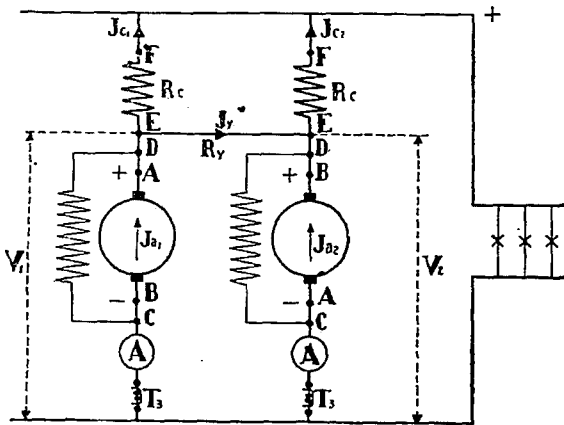
Следует заметить, что в данном случае речь идет об относительно быстро меняющейся нагрузке, ибо при медленно меняющейся нагрузке всегда

имеется возможность возбуждением у генераторов распределить ее по желанию. Например, если заставить генератор № 2 работать с повышенным возбуждением, т.е. так, чтобы его внешняя характеристика имела вид кривой № 2' (фиг. 154), то этот генератор при изменении общего тока нагрузки  $J$  будет нагружаться уже в большей мере, нежели он нагружался в первом случае, когда у него внешняя характеристика имела вид кривой № 2.

При лабораторном исследовании параллельной работы шунтовых генераторов форму внешней характеристики можно изменить или включением последовательно с якорем небольшого омического сопротивления (порядка сопротивления самого якоря), или же, что предпочтительнее, перемещением щеток, вызывающим изменение реакции якоря. Наблюдая распределение общей нагрузки на генераторы, можно выяснить степень влияния на это распределение указанных факторов.

## 2. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА КОМПАУНД-ГЕНЕРАТОРОВ.

Необходимым условием параллельной работы компаунд-генераторов является наличие так называемого уравнивающего провода (или уравнивной шины). Этот провод соединяет между собою те однополярные зажимы якоря, от которых отходят компаундные обмотки (фиг. 155). Таким образом, благодаря уравнивающему проводу компаундные обмотки



Фиг. 155.

включаются параллельно друг другу однополярными зажимами якорей работающих генераторов и соответствующей шине. Роль уравнивающего провода будет ясна, если предположить, что компаунд-генераторы включены параллельно без него. Если бы по каким-либо причинам (например, от случайного увеличения возбуждения или числа оборотов) напряжение одного генератора возросло, то почти вся нагрузка

перешла бы на этот именно генератор, что, конечно, недопустимо; кроме того, другие, работающие с ним параллельно, генераторы могут при этом превратиться в двигатели с компаундной обмоткой, действующей против шунтовой обмотки. При значительном токе в компаунд-обмотке размагничивание может быть настолько сильным, что машина, работая двигателем, приобретает недопустимую скорость. Наличие уравнивающего провода описанное явление устраняет. Действительно, если напряжение какого-либо генератора повысится, то дополнительный ток пойдет по компаундным обмоткам всех генераторов (ибо они соединены между собою параллельно) и повысит тем самым их возбуждение.

Для того чтобы уравнильный провод был активен, необходимо, чтобы его сопротивление не превосходило определенного предела. Этот предел для случая параллельной работы двух одинаковых генераторов определяется следующим образом.

Напряжение компаунд-генератора при нагрузке можно определить, как было указано ранее (см. о компаунд-генераторах), из выражения:  $V_u = V_0 - k_1 J_a + k_2 J_c$ , где  $V_0$  — напряжение при холостой нагрузке,  $J_a$  и  $J_c$  — токи в якоре и последовательной обмотке, а  $k_1$  — коэфф. понижения напряжения от действия реакции и сопротивления якоря и  $k_2$  — коэфф. повышения от действия последовательной обмотки. Таким образом, для обоих генераторов можно написать (см. фиг. 155):

$$V_1 = V_0 - k_1 \cdot J_{a1} + k_2 \cdot J_{c1}$$

$$V_2 = V_0 - k_1 \cdot J_{a2} + k_2 \cdot J_{c2}$$

Откуда

$$V_1 - V_2 = k_1 (J_{a2} - J_{a1}) + k_2 (J_{c1} - J_{c2})$$

Но, с другой стороны,

$$V_1 - V_2 = J_y \cdot R_y,$$

где  $R_y$  — сопротивление уравнильного провода, а  $J_y$  — ток в уравнильном проводе.

Если пренебречь токами в шунтовых цепях, то из фиг. 155 следует

$$J_{a1} = J_{c1} + J_y$$

$$J_{a2} = J_{c2} - J_y,$$

откуда

$$J_{c1} - J_{c2} = (J_{a1} - J_{a2}) - 2J_y.$$

В таком случае выражение для  $J_y \cdot R_y$  получает вид

$$J_y \cdot R_y = (k_1 - k_2) (J_{a2} - J_{a1}) - 2k_2 J_y.$$

Из фиг. 155 следует, далее,

$$J_{c1} \cdot R_c = J_y \cdot R_y + J_{c2} \cdot R_c$$

или

$$R_c (J_{c1} - J_{c2}) = J_y \cdot R_y,$$

откуда

$$J_{c1} - J_{c2} = J_y \frac{R_y}{R_c}.$$

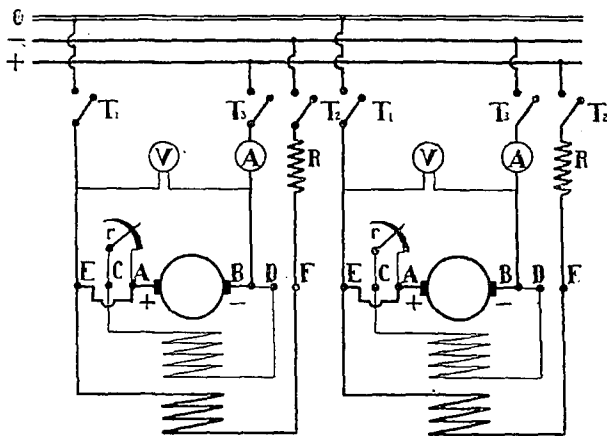
После подстановки в последнее выражение для  $J_y \cdot R_y$  и упрощений получается для  $R_y$  выражение

$$R_y = \frac{2k_1 \cdot R_c}{k_2 - (k_1 + R_c)}.$$

Это выражение и дает предел для сопротивления уравнильного провода: если это сопротивление меньше определенного по приведенному выражению, то генераторы будут работать устойчиво; если же оно больше, то генераторы будут работать неустойчиво. В том случае, когда  $k_2$  значительно больше  $(k_1 + R_c)$ , т.-е.

когда генераторы перекомпаундированы (случай гиперкомпаунд-генераторов), предел для  $R_y$  невелик; он больше, когда  $k_3$  лишь на небольшую величину превосходит  $(k_1 + R_0)$ , т.-е. когда генератор слабо компаундирован. Следовательно, в последнем случае устойчивую работу генераторов можно получить и при сравнительно значительном сопротивлении уравнивающего провода. Когда  $k_2$  меньше  $(k_1 + R_0)$ , т.-е. когда генераторы работают недокомпаундированными, предел для  $k_y$  отрицателен; это значит, что машины будут работать устойчиво при всех положительных значениях сопротивления уравнивающего провода.

Следует заметить, что при налаживании параллельной работы компаунд-генераторов разных мощностей одного уравнивающего провода иногда бывает недостаточно. Необходимы еще добавочные (весьма небольшие) сопротивления, включаемые последовательно с компаундными обмотками некоторых генерато-



Фиг. 156

ров, на фиг. 156—сопротивления  $R$ , с тою целью, чтобы параллельные ветви из компаундных обмоток имели сопротивления, соответствующие номинальным мощностям генераторов. Только в этом случае токи в компаундных обмотках будут пропорциональны номинальным мощностям генераторов. Эти сопротивления подбираются опытным путем на месте установки генераторов, так как приходится принимать во внимание еще и сопротивления кабелей, соединяющих генераторы с шинами распределительной доски. Часто сопротивления включаются не последовательно, а параллельно компаундным обмоткам с тою целью, чтобы изменить форму внешней характеристики генератора.

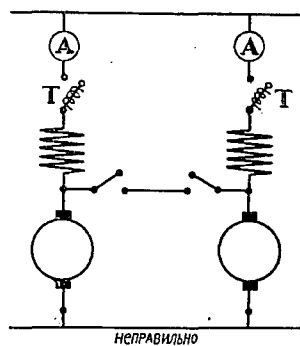
Параллельное включение компаунд-генераторов можно выполнить двумя способами. При первом способе включения врубают предварительно рубильники уравнивающего провода  $T_1$  и компаундной обмотки  $T_2$ , т.-е. включают компаундную обмотку подготовляемого генератора параллельно к компаундной обмотке работающего генератора. Подрегулировав затем шунтовое возбуждение так, чтобы напряжение генератора было равно напряжению на шинах, врубают рубильник  $T_3$ . Так как напряжения генератора и на шинах при вклю-

чении одинаковы, то генератор не возьмет на себя нагрузки до тех пор, пока не будет повышено его шунтовое возбуждение. Недостаток этого способа включения генераторов — уменьшение напряжения сети в тот момент, когда подключается параллельно только компаундная обмотка (рубильники  $T_1$ ,  $T_2$ ). Понижение напряжения происходит, очевидно, оттого, что в этот момент ток в компаундных обмотках других генераторов уменьшается. Но у описанного способа включения имеется и достоинство: в момент присоединения генератора (рубильником  $T_3$ ) нагрузка его равна нулю, и потому на паровой машине или на каком-либо ином двигателе, соединенном с генератором, этот момент ничем не отзовется.

Второй способ обладает как раз обратными свойствами. При включении по этому способу подключаемый генератор шунтовым возбуждением доводят до напряжения, равного напряжению на шинах, и врубают одновременно рубильники  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$ . Так как в момент включения через компаундную обмотку пойдет некоторый ток от других генераторов (через уравнильный провод), то возбуждение подключаемого генератора повысится и он сразу возьмет на себя часть нагрузки. Такая быстрая нагрузка генератора вызовет, конечно, некоторое расстройство в общем распределении нагрузки, и в особенности в работе двигателя подключаемого генератора. Однако напряжение сети останется при этом почти постоянным. Характер установки решает вопрос — по какому способу включать генераторы: если установка осветительная, то предпочтительнее пользоваться вторым способом, так как он дает наименьшие колебания напряжения; если же установка трамвайная, то лучше пользоваться первым способом.

Следует отметить весьма важное обстоятельство, именно, что амперметры, измеряющие нагрузочные токи генераторов, следует включать в те соединительные кабели, которые отходят непосредственно от якорных зажимов генераторов, как указано на фиг. 155. В тех же линиях должны находиться и рубильники с максимальным выключением, на фиг. 155 —  $T_3$  и  $T_3$ . Было бы неправильно выполнять соединение генераторов по схеме фиг. 157, так как в этом случае амперметры показывали бы не токи якорей генераторов, т.-е. токи нагрузки каждого, а токи в последовательных обмотках, а эти токи при наличии уравнильного провода могут быть неравными токам в якорях. Вследствие неравенства токов в якоре и в последовательной обмотке генератора может случиться, что максимальный выключатель не выключит генератор, несмотря на то, что якорь его уже перегружен током.

Компаунд-генератор может работать параллельно и с шунтовым генератором, если последовательно с якорем последнего будет включено сопротивление, равное сопротивлению последовательной обмотки. В этом случае уравни-



Фиг. 157.

тельный провод также необходим, при чем он включается так же, как и при наличии двух компаунд-генераторов, т.-е. так, что компаундная обмотка компаунд-генератора и добавочное сопротивление у шунтового генератора оказываются в параллельном соединении.

При лабораторном исследовании параллельной работы компаунд-генераторов следует убедиться, насколько справедливо сказанное относительно обоих способов включения и как влияет сопротивление, последовательно-соединенное с компаунд-обмоткою, на распределение нагрузки между генераторами.

---



## ГЛАВА ВОСЕМНАДЦАТАЯ.

### ИСПЫТАНИЯ ПРИ ФАБРИКАЦИИ ДИНАМОМАШИН.

Испытания материалов — железа, стали, изолирующих веществ и т. д., — из которых предполагают строить динамо, производятся еще до составления проекта ее, хотя обычно специальные заводы, доставляющие эти материалы электротехническому заводу, сообщают ему также и их свойства, как электрические (медь, железо), так и магнитные (железо, чугун, сталь). После изготовления проекта, с момента его выполнения в мастерских завода, испытания отдельных частей динамомашин и идут уже параллельно их фабрикации. Только при этом условии возможно наиболее экономичное устранение случайных дефектов как в работе рабочего персонала, так и в самих материалах, идущих в дело. Например, при изготовлении якоря, наиболее сложной части динамомашин, со стороны рабочего персонала могут быть допущены ошибки в схеме соединений отдельных проводников и секций или же недосмотры в отношении добротности изоляции и т. д. Эти ошибки и недосмотры, своевременно обнаруженные путем соответствующих испытаний, легко устранимы еще до окончательной сборки частей машины. Далее, чугун и сталь иногда изменяют свои магнитные свойства в зависимости от способа литья и охлаждения отливок: получающийся уплотненный верхний слой (корка) не всегда одинаков в отношении магнитных свойств с внутренней массой отливки. Кроме того, при небрежном литье в отливках легко образуются раковины, воздушные мешки и т. д. Эти факторы могут весьма значительно изменить ожидаемые свойства магнитной цепи — обстоятельство, которое нетрудно во-время обнаружить, конечно, только путем соответствующих испытаний.

#### 1. ИСПЫТАНИЕ КОЛЛЕКТОРА.

Главным объектом испытаний, имеющих место при изготовлении коллектора, служит изоляция между двумя соседними пластинами и между каждой пластиной в отдельности и втулкой коллектора. Необходимость этих испытаний вытекает из того обстоятельства, что, во-первых, изолирующие материалы, как-то: картон, слюда или фибра, прокладываемые между втулкой и пластинами, при неосторожной сборке иногда прорезываются острыми ребрами или самих пластин, или же стягивающих весь коллектор колец; во-вторых, при обточке на токарном станке уже собранного коллектора, в особенности

тупым резцом, между отдельными пластинами его легко образуются из мелких стружек металлические соединения — „мостики“.

Так как испытания коллектора в первой стадии его фабрикации служат только для обнаружения более или менее значительных повреждений изоляции и производятся в той же мастерской, в которой коллектор изготовляется, то и приборы, употребляемые в этом случае, очень просты, — часто довольствуются обыкновенным гальваноскопом, годным для напряжения, при котором ведется испытание. Это напряжение не превосходит обычно 120—220 вольт. Иногда же пользуются и простым индуктором (со звонком), развивающим напряжение до 70—100 вольт. Изоляция коллекторных пластин проверяется, во-первых, до сборки коллектора на буксу и, во-вторых, после сборки его на буксу.

После того как собранный и обточенный коллектор основательно высушен в особой сушильне, он вторично испытывается на изоляцию, но уже при высшем напряжении: между отдельными пластинами — при напряжении до 250 вольт, а между каждою пластиною и буксою коллектора при напряжениях:

	в холодн. сост.		в нагр. сост.
для машины в 250 в.	до 2500 в.	до 2000 в.	
„ „ „ 500 „	„ 3000 „	„ 2500 „	
„ „ „ 750 „	„ 3800 „	„ 3000 „	

Плотность сборки проверяется на звук молотком; хорошо собранный коллектор дает звонкий отзвук при легком ударе молотка.

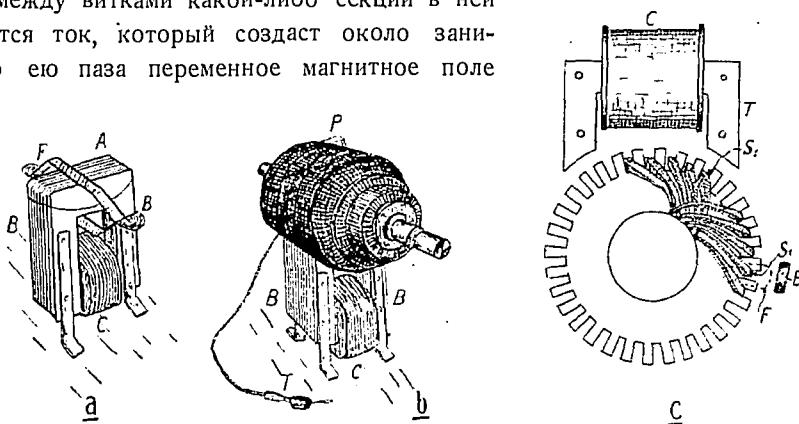
## 2. ИСПЫТАНИЕ ЯКОРЯ.

Предметом испытаний, сопутствующих изготовлению якоря, являются, во-первых, изоляция проводников и пазов якоря и, во-вторых, правильность соединения обмотки с коллектором.

Если обмотка состоит из отдельных стержней или проводников, то по мере укладывания их в пазы сердечника якоря, еще до присоединения к соответствующим коллекторным пластинам, простым гальваноскопом испытывают изоляцию между отдельными, рядом лежащими, проводниками и между каждым проводником и железом якоря. Если же обмотка состоит из секций, т.-е. из катушек с несколькими витками проводников, то до укладки их в пазы якоря испытывается изоляция между отдельными витками этих секций. Для этой цели служит трансформатор, изображенный на фиг. 158 а. Испытуемая секция *F* (или несколько штук одновременно) помещается в кольцевую выемку сердечника *ВВ* и таким образом становится вторичною цепью трансформатора, первичная цепь которого *С* питается переменным током. Если между отдельными витками секции *F* — вторичной цепи трансформатора — нет электрического сообщения, другими словами, витки проволоки изолированы друг от друга удовлетворительно, в первичной цепи *С* пойдет ток относительно небольшой силы, так называемый „намагничивающий ток“. Если же упомянутое сообщение между отдельными витками секции имеется, другими словами, некоторая часть витков замкнута на короткое, то сила тока в первичной цепи *С* будет значи-

тельно больше, а испытываемая секция сильно нагреется. Вынув опробованную секцию (для чего верхняя половина трансформатора делается съемной), кладут на ее место другую, и испытание ведут тем же порядком.

После того как секции уложены в определенных пазах сердечника якоря, испытание на изоляцию иногда повторяется. В этом случае пользуются особым подковообразным электромагнитом соответствующих размеров, располагая его таким образом (фиг. 158 с), чтобы переменный магнитный поток, создаваемый циркулирующим в его катушке переменным током, пересекал секции и индуктировал в них некоторую электродвижущую силу. (И здесь секция является вторичной цепью трансформатора). Короткое замыкание между витками секции обнаруживается по увеличению тока в обмотке электромагнита. Те же пазы, в которых уложена дефектная секция, находятся помощью тонкой железной линейки *E* фиг. 158 с, располагаемой попеременно вдоль пазов якоря. При коротком замыкании между витками какой-либо секции в ней появляется ток, который создаст около занимаемого ею паза переменное магнитное поле



Фиг. 158.

рассеяния, обнаруживаемое по дрожанию линейки, приложенной к этому именно пазу. Более чувствительным прибором, служащим для нахождения дефектной секции, является небольшой соленоид *P* (фиг. 158 б), представляющий собою подковообразный кусочек железа с надетой на один его рог небольшою катушечкою, соединенною с телефоном *T*. Подковка соленоида *P* своими рогами прижимается попеременно к зубцам якоря разных пазов. Если при каком-либо положении подковки в телефоне послышится сильный шум, то это будет означать, что под подковкой находится дефектная секция.

Вслед за испытанием секций „на короткое“ или „на витковое“ производится испытание изоляции секций „на корпус“, т.е. изоляции между секциями и сердечником якоря. Это испытание обычно производится переменным током при напряжениях:

2000	вольтов для машины, развивающей нормально	250	вольтов.
2600	" " " " " "	500	"
3200	" " " " " "	750	"
4000	" " " " " "	1000	"

Если в продолжение одной минуты изоляция выдерживает приложенное пробное напряжение, то считают, что качество ее удовлетворительно и при укладке обмотки никаких дефектов в изолирующих материалах не произошло.

После испытания изоляции обмотки якоря, и притом еще до присоединения коллектора, измеряют иногда омическое сопротивление этой обмотки. Такое измерение производится помощью вольтметра и амперметра, пропуская ток через не соединенные еще между собою и с коллектором концы секций или проводников.

Испытания при сборке якоря иногда ведутся и другим, более упрощенным порядком. Именно, секции укладываются в пазы якоря без предварительного испытания их на трансформаторе. Уложив секции в пазы и вложив нижние концы их в шлицы коллекторных пластин, проверяют изоляцию между секциями напряжением 220 вольт, подводя это напряжение через контрольную лампочку к соседним коллекторным пластинам. Заложив затем и верхние концы секций в шлицы коллекторных пластин, испытывают якорь на отсутствие короткого замыкания между витками секций (на „витковое соединение“), пользуясь электромагнитом переменного тока, изображенным на фиг. 158 с, и отыскивая поврежденную секцию или помощью железной линейки, или же помощью подковообразного соленоида с телефоном. В дальнейшем производится испытание изоляции всей обмотки „на корпус“ переменным током при напряжении, указанном выше.

Следует заметить, что если обмотка имеет эквипотенциальные соединения, то проба „на витковое“ должна производиться до присоединения их к обмотке.

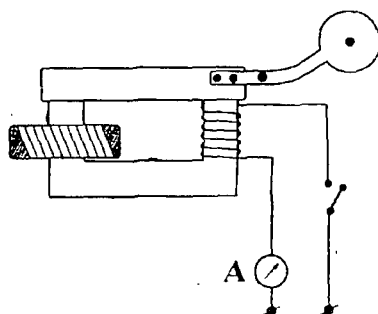
После испытаний на изоляцию якорь окончательно заклинивается на валу, а соответственные концы секций припаиваются или привинчиваются к пластинам коллектора. В таком виде он поступает на токарный станок для окончательной обточкой и шлифовки коллектора.

Так как при пайке и следующей за нею обточке коллектора между пластинами его и между концами присоединенных проволок могут образоваться металлические „мостики“, а для обнаружения последних нельзя воспользоваться гальваноскопом, как это было раньше, ибо пластины соединены между собою обмоткою, то перед выходом якоря из мастерской рекомендуется внимательно осмотреть места спаек и поверхность коллектора. Чтобы быть, однако, вполне уверенным в отсутствии упомянутых „мостиков“, а также и в правильности соединения коллектора с обмоткою, иногда измеряют сопротивления между двумя изолированными друг от друга щеточками, наложенными на коллектор, при разных положениях их на его окружности. Если эти сопротивления при всех положениях щеточек одинаковы, или разнятся на допустимые величины, то это значит, что как сама обмотка, так и соединения ее с коллектором сделаны правильно и между коллекторными пластинами нет металлических „мостиков“. Вслед за обточкою еще раз измеряют сопротивление изоляции и отправляют якорь в просушку, а затем в пропитку, и после этого снова измеряют сопротивление изоляции.

### 3. ИСПЫТАНИЕ ИНДУКТОРНЫХ КАТУШЕК.

Главное внимание при изготовлении индукторных катушек обращается также на изоляцию, при чем у обыкновенных, шунтовых или серийных катушек испытывается изоляция между отдельными витками и между всею катушкою и капсулем, на который она насажена, у катушек же, состоящих из двух обмоток — шунтовой и компаундной (у компаунд-машин) — испытывается и изоляция этих обмоток друг от друга. Кроме того, после намотки катушек рекомендуется измерить их омическое сопротивление, так как этим путем можно обнаружить дефекты как в проволоке обмотки, так и в способе намотки ее.

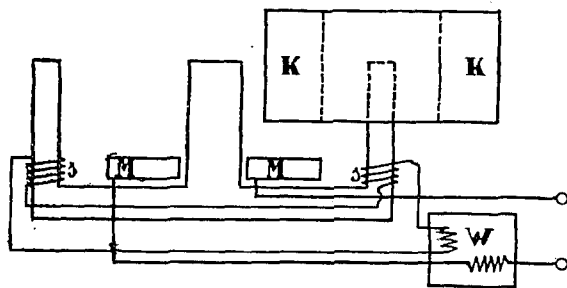
На фиг. 159 изображен прибор, служащий для быстрого испытания изоляции индукторных катушек. В принципе этот прибор ничем не отличается от прибора, изображенного на фиг. 158 а: короткое замыкание между витками обнаруживается по возрастанию отклонения амперметра, включенного в цепь первичной катушки.



Фиг. 159.

Более чувствительный прибор для обнаружения порчи изоляции между витками индукторных катушек изображен на фиг. 160. Он состоит из трех стержней, собранных из листового железа, перекрытых одним ярмом. На среднем стержне имеется катушка  $MM$ , питаемая переменным током, проходящим также и через толстую обмотку ваттметра. На крайних стержнях имеется по катушке  $s, s$ , соединенных навстречу друг другу;

электродвижущие силы их взаимно компенсируются, если симметрия магнитного потока, создаваемого катушкой  $MM$ , не нарушена. Катушки  $s, s$  последовательно соединены с тонкою обмоткою ваттметра. Если испытуемую индукторную катушку с попорченной изоляцией надвинуть на один крайний стержень, то вторичный ток этой катушки нарушит симметрию магнитных потоков крайних стержней и ваттметр даст отклонение. Вместо ваттметра можно использовать телефон, включив его в цепь катушек  $s, s$ . В этом случае можно обнаружить порчу изоляции, имеющей еще весьма большое сопротивление.



Фиг. 160.

Если испытуемую индукторную катушку с попорченной изоляцией надвинуть на один крайний стержень, то вторичный ток этой катушки нарушит симметрию магнитных потоков крайних стержней и ваттметр даст отклонение. Вместо ваттметра можно использовать телефон, включив его в цепь катушек  $s, s$ . В этом случае можно обнаружить порчу изоляции, имеющей еще весьма большое сопротивление.

Испытанные таким образом части электрической цепи (якорь, индукторные катушки) вместе с частями ее магнитной цепи (остов, сердечники индукторов, башмаки) и частями дополнительными (подшипники, фундаментная плита

и т. д.) направляются в сборочное отделение для сборки. Отсюда готовая, еще не имеющая окончательного, рыночного вида машина поступает в испытательное отделение, где над нею производят испытания, имеющие целью обнаружить не только возможные все же недостатки при фабрикации и сборке отдельных частей, но и согласованность между ее действительными свойствами и расчетом. Если данная динамомашинка построена по выработанному заводом типу, то она подвергается испытанию только чисто промышленного характера. Если же она представляет собою вновь спроектированную машину, и в основание ее расчета положены новые принципы, то круг исследований, производимых над нею, уже значительно расширяется.

В первом случае испытания сводятся к следующим: данную динамомашину заставляют работать при полной нагрузке некоторое, довольно продолжительное время (см. Приложение „Нормы для испытания машин“) и измеряют при этом температуру нагрева ее частей — якоря, коллектора, индукторов и т. д. Вслед за этим испытывают стойкость изоляции на пробивание при соответствующем напряжении. Затем определяют изменение напряжения на зажимах машины, — если она должна работать генератором, или числа оборотов, если она должна работать двигателем, — при изменении нагрузки от холостой до нормальной и даже до 25% перегрузки, наблюдая при этом за искрением щеток, игрою якоря, смазкой и т. д. В заключение находят коэфф. полезного действия машины. Однако последнее имеет место только в том случае, когда в отношении продуктивности машины заводом выставляется известная гарантия. Точно также и выяснение иных специальных условий работы динамомашинки производится только тогда, когда эти условия были поставлены заказчиком.

Во втором случае перечисленные испытания дополняются другими исследованиями, в число которых входят: определение потерь в машине (на токи Фуко, гистерезис, трение), подробное исследование магнитной цепи (распределение магнитного поля вокруг якоря, магнитная утечка), определение постоянных, как-то: соотношения между потерями и охлаждающей поверхностью, числом оборотов якоря и его нагревом, постоянных, касающихся коммутирования; исследование подшипниковых токов (см. далее) и т. п.

Результаты подобных испытаний приобретают особую ценность при конструировании новой динамомашинки подобного же типа, так как только при основательном знакомстве с упомянутыми „постоянными“ и количественной стороной явлений можно спроектировать дешевую, но хорошую машину.

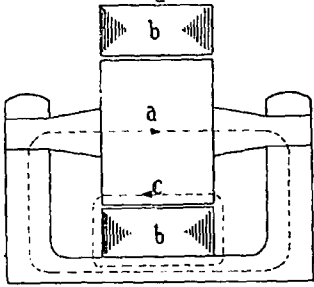
Испытанная так или иначе машина, если испытания дадут удовлетворительные результаты, направляется в лакировочное отделение, где ей придают внешний рыночный вид, а отсюда или на склад, или же по месту назначения покупателя. В последнем случае, если машина велика и тяжела и ее приходится пересылать в разобранном виде, перед упаковкою она подвергается иногда снова небольшому испытанию с той целью, чтобы убедиться, что разобранная на части и затем снова собранная машина не обнаружит никаких дефектов в работе. Это простое испытание заключается в том, что вновь собранную машину заставляют работать вхолостую и определяют число оборотов, при:

котором она развивает нормальное напряжение при том же возбуждении, какое было и во время первого испытания. Если это число оборотов не изменилось и за полчаса работы машины вхолостую ничего ненормального не произошло, то можно надеяться, что машина будет в порядке и после сборки ее на месте назначения.

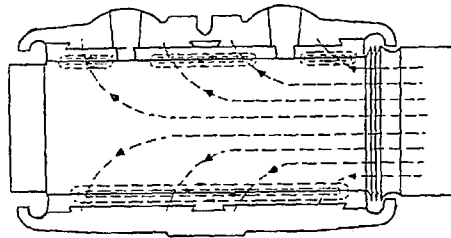
При установке динамомашин на месте она снова испытывается заказчиком по личному его усмотрению, но все же в духе норм для испытания машин, принятых в стране, так как только при наличии последнего условия возможны какие-либо претензии к заводу, построившему данную динамомашину.

#### 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДШИПНИКОВЫХ ТОКОВ.

Под подшипниковыми токами подразумеваются те токи, которые индуктируются в цапфах вала или во вкладышах подшипников в виде паразитных токов, а также те токи, которые циркулируют в замкнутой цепи, состоящей из вала, подшипников и рамы машины (фиг. 161). Причинами этих



Фиг. 161.



Фиг. 162.

токов служат: 1) униполярное действие намагниченного вала, и 2) трансформаторное действие магнитных полей, так или иначе сцепляющихся с указанной выше цепью из вала, подшипников и рамы.

Стальной вал и, в особенности, чугунные подшипник и рама, в виду относительно большой их задерживающей силы, будучи раз намагничены, сохраняют магнетизм в виде магнитного потока, проходящего через вал, подшипники и раму. Этот поток попадает во вкладыши подшипника под углом, неравным нулю, а потому при вращении вала его наружные осевые волокна пересекают магнитные линии, благодаря чему в этих волокнах индуктируются электродвижущие силы с направлением вдоль оси цапфы. (Если представить себе, что униполярное поле цапфы вращается вместе с цапфой, то электродвижущие силы будут индуктироваться в осевых волокнах вкладыша). Величина этих электродвижущих сил, пропорциональная линейной скорости вращения цапфы, не велика, но при малых сопротивлениях между цапфой и вкладышем вызываемые ими токи в цапфе и вкладыше (фиг. 162) могут быть и значительны. В особенности они сильны у подшипников с плохо пригнанными вкладышами, у которых слой масла между цапфой и вкладышем не всюду хорошо обво-

лакивает цапфу и между последнею и вкладышем имеется непосредственное соприкосновение. Наличие таких токов проявляется в особых изъединах на поверхности вкладыша и вала, ухудшающих работу цапфы. Намагничивание вала наблюдается у машин как при работе с нагрузкою, так и при работе без нагрузки.

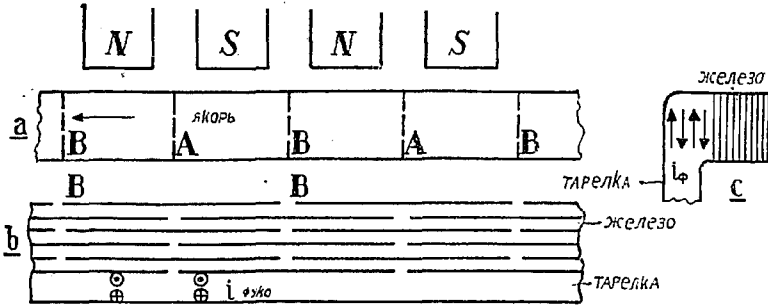
Первою причиною намагничения вала служит несимметрия магнитного поля: машины относительно вала, которая вызывается или тем, что намагничивающие ампервитки индукторных катушек неодинаковы, или тем, что якорь машины осел и междужелезное пространство под нижнею поверхностью якоря меньше, чем под верхнею. Если, например, у двухполюсной машины с вертикально поставленными полюсами нижняя катушка имеет большее число ампервитков, или, при равенстве ампервитков нижней и верхней катушек, якорь осел, то магнитные линии, замыкающиеся вокруг нижней катушки через вал и подшипник, не будут уравниваться (компенсироваться) магнитными линиями, замыкающимися вокруг верхней катушки через вал и подшипник, ибо последние слабее первых, и через цапфу пройдет магнитный поток под превышающим действием нижней катушки.

Второю причиною намагничения вала могут служить кабели, отводящие ток от щеток, если положительный и отрицательный кабели идут не вместе, а в разные стороны так, что токи, идущие по ним, создают поток, замыкающийся вокруг каждого из них через вал, подшипник и раму. При больших токах этот поток может быть довольно заметным. У генераторов с последовательною обмоткою возбуждения — сериес или компаунд — при соединении всех катушек последовательно и при том так, чтобы последняя катушка была присоединена к линии, а начальная к щетке якоря, вокруг якоря или вала получается контур из соединительных проводов, который при нагрузке даст магнитный поток, замыкающийся через вал, подшипники и раму. Если при нормальной нагрузке этот поток и мал, то при коротком замыкании он может достигнуть большой величины и вследствие задерживающей силы вала и рамы заметно намагнитить вал. (Потому-то рекомендуется последовательные катушки возбуждения разбивать на две группы и одни концы этих групп подсоединять к положительным и отрицательным щеткам, а другие к зажимам машины, и так, чтобы магнитные действия токов в соединительных проводах взаимно уничтожались).

Третья причина появления подшипниковых токов — трансформаторное действие полей, которые пронизывают цепь из вала, подшипников и рамы. Эти поля обязаны токам, индуктирующимся в торцовых тарелках, стягивающих железо якоря, которые, т.-е. токи, в свою очередь могут появиться вследствие пульсации намагничивающего потока в железе якоря, вызванной стыками его секторов. Железное кольцо якоря у больших машин, как известно, собирается из отдельных секторов, при чем стыки одного слоя перекрываются секторами другого слоя. Благодаря такому устройству якоря в местах стыков его кольца магнитное сопротивление больше, нежели в других сечениях кольца; оно особенно увеличивается, когда индукция в железе велика, и железо перекрываю-

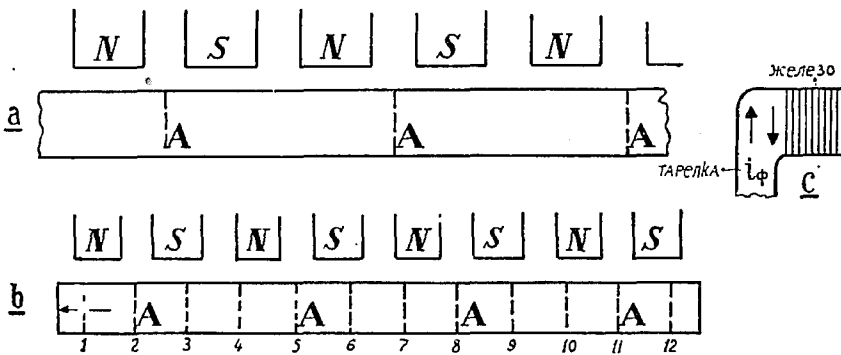


щих стыки секторов насыщается. Если такое кольцо вращается в магнитном поле полюсов, то могут быть следующие явления. Пусть у якоря стыки так сделаны, что по отношению к полюсам они располагаются, как указано на фиг. 163 а: имеются стыки *A*, которые при вращении якоря влево подходят под северные полюсы, в то время как другие стыки *B* подходят под южные



Фиг. 163.

полюсы. Магнитное сопротивление для северных и южных полюсов одновременно убывает, так как некоторые магнитные линии начинают попадать в якорь за стыками, т.е. не проходят через них. Вследствие этого поток в сечении кольца нарастает, что в торцовых тарелках вызывает реакцию (по закону Ленца) в виде токов, идущих около стыков *A* вверх с наружной стороны тарелки и вниз с внутренней ее стороны, а около стыков *B* — наоборот (см. фиг. 163 б и в). В общем магнитодвижущие силы токов тарелки, в отно-



Фиг. 164.

шении трансформаторного действия их на цепь из вала, подшипников и рамы (фиг. 161), взаимно компенсируются. Но если стыки якоря сделаны так, что одновременно подходят под полюсы только стыки *A* или стыки *B* (фиг. 164 а и б), то в тарелке будут иметься токи одного направления, при чем это направление меняется при прохождении стыка под северным или под южным полюсом. Эти токи создадут переменную во времени магнитодвижущую силу, которая даст магнитный поток, пронизывающий контур фиг. 161 и индуцирующий

в этом контуре вторичный ток. Нетрудно вывести, что если наибольший общий множитель числа полюсов и числа стыков есть  $k$ , и частное от деления числа полюсов на  $k$  нечетное, то токи стыков  $A$  уравнивают токи стыков  $B$ . Если же это частное четное, то стыки  $A$  и  $B$  действуют в разные моменты и вызываемые ими токи не компенсируются. Последнее будет, например, тогда, когда число полюсов равно 8, а число стыков — 12, ибо  $k = 4$  и  $8 : 2 = 4$  (фиг. 164 б); частота тока в этом случае в три раза больше частоты вращения якоря  $p n/60$ .

Чтобы определить, имеются ли у исследуемой машины подшипниковые токи и какова их природа, поступают следующим образом. Запустив машину вхолостую без возбуждения, милливольтметром постоянного тока измеряют напряжение между валом и подшипником, один конец проводника прижимая к торцу вала, а другой к болту подшипника; при наличии остаточного магнетизма в валу милливольтметр даст некоторое отклонение. Это отклонение может увеличиться, как только будет дано возбуждение. Если это увеличение значительно, то это укажет, что в машине существуют указанные выше причины, содействующие увеличению намагничивания тока. Но увеличения показания милливольтметра постоянного тока может и не получиться; следует в этом случае измерить то же напряжение низковольтным вольтметром переменного тока. Если отклонение получится, то это укажет на то, что в машине имеется трансформаторное действие магнитного потока на цепь, состоящую из вала, подшипников и рамы машины. При наличии напряжения между валом и подшипником следует включить между ними толстыми кабелями амперметры постоянного и переменного тока, подключив конец одного кабеля к болту подшипника, а конец другого кабеля к щеточке из газовой меди, прижатой к торцу вала (очистив его предварительно от масла). Показание того или иного амперметра укажет и природу тока, — будет ли он постоянный, или переменный. Хотя амперметр и не измеряет токов, идущих через цапфу к подшипнику, но все же его показание может служить указателем интенсивности явления. Может случиться, что оба амперметра будут давать показания; это укажет на существование обеих причин, вызывающих подшипниковые токи.

Если бы представилось возможным между лапами подшипника и рамою машины положить прокладку из тонкой бумаги, чтобы изолировать подшипник от рамы, то подшипниковый ток трансформаторной природы можно было бы измерить, включив между подшипником и рамою амперметр. Его показание дало бы весь ток, циркулирующий в цепи, состоящей из вала, подшипников и рамы.

Изучение причины появления подшипниковых токов будет полнее, если одновременно определить частоту тока, идущего через амперметр. Эту частоту можно определить или помощью осциллографа, или помощью диска Жубера (см. гл. IV), приладив его так или иначе к концу вала машины.

## ГЛАВА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ.

### 1. ГЛАВНЕЙШИЕ ДЕФЕКТЫ В ДИНАМОМАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Следующая таблица дает наиболее часто встречающиеся дефекты в динамомашине постоянного тока.

ТАБЛИЦА.

Проявление дефектов	Внешние признаки	Причины	Устранение причин
<p>I. Искрообразование на коллекторе под щеткою или у щетки.</p>	<p>1. Сильно выкрошившаяся изоляция между двумя коллекторными пластинами.</p>	<p>Разрыв секции обмотки якоря, присоединенной к коллекторн. пластинам; чаще всего этот разрыв происходит в месте соединения секции с коллектором и реже в пазах.</p>	<p>Спайка в месте разрыва, если это место доступно; иногда полная перемотка якоря.</p>
	<p>2 и 2а. Вибрация щеток; искровой след на коллекторе; при употреблении угольных щеток — сильное загрязнение.</p>	<p>Вибрирующий коллектор. Возвышение изоляции над колл. пластинами вел. неодинак. твердости материалов пластин и изоляции, или вел. иеодостат. прочности самого коллектора (ослабление стягивающ. кольца).</p>	<p>Чистка коллектора стеклянной бумагой; иногда обточка; многократное подтягивание коллекторных болтов в нагретом состоянии коллектора.</p>
	<p>3. Слишком большое число оборотов при нормальном напряжении (у двигателя).</p>	<p>Слабое возбуждение; обрыв цепи возбуждения.</p>	<p>Уничтожение обрыва в цепи возбуждения.</p>
	<p>4. Плохо центрированный якорь у многополюсных машин с параллельной обмоткой; ненормально большой нагрев еще</p>	<p>Внутренние уравнительные токи вел. неодинаковых напряжений отдельных ветвей обмотки; это обстоят. обусл. неодина-</p>	<p>Центрировка якоря; у больших машин установка уравнительных колец или соединений.</p>

Проявление дефектов	Внешние признаки	Причины	Устранение причин
II. Ненормальный нагрев якоря.	без внешнего тока. Это же явление имеет место и при обмотке параллельно-последовательной,—в особенности при несимметричной обмотке.	ковым междужелезным пространством под полюсами. При параллельно-последовательных обмотках причина лежит в неодинаковых сопротивлениях отдельных групп щеток (на одном кольце сидящих).	
	5. Сильный нагрев или отсутствие всякого нагрева одной индукторной катушки многополюсной машины; кроме того—ненормальный нагрев якоря.	Короткое замыкание всей индукторной катушки или ее части; благодаря этому происходит ослабление поля соотв. полюса, след., неравномерное поле вокруг якоря, а потому и уравнивающие токи в его обмотке.	Ремонт поврежденной катушки.
	6. Без признаков.	Неправ. положение щеток. Употребление вредных смазочных веществ для коллектора. Плохо притертые щетки. Плохое качество угля щеток. Неудовлетв. щеткодержатель.	
	1. Слишком малое число оборотов при нормальной нагрузке.	Сильное возбуждение; большие потери на гистерезис и токи Фуко.	Обеспечение нормального числа оборотов.
	2. Нагрев части обмотки якоря за малый промежуток времени; генератор сам не возбуждается; двигатель вращается с слишком большою скоростью.	Короткое замыкание одной или нескольких секций якорной обмотки.	Ремонт обмотки якоря.
	3. Слишком сильно нажатые щетки; ненормально большие щетки.	Перенос тепла от коллектора на обмотку якоря.	
4. Неподходящий сорт материала щеток; твердый уголь, твердая медная сетка, и т. д.	Та же.	Применение лучших щеток.	

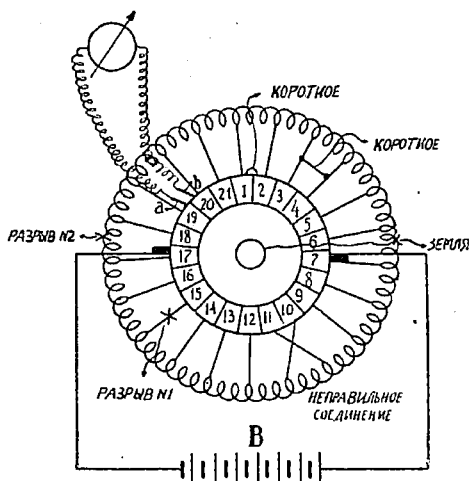
Проявление дефектов	Внешние признаки	Причины	Устранение причин
<p>III. Ненормальный нагрев индукторных катушек.</p>	<p>1. Слишком малое число оборотов при нормальном напряжении.</p> <p>2. Слишком высокое напряжение при нормальной скорости.</p> <p>3. Короткое замыкание одной или нескольких индукторных катушек; коротко-замкнутые катушки остаются холодными, другие же сильно нагреваются. У компаунд-машин часто через соприкосновение тонкой и толстой обмоток.</p>	<p>Недопустимо большой намагничивающий ток.</p> <p>Увеличение намагничивающего тока за счет уменьшения общего сопротивления индукторных катушек.</p>	<p>Следует придерживаться заводских данных.</p> <p>Устранение короткого замыкания.</p>
<p>IV. Генератор не дает напряжения.</p>	<p>1. Без признаков; однако с посторонним возбуждением генератор дает полное напряжение.</p> <p>2. Без признаков; но при независимом возбуждении генератор дает полное напряжение.</p> <p>3. Без признаков; при независимом возбуждении генератор дает полное напряжение, но при другой полярности, т.-е. (+) и (—) изменились.</p> <p>4. Генератор не дает при независимом возбуждении напряжения.</p> <p>5. Генератор при независимом возбуждении дает очень малое напряжение, но требует для вращения большого усилия; якорь быстро нагревается.</p> <p>6. Генератор при независимом возбужд.</p>	<p>• Утерян остаточный магнетизм.</p> <p>Генератор, благодаря короткому замыканию перемагнитился.</p> <p>Якорь имеет не то направление вращения, какое было при заводском испытании.</p> <p>Разрыв в индукторных катушках, в реостате; катушки включены друг против друга.</p> <p>Короткое замыкание одной или нескольких секций.</p>	<p>Новое намагничение от постороннего источника тока, при чем следует принять во внимание направление тока.</p> <p>Как и прежде.</p> <p>Изменить полярности зажимов шунта.</p> <p>Ремонт.</p> <p>Ремонт.</p>

Проявление дефектов	Внешние признаки	Причины	Устранение причин
<p>V. Электродвигатель не идет вхолостую.</p>	<p>дает почти полное напряж., но при этом получается сильное искрение без нагревания и без ненорм. потребления энергии; ближайший осмотр обнаруживает явление I, 1.</p>		
	<p>7. При независимом возбуждении генератор дает также полное напряжение, но при условии сильного нажатия щеток.</p>	<p>См. I, 2а. Выступающая изоляция мешает установлению хорошего контакта между коллектором и щеткою.</p>	<p>См. I, 2а.</p>
	<p>1. Ток в якоре циркулирует; якорь можно легко повернуть рукою, но при этом получается сильное искрение.</p>	<p>Нет намагничивающего тока; или в двигателе, или в пусковом реостате прервана шунтовая цепь; возможно, что индукторные катушки включены друг против друга; при этом не нагруженный двигатель быстро развивает большую скорость.</p>	
	<p>2. Как и V, 1, но без порчи в индукторных катушках и при правильном их соединении; двигатель начинает вращаться вхолостую, если его подтолкнуть рукою; под нагрузкою двигатель не идет.</p>	<p>Неправильное соединение пускового реостата с двигателем; магнитное поле при пуске в ход слишком слабо, так как намагничивающий ток ответвляется не до, а после пускового реостата.</p>	<p>Изменение схемы включения пускового реостата.</p>
<p>3. И в якоре, и в индукторных катушках циркулируют токи; схема правильна; якорь можно с трудом повернуть рукою; вращение толчками.</p>	<p>Одна или несколько якорных секций испорчены, — выгорели или пробиты.</p>	<p>Ремонт.</p>	
<p>4. В якоре нет тока.</p>	<p>Цепь прервана или в пусковом реостате, или в предохранителе.</p>	<p>Ремонт.</p>	

## 2. НАХОЖДЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ОБМОТКЕ ЯКОРЯ ПРИ НАЛИЧИИ ЛИШЬ ВОЛЬТМЕТРА И ИСТОЧНИКА ТОКА.

### а) РАЗРЫВ СЕКЦИИ ИЛИ СОЕДИНИТЕЛЬНОГО ПРОВОДА С КОЛЛЕКТОРНОЙ ПЛАСТИНОЙ.

Все щетки, за исключением двух разнополярных, приподнимают, а в щеткодержатели оставшихся щеток помещают щеточки, по ширине равные толщине коллекторной пластины. От низковольтного источника пропускают ток через якорь (фиг. 165), наблюдают по амперметру за этим током при поворачивании якоря на одну пластину. Если при каком-либо положении щеток ток прервется, то это значит, что какая-то щетка коснулась дефектной пластины, на фиг. 165 пластины 15. Если же показание амперметра при полном повороте останется почти неизменным, то это значит, что соединения обмотки с коллектором находятся в порядке. В таком случае берут две узкие металлические щеточки *a* и *b*, соединяют их с низковольтным вольтметром и, сдвинув их на расстояние, равное ширине пластины, перемещают вокруг коллектора. Если показание вольтметра остается постоянным, то это значит, что разрыва в секции нет. Но если при прикосновении щеточками двух каких-либо соседних пластин, на фиг. 165 пластин 17 и 18, показание вольтметра будет больше, то это укажет на то, что секция, подходящая к этим пластинам, имеет разрыв.



Фиг. 165.

### б) Короткое замыкание между пластинами или в секции.

Через якорь пропускается ток; двумя узкими металлическими щеточками (*a* и *b*, фиг. 165), находящимися на расстоянии, равном ширине пластины, и соединенными с низковольтным вольтметром, обходят вокруг коллектора, касаясь соседних пластин. Если вольтметр не даст никакого отклонения, то это значит, что или пластины, с которыми соприкасаются щеточки (на фиг. 165 пластинки 1—2), соединились между собою накоротко, или имеется короткое в секции (на фиг. 165 в секции между пластинами 3—4). Чтобы проверить, нет ли короткого замыкания между двумя секциями, поступают следующим образом: раздвигают пробные щеточки на расстояние, равное удвоенной ширине коллекторной пластины, и обходят ими вокруг коллектора. Нормально отклонение вольтметра, соединенного с пластинами, должно быть вдвое больше отклонения первого случая. Если же щеточки коснулись пластин дефектных

секций, то отклонение вольтметра уменьшится. В том случае, когда при соприкосновении щеточек  $a$  и  $b$  с какими-либо двумя соседними пластинами (на фиг. 165 с пластинами 10 — 11) стрелка вольтметра отклонится в обратную сторону, это будет обозначать, что концы секции неправильно соединены с коллекторными пластинками.

### с) ЗАЗЕМЛЕНИЕ СЕКЦИИ.

Аккумуляторная батарея присоединяется к противоположным коллекторным пластинам; одна щеточка цепи вольтметра  $a$  прижимается к валу якоря, другую щеточкою  $b$  обходят вокруг всего коллектора. Если одна коллекторная пластина заземлена, то на коллекторе можно найти две точки, дающие наименьшее отклонение стрелки вольтметра. Отметив эти точки, переставляют контакты батареи на несколько пластин вперед или назад и снова щеточкою обходят вокруг коллектора. Если при этом одна из точек наименьшего отклонения стрелки вольтметра окажется на той же пластине, что и при первом обходе коллектора, то это укажет на заземление именно этой пластины. Другая точка наименьшего отклонения стрелки вольтметра переместится в этом последнем случае вместе с перемещением контактов батареи.

## 3. ИСКУССТВЕННАЯ НАГРУЗКА ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Наиболее экономичным способом нагрузки генератора постоянного тока при испытании является, очевидно, тот, при котором энергия генератора расходуется на какую-либо полезную работу, напр., на зарядку аккумуляторной батареи, на освещение, на приведение в движение двигателей и т. д. Однако этот способ возможен только при испытании шунт- и компаунд-генераторов, да и то не всегда. При испытании серийных генераторов он почти неприменим. Несколько менее экономичный способ нагрузки генератора можно применить в том случае, когда генератор приводится в движение соответствующим ему по напряжению электрическим двигателем. Приключив обе машины к одной и той же внешней электрической сети (с посторонним источником тока) и возбудив надлежаще двигатель и генератор, легко получить систему, которая при любой нагрузке генератора будет брать из внешней сети небольшое количество энергии, равное потерям в обеих машинах. Этот способ часто применяется на испытательных станциях электротехнических заводов.

При испытании генераторов на центральных электрических станциях обычно пользуются нагрузочными реостатами, при чем, при относительно небольших по мощности генераторах, — ламповыми или металлическими реостатами; при больших генераторах — водяными.

### а) ЛАМПОВЫЕ РЕОСТАТЫ.

На фиг. 166 представлена схема простейшего лампового реостата. Грубое изменение нагрузки производится включением или выключением рубильников  $T$ ,  $T$ ; более тщательное — ввертыванием или вывертыванием отдельных лампо-



чек. Пользуясь лампочками разных калибров, легко получить довольно тонкую регулировку нагрузки. Ламповые реостаты употребляются обычно при напряжениях не свыше 400—500 вольтов и для токов до 100—150 амперов. При расчете необходимого числа угольных ламп для данной нагрузки можно считать на одну свечу около 3,5 ватта. Одним из главных недостатков ламповых реостатов является чувствительность их к механическим сотрясениям и к повышению напряжения. Поэтому работа с ними требует особого внимания со стороны экспериментатора. В тех случаях, когда ламповый реостат предназначается не для очень ответственной работы, его можно смонтировать на дереве; в иных случаях — лучше на железных каркасах.

#### б) МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РЕОСТАТЫ.

Металлические реостаты устраиваются или с естественным (воздушным) охлаждением, или же с водяным. Первые — для мощностей 80—100 кВт, вторые для мощностей выше 100 кВт. При расчете металлических реостатов, предназначенных только для испытания генератора, нагрев проволок его допускается значительно больший, нежели при расчете обыкновенных реостатов. Ту силу тока, при которой проволока данного диаметра и определенного металла (никкелин, нейзильбер, железо и т. д.) приходит в состояние, близкое к калению, лучше определять опытным путем. Зная эту силу тока для проволоки одного диаметра, нетрудно приблизительно найти допустимый ток для проволоки того же металла любого диаметра (конечно, при одинаковых условиях охлаждения).

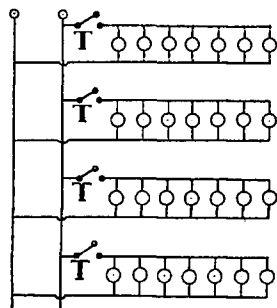
Пусть  $J$  — допустимая сила тока для проволоки диаметра  $d$ , сопротивление единицы длины (напр., одного метра) которой —  $r$ ; тогда количество тепла, освобождаемое проволокою, будет пропорционально  $rJ^2$ . Так как сопротивление проволоки пропорционально  $1/d^2$ , а поверхность охлаждения пропорциональна диаметру  $d$ , то при одной и той же поверхности охлаждения, приходящейся на единицу освобождаемого тепла, при разных диаметрах проволоки должно сохраниться соотношение:

$$\frac{J^2}{d^3} = \text{const.}$$

Если, напр., для железной проволоки с диаметром  $d = 1$  мм наибольшая допустимая сила тока — 100 амп., или наибольшая плотность тока  $\Delta_1 = 12,7$  амп., т.-е.  $J^2/d^3 = 100/1 = 100$ , то при тех же условиях охлаждения проволока с диаметром  $d = 2$  мм пригодна для тока

$$J_1 = \sqrt{\text{const.} \cdot d^3} = \sqrt{100 \cdot 8} = 28,3 \text{ амп.};$$

плотность тока в этом случае будет  $\Delta_2 = 9$  амп. Из сравнения плотностей тока в обоих случаях следует, что для облегчения реостата выгоднее брать вместо проволоки большего сечения две или три проволоки меньшего сечения.



Фиг. 166.

Еще выгоднее делать реостат из пластин или лент, охлаждающая поверхность которых при одном и том же сечении больше охлаждающей поверхности проволок.

Если реостаты предназначены для продолжительной службы и должны занимать возможно меньше места и, кроме того, сохранять по возможности величину своего сопротивления, то материалом для них служат металлы с большим сопротивлением на единицу длины, как-то: нейзильбер, никкелин, константан, крупин и др. Для удобства расчета реостатов в нижеследующих таблицах приведены сопротивления и наибольшие допустимые силы тока для проволок из нейзильбера, никкелина и константана.

ТАБЛИЦА

ВЕЛИЧИИ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРОВОЛОК ИЗ НЕЙЗИЛЬБЕРА И КОНСТАНТАНА.

Диаметр в мм	Сечение в мм <sup>2</sup>	Сопротивление 1 м проволоки	
		Нейзильбер	Константан
0,2	0,031	12,59	15,13
0,4	0,126	3,10	4,00
0,6	0,283	1,38	1,79
0,8	0,503	0,77	1,—
1,—	0,785	0,50	0,64

ТАБЛИЦА

НАИБОЛЬШИХ СИЛ ТОКА В АМПЕРАХ.

Диаметр в мм	Сила тока	
	Нейзильбер	Константан
0,5	5,9	5,7
0,76	9,—	7,8
1,00	12,5	9,9
1,50	19,—	14,5
2,00	27,5	24,5
2,50	39,—	38

Наибольшие значения силы тока определены для такого состояния проволоки, когда она при нормальных условиях охлаждения еще не достигла накала.

ТАБЛИЦА

ВЕЛИЧИН СОПРОТИВЛЕНИЯ И НАИБОЛЬШЕГО НАГРУЗОЧНОГО ТОКА ДЛЯ НИККЕЛИНОВОЙ ПРОВОЛОКИ И НИККЕЛИНОВЫХ ПЛАСТИН.

Диаметр проволоки в мм	Сопротивление 1 м пров.	Наибольшая сила тока	Толщина полосы = 3 мм		
			Ширина полосы	Сопротивление 1 м	Наибольшая сила тока
0,2	13	1,5	10	0,133	40
0,4	3,2	3	15	0,0889	60
0,6	1,41	5	20	0,0667	80
0,8	0,79	7	25	0,0533	
1,0	0,51	10	30	0,0444	110
1,25	—	15	35	0,0381	130
1,50	0,23	23	40	0,0333	145
1,75	—	30	45	0,0296	160
2,0	0,127	38	50	0,0267	175

При указанных значениях наибольших сил тока никкелин при нормальных условиях охлаждения еще не доходит до накала. Сопротивления из никкелина плавятся при силах тока в 2—3 раза бóльших приведенных значений. Для реостатов, работающих при плохих условиях охлаждения, следует понизить указанные наибольшие значения сил тока на 30—40%.

Одним из качеств хорошего реостата является относительное постоянство сопротивления проволок его при нагреве током. Чем меньше температурный коэфф. для данного металла, тем более он подходит для реостата. Температурный коэфф. железа—0,48; никкелина—0,028; нейзильбера—0,036. Как видно, температурный коэфф. железа весьма значителен, и потому реостаты из железной проволоки в значительной степени (до 30% и более) меняют свое сопротивление при нагреве.

Что касается практического устройства реостатов, то оно во многом зависит от местных условий. Если, напр., реостат предназначается для ответственной постоянной работы, то он монтируется на мраморе, шифере и железе. Во многих же случаях, и при невысоких напряжениях, его можно монтировать и на дереве, следя за тем, чтобы сильно нагревающиеся проволоки были расположены дальше от дерева. С целью получить компактный реостат проволока обычно свивается в спираль относительно небольшого диаметра (ок. 0,5—1,5 см).

В тех случаях, когда реостаты предназначаются для временной работы, напр., для испытания генераторов во время приемки, выгоднее делать их из простой железной проволоки, монтируя на дереве. Хотя такой реостат будет, конечно, занимать много места, но стоит он будет недорого и сделать его не представит никаких затруднений с самыми скромными средствами. Ниже приведена таблица сопротивлений железной проволоки разных диаметров.

ТАБЛИЦА

сопротивления мягкой отожженной железной проволоки (уд. вес=7,7;  
сопротивление 1 м при сечении 1 кв. мм и при 15°C = 0,13 ома):

Диаметр проволоки в мм <sup>2</sup>	Сечение в мм	Метров в одном кг	Сопротивле- ние одного метра в омах	Длина в м проволоки в один ом сопротивл.
0,5	0,196	662	0,664	1,51
1,0	0,785	165	0,166	6,02
1,5	1,767	73,5	0,074	13,5
2,0	3,142	41,3	0,041	24,4
2,5	4,909	26,5	0,0265	37,7
3,0	7,07	18,4	0,0184	54,3
3,5	9,62	13,5	0,0135	74,1
4,0	12,57	10,3	0,0104	96,2
4,5	16,62	8,20	0,0077	123
5,0	19,64	6,62	0,0066	152
5,5	23,76	5,46	0,0055	182
6,0	28,27	4,60	0,00346	217

При испытании генераторов мощностью выше 80—100 kW, как было указано ранее, можно пользоваться также металлическими реостатами, но уже с водяным охлаждением, ибо последнее дает возможность повысить указанные в таблице наибольшие допускаемые силы тока для проволок реостатов. Для железных проволок, напр., при водном охлаждении допустимый ток можно взять в 4—5 раз больше, нежели при естественном охлаждении. При устройстве металлического реостата с водяным охлаждением необходимо обратить особое внимание на возможно лучшую циркуляцию воды около проволок.

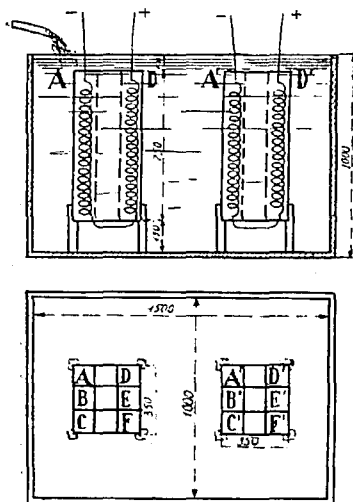
Как пример металлического реостата с водяным охлаждением на фиг. 167 изображен реостат, служивший для испытания генератора мощностью в 450 kW при напряжении 240 вольт. Он состоит из деревянного чана длиной в 1,5 метра, шириною и глубиною в один метр. Внутри этого чана на особых подставках располагаются два небольших деревянных ящика с решетчатыми деревянными же перегородками. В образуемые этими перегородками клетки и помещены железные проволоки, свитые в спираль относительно большого диаметра (около 7 см). Холодная вода поступает в верхнюю часть чана; нагретая вода отводится также из верхней части чана. Ток к железной проволоке подводится медными изолированными кабелями; места соединения кабеля с проволокою, находящиеся в воде, во избежание электролиза, тщательно изолированы. В каждой клетке первого ящика помещалась спираль из железной проволоки, диаметром в 2 мм и длиной в 26 м; в каждой клетке второго ящика — спираль из проволоки, диаметром в 3 мм

и длиной в 35 м. При напряжении 240 вольт проволока диаметром в 2 мм была нагружена током около 130 амперов; проволока диаметром в 3 мм — током в 290 ампер. Приток воды регулировался при этом так, что наибольшая температура воды была 60°.

Весьма удобную форму железному реостату с водяным охлаждением можно придать, если взять вместо проволок трубки и пропускать воду через трубки.

### с) Водяные реостаты.

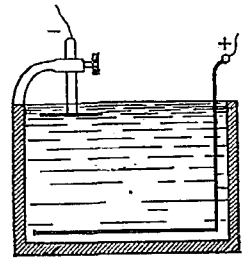
Во многих случаях, в особенности при испытании генераторов большой мощности, на центральных станциях с успехом пользуются водяными реостатами, состоящими в простейшем виде из двух металлических пластин, соединенных с зажимами генератора и опущенных в воду. Так как чистая вода является плохим проводником, то для большей проводимости к ней примешивается зола, сода, поваренная соль и т. д. Пластины могут быть сделаны из листового железа.



Фиг. 167.

Водяной реостат легко соорудить с весьма скромными средствами, и потому стоимость его невелика. Однако работа с ним более мешкотна, нежели с металлическими реостатами, так как сопротивление его довольно непостоянно и для поддержания одной и той же нагрузки в течение некоторого промежутка времени приходится это сопротивление так или иначе регулировать.

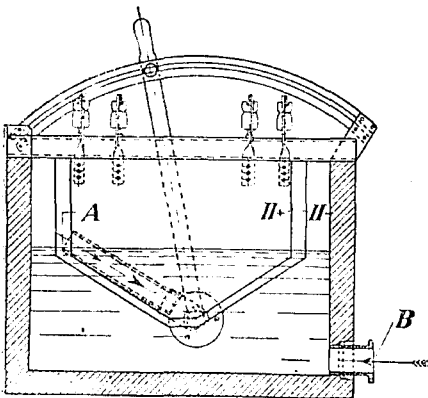
Регулирование сопротивления водяного реостата может быть осуществлено или изменением расстояния между пластинами, или изменением поверхности соприкосновения с водою одной из пластин, или же наконец, изменением концентрации воды. При первых двух способах пластины должны быть подвешены вертикально так, чтобы удобно было сдвигать и раздвигать их, или же, поднимать и опускать одну из них. На фиг. 168 изображен схематически жидкостный реостат довольно простого устройства с горизонтальными пластинами. Бак, в который наливается жидкость и помещаются пластины, делается обычно из дерева (иногда из глины). Часто пользуются просто бочками с выбитым одним дном. Если бак делается из металлических листов, то внутри он обкладывается каким-либо изолирующим веществом.



Фиг. 168.

На фиг. 169 изображен водяной реостат с непрерывным притоком воды. Поверхность соприкосновения пластин  $\Pi_+$  и  $\Pi_-$  с водою регулируется поворотом отводящей воду трубки  $A$ .

При продолжительных испытаниях динамомашин, когда желательно иметь постоянную нагрузку, вода водяного реостата не доводится до кипения, так как



Фиг. 169.

иначе вследствие выделения пара величина поверхности соприкосновения пластин с водою будет меняться, а с нею будет меняться и сопротивление реостата. Количество притекающей воды, необходимое для данной мощности машины, при условии, чтобы реостат не нагрелся выше некоторой температуры, определяется следующим образом. Один ватт отвечает 0,00024 калории в секунду; если температура поступающей в реостат воды  $t_1$ , а уходящей из реостата  $t_2$ , то на один освобождающийся киловатт требуется в секунду  $0,24/(t_2 - t_1)$  литра воды; в час —  $864/(t_2 - t_1)$  литров.

Необходимое сопротивление реостата для мощности машины  $V \cdot J$  будет  $R = V/J$ . Если  $\rho$  — удельное сопротивление воды (т.-е. сопротивление столба воды сечением в 1 кв. см и длиной в 1 см),  $l$  — расстояние между пластинами в см,  $S$  — поверхность соприкосновения пластины с водою, то

$$R = \frac{\rho \cdot l}{K \cdot S},$$

где  $K$  — коэффициент, учитывающий то обстоятельство, что ток идет от пластины к пластине не по прямым линиям, а по кривым. Таким образом, сечение столба жидкости между пластинами больше  $S$ . Коэфф.  $K$  зависит от многих факторов, напр., от удельного сопротивления воды, от формы пластин и т. д., и поэтому не может быть заранее точно определен. Приблизительно для прямоугольных пластин его можно определить из следующей эмпирической формулы:

$$\frac{1}{K} = \frac{a \cdot h}{Ha - Ah} \lg \frac{Ha}{Ah}.$$

В этой формуле  $A$  и  $H$  — высота и ширина сосуда с водою,  $a$  и  $h$  — высота и ширина пластин. Напр., при  $H=1,00$ ;  $A=1,00$ ;  $h=0,75$  и  $a=0,50$

$$\frac{1}{K} = 0,6 \text{ и } K = 1,67.$$

Из равенства:

$$R = \frac{V}{J} = \frac{\rho \cdot l}{K \cdot S}$$

получается

$$l = \frac{K \cdot S \cdot V}{\rho \cdot J}.$$

Отношение  $\frac{S}{J}$  дает поверхность, соответствующую одному амперу нагрузки. Обозначив это отношение через  $c$ , имеем:

$$l = \frac{K \cdot c \cdot V}{\rho}.$$

Объем воды, находящейся между пластинами, равен  $l \cdot S$ , т. е.  $\frac{KcVS}{\rho} = \frac{Kc^2VJ}{\rho}$  (ибо  $S = c \cdot J$ ).

След., объем воды на один киловатт будет:

$$Q = \frac{1000lS}{VJ} = \frac{1000 \cdot Kc^2}{\rho}.$$

Пользуясь этим выражением, можно найти размеры реостата, если будут известны, кроме коэффициента  $K$ , значение  $\rho$  и  $c$ .

Удельное сопротивление химически чистой воды  $\rho$  бесконечно велико; но удельное сопротивление обычной воды, всегда содержащей примеси, относительно невелико. Оно в значительной степени зависит как от температуры воды, так и от количества и состава примесей. Удельное сопротивление родниковой воды при обычной температуре находится в пределах 4000—6000 ом; речной воды — около 2000 ом; не особенно чистой речной воды 1000 ом и даже 500 ом.

При расчете реостата лучше удельное сопротивление определить из предварительного опыта; но если этого сделать нельзя, то иметь в виду непостоянство этой величины, и для естественной воды при температуре 60° считать: для родниковой  $\rho = 2000$ —4000 ом, для речной  $\rho = 1000$ —3000 ом.

Те или иные примеси, а также нагрев в значительной степени понижают удельное сопротивление воды. Если  $\rho_0$  — удельное сопротивление жидкости при температуре  $t$  а  $\rho$  — удельное сопротивление той же жидкости при температуре  $t_1$  и  $\alpha$  — температурный коэффициент, то

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{1}{1 + \alpha(t_1 - t)}$$

Значения коэффициента  $\alpha$ , а также и удельное сопротивление (на  $см/см^2$ ) жидкости  $\rho$  при  $18^\circ$  в зависимости от количества и природы примеси приведены в нижеследующей таблице:

Поваренная соль, $\alpha = 0,0216$		Серная кислота, $\alpha = 0,0177$		Сода, $\alpha = 0,021$		Нашатырь, $\alpha = 0,0199$	
на 100 частей по весу	$\rho$	на 100 частей по весу	$\rho$	на 100 частей по весу	$\rho$	на 100 частей по весу	$\rho$
0,058	1030	0,174	125,6	0,04	53,4	0,05	870,00
0,57	116	0,435	53,3	0,4	5,07	5	11,5
5	15,9	0,724	35,5	4	6,5	10	6,0
10	8,8	0,985	25,9	17	3,5	20	3,1
20	5,4	1,000	23,2	30	5,2	—	—
25	5,0	2,500	9,8	—	—	—	—

Величина  $s$  определяется по объему воды, приходящемуся на один киловатт, т.е. по  $Q$ . Практикой установлено, что реостат функционирует хорошо если  $Q = 80$  куб. см.

При расчете размеров водяного реостата необходимо принять во внимание способ регулирования сопротивления его. Если сопротивление его регулируется изменением расстояния между пластинами, то реостат должен удовлетворять двум условиям: во-первых, чтобы при наименьшем допустимом расстоянии между пластинами, что отвечает наибольшему значению  $\rho$ , объем воды между ними был достаточен (для хорошего функционирования реостата), во-вторых, он должен иметь такую длину, чтобы можно было получить желаемое сопротивление (при наименьшем значении  $\rho$ ). Если же сопротивление регулируется опусканием и подъемом пластин, то реостат должен удовлетворять также двум условиям: во-первых, чтобы количество воды между пластинами было достаточно, когда находящаяся в воде поверхность пластин будет иметь наименьшую величину (это отвечает наименьшему значению  $\rho$ ), во-вторых, чтобы при наибольшем значении  $\rho$  пластины, целиком опущенные в воду, дали требуемое сопротивление. При первом способе регулирования сопротивления целесообразнее положить  $K = 1,5$ , при втором —  $K = 1$ . В таком случае, при необходимом количестве воды на один киловатт  $Q = 80$  куб. см значения для  $s$ ,

а следовательно, для плотности тока на 1 кв. см поверхности пластины (равной  $1/c$ ), определенные из выражения

$$Q = 80 = 1000 \cdot K \frac{c^2}{\rho}$$

будут:

	$c(K=1,5)$	$\Delta(K=1,5)$	$c(K=1)$	$\Delta(K=1)$
при $\rho = 500$	5,14	0,195	6,32	0,158
$\rho = 2000$	10,32	0,097	12,65	0,079
$\rho = 4000$	14,6	0,068	15,49	0,065

Наибольшее расстояние между пластинами при первом способе регулирования определяется из выражения

$$l = K \cdot c \cdot \frac{V}{\rho_{\min}}$$

Примеси к воде позволяют уменьшить ее удельное сопротивление и тем самым понизить значения  $c$  или повысить плотность тока  $\Delta$  на пластинах. Но далеко идти в этом направлении нельзя, так как большие плотности тока поведут к сильному нагреву воды, что в свою очередь может вызвать парообразование и появление накипи на пластинах или же вызвать процесс разложения воды и окисления пластин. Не рекомендуется брать для плотности тока на поверхности пластин значений, больших 0,25—0,3 ампера на 1 кв. см. Применяя воду с примесями, следует иметь в виду, что температурный коэффициент такой воды довольно значителен (см. таблицу), а потому сопротивление реостата быстро уменьшается с увеличением нагрева. Это обстоятельство заставляет быть бдительным при работе с такими реостатами.



## ПРИЛОЖЕНИЕ.

### ПРОЕКТ НОРМ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ.

Печатаемый проект норм по электрическим машинам выработан Центральным Электротехническим Советом, но еще не рассмотрен и не утвержден Всесоюзным Электротехническим Съездом. А потому этот проект нужно пока рассматривать как материал, содержащий, однако, весьма много ценных указаний для лиц, имеющих дело с испытаниями электрических машин.

#### I. ПРАВИЛА И НОРМЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.

##### § 1.

Настоящие нормы относятся ко всем электрическим машинам нижеследующих категорий:

1. Генераторы и двигатели постоянного тока.
2. Синхронные генераторы и двигатели.
3. Вращающиеся преобразователи.
4. Асинхронные генераторы и двигатели.
5. Компенсаторы фаз.
6. Коллекторные машины переменного тока.
7. Агрегаты, состоящие из вышеперечисленных типов машин.

*Примечание.* На тяговые двигатели настоящие нормы не распространяются.

#### II. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

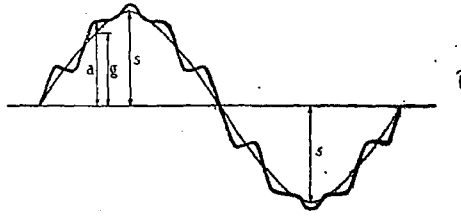
##### § 2.

1. Постоянный ток есть ток, не меняющий своего напряжения и не пульсирующий.
2. Переменный ток есть такой ток, направление которого меняется периодически определенное число раз в единицу времени. Переменный ток может быть однофазным и многофазным.
3. Трехфазный ток есть ток трехфазной связанной системы.
4. Форма кривой переменного напряжения и тока характеризуется очертанием кривой, представляющей в прямоугольных координатах зависимость мгновенных значений переменного тока от времени.

*Примечание.* Форма кривой не зависит от масштаба координат, в которых эта кривая построена.

Две периодически меняющиеся во времени величины имеют одну и ту же форму кривой, если соответствующие координаты находятся в постоянном соотношении друг к другу.

5. Синусоидальный переменный ток есть переменный ток, имеющий синусоидальную форму кривой. Форма кривой напряжения и тока считается практически синусоидальной, если ни одна из ее ординат не отличается от соответствующей ординаты основной синусоиды более, чем на 5%, амплитудного значения основной волны (фиг. 170).



Фиг. 170.

*Примечание.* Для определения основной волны должны быть использованы по меньшей мере 12 точек кривой напряжения. Для кривых, которые во все четверти периода симметричны, амплитуда основной волны

$$S = \frac{a_0 + \sqrt{3a_1 + a_2}}{3},$$

где  $a_0$  — наибольшее значение ординаты действительной кривой, а  $a_1$  и  $a_2$  — значения ординат, отстоящих от ординат  $a_0$  на  $1/12$  и  $2/12$  периода.

6. Под напряжением и силой переменного тока при отсутствии особой оговорки в нормах понимается действующее (эффективное) их значение.

7. Мощность (действительная, активная) есть количество энергии, отдаваемое или потребляемое машиной в одну секунду.

В случае переменного тока под мощностью понимается среднее значение мощности за полный период изменения тока.

Мощность всегда выражается в ваттах (W) или киловаттах (kW).

8. Кажущаяся мощность есть произведение действующего напряжения на действующую силу тока. Она выражается в вольтамперах или киловольтамперах (VA или kVA).

В случае многофазной системы под кажущейся мощностью понимается сумма кажущихся мощностей всех фаз.

9. Коэффициент мощности есть отношение мощности электрической системы переменного тока, выраженной в ваттах W (или kW), к кажущейся мощности, выраженной в VA или kVA.

10. Реактивная мощность при синусоидальном напряжении и токе есть величина, равная корню квадратному из разности квадратов кажущейся мощности и действительной (активной).

*Примечание.* Реактивная мощность выражается в вольтамперах (VA) или киловольтамперах (kVA).

11. Многофазная система напряжения или тока практически считается симметричной, если отношение суммы квадратов разности между значениями напряжения или тока каждой фазы и средним значением тех же величин к квадрату среднего значения величины равно или менее 0,004, т.-е.

$$\frac{\sum E^2}{E_m^2} \leq 0,004$$

где

$$E_m = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{n}$$

$$\Delta E_1 = E_1 - E_m$$

$$\Delta E_2 = E_2 - E_m \text{ и т. д.}$$

12. Статор есть неподвижная активная часть машины.

13. Ротор есть вращающаяся активная часть машины.

*Примечание.* В машинах с неподвижными полюсами вращающаяся активная часть называется также якорем.

### III. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.

#### § 3.

A. Классификация электрических машин по роду их функций.

1. Электрическим генератором называется всякая вращающаяся машина, превращающая механическую энергию в электрическую.

2. Электродвигателем называется всякая вращающаяся машина, превращающая электрическую энергию в механическую.

3. Двигатель-генератором называется агрегат, состоящий из двух или нескольких механически связанных машин: двигателя (или двигателей) постоянного или переменного тока и генератора (или генераторов) постоянного или переменного тока, и служащий для преобразования одного рода электрической энергии в другой.

4. Вольтодобавочной машиной (бустером) называется генератор, включенный последовательно в какую-нибудь цепь для изменения ее напряжения. Вольтодобавочная машина может приводиться в движение как отдельным электродвигателем, так и иным способом.

5. Преобразователем называется электромагнитный механизм, служащий для преобразования одного рода электрической энергии в другой, при чем это преобразование может происходить как в одной вращающейся части машины, так и в двух, обмотки которых связаны электрически.

6. Одноякорным преобразователем называется машина, служащая для преобразования переменного тока в постоянный и обратно в одной обмотке.

7. Каскадным преобразователем называется агрегат, служащий для преобразования переменного тока в постоянный и обратно и представляющий комбинацию из связанных механически и электрически асинхронного двигателя с машиной постоянного тока.

8. Преобразователем частоты называется машина, превращающая электрическую энергию переменного тока одной частоты в электрическую энергию переменного тока другой частоты с изменением или без изменения числа фаз и напряжения.

*Примечание 1.* В том случае, когда функции преобразователя частоты выполняются двигатель-генератором, последний получает название „двигатель-генератор для преобразования частоты“.

*Примечание 2.* Если преобразователь частоты представляет комбинацию асинхронного двигателя с синхронной машиной, то он называется каскадным преобразователем частоты.

9. Фазным преобразователем называется вращающаяся машина или комбинация из нескольких связанных электрически машин, служащая для преобразования одного числа фаз в другое. При этом частота тока остается одной и той же, величина же напряжения может изменяться.

10. Синхронным или асинхронным конденсатором называется машина, снабжающая реактивной мощностью систему, к которой она присоединена.

11. Фазным компенсатором называется возбудитель асинхронных машин.

## § 4.

## Б. Классификация электрических машин в отношении их пазиачения и конструкции.

1. Коллекторной машиной постоянного тока называется машина, состоящая из якоря и связанного с ним коллектора и системы возбуждения неизменной полярности.

2. Униполярной машиной называется машина постоянного тока, в которой проводники якоря пересекают магнитное поле одного и того же направления в течение всего оборота.

3. Синхронными машинами называются машины переменного тока, возбуждаемые постоянным током и предназначенные для работы с частотой, строго соответствующей числу оборотов.

4. Альтернатором называется однофазный или многофазный синхронный генератор переменного тока.

5. Турбоальтернатором называется синхронный генератор (переменного тока), предназначенный для соединения с паровой турбиной и обладающий неявно выраженными полюсами в роторе (индукторе).

6. Асинхронными (индукционными) машинами называются бесколлекторные машины переменного тока, возбуждаемые со стороны первичной цепи переменным током, имеющие электрически независимые первичную и вторичную обмотки и вращающиеся с изменяющейся, в зависимости от нагрузки, скоростью.

7. Коллекторными машинами переменного тока называются машины, имеющие ротор (якорь) и связанный с ним коллектор и систему возбуждения переменной полярности.

8. Компенсированными двигателями называются асинхронные машины, имеющие приспособление для улучшения коэффициента мощности.

## § 5.

## В. Классификация машин по способу возбуждения.

1. Машинами с самовозбуждением называются такие машины, которые возбуждаются индуктированным в них током.

2. Машинами с независимым возбуждением называются такие машины, которые получают возбуждающий ток от совершенно независимого источника.

*Примечание.* Машины с возбудителем на валу называются машинами с собственным возбудителем.

## § 6.

## Г. Классификация двигателей по скоростным характеристикам.

1. Двигателями с постоянной скоростью называются такие двигатели, в которых скорость вращения не зависит от нагрузки (напр., синхронный двигатель).

2. Двигателями с шунтовой характеристикой называются такие двигатели, в которых скорость вращения при увеличении нагрузки изменяется незначительно (напр., шунтовые двигатели постоянного тока и асинхронные двигатели).

3. Двигателями с серийной характеристикой называются такие двигатели, скорость вращения которых в сильной мере зависит от нагрузки, причем увеличению нагрузки соответствует падение скорости (напр., двигатели постоянного и переменного тока с последовательным возбуждением и репульсионные двигатели).

4. Двигателями с несколькими ступенями скорости называются такие двигатели, которые могут работать только на нескольких определенных ступенях

скорости. На каждой из указанных ступеней двигатель работает по шунтовой характеристике (напр., синхронный двигатель с изменением числа полюсов) или при постоянной скорости (напр., асинхронный двигатель с изменением числа полюсов).

5. Двигателями с регулировкой скорости называются двигатели с шунтовой или сериесной характеристикой, число оборотов которых может изменяться в некоторых пределах для одной и той же нагрузки.

## § 7.

### Д. Классификация машин по системе охлаждения.

1. Машинной с естественным охлаждением называется такая машина, которая не имеет никаких специальных приспособлений для охлаждения.

2. Машинной с самовентиляцией называется такая машина, охлаждение которой достигается или вентилятором, или каким-нибудь специальным приспособлением, составляющим с вращающейся частью машины одно целое.

*Примечание.* В том случае, когда воздух должен подводиться или отводиться посредством труб, в технических условиях машины должно быть сделано специальное указание.

3. Машинной с посторонним охлаждением называется такая машина, к которой охлаждающая среда (газообразная или жидкая) подается специальным приспособлением (вентилятором или насосом), работающим независимо от машины. Этот класс машин делится на три категории:

- а) машины с воздушным охлаждением,
- б) машины с замкнутой циркуляцией газа,
- в) машины с водяным охлаждением.

*Примечание.* Машины с водяным охлаждением подшипников в последнюю категорию не включаются.

## § 8.

### Е. Классификация машин по способу защиты.

#### 1. Открытые машины.

Открытой машиной называется такая машина, в которой все вращающиеся и токопроводящие части не имеют специальных приспособлений.

#### 2. Защищенные машины.

а. Защищенной машиной называется такая машина, у которой обмотки и другие части, находящиеся под напряжением или в движении, защищены от случайного прикосновения или проникновения внутрь машины постороннего тела, но таким образом, что свободный обмен воздуха между машиной и окружающей средой не нарушен. Против пыли, влажности и газов, содержащихся в воздухе, этот род машины является незащищенным.

б. Защищенной от падения капель сверху машиной называется такая, которая, кроме защиты согласно пункту „а“, имеет приспособление, исключающее возможность попадания в машину жидкости и грязи сверху.

в. Защищенной от дождя и брызг называется такая машина, которая кроме защиты согласно пункту „а“, имеет приспособление, предохраняющее от проникновения внутрь машины водяных капель и струи любого направления.

#### 3. Закрытые машины.

а. Закрытой машиной называется такая, которая, не будучи абсолютно герметической, не имеет никаких других отверстий, кроме отверстий для болтов, скрепляющих отдельные механические части, и для вывода проводов, или же имеет только

отверстия, которые защищены крышками, препятствующими проникновению воздуха из машины в окружающее пространство и обратно.

б. **Закрытой вентилируемой машиной** называется закрытая машина с независимым охлаждением. Охлаждающая среда подводится посредством труб или других аналогичных приспособлений.

*Примечание.* Если закрытые машины должны иметь некоторые части под напряжением вне защитного кожуха, об этом должно быть специально оговорено. Пример: закрытый асинхронный двигатель с внешними контактными кольцами.

в. **Герметически закрытой машиной** называется машина, способная выдерживать без вреда и без понижения изоляции ниже 500 000 ом полное погружение в воду в течение 4 часов.

#### 4. Машины с защитой против взрыва.

а. **Машиной с защитой против взрыва** называется машина, снабженная специальным кожухом, который может противостоят без повреждения взрыву газа внутри машины и не передает пламени воспламеняющемуся газу вне ее, и наоборот.

б. **Машиной с противовзрывной защитной оболочкой для колец** называется такая машина, в которой кольца и щетки заключены в специальное устройство, могущее противостоят взрыву газов внутри ее и препятствующее выбиванию пламени вне ее.

### IV. НОМИНАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН И НОМИНАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ.

#### § 9.

##### Номинальные значения величин.

Условия работы машин характеризуются теми значениями мощности, напряжения тока, скорости вращения, коэффициента мощности, частоты, для которых машина построена и которые указаны на щитке машины. Как этим значениям, так и другим, вычисленным по ним, присваивается наименование „номинальных“.

**Номинальной мощностью** электрических машин называется мощность, указываемая на щитке машины и которую машина должна развивать или отдавать при своем номинальном режиме.

**Номинальная мощность генераторов постоянного тока**, определяется на зажимах машин и выражается в ваттах (W) или киловаттах (kW).

**Номинальная мощность альтернаторов** определяется на зажимах машины и выражается в вольтамперах (VA) или киловольтамперах (kVA).

**Номинальной мощностью электродвигателей** называется механическая мощность на валу машины, выражаемая в ваттах (W) или киловаттах (kW).

**Номинальным напряжением** называется напряжение, указанное на щитках машины и которое машины должны развивать на своих зажимах, или при котором последние должны действовать, при условии, что остальные величины, характеризующие режим машины, имеют также номинальные значения.

Данные относительно напряжения машины относятся к эффективным значениям.

Если нет особых указаний, то напряжение всегда означает для трехфазных машин — сопряженное (линейное) или междуфазовое напряжение, а для двухфазных машин — напряжение между проводами одной и той же фазы.

**Номинальной силой тока** машины называется сила тока машины, указанная на щитке последней и определяемая на основании номинальных значений кажущейся мощности и напряжения.

**Номинальной скоростью** вращения машины называется скорость вращения, обозначенная на щитке машины и соответствующая номинальному режиму машины.

Номинальным коэффициентом мощности ( $\cos \varphi$ ) называется отношение номинального значения эффективной мощности к номинальному значению, кажущейся мощности.

## § 10.

### Номинальный режим работы.

Срок службы машины зависит от наибольших температур, при которых работает примененная в машине изоляция. Поэтому при установлении мощности машины необходимо различать следующие три режима работы.

#### 1. Продолжительная работа.

Продолжительной работой машины называется такая работа, при которой рабочий период настолько велик, что нагрев машины достигает своего установившегося состояния. Номинальной мощностью машины при продолжительной работе называется та мощность, которую машина может отдавать в течение произвольно долгого времени. При этом конечная температура и конечные повышения температуры отдельных частей машины не должны превосходить указанных ниже в § 16 допустимых пределов. Если на щитке машины при указании мощности не сделано особого добавления, то под номинальной мощностью машины понимается мощность при продолжительной работе.

#### 2. Кратковременная работа.

Кратковременной работой машины называется такая работа, в течение которой нагрев машины не достигает своего установившегося состояния.

Перерыв в работе машины должен быть достаточно велик для того, чтобы при возобновлении работы температура машины не отличалась от температуры охлаждающей среды.

Номинальной мощностью машины при кратковременной работе называется та мощность, которую машина может отдавать в течение определенного, указанного на ее щитке времени. При этом конечные температуры и конечные повышения температуры отдельных частей машины не должны превосходить указанных ниже в § 18 допустимых пределов.

Стандартные периоды работы устанавливаются в 5, 10, 15, 30, 60, 90 и 120 минут.

Номинальная мощность машин, предназначенных для кратковременной работы, должна указываться на щитке машины с дополнительной надписью: „в течение . . . минут“.

*Примечание.* При установлении номинальной мощности электродвигателей должны быть предусмотрены условия пуска в ход.

#### 3. Повторно-кратковременная работа.

Повторно-кратковременной работой называется такая работа, при которой рабочие периоды регулярно чередуются с периодами остановки или работы без нагрузки — „промежутками“ (например, двигатели для кранов, подъемных машин и т. п.). Общая продолжительность одного рабочего периода с одним промежутком не должна превосходить 10 минут.

Режим повторно-кратковременной работы характеризуется относительной продолжительностью рабочего периода, под которой понимается отношение времени рабочего периода к суммарной продолжительности рабочего периода и „промежутка“.

Нормальными значениями относительной продолжительности рабочего периода считаются 15, 25 и 40%.

При нерегулярно распределенных рабочих периодах и промежутках за относительную продолжительность принимается отношение суммарного времени всех рабочих периодов к продолжительности времени испытания. Длительность такого испытания не должна быть больше 8 часов.

Номинальной мощностью машины при повторно-кратковременной работе называется мощность, при которой машина может работать длительно при условии регулярного

чередования рабочих периодов с „промежутками“ при заданной относительной продолжительности рабочего периода. При этом конечные температуры и конечные повышения температуры не должны превосходить указанных ниже в § 16 допустимых пределов.

Номинальная мощность машины для повторно-кратковременной работы должна указываться на щитке машины с дополнительной надписью: „При повторно-кратковременной работе“.

• *Примечание.* При заказе машины должно быть оговорено, должна ли машина во время перерывов совсем выключаться, или работать вхолостую.

## У. ПРЕДЕЛЬНЫЕ НОРМЫ НАГРЕВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ИСПЫТАНИЕ МАШИН НА НАГРЕВАНИЕ.

### § 11.

#### Классификация изолирующих материалов.

Все изолирующие материалы, применяемые в электрических машинах, в отношении допускаемых для них наибольших температур нагрева, разделяются на следующие четыре класса:

Класс 0. — Не пропитанные и не погруженные при работе в масло волокнистые материалы, как-то: хлопчатобумажная пряжа и ткань, натуральный шелк и тому подобные органические вещества.

Класс А. — Пропитанные или погруженные в масло волокнистые материалы, как-то: хлопчатобумажная пряжа и ткань, натуральный шелк, бумага и тому подобные органические вещества; также эмаль и лаки, служащие для покрытия проводников.

Класс В. — Препараты из слюды, асбеста и тому подобных материалов, способные противостоять высоким температурам, в которых небольшое количество материала класса А применяется исключительно для связи и не понижает качества изоляции.

Если совместно с изоляционным материалом класса В с целью крепления применяется в небольшом количестве изоляционный материал класса А, то подобная комбинированная изоляция может быть отнесена к классу В в том случае, если электрические и механические свойства обмотки с этой изоляцией не ухудшаются из-за действия более высокой температуры, допускаемой для материалов класса В. (Здесь под словом „ухудшение“ следует понимать, что не будут иметь места никакие изменения, которые могут сделать изоляцию непригодной для длительной работы).

Класс С. — Чистая слюда без связывающих материалов, фарфор, стекло, кварц и другие подобные материалы.

*Примечание.* Пропитанная хлопчатая бумага, бумага или шелк. Изоляция считается „пропитанной“, если пропитывающее вещество вытесняет собою воздух между отдельными волокнами, при чем это вещество не должно обязательно заполнять собою промежутков между изолированными проводниками. Пропитывающее вещество должно обладать хорошими изолирующими свойствами, должно в совершенстве обволакивать волокна, способствовать плотному взаимному сцеплению их волокон как между собой, так и с телом проводника; это вещество не должно образовывать пустых пространств внутри изоляции проводника как следствие своего испарения, так и по каким-либо другим причинам. Оно не должно разжижаться под влиянием допустимых предельных температур. Наконец, оно должно быть теплостойким.

Изоляция, составленная из материалов, принадлежащих к различным классам. Если применяется комбинированная изоляция из материалов, принадлежащих к различным классам, за исключением случаев, указанных в разделе о классе В, повышение температуры каждого из применяемых материалов не должно превосходить предельного значения, допускаемого для данного материала.



## § 12.

Нагрев частей машины как при продолжительной, так и при повторно-кратковременной работе характеризуется разностью температур, именуемой „повышением температуры“, между температурой частей нагретой машины и температурой охлаждающей среды, при кратковременной же работе — разностью температур частей машины в конце и начале работы.

Наибольшие повышения температуры частей машины не должны превосходить указанных ниже в таблице § 16 пределов.

## § 13.

Измерение температуры машины, в зависимости от мощности и типа машины, может выполняться тремя методами:

а) Метод термометра. Метод термометра заключается в определении температуры машины ртутным, спиртовым или иным термометром, прикладываемым к тем местам отдельных частей машины, которые предполагаются наиболее горячими. Этот метод может дать лишь температуру поверхности частей машины.

б) Метод сопротивления. Метод сопротивления состоит в определении температуры обмоток машины по увеличению омического сопротивления. Этот метод дает среднюю температуру металла обмоток, а потому при его применении рекомендуется одновременное измерение температуры методом термометра согласно пункту „а“ настоящего параграфа. За измеренную температуру в этом последнем случае берется наибольшая из полученных по двум вышеуказанным методам.

в) Метод температурных детекторов. Метод заложенных температурных детекторов заключается в определении местных внутренних температур машины термомпарами или специальными местными катушками сопротивления, помещаемыми по возможности ближе к точкам наибольшего нагрева. Этот метод дает местные внутренние температуры машины. На ряду с измерением температуры обмоток по методу детекторов всегда должен применяться метод сопротивления. За измеренную температуру считается наибольшая температура из полученных по двум методам.

Метод температурных детекторов должен применяться к статорам всех турбоальтернаторов с мощностью в 5000 kVA и выше. Он должен также применяться к статорам всех остальных типов машин переменного тока, если мощность их равна или превосходит 5000 kVA, или если длина железа статора равна 100 см и выше независимо от мощности.

## § 14.

В виду того, что измерение температуры точек наибольшего нагрева практически почти невозможно, в нормы вводится понятие „наибольшей и наблюдаемой температуры“. Величина „наибольшей наблюдаемой температуры“ зависит от метода измерения. Поэтому в таблице норм наибольших наблюдаемых температур и повышений температуры указывается метод измерения.

## § 15.

Нормы повышения температуры отдельных частей машины устанавливаются по „наибольшей наблюдаемой температуре“ и стандартной температуре охлаждающей среды.

Стандартная температура охлаждающей среды устанавливается в 35°C. для воздуха и 25°C. для воды.

Нормы таблицы § 16 принимают, что высота местности над уровнем моря не превосходит 1000 метров.

*Примечание.* Для машин, предназначенных для установки на больших высотах и в помещениях, имеющих температуру выше 35°C, должны быть особые условия заказа.

## § 16.

Наибольшие наблюдаемые температуры и наибольшие повышения температуры частей машины не должны превосходить величин, указанных в нижеследующей таблице.

ТАБЛИЦА НОРМ

НАИБОЛЬШИХ НАБЛЮДАЕМЫХ ТЕМПЕРАТУР И НАИБОЛЬШИХ ПОВЫШЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧАСТЕЙ МАШИН ДЛЯ РАБОТЫ В МЕСТНОСТЯХ, ГДЕ ТЕМПЕРАТУРА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НЕ ПРЕВОСХОДИТ 35°С. для воздуха и 25°С. для воды.

№ по порядку	Класс изоляции	Наименование частей машины или род обмотки	Наибольшие наблюдаем. температуры в град. Цельсия	Наибольшие повышения темп. в град. Цельсия	Метод измерения
1	О	Все обмотки на вращающихся и неподвижных частях машины за исключением пп. 5, 6, 7	80°	45°	—
2	А	Все обмотки на вращающихся и неподвижных частях машины за исключением пп. 5, 6, 7	95°	60°	Метод сопротивления с проверкой по методу термометра
3	В	Все обмотки на вращающихся и неподвижных частях машины за исключением пп. 5, 6, 7.	115°	80°	
4	С	Все обмотки на вращающихся и неподвижных частях машины за исключением пп. 5, 6, 7	Ограничены таким нагревом, при котором температура соседних изолированных частей не превосходит допускаемого для них предела		
5	О, А, В	Изолированные, постоянно замкнутые накоротко обмотки	На 5° выше, чем в пунктах 1, 2, 3		
6	Без изоляции	Постоянно замкнутые накоротко обмотки	Как в пункте 4		Метод термометра
7	От I до IV	Однорядные обмотки возбуждения с голой неизолированной поверхностью	На 5° выше, чем в пунктах 1, 2, 3		
8		Железо, не соприкасающееся с обмотками	Как в пункте 4		
9		Железо с уложенными в нем обмотками	Как в пунктах 1, 2, 3, 4		
10		Коллектор и контактные кольца	90°	55°	
11		Подшипники	80°	45°	
12		Все другие части	Как в пункте 4		

## § 17.

Продолжительность опыта нагревания и начальная температура машины.

1. Испытание машин на нагревание должно производиться в условиях, соответствующих номинальному режиму работы или при условиях в тепловом отношении ему эквивалентных.

*Примечание.* Под эквивалентными в тепловом отношении условиями понимают такие, при которых количество тепла, выделенного в каждой отдельной части машины за время опыта искусственной нагрузки, равно количеству тепла, выделенного за то же время при номинальном режиме работы.

2. У машин, предназначенных для продолжительной работы, испытание на нагревание может начинаться как в холодном, так и в нагретом состоянии.

Испытание производится до тех пор, пока не установится конечная температура. Температура считается установившейся, если ее повышение за час не превосходит 2°C.

3. В машинах для кратковременной работы опыт должен начинаться [обязательно с холодного состояния машины. Наибольшая, допускаемая в начале опыта разность температур между температурой самой теплой обмотки и температурой окружающей среды не должна превышать 3°C.

Опыт должен продолжаться в течение обозначенного на щитке указанного периода времени.

4. В машинах для повторно-кратковременной работы испытание на нагревание может начинаться как в холодном, так и нагретом состоянии. Испытание продолжается до тех пор, пока не установится конечная температура. Измерение температуры машины производится по истечении половины времени последнего периода работы. Продолжительность одного периода работы с остановкой (или работы без нагрузки) должна составлять 10 минут.

*Примечание.* В целях ускорения испытания на нагрев, машины, предназначенные для продолжительной работы, могут работать в начале испытания при некоторой, допустимой с механической и электрической точек зрения, перегрузке. Машины для повторно-кратковременной работы могут в начале испытания работать без перерыва.

5. В машинах средней и большой мощности испытание на нагревание может быть закончено по достижении машиной 85 — 90% от предполагаемой конечной температуры. Конечная температура может быть определена графическим построением. С этой целью измеряется приращение температуры ( $\Delta T$ ) через равные промежутки времени ( $\Delta t$ ) порядка 10 — 15 минут, и строится график зависимости приращения температуры  $\Delta T$  за каждый промежуток в функции от средней температуры  $T$  за этот промежуток. Приращение температуры  $\Delta T$  откладывается по оси абсцисс, а средняя температура  $T$  по оси ординат.

*Примечание.* Линия, выражающая эту зависимость, представляет прямую, которая в пересечении с осью ординат дает конечную температуру машины. (Графическое построение см. фиг. 131).

## § 18.

Измерение температуры охлаждающей среды.

1. В машинах с естественным охлаждением и с самовентиляцией за температуру охлаждающей среды необходимо принимать среднюю арифметическую температуру окружающего воздуха из температур, измеренных через равные промежутки времени в течение последней четверти опыта.

2. Для измерения температуры окружающего воздуха применяются по крайней мере два термометра, которые располагают на уровне средней части машины на расстоянии от нее от 1 до 2 метров.

3. Во избежание ошибок, могущих быть из-за сдвига во времени в колебаниях температуры мощных машин и температуры окружающей среды, при испытании таких машин шарик термометра должен погружаться в металлический сосуд с маслом цилиндрической формы. Размеры сосуда должны быть не меньше 25 мм в диаметре и 350 мм по высоте.

4. В тех машинах с самовентиляцией, к которым воздух подводится посредством специальных труб и каналов, в машинах с независимым охлаждением и в машинах с водяным охлаждением за температуру охлаждающей среды считается средняя арифметическая из температур охлаждающей среды, измеренных при входе в машину через равные промежутки времени в течение последней четверти опыта.

### § 19.

#### Измерение температуры машин.

1. В тех случаях, когда это возможно без остановки или выключения машины, измерение необходимо производить в течение всего испытания. Например: температуру обмотки возбуждения — по методу сопротивления, температуру обмоток статора — термометром или температурным детектором и т. п.

2. Измерение температуры частей машины должно быть произведено также немедленно после остановки машины. В случае машин с независимым охлаждением одновременно с выключением их следует останавливать приток охлаждающего воздуха или охлаждающей воды.

3. В том случае, когда между моментом выключения и измерением температуры машины после остановки проходит промежуток времени, достаточный для того, чтобы температура машины могла несколько понизиться, следует определять температуру частей машины в момент выключения.

*Примечание.* В тех случаях, когда непосредственное измерение этой температуры невозможно, определение ее должно быть сделано следующим приближенным способом. После выключения машины отмечают температуры ее частей в зависимости от времени, строят кривую температуры в функции от времени и экстраполируют ее на момент выключения.

4. За измеренную температуру машины берется наибольшая из двух полученных температур: в момент выключения и после остановки.

### § 20.

#### Различные методы измерения температуры частей машин.

##### а) Метод сопротивления.

Повышение температуры медных обмоток в градусах Цельсия вычисляется по следующей формуле.

1. В машинах для продолжительной и повторно-кратковременной работы

$$\Delta T = \frac{R_{гор} - R_{хол}}{R_{хол}} \cdot \frac{1}{\alpha} - (T_{охл. ср.} - T_{хол}).$$

2. В машинах для кратковременной работы

$$\Delta T = \frac{R_{гор} - R_{хол}}{R_{хол}} \cdot \frac{1}{\alpha}.$$

В этих формулах:

$R_{гор}$  — сопротивление нагретой обмотки,  $R_{хол}$  — сопротивление холодной обмотки,  $T_{хол}$  — температура холодной обмотки,  $T_{охл. ср.}$  — температура охлаждающей среды;  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления меди, определяемый по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{234,5 + T_{хол}}$$

Температура обмотки в градусах Цельсия, при которой намерено начальное сопротивление обмотки $T_{хол}$	Величина коэффициента $\alpha$ , которая должна быть подставлена в формулу для $\Delta T$
0	0,00427
5	418
10	409
15	401
20	393
25	385
30	378
35	371
40	364

Метод сопротивления может быть заменен методом термометра в случае обмоток очень малого сопротивления, как, напр., обмотки добавочных полюсов, компенсационные обмотки и т. п.

#### б) МЕТОД ТЕРМОМЕТРА.

1. Измерение температуры посредством термометра должно производиться ртутным или спиртовым термометром. Спиртовой термометр рекомендуется применять во всех тех случаях, где возможно появление в ртути токов Фуко.

2. Термометры, применяемые для измерения температур машин, должны плотно прикладываться к той поверхности, температура которой измеряется. С наружной стороны они должны покрываться ватой или другим плохо проводящим тепло материалом.

3. Для измерения температур поверхностей, соприкасающихся с охлаждающей средой, вместо термометра могут применяться также катушки сопротивления и термопары. Однако в сомнительных случаях правильным считается показание термометра.

#### в) МЕТОД ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ.

1. Рекомендуемый тип температурных детекторов — детектор сопротивления. Он должен иметь длину 50 см, ширину 3 мм и сопротивление около 10 омов. Кроме того, в качестве температурных детекторов могут применяться также термопары. Число закладываемых детекторов должно быть не меньше шести, при чем они должны быть размещены равномерно по всей окружности машины в тех местах впадин, которые по предположению будут иметь наибольшие температуры.

2. Каждый детектор должен быть собран с полосками подходящего изолирующего материала, при чем собранная таким образом единица по ширине должна быть равна ширине впадины, а по длине несколько больше длины самого детектора.

3. Детектор должен находиться в самом близком контакте с изоляцией, температура которой измеряется; детектор должен быть уложен таким образом, чтобы к нему был закрыт доступ охлаждающего воздуха.

4. В машинах с двухслойной обмоткой детектор должен быть помещен между верхней и нижней катушками впадины. В машинах с однослойной обмоткой детектор может быть помещен или между верхней стороной катушки и клином, или между нижней стороной катушки и дном впадины снаружи изоляции катушки.

## VI. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ МАШИН.

### § 21.

1. Испытание электрической прочности изоляции на пробой высоким напряжением является обязательным для всех машин без исключения и должно производиться на месте изготовления машин до начала их промышленной эксплуатации.

*Примечание.* Если испытание изоляции на пробой предполагается произвести на месте установки, то в технических условиях должна быть сделана специальная оговорка.

2. Испытание изоляции на пробой высоким напряжением допустимо лишь для новых машин. Оно производится или а) при таких температурах частей машин, которых они достигают при нормальной работе, т.-е. сразу после испытания машины на нагревание, если таковой машине подвергается, или б) в холодном состоянии машины, если при приемке она испытанию на нагревание не подвергается.

*Примечание.* Над машинами, проработавшими некоторое время в эксплуатации, испытание на пробой производится не должно. В этом случае исправное состояние изоляции может быть до некоторой степени проверено лишь по измерению ее сопротивления.

3. Испытание изоляции на пробой производится с вполне собранной машиной, а не с отдельными ее частями.

*Примечание.* В машинах постоянного тока, синхронных машинах с явно выраженными полюсами и тех машинах, которые на заводе не могут быть собраны, испытание изоляции на пробой может производиться над отдельными частями.

4. Измерение сопротивления изоляции машины является необязательным.

*Примечание.* Измерение сопротивления изоляции рекомендуется производить перед испытанием изоляции машины на пробой с целью убедиться в исправном состоянии изоляции. Наименьшее допустимое сопротивление изоляции машины при нормальной рабочей температуре ее частей может быть получено из следующего выражения:

$$\text{Сопротивление изоляции в мегомах} = \frac{\text{напряжение на зажимах}}{\text{номин. мощи. в kVA} + 1000}$$

Приведенная формула предполагает, что измерение сопротивления изоляции производится постоянным током при напряжении в 500 В. При измерении сопротивления изоляции все цепи, имеющие при нормальной работе одинаковый потенциал относительно земли, испытываются вместе. Цепи с различными напряжениями испытываются отдельно.

### § 22.

1. Испытанию на пробой высоким напряжением должны быть подвергнуты как изоляция обмоток по отношению к станинам (т.-е. к земле), так и изоляция между разобщенными электрически обмотками.

2. Испытательное напряжение должно прикладываться поочередно между каждой электрически независимой цепью и всеми другими электрическими цепями и металлическими частями, соединенными с корпусом и землей. Все обмотки машин, кроме испытуемой, при испытании должны быть соединены с землей. Соединенные между собой многофазные обмотки считаются за одну цепь.

3. Если несколько машин соединены между собой последовательно, то, кроме вышеуказанного испытания изоляции каждой машины, изоляция связанных электрически обмоток машин испытывается по отношению к земле напряжением, соответствующим испытательному напряжению системы.

4. Если одна из обмоток машин электрически связана со станиной, то при испытании изоляции на пробой соединение обмотки со станиной должно быть прервано. При установлении испытательного напряжения за номинальное напряжение обмотки в данном

случае считается наибольшее напряжение, которое может возникнуть при нормальной работе между какой-нибудь частью обмотки и статорной.

### § 23.

1. Частота испытательного напряжения должна быть равна номинальной частоте машины или 50 периодам в секунду.

2. Стандартная форма испытательного напряжения — синусоидальная.

3. Испытание должно начинаться при напряжении меньшем  $\frac{1}{8}$  испытательного напряжения. Напряжение затем должно повышаться постепенно до испытательного напряжения, однако с такою быстротою, какая допускает возможность правильного отсчета показаний измерительных приборов. Испытательное напряжение должно выдерживаться 60 секунд. При увеличении напряжения на 25% сверх номинального не должны появляться скользящие разряды.

Результаты испытания изоляции повышенным напряжением считаются удовлетворительными, если во время испытания не происходит ни пробивания, ни перекрытий скользящих разрядов и если путем наблюдения за потреблением тока будет установлено, что испытательное напряжение не повредило изоляции.

Явление короны во время испытания не должно рассматриваться как несоответствие диэлектрической прочности нормам.

### § 24.

#### Значения стандартного испытательного напряжения.

Порядк. №	Наименование машины или части ее.	Стандартное испытательное напряжение.
1.	Машины с мощностью меньше 1 kW.	Двойное иоимн. напряжение + 500 V.
2.	3 kW " включительно от 1 kW до	Двойное номинальное напряжение + + 1000 V.
3.	Машины с мощностью выше 3 kW.	Двойное номинальное напряжение + + 1000 V.
4.	Обмотки возбуждения синхронных генераторов при напряжении возбуждения не выше 750 V.	Минимальное напряжение 2000 V. 10 - кратное номинальное напряжение возбуждения. Минимум 2000 V. Максимум 3500 V.
5.	Обмотки возбуждения синхронных двигателей и одиоякорных преобразователей:	10 - кратное номинальное напряжение возбуждения.
	а) для асинхронного пуска при замкнутой „накоротко“ обмотке возбуждения; обмотка возбуждения считается замкнутой „накоротко“, если внешнее сопротивление не превосходит 10-кратной величины сопротивления самой обмотки;	Минимум 2000 V. Максимум 3500 V.
	б) для асинхронного пуска с разомкнутой, но секционированной обмоткой;	5000 V.
	в) для асинхронного пуска с разомкнутой, не секционированной обмоткой.	5000 V, если номинальное напряжение возбуждения меньше 275 V; 8000 V, если номинальное напряжение равно или больше 275 V.
6.	Возбудитель синхронных машин.	Двойное номинальное напряжение + + 1000 V.
7.	Вторичные обмотки (роторы) индукционных двигателей, замкнутые постоянно на короткое.	Не испытываются.
8.	Вторичные обмотки индукционных двигателей, не замкнутых постоянно на короткое.	Двойное напряжение на кольцах + + 1000 V. Напряжение на кольцах определяется при номинальном первичном напряжении и неподвижном роторе.

## § 25.

## Испытание изоляции витков.

1. Испытание изоляции витков производится: повышением индуктированного напряжения на 30% против нормального в течение 3 минут.

Повышение напряжения может быть получено повышением скорости вращения. Испытание изоляции витков производится после испытания изоляции на пробой.

2. Для контроля результатов испытания изоляции перед испытанием изоляции повышенным напряжением и после испытания изоляции витков должно быть произведено измерение сопротивления обмоток.

## VII. ПЕРЕГРУЗКА МАШИН.

## § 26.

Машины, предназначенные для продолжительной работы, должны выдерживать в нагретом состоянии кратковременные перегрузки, соответствующие 50% номинального тока в течение 2 минут без повреждения и остаточных деформаций. Испытание на перегрузку должно производиться при номинальном возбуждении.

*Примечание 1.* Напряжение на зажимах машины при этом может несколько отличаться от номинального.

*Примечание 2.* Предъявляемое к генератору требование не может быть распространено на первичный двигатель в смысле предъявления к нему требования выдерживать перегрузку генератора.

## § 27.

Все двигатели при номинальном напряжении на зажимах и двигатели переменного тока, кроме того, при номинальной частоте должны иметь перегрузочный момент не менее 60% номинального момента для машин с продолжительной нагрузкой и 200%— для машин с повторно-кратковременной нагрузкой. Длительность испытания двигателя на перегрузочный момент ограничивается 2 минутами.

## VIII. ИСПЫТАНИЕ МАШИН ПРИ ПОВЫШЕННОЙ СКОРОСТИ.

## § 28.

1. Все машины, кроме серийных двигателей и генераторов для гидравлических турбин, должны выдерживать повышение числа оборотов на 25% выше номинального без вредных деформаций.

2. Генераторы для гидравлических турбин должны выдерживать повышение числа оборотов на 80% выше номинального без остаточных деформаций.

*Примечание.* В том случае, когда при разное гидравлической турбины может получиться повышение числа оборотов генератора на 100% выше против номинального, в технических условиях должна быть сделана соответствующая оговорка.

3. Серийные двигатели постоянного и переменного тока должны выдерживать повышение скорости на 20% выше наибольшего указанного на щитке числа оборотов, но не ниже 50% сверх номинального для него.

4. Продолжительность испытания машины на повышение числа оборотов устанавливается в две минуты.

*Примечание.* Паровые турбины должны быть снабжены быстродействующим регулятором для выключения турбины при увеличении числа оборотов на 10%.

5. Результаты испытания при повышенном числе оборотов считаются удовлетворительными, если после испытания не обнаружено никаких вредных деформаций и когда машина способна выдержать пробу диэлектрической прочности, согласно § 24.



## IX. ИСПЫТАНИЕ КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИН НА КОММУТАЦИЮ.

### § 29.

1. Коллекторные машины должны работать без искрения при любой нагрузке от 25% номинальной нагрузки до полной при неизменном положении щеток.

*Примечание.* Коммутация практически считается безыскровой в том случае, когда коллектор и щетки остаются в исправном состоянии, вполне пригодном для дальнейшей работы.

2. При испытании на перегрузку коллекторные машины должны коммутировать таким образом, чтобы не возникало на коллекторе кругового огня. Коллектор и щетки должны при этом оставаться в исправном состоянии, вполне пригодном для дальнейшей работы.

3. При испытании на коммутацию одноякорного и каскадного преобразователей и коллекторных двигателей переменного тока приложенное напряжение должно быть практически синусоидальным (см. § 2, п. 5).

*Примечание.* Если при пуске коллекторных двигателей переменного тока и пуске одноякорного преобразователя со стороны переменного тока получается сильный огонь на коллекторе и щетках, то этот огонь не должен отзываться на пригодности коллектора для дальнейшей работы.

## X. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И МЕТОДЫ ЕГО ИЗМЕРЕНИЯ.

### § 30.

#### Общие сведения.

1. Коэффициентом полезного действия (к. п. д.) или отдачей машины называется отношение мощности, отданной машиной, к мощности, подведенной к ней.

2. Устанавливаются следующие стандартные методы определения коэффициента полезного действия:

а) Метод непосредственного определения, дающий непосредственно измеренный коэффициент полезного действия. В этом методе коэффициент полезного действия получается посредством одновременного измерения подведенной и отданной мощности.

б) Косвенный метод, в котором коэффициент полезного действия определяется при помощи измерения суммарных потерь, или же посредством измерения отдельных потерь. Коэффициентом полезного действия при применении этого метода является отношение отданной мощности к сумме отданной мощности и всех потерь (для генератора) или же отношение разности подведенной мощности и суммарных потерь к подведенной мощности (для двигателя).

3. При отсутствии в технических условиях особых оговорок под коэффициентом полезного действия понимается коэффициент полезного действия, определенный для машин с мощностью выше 1 kW косвенным методом по пункту 2-б настоящего параграфа.

4. Непосредственно измеренный коэффициент полезного действия может указываться лишь для таких машин и агрегатов, у которых имеется настолько значительная разница между подведенной и отданной мощностью, что ошибки измерений не имеют практического значения.

*Примечание.* У генераторов и двигателей с коэффициентом полезного действия больше 80% и у преобразователей с коэффициентом полезного действия больше 90% измерение коэффициента полезного действия методом непосредственного определения нецелесообразно, так как ошибки измерения значительно больше неточностей косвенного метода.

## § 31.

1. При отсутствии в технических условиях особых оговорок коэффициент полезного действия относится к номинальной мощности.
2. В двигателях с регулировкой скорости коэффициент полезного действия относится к номинальной скорости при номинальном напряжении.
3. В преобразователях с регулировкой напряжения коэффициент полезного действия относится к среднему значению напряжения.
4. Непосредственно измеренный коэффициент полезного действия всегда относится к рабочей температуре машины.
5. При определении коэффициента полезного действия по косвенному методу омическое сопротивление при вычислении Джоулевых потерь относится к  $75^{\circ}\text{C}$ . При измерении других потерь никакого пересчета на температуру не делается.
6. При установлении методов испытания предполагается, что приложенные напряжения симметричны и форма кривой приложенного напряжения синусоидальна (см. § 2, п. 5 и § 2, п. 11).

## § 32.

При определении коэффициента полезного действия машины к потерям машины необходимо относить следующие потери в вспомогательных аппаратах и приборах:

1. Потери в регулируемых сопротивлениях, реактивных катушках, вспомогательных трансформаторах и т. п., необходимых для обыкновенной работы машины.
2. Потери в возбудителе, если последний соединен непосредственно с машиной.

*Примечание.* При независимом возбуждении потери в возбудителе к машине не относятся.

3. Потери в добавочных машинах относятся к одноякорному преобразователю, если они составляют неотъемлемую часть преобразователя.

*Примечание.* Потери в главных трансформаторах и реактивных катушках к преобразователю не относятся и указываются отдельно.

4. Вентиляционные потери в машинах с самовентиляцией.

*Примечание.* Потери энергии в водяных и масляных насосах при независимом охлаждении к машине не относятся, но должны обязательно указываться отдельно.

## § 33.

## Н е п о с р е д с т в е н н ы й к . п . д .

Для непосредственного измерения коэффициента полезного действия применяются следующие методы:

1. Подведенная и отданная мощность измеряются одновременно на зажимах машины электрическими измерительными приборами.
2. Механическая отданная мощность измеряется посредством тормоза или динамометра, электрическая же мощность измеряется одновременно электрическими измерительными приборами.
3. Механическая подведенная мощность измеряется посредством вспомогательной тарированной машины, электрическая мощность измеряется одновременно электрическими измерительными приборами.

*Примечание.* Механическая мощность, отдаваемая машиной, должна быть измерена непосредственно на валу ротора, чтобы исключить потери на трение в ремне или зубчатой передаче.

## § 34.

Измерение суммарных потерь в машине по методу возвратной работы.

Этот метод состоит в том, что две идентичных машины, т.е. одинакового типа и одной и той же мощности, соединяются между собой таким образом, чтобы одна служила генератором, а другая двигателем. Возбуждение машин должно быть так установлено, чтобы среднее значение отданной мощности равнялось номинальной мощности машин и чтобы средняя величина напряжения равнялась номинальной. Мощность, необходимая для покрытия потерь, может подводиться к машинам или механически, или электрически, или же частью механически и частью электрически. Измеренная сумма потерь после соответствующего распределения ее на обе машины и служит для вычисления коэффициента полезного действия.

*Примечание.* В случае применения метода возвратной работы к машинам переменного тока при опыте в них должен быть также установлен номинальный коэффициент мощности.

## § 35.

Измерение суммарных потерь машины по количеству тепла, отведенного к охлаждающей среде.

В закрытых машинах, охлаждаемых газообразной или жидкой средой, общие потери за вычетом потерь на трение в подшипниках могут быть получены измерением количества тепла, передаваемого машиной охлаждающей среде, следующим способом.

Измеряют железные и вентиляционные потери в машине при холостом ходе  $p_0$  (согласно § 37) и одновременно определяют температуры охлаждающей среды при входе в машину  $T_0$  и выходе из нее  $T_1$ . Затем производят измерение тех же температур  $T'_0$  и  $T'_1$  при нормальной работе машины.

Полные потери  $p_x$  в машине за вычетом потерь на трение в подшипниках

$$p_x = p_0 \frac{T'_1 - T'_0}{T_1 - T_0}.$$

*Примечание 1.* Правильные результаты по этому методу могут быть получены при установившейся температуре машины в обоих опытах и при условии одинаковой циркуляции охлаждающей среды.

*Примечание 2.* Количество тепла, отдаваемого машиной, может быть также вычислено по количеству проходящей через машину охлаждающей среды, ее теплоемкости и температурам при входе и выходе.

*Примечание 3.* Потери на трение и в подшипниках определяются особо.

## § 36.

Определение коэффициента полезного действия по отдельным потерям.

Различаются следующие потери в электрических машинах:

1. Потери холостого хода:
  - а) потери в железе,
  - б) потери на трение в подшипниках, на трение о воздух и на трение щеток.
2. Джоулевы потери и добавочные потери:
  - в) Джоулевы потери во всех обмотках,
  - г) переходные потери на контактах от щеток к коллектору и на контактах от щеток к кольцам,

- д) добавочные потери, заключающие в себе все остальные потери, кроме перечисленных.

*Примечание.* К добавочным потерям относятся те потери в железе и железных частях, которые вызваны искажением магнитного потока при нагрузке; добавочные потери на токи Фуко в меди от той же причины; потери в короткозамкнутых секциях коллектора. При вычислении коэффициента полезного действия по отдельным потерям добавочные потери точно не определяются.

### § 37.

#### Определение потерь холостого хода.

1. Потери холостого хода определяются одним из следующих двух методов:

а) Метод генератора. Машина приводится во вращение вспомогательным тарированным двигателем с номинальным числом оборотов. Возбуждение машины при этом регулируется таким образом, чтобы при холостом ходе в ней индуцировалась такая же электродвижущая сила, какая индуцируется при нормальной работе. Индуцированная при нормальной работе электродвижущая сила  $E$  принимается равной:

$$\begin{aligned} \text{для генератора: } & V_{\text{ном.}} + J_{\text{ном.}} R, \\ \text{для двигателя } & V_{\text{ном.}} - J_{\text{ном.}} R. \end{aligned}$$

где  $R$  — омическое сопротивление для якоря машин постоянного тока и ваттное сопротивление статора, определяемое по потерям короткого замыкания, для синхронных машин. Подведенная к машине от вспомогательного двигателя мощность представляет потери холостого хода.

б) Метод двигателя. Машина пускается вхолостую, как двигатель. При этом все машины переменного тока, кроме синхронных, должны работать при номинальном напряжении на зажимах и номинальной частоте.

В машинах постоянного тока и синхронных возбуждение при этом опыте устанавливается таким образом, чтобы при холостом ходе в них индуцировалась такая же электродвижущая сила, какая индуцируется при нормальной работе, т.е.

$$\begin{aligned} \text{для генератора } E &= V_{\text{ном.}} + J_{\text{ном.}} R, \\ \text{для двигателя } E &= V_{\text{ном.}} - J_{\text{ном.}} R, \end{aligned}$$

где для якоря машин постоянного тока  $R$  — омическое сопротивление, а для статора синхронных машин  $R$  — ваттное сопротивление, определяемое по потерям короткого замыкания. Напряжение на зажимах машин постоянного тока регулируется таким образом, чтобы машина шла с номинальным числом оборотов.

Напряжение на зажимах синхронных машин при номинальной частоте регулируется таким образом, чтобы через статор проходил наименьший ток.

Подведенная к машине мощность за вычетом потерь на возбуждение и Джоулевых потерь в якоре или статоре дает потери холостого хода.

2. Измерение потерь холостого хода должно производиться при нагретых подшипниках.

3. При измерении потерь холостого хода машин постоянного тока щетки должны устанавливаться на нейтрале.

4. Если желательно определить отдельно потери на трение, то они измеряются как мощность, подведенная от тарированного двигателя к невозбужденной машине при номинальном числе оборотов.

5. Если желательно отделить потери в железе при холостом ходе от потерь на трение, то они измеряются как разность подведенных к машине от тарированного дви-

гателя мощностей при нормально возбужденной машине до электродвижущей силы  $E$  (п. 1) и невозбужденной машине в обоих случаях при номинальном числе оборотов.

*Примечание.* Отделение железных потерь от потерь на трение может быть также выполнено методом самоторможения (выбега).

### § 38.

Джоулевы потери в различных обмотках (для всех машин, кроме синхронных).

1. Джоулевы потери в различных обмотках вычисляются по омическому сопротивлению и относятся к  $75^{\circ}\text{C}$  (см. § 31).

2. Джоулевы потери в одиоякорном преобразователе получаются из таковых для той же машины, как генератора постоянного тока, умножением на соответствующий коэффициент, значение которого зависит от числа фаз и дается ниже.

Число фаз . . . . .	1	2	3	6	12
Число колец . . . . .	2	4	3	6	12
Коэффициент . . . . .	1,45	0,89	0,58	0,27	0,20

*Примечание.* При установлении значений коэффициентов принято, что  $\cos\varphi = 1$ , в случае же преобразователя с вольтодобавочной машиной предполагается, что последняя не возбуждена.

3. У асинхронных машин потери во вторичной цепи  $P_2$  вычисляются по скольжению из следующего уравнения:

$$P_2 = \frac{\text{отданная мощность} \times \text{скольжение}}{1 - \text{скольжение}}$$

В тех асинхронных машинах, скольжение которых не может быть измерено непосредственно нагрузкой, потери в роторе  $J^2R$  определяются посредством омического сопротивления. Ток ротора при номинальной нагрузке вычисляется для трехфазных машин по следующему уравнению:

$$\text{Ток на кольцах в } A = \frac{\text{отданная мощность в } W}{\text{напряжение между кольцами ротора в покое}} \\ \text{в } V \times \sqrt{3} \times 0,93.$$

### § 39.

Потери в переходном контакте щеток.

Переходные потери принимаются для щеток на коллекторе в  $2\text{V}$  для угольных и графитовых и в  $0,6\text{V}$  для металлоугольных; для щеток на кольцах — в  $1\text{V}$  для угольных и графитовых щеток и в  $0,3\text{V}$  для металлоугольных на кольцо.

### § 40.

Совместное измерение Джоулевых потерь и добавочных потерь в синхронных машинах.

В синхронных машинах добавочные потери вместе с Джоулевыми потерями должны обязательно определяться экспериментально одним из следующих трех способов:

1. Метод короткого замыкания. Машина с коротко-замкнутыми обмотками статора приводится во вращение вспомогательным тарированным двигателем при номинальной для нее скорости вращения. Возбуждение машины регулируется на такую величину, чтобы ток короткого замыкания был равен номинальному. Подведенная к машине от тарированного двигателя мощность за вычетом потерь на трение представляет потери короткого замыкания, которые и принимаются за сумму Джоулевых и добавочных потерь.

2. Метод перевозбуждения и недозавозбуждения. Машина пускается вхолостую, как синхронный двигатель при номинальном напряжении на зажимах и номинальной частоте и при этом так перевозбуждается и недозавозбуждается, чтобы по обмотке статора проходил номинальный ток. Затем определяются потери холостого хода (т.е. потерн в железе и потери на трение) при номинальном напряжении и том возбуждении, которое соответствует минимуму тока в статоре.

Вычитая из полусуммы подведенных к машине при опыте перевозбуждения и недозавозбуждения мощностей соответствующие потери холостого хода, получаем сумму Джоулевых и добавочных потерь при номинальном токе.

*Примечание.* В некоторых случаях при машинах с большой реакцией и с распределенной обмоткой не всегда удастся получить при недозавозбуждении номинальный ток. В этом случае можно ограничиться одним перевозбуждением машины до номинального тока в статоре. Затем определяются потери холостого хода для того магнитного состояния машины, в котором она находилась при опыте перевозбуждения. Вычитая от подведенной к машине при опыте перевозбуждения мощности соответствующие потери холостого хода, получаем сумму Джоулевых потерь при номинальном токе.

3. Метод с вынутым ротором. Измеряют мощность, потребляемую машиной, при вынутом роторе и при номинальном токе в обмотках статора. Подведенная к машине при этом опыте мощность принимается за сумму Джоулевых и добавочных потерь.

*Примечание.* Метод с вынутым ротором для определения добавочных потерь в турбогенераторах неприменим.

#### § 41.

Величина добавочных потерь в различных классах машин, кроме синхронных.

Добавочные потери в машинах различных классов могут приниматься на основании следующих приближенных цифр, указанных в процентах от номинальной мощности.

а. Машины постоянного тока с добавочными полюсами и без них . . . . .	1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
б. Асинхронные машины . . . . .	1/2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
в. Одноякорный преобразователь . . . . .	1/2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
г. Каскадный преобразователь . . . . .	1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>

### XI. ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ.

#### § 42.

1. Под изменением напряжения генератора понимается изменение величины напряжения при переходе от одного режима к другому. При отсутствии специальных оговорок один из этих режимов соответствует холостому ходу, другой номинальной нагрузке. При этом предполагается, что температура частей машины не меняется. Изменение напряжения относится всегда к температуре в 75° С.

2. Изменение напряжения характеризуется относительным повышением напряжения, выражаемым в процентах от номинального напряжения. Под повышением напряжения понимается отношение

$$E\% = \frac{V_0 - V_{\text{ном.}}}{V_{\text{ном.}}} \times 100\%$$

где  $V_0$  — напряжение холостого хода, получаемое при переходе от номинальной нагрузки к холостому ходу с соблюдением условий § 43.

*Примечание.* Все генераторы должны быть так рассчитаны, чтобы в нагретом состоянии и при перегрузке током в 25% против номинального, а генераторы переменного тока, кроме того, при номинальном коэффициенте мощности могли сети, развивать номинальное напряжение.

#### § 43.

1. Под изменением напряжения генератора постоянного тока с шунтовым или независимым возбуждением понимается повышение напряжения при переходе от номинального режима работы к холостому ходу. При этом: а) число оборотов остается равным номинальному, б) щетки остаются в положении, соответствующем номинальному режиму работы, в) при самовозбуждении остается неизменным сопротивление цепи возбуждения, а при независимом возбуждении — ток возбуждения.

2. Изменением напряжения компаундного генератора постоянного тока называется умноженное на сто отношение к номинальному напряжению машины среднего значения из разностей напряжений между наибольшим и наименьшим напряжением, которые получаются при переходе от номинальной мощности к холостому ходу и обратно, при соблюдении условий п. 1 настоящего параграфа.

3. Под изменением напряжения синхронного генератора при отсутствии особой оговорки понимается повышение напряжения, которое наступает при переходе от номинальной нагрузки к холостому ходу при условии, что а) число оборотов остается равным номинальному, б) ток возбуждения остается неизменным.

*Примечание.* Изменение напряжения синхронного генератора при  $\cos\varphi=0,8$  не должно превосходить 50%.

4. Под изменением напряжения одиоякорного и каскадного преобразователей, при отсутствии особой оговорки, понимается повышение напряжения постоянного тока, получаемое при переходе от номинальной нагрузки к холостому ходу. При этом: а) приведенное напряжение переменного тока должно оставаться равным номинальному; б) частота должна быть номинальная; в) щетки остаются в положении, соответствующем номинальной нагрузке; г) при самовозбуждении остается неизменным сопротивление цепи возбуждения, а при независимом возбуждении — ток возбуждения.

Повышение напряжения одиоякорного и каскадного преобразователей дается в процентах от номинального напряжения постоянного тока.

5. Изменение напряжения двигатель-генератора, кроме собственного изменения напряжения генератора, учитывает также изменение числа оборотов электродвигателя.

#### § 44.

##### Опытное определение повышения напряжения синхронных генераторов.

1. Метод непосредственного определения. При непосредственном измерении повышения напряжения синхронного генератора последний нагружается до номинального тока при номинальном коэффициенте мощности. При этом ток возбуждения регулируется таким образом, чтобы получалось номинальное напряжение. Затем нагрузка на генератор постепенно уменьшается до нуля, при чем ток возбуждения и число оборотов должны оставаться неизменными, после чего измеряется напряжение на зажимах машины  $V_0$  при холостом ходе.

*Примечание.* Этот метод к заводским испытаниям обычно неприменим, особенно для больших генераторов. В этом случае оказывается необходимым определение изменения напряжения косвенным методом посредством иных испытаний.

2. Метод косвенного определения. Определение повышения напряжения синхронных генераторов косвенным методом может быть выполнено по характеристикам машины посредством построения диаграммы Потье или Американского Института Инженер-Электриков или других.

## ХII. ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН.

### § 45.

1. Установившимся током короткого замыкания синхронного генератора называется ток, который устанавливается при замыкании накоротко внешних зажимов машины, при токе возбуждения, соответствующем номинальной работе (т.е. номинальному напряжению, при номинальном токе, номинальном коэффициенте мощности и номинальной частоте).

2. Ударным (мгновенным) током короткого замыкания синхронной машины называется наибольшее мгновенное значение тока, которое получается при внезапном коротком замыкании зажимов машины, возбужденной до номинального напряжения. при номинальной частоте, при замыкании в наиболее неблагоприятный момент.

3. Синхронные машины должны выдерживать испытание прочности конструкции на мгновенный ток короткого замыкания при холостом ходе, номинальной частоте и 100% номинального напряжения.

4. Величина ударного (мгновенного) тока короткого замыкания синхронных машин мощностью свыше 500 kW не должна превосходить 15-кратной амплитуды номинального тока.

*Примечание 1.* Если определение ударного тока короткого замыкания производится по осциллографу, то за ударный ток принимается 1,8-кратная амплитуда первой полуволны.

*Примечание 2.* Приближенное значение ударного (мгновенного) тока короткого замыкания может определяться по формуле

$$J_{\text{мгн.}} = 1,8 \sqrt{2} \frac{E_{\text{ном.}}}{X_p},$$

где  $X_p$  — индуктивное сопротивление обмотки якоря машины, соответствующее пути тока рассеяния как для возбуждения так и для якоря при номинальной частоте обмотки.

## ХIII. ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.

### § 46.

Изменение скорости вращения электродвигателей.

1. Изменением скорости вращения электродвигателей с шунтовой характеристикой называется изменение скорости вращения при переводе от номинальной нагрузки к холостому ходу. При этом предполагается, что температура частей машины не меняется и остается равной температуре тех же частей при номинальной работе. Изменение скорости вращения двигателей постоянного тока и коллекторных двигателей переменного тока выражается в процентах от номинальной скорости вращения, в асинхронных же двигателях — от синхронной скорости вращения.

2. Испытание электродвигателей на изменение скорости вращения производится:

а) в шунтовых и компаундных двигателях постоянного тока — при номинальном напряжении на зажимах, номинальном токе возбуждения и при положении щеток, соответствующем номинальной работе;

б) в двигателях асинхронных — при номинальном напряжении и номинальной частоте;



в) в двигателях коллекторных с шунтовой характеристикой при номинальной частоте и положении щеток, соответствующем номинальной работе.

#### § 47.

##### Направление вращения электродвигателей.

Направление вращения машины называется правым, если машина вращается по часовой стрелке, и левым, если она вращается против часовой стрелки. Направление вращения определяется следующим образом:

- а) со стороны противоположной коллектору или кольцам, если машина имеет или только коллектор, или только кольца;
- б) со стороны колец, если машина имеет одновременно и коллектор и кольца, расположенные на разных концах вала машины;
- в) со стороны привода (или со стороны кольца вала большого диаметра), если определение в пункте а) не однозначно, а также при двух коллекторах или двойном комплекте колец на разных сторонах машины и у двигателей с коротко-замкнутым ротором;
- г) особым способом, если определения пунктов а, б, в не однозначны.

Нормальным направлением вращения машины считается правое. У трехфазных машин нормальное направление вращения или условное ненормальное направление вращения должно соответствовать порядку следования фаз I, II, III или 1—2—3 у зажимов машины.

#### XIV. МОМЕНТ ВРАЩЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

#### § 48.

Двигатели переменного тока при номинальном напряжении на зажимах и номинальной частоте с соответствующим пусковым реостатом должны развивать вращающий момент не меньше 30% номинального момента в любом положении ротора в начальный момент пуска и во все время ускорения до номинальной скорости.

#### XV. ЩИТОК МАШИНЫ.

#### § 49.

1. Всякая машина должна быть снабжена заводским щитком, на котором проставляются величины, характеризующие номинальные условия ее работы.

Щиток должен быть укреплен на машине таким образом, чтобы данные на нем можно было свободно читать при работе машины. Щиток должен содержать следующие сведения:

- а) наименование треста (фирмы) и завода;
- б) фабричный тип и фабричный номер;
- в) технические данные согласно пунктам с 2 по 9 настоящего параграфа.

##### 2. Щиток генератора постоянного тока.

Генератор постоянного тока.

Способ возбуждения.

Номинальная мощность в ваттах (W) или киловаттах (kW).

Номинальное напряжение на зажимах в вольтах (V).

Номинальная сила тока в амперах (A).

Номинальное число оборотов в минуту ( $n$ ).  
Номинальный ток возбуждения в амперах (A).

### 3. Щиток двигателя постоянного тока.

Двигатель постоянного тока.  
Номинальная (отдаваемая) мощность в ваттах (W) или киловаттах (kW).  
Номинальное напряжение на зажимах в вольтах (V).  
Номинальная сила тока в амперах (приближенно) (A).  
Номинальное число оборотов в минуту ( $n$ ).  
Номинальный ток возбуждения в амперах (A).

*Примечание.* У серийных двигателей, кроме того, должно быть указано наибольшее допустимое число оборотов в следующей форме: напр., 1200 (номинальное число оборотов)  $\pm 20\%$ .

### 4. Щиток синхронного генератора и двигателя.

Род работы (генератор или двигатель).  
Номинальная мощность для генераторов в вольтамперах (VA), или киловольтамперах (kVA), для двигателя в ваттах (W) или киловаттах (kW).

Число фаз статора.  
Включение обмоток статора (напр.,  $\Delta$  и т. под.)  
Номинальное напряжение в вольтах (V).  
Номинальная сила тока в амперах (A).  
Номинальный коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ ).  
Номинальное число периодов в секунду ( $f$ ).  
Число оборотов в минуту ( $n$ ).  
Номинальное напряжение возбуждения в вольтах (V).  
Наибольший допустимый ток возбуждения в амперах (A).

*Примечание 1.* В случае опережающего тока, к численному значению номинального коэффициента мощности должно быть добавлено слово „опережающий“.

*Примечание 2.* У генераторов для гидравлических турбин указывается наибольшее допустимое число оборотов по следующей форме: напр.,

$$500 + 80\% \text{ или } 107 + 100\%.$$

*Примечание 3.* На щитке у синхронного компенсатора указываются те же данные, что и на щитке синхронного двигателя со следующими изменениями: Мощность указывается в kVA для двух случаев:

- а) для отстающего тока с указанием  $\cos\varphi$ ,
- б) для опережающего тока с указанием  $\cos\varphi$ .

В том случае, когда компенсатор предназначен одновременно для питания реактивной мощностью и для механической нагрузки, на щитке, кроме реактивной мощности в kVA (для двух случаев), указывается также отдаваемая мощность в kW.

### 5. Щиток всех двигателей переменного тока, кроме синхронных.

Наименование машины.  
Номинальная мощность в ваттах (W) или киловаттах (kW).  
Число фаз и способы включения обмоток статора и ротора.  
Номинальное напряжение в вольтах (V).  
Номинальный ток в амперах (A) — приближенно.  
Номинальное число периодов в секунду ( $f$ ).  
Номинальное число оборотов ( $n$ ).  
Номинальный коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ ).

*Примечание 1.* В случае опережающего тока к численному значению коэффициента мощности должно быть добавлено слово „опережающий“.

*Примечание 2.* У серийных двигателей должно быть указано, кроме того, наибольшее допустимое число оборотов согласно прим. п. 3.

*Примечание 3.* У асинхронных двигателей должно указываться напряжение на кольцах при номинальном первичном напряжении, номинальной частоте и неподвижном разомкнутом роторе.

6. Щиток одноякорного и каскадного преобразователей.

Наименование машины.

Номинальная мощность на стороне постоянного тока в киловаттах (kW).

Число фаз.

Номинальное напряжение постоянного тока в вольтах (V).

Номинальное напряжение переменного тока в вольтах (V).

Номинальная сила постоянного тока в амперах (A).

Номинальная сила переменного тока в амперах (A) приближенно.

Номинальное число периодов в секунду (f).

Номинальное число оборотов (n).

Номинальный коэффициент мощности (cosφ).

Наименьший ток возбуждения в амперах (A).

*Примечание.* У одноякорного преобразователя при асинхронном пуске указывается также пусковое напряжение в вольтах (V).

Дополнительные указания на щитке.

1 Для генераторов и преобразователей с регулировкой напряжения — пределы регулирования напряжения.

2 Для двигателей с регулировкой числа оборотов — пределы регулирования числа оборотов.

3. Машины, предназначенные для различных режимов работы, должны иметь несколько отдельных щитков, или же должны на одном щитке содержать соответствующие данные для всех режимов.

4. Машины с искусственным охлаждением должны иметь на щитке расход воздуха (в куб. метрах в секунду) или воды (в литрах в минуту) при номинальной работе.

XVI. ДОПУСКИ.

§ 50.

Допуск есть наибольшее допускаемое отклонение той или другой величины от ее значения, определяемого данными правилами или техническими условиями.

Допуски учитывают неизбежную неоднородность материалов, неточности производства и ошибки измерений.

Поряд. №	Величина.	Допуски в %
1	Число оборотов шунтовых двигателей постоянного тока.	Номинальная мощность до 1,0 kW включ. $\pm 10\%$ выше 1,0 kW до 20 kW $\pm 7,5\%$ выше 20 kW $\pm 5\%$ } от ном. числа оборот.
2	Число оборотов серийных двигателей постоянного тока.	До 3 kW вкл. $\pm 15\%$ от 3 kW вкл. до 20 $\pm 10\%$ выше 20 kW $\pm 7\%$ } от ном. числа оборот.

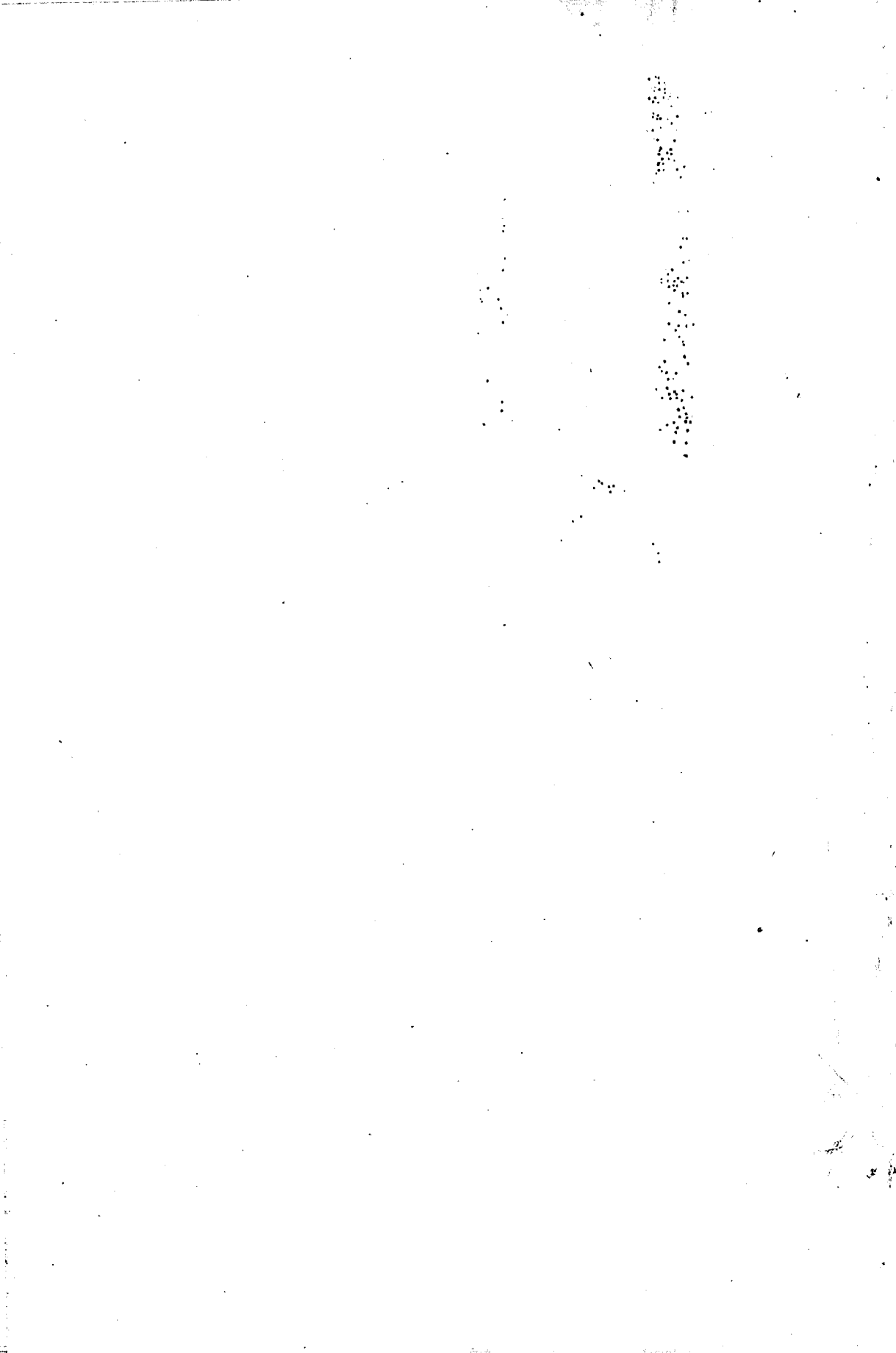
Поряд. №	Величина.	Допуски в %
3	Изменение числа оборотов двигателей постоянного тока.	10% от установленной техническими условиями величины.
4	Число оборотов асинхронных двигателей.	20% от установленного техническими условиями скольжения.
5	Коэффициент полезного действия.	$\frac{1-\eta}{10}$ округленное до $\frac{1}{1000}$ , по меньшей мере 0,01.
6	Коэффициент мощности асинхронных двигателей.	$\frac{1-\cos\varphi}{0}$ округленное до $\frac{1}{100}$ , по меньшей мере 0,02.
7	Изменение напряжения генераторов.	$\pm 5\%$ от номинального напряжения.
8	Изменение напряжения преобразователей: одноякорного преобразователя; каскадного преобразователя.	$\pm 1\%$ } $\pm 3\%$ } от номинального напр. пост. тока.
9	Мгновенный ток короткого замыкания.	20% от установленной техническими условиями величины.
10	Установившийся ток короткого замыкания.	15% от устанавливаемой техническими условиями величины.
11	Перегрузочный момент двигателей.	10% момента.
12	Пусковой момент двигателей.	10% момента.
13	Повышение температуры.	Никакого сверх нормы.

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

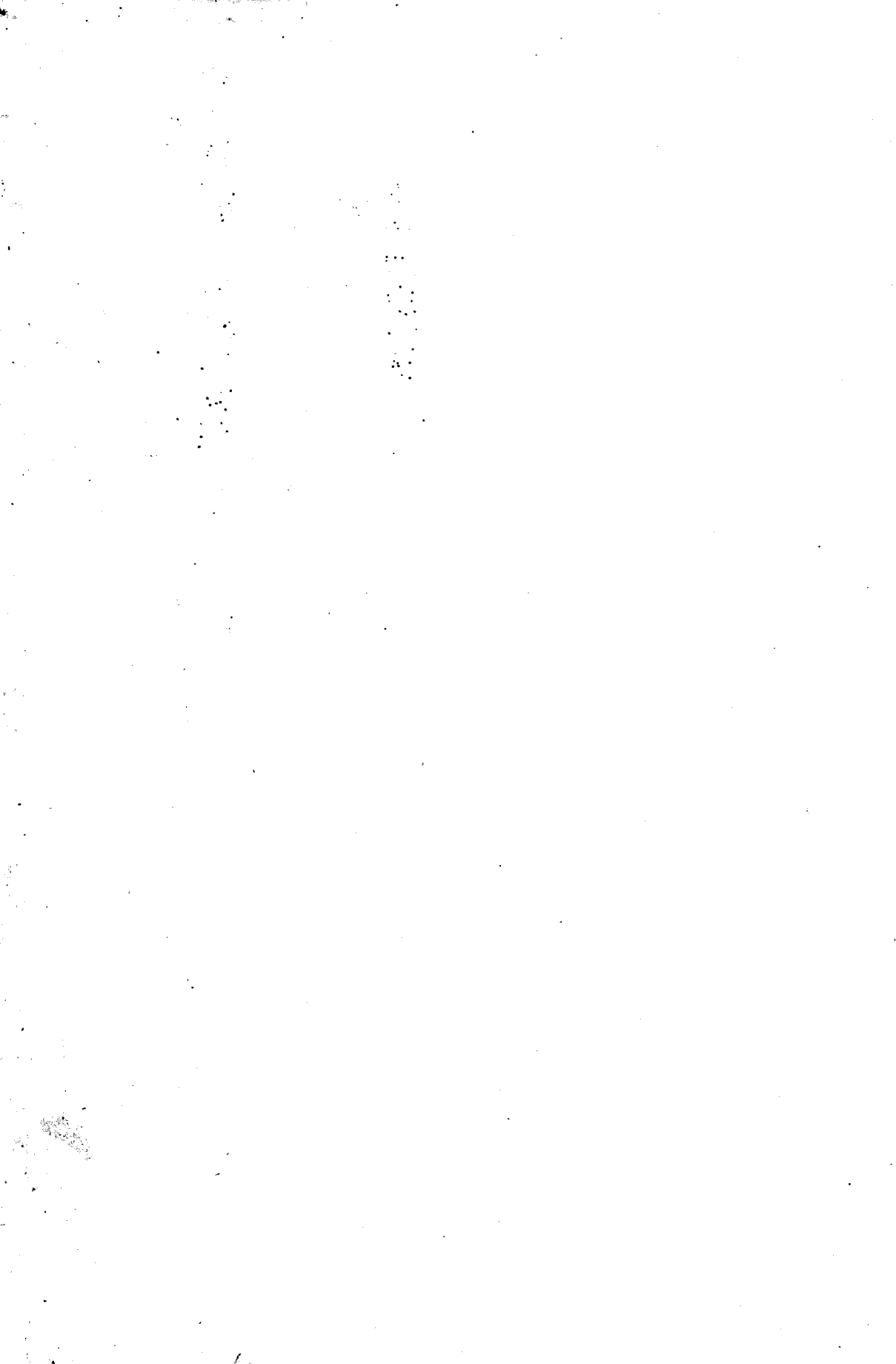
	СТР.
ВВЕДЕНИЕ. Краткие сведения о динамомашинах . . . . .	5
ГЛАВА I. <i>Измерительные приборы и методы измерения.</i> . . . . .	8
1. Измерение силы тока и напряжения. 2. Измерение электрической мощности. 3. Измерение числа оборотов. 4. Измерение сопротивлений. 5. Измерение температуры. 6. Измерение момента вращения. 7. Измерение механической мощности.	
ГЛАВА II. <i>Подготовка динамомашин постоянного тока к испытанию.</i> . . . .	30
1. Коллектор. 2. Щеточный аппарат. 3. Междужелезное пространство. 4. Подшипники. 5. Шкив. 6. Ремень. 7. Коробка с зажимами. 8. Полярности полюсов. 9. Равенство намагничения полюсов. 10. Магнитные нейтрали. 11. Схемы соединений.	
ГЛАВА III. <i>Методы испытания динамомашин постоянного тока</i> . . . . .	41
1. Сопротивление обмотки якоря. 2. Сопротивление контактной поверхности щеток. 3. Общее сопротивление якоря. 4. Сопротивление обмотки индукторов.	
ГЛАВА IV. <i>Исследование магнитных свойств динамомашин.</i> . . . . .	51
1. Магнитное рассеяние. 2. Распределение магнитного поля вокруг якоря. 3. Коллекторные и потенциальные диаграммы. 4. Кривая намагничения или кривая Гопкинсона.	
ГЛАВА V. <i>Характеристики генератора с независимым возбуждением</i> . . . .	70
1. Характеристика холостой работы или намагничения генератора. 2. Динамическая характеристика. 3. Внешняя характеристика. 4. Реостатная характеристика. 5. Определение ампервитков реакции якоря.	
ГЛАВА VI. <i>Характеристики шунтового генератора.</i> . . . . .	83
1. Характеристика холостой работы. 2. Динамическая характеристика. 3. Внешняя характеристика. 4. Реостатная характеристика. 5. Учет влияния числа оборотов на напряжение шунтового генератора. 6. Исследование генератора большой мощности. 7. Опытное определение сопротивления шунтового реостата.	
ГЛАВА VII. <i>Характеристики серийс-генератора или генератора с последовательным возбуждением.</i> . . . . .	95
1. Характеристика намагничения. 2. Внешняя характеристика. 3. Характеристика серийс-генератора при постоянном токе.	
ГЛАВА VIII. <i>Характеристики компаунд-генераторов.</i> . . . . .	100
1. Характеристика холостой работы. 2. Внешняя характеристика компаунд-генератора. 3. Внешняя характеристика гиперкомпаунд-генератора. 4. Определение числа витков последовательной обмотки компаунд-генератора.	
Испытание динамомашин постоян. тока.	118

	СТР.
Г л а в а IX. <i>Исследование шунтового двигателя постоянного тока</i> . . . . .	107
1. Включение, выключение и регулирование числа оборотов двигателя.	
2. Характеристика намагничения. 3. Характеристика скорости или зависимость числа оборотов от нагрузки при постоянном возбуждении и постоянном напряжении на зажимах. 4. Зависимость числа оборотов двигателя от возбуждения при холостой работе и при постоянном напряжении. 5. Зависимость числа оборотов двигателя от возбуждения при постоянном токе в якоре и при постоянном напряжении. 6. Зависимость вращающего момента, числа оборотов и коэффициента полезного действия от мощности двигателя при постоянном возбуждении и при постоянном напряжении. 7. Исследование шунтового двигателя по холостому ходу. 8. Определение тягового усилия шунтового двигателя. 9. Определение сопротивления шунтового реостата.	
Г л а в а X. <i>Исследование серийес- и компаунд-двигателей</i> . . . . .	121
1. Включение и регулирование числа оборотов серийес-двигателей. 2. Характеристика намагничения. 3. Кривая скорости или зависимость числа оборотов от нагрузки при постоянном напряжении на зажимах двигателя. 4. Зависимость вращающего момента, силы тока, числа оборотов и коэффициента полезного действия серийес-двигателя от мощности его при постоянном напряжении. 5. Определение тягового усилия серийес-двигателя. Компаунд-двигатели.	
Г л а в а XI. <i>Коэффициент полезного действия динамомашин</i> . . . . .	130
1. Потери в динамомашине постоянного тока. 2. Выражения для коэффициента полезного действия. 3. Определение коэффициента полезного действия по методам непосредственного измерения мощности. 4. Определение коэффициента полезного действия по методам измерения потерь. 5. Определение коэффициента полезного действия по методу взаимной нагрузки. 6. Определение коэффициента полезного действия методом измерения потерь по теплу, выделяемому машиною.	
Г л а в а XII. <i>Разделение потерь в динамомашинах постоянного тока</i> . . . . .	162
1. Разделение потерь динамомашин по методу вспомогательного двигателя. 2. Разделение потерь по методу холостой работы. 3. Разделение потерь по методу самоторможения. 4. Разделение механических потерь.	
Г л а в а XIII. <i>Нагрев частей машины</i> . . . . .	181
1. Нагрев индукторных катушек. 2. Нагрев якоря. 3. Нагрев коллектора. 4. Нагрев подшипников. 5. Кривые нагрева. 6. Нагрев закрытых машин. 7. Испытание на нагрев машин большой мощности.	
Г л а в а XIV. <i>Испытание изоляции динамомашин</i> . . . . .	194
1. Измерение сопротивления изоляции частей динамомашин. 2. Испытание стойкости изоляции.	
Г л а в а XV. <i>Исследование коммутирования</i> . . . . .	198
1. Промышленное испытание коммутирования. 2. Исследование коммутирования.	
Г л а в а XVI. <i>Испытание динамомашин с дополнительными полюсами</i> . . . . .	209
1. Особенности испытания машин с дополнительными полюсами.	
Г л а в а XVII. <i>Параллельная работа генераторов постоянного тока</i> . . . . .	214
1. Параллельная работа шунтовых генераторов. 2. Параллельная работа компаунд-генераторов.	

Глава XVIII. <i>Испытания при фабрикации динамомашии</i> . . . . .	стр. 221
1. Испытание коллектора. 2. Испытание якоря. 3. Испытание индукторных катушек. 4. Исследование подшипниковых токов.	
Глава XIX. <i>Дополнительные сведения</i> . . . . .	231
1. Главнейшие дефекты в динамомашинах постоянного тока. 2. Нахождение повреждения в обмотке якоря при наличии вольтметра и источника тока. 3. Искусственная нагрузка генераторов постоянного тока.	
Приложение. <i>Проект норм по электрическим машинам</i> . . . . .	245







Sp 50w



