

Таблица 22. Однофазные коллекторные моторы.

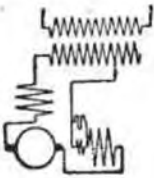


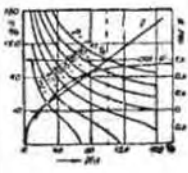
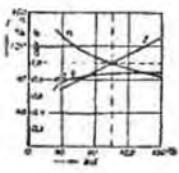
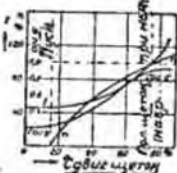
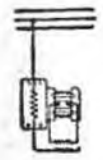
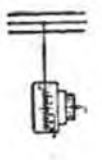
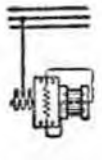
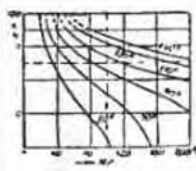

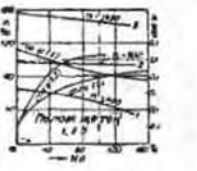
| | Однофазный серийный мотор | Регуляционный мотор с неподвиж. щетками | Регуляционный мотор с подвижными щетками |
|---|---|--|---|
| Схема соединений |  Фиг. 1745. |  Фиг. 1746. |  Фиг. 1747. |
| Характеристические кривые |  Фиг. 1748. |  Фиг. 1749. |  Фиг. 1750. |
| Пуск и ход и регулировка числа оборотов | 1) без сопротивления 2) с помощью пускового сопротивл. 3) с помощью трансформатора с отводами в цепи статора | 1) без сопротивления 2) с помощью пускового сопротивл. 3) с помощью трансформатора с отводами в цепи статора. | сдвигом щеток |
| Вращающий момент при пуске в ход | 2,5 M_d номинального 1,8 M_d номин. при часовой мощности | 1) 3,0—4,0 M_d номин. 2 и 3) 2,5 M_d номин. | 2,5 M_d номин. |
| Ток при пуске в ход | 1) 2,0—4,0 I номинал. 2 и 3) 2,0 I номинального | 1) 2,0—4,0 I номинал. 2 и 3) 2,5 I номинального | 2,0 I номинального |
| Изменение направления вращения | переключением обмотки возбуждения | переключением обмотки возбуждения | сдвигом щеток |
| Выполняется до | 1 и 2) небольших и средних мощностей 3) 2200 kW | небольшых и средних мощностей | небольшых и средних мощностей |
| Номинальное напряжение | 1 и 2) до 220 V 3) 350—500 V для моторов элект. ж. д. | при небольших мощностях до 250 V при средн. мощ. до 500 V | при небольших мощностях до 250 V при средн. мощ. до 1000 V |
| Область применения | 1 и 2) краны, вентиляторы, компрессоры, насосы 3) моторы для электр. жел. дорог | Подъемники, вентиляторы, насосы | Краны, вентиляторы, компрессоры, насосы, приводные машины. |

Таблица 23. Коллекторные моторы трехфазного тока.

| | Трехфазный серийный мотор с двойным числом щеток | Трехфазный мотор с шунтовой характеристикой | Трехфазный мотор с шунтовой характеристикой с двойным числом щеток |
|---|---|---|---|
| Схема соединений |  Фиг. 1751. |  Фиг. 1752. |  Фиг. 1753. |
| Характеристические кривые |  Фиг. 1754. |  Фиг. 1755. |  Фиг. 1756. |
| Пуск и ход и регулировка числа оборотов | 1) с помощью трансформатора с отводами для моторов с неподв. щетками 2) передвижением щеток для моторов с подвижными щетками | с помощью трансформатора с отводами в цепи якоря или же переключ. обмотки статора, выполняемой, как автотрансформатор | перемещением щеток |
| Вращающий момент при пуске | 1 и 2) 2,5 M_d номин. | 2,0 M_d номинальн. | 2,5 M_d номин. |
| Ток при пуске в ход | 1 и 2) 2,0 I номинальн. | 2,0 I номинальн. | 1,5 I номинальн. |
| Изменение направления вращения | 1, переключением двух подводок тока 2 переключ. подводок тока к статору и сдвигом щеток | переключением двух подводок тока к статору | переключением двух подводок тока и сдвигом щеток |
| Выполняется до | 1) средних мощностей 2) 500 kW | средних мощностей | средних мощностей |
| Начинается до | | | |
| Область применения | 1) агрегаты для регулировки 2) подъемники, приводные машины, насосы, компрессоры, шахт. подъемники | Сельскохозяйственные условия, насосы, приводные машины, моторы для станков, машины пещерного производства | Моторы для станков |

Фирма Сименс-Шукорт строит шунтовой трехфазный мотор¹⁾, в котором число оборотов может регулироваться одним сдвигом щеток. В таком моторе возможна без потерь регулировка числа оборотов в отношении 1:3. Ток к мотору подводится через контактные кольца ротора (см. фиг. 1744). Ротор, кроме контактных колец, имеет коллектор и, таким образом, подобен якору одноякорного преобразователя. Подводимый к ротору трехфазный ток создает в обмотке ротора вращающееся поле, которое при неподвижном роторе вращается с синхронной скоростью и наводит в обмотке статора напряжение, соответствующее этой скорости. Если вращать ротор в направлении, противоположном вращению поля, то напряжение, наводимое в статорной обмотке, уменьшается и при синхронных оборотах ротора понижается до 0. В этом случае относительная скорость поля по отношению к статорной обмотке равна 0. Поле неподвижно в пространстве. Если в данный момент замкнуть накоротко обмотку статора и нагрузить мотор, то мотор работает, как асинхронный (с шунтовой характеристикой). Если затем подвести к статору напряжение известной величины и фазы, то мотор меняет число оборотов, увеличивая или уменьшая обороты так, чтобы подведенное напряжение было компенсировано. Это напряжение подводится к статору с помощью двойного комплекта щеток на коллекторе мотора. Короткое замыкание при оборотах, близких к синхронным, получается оттого, что щетки обоих комплектов покрывают одни и те же коллекторные пластины. Вращая разные щетки в противоположном направлении, можно получить напряжение особой величины и фазы. Фаза выбирается так, чтобы получить $\cos \varphi$ по возможности равным 1. Изменение направления вращения мотора достигается пересоединением двух фаз. Пусковой момент, примерно, в два раза больше нормального.

IV. Трансформаторы, умформеры и выпрямители.

Согласно нормам ВЭС приняты следующие определения:

1. **Трансформатор**—прибор переменного тока, не заключающий в себе вращающихся частей, предназначенный для превращения электрической энергии в электрическую же.

2. **Потенциал-регулятор трансформатор** со смещающимися одна относительно другой обмотками. Строится по типу асинхронных моторов. Величина или фаза вторичного напряжения регулируется смещением ротора.

3. **Преобразователь (умформер)**—вращающаяся машина или машинный агрегат для преобразования электрической энергии в электрическую же;

а) **одноякорный умформер**—вращающийся преобразователь с одной якорной обмоткой;

б) **каскадный преобразователь**—машинный агрегат, состоящий из асинхронного мотора и машины постоянного тока, у которых

ротор двигателя и якорь преобразователя связаны не только механически, но и электрически;

с) **мотор-генератор**—машинный агрегат, состоящий из одного или нескольких моторов, непосредственно соединенных с генераторами].

А. Трансформаторы переменного тока.

По своему назначению трансформаторы подразделяются на следующие виды:

а) **Трансформаторы силовых станций**—мощные трансформаторы, повышающие напряжение машины для питания сети электропередачи высокого напряжения.

б) **Трансформаторы для подстанций**, понижающие высокое напряжение электропередачи в среднее напряжение для питания сети среднего напряжения.

с) **Распределительные трансформаторы**—трансформаторы небольшой, сравнительно, мощности для понижения среднего напряжения до величины, требующейся для питания распределительной сети.

Трансформаторы специального назначения.

Классификация трансформаторов по способу их охлаждения (см. стр. 1313), по характеру нагрузки (стр. 1353), по конструкции (стр. 1315).

В отношении мощности и напряжения трансформаторы должны удовлетворять следующим стандартным нормам:

Трехфазные трансформаторы с вторичной обмоткой низкого напряжения для установки в распределительных сетях:

1) Мощность, выраженные в киловольт-амперах, высокое и низкое напряжение должны соответствовать следующей таблице:

| Мощность | Высокое (первичное) напряжение в вольтах | Низкое (вторичное) напряжение в вольтах |
|----------------|--|---|
| 5 килов.-ампер | 3000, 6000 | 215 |
| 10 " " | 3000, 6000, 10 000 | 215 |
| 15 " " | | |
| 25 " " | 3000, 6000, 10 000 20 000, (30 000), 33 000 | 215 |
| 50 " " | | |
| 75 " " | | |
| 100 " " | | |
| 150 " " | | |
| 200 " " | | |

Примечание. Указанные в таблице напряжения соответствуют холостой работе трансформаторов.

2) За стандартную обмотку принимается обмотка со стороны высокого напряжения треугольником, а со стороны низкого напряжения— звездой. Обмотки звезда-звезда, или звезда-звезда-зигзаг, изготавливаются по особому требованию.

3) Охлаждение трансформатора допускается как масляное, так и естественное воздушное.

4) Стандартные трансформаторы должны иметь на обмотке высокого напряжения дополнительные зажимы для изменения напряжения в пределах $\pm 5\%$ от среднего напряжения, за которое принимаются стандартные напряжения 3000, 6000, 10 000, 20 000 (30 000), 35 000 вольт. Нормальной мощностью считается мощность при нормальном стандартном указанном в таблице напряжении.

Трехфазные трансформаторы для установок на станциях и подстанциях. 1) Для повысительных и понизительных трехфазных трансформаторов, предназначенных для установок на станциях и подстанциях, принимаются, как стандартные, следующие мощности: 300, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 7500, 10 000, 15 000 kVA. 2) Как высшее, так и низшее напряжения между фазами проводов этих трансформаторов должны входить в пределы напряжений, принятых, как стандартные, для электропередач, а именно: 3000—3300, 6000—6600, 10 000—11 000, 20 000—22 000 (30 000—33 000), 35 000—40 000, 60 000—66 000, 105 000—115 000.

Примечание. Коэффициентом трансформации считается отношение высшего напряжения к низшему при холостой работе трансформатора. Эти напряжения трансформатора указываются в помещенной на нем таблице.

Однофазные трансформаторы, предназначенные для установок на станциях и подстанциях:

1) Для повысительных и понизительных однофазных трансформаторов, предназначенных для установок на станциях и подстанциях, принимаются, как стандартные, следующие мощности: 200, 500, 1000, 2000, 3333, 5000, 6666 и 10 000 kVA.

2) Как высшее, так и низшее напряжения однофазных трансформаторов должны входить в пределы напряжений, принятых, как стандартные, для электропередач трехфазными токами, а именно: 3000—3300, 6000—6600, 10 000—11 000, 20 000—22 000 (30 000—33 000), 35 000—40 000, 60 000—66 000, 105 000—115 000 вольт.

а) Сила тока и напряжение.

Электродвижущая сила (ЭДС) трансформатора при синусоидальной форме кривой магнитного потока, как в первичной, так и во вторичной цепи, составляет $E = 4,44 f w \Phi_{\max} 10^{-8}$ вольт, где w — число витков первичной или вторичной цепи, f — число периодов, Φ_{\max} — общее число силовых линий.

Коэффициентом трансформации называется отношение между первичным и вторичным напряжением, измеренное при холостом ходе трансформатора $E_1 : E_2 = w_1 : w_2$.

Намагничивающим током называется безваттная часть тока холостого хода. Второе действующее слагающее тока холостого хода расходуется на потери в железе. Намагничивающий ток, или пропорциональное ему число ампер-витков, создает магнитодвижущую силу, проталкивающую через магнитную цепь индуктированный данным напряжением и данным числом витков магнитный поток.

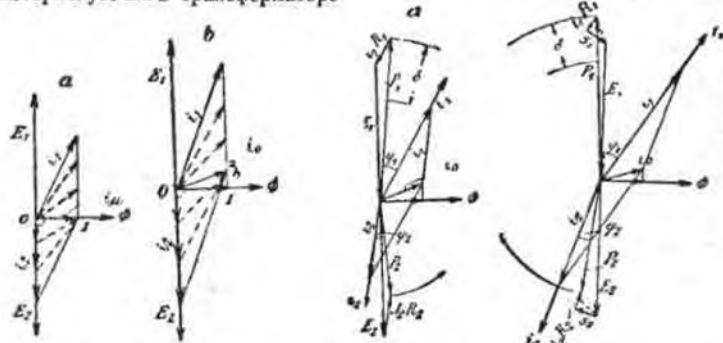
Для возможного уменьшения величины потребного намагничивающего тока железный магнитопровод должен быть, по возможности, хорошо

замкнут. При нагрузке трансформатора первичные и вторичные ампер-витки возрастают и, слагаясь, дают результирующее намагничивающее число ампер-витков, необходимое для получения соответствующего индукционного магнитного потока. При полной нагрузке первичный и вторичный ток сдвинуты друг относительно друга почти на 180° , при нагрузке, близкой к холостому ходу — относительный сдвиг несколько превышает 90° (фиг. 1757).

Рассеянием, или током рассеяния, называется магнитный поток, который под влиянием ампер-витков первичной и вторичной цепи замыкается через воздух, главным образом в пространстве между первичной и вторичной обмоткой. Поток утечки индуцирует электродвижущую силу рассеяния, которая отстает на 90° от направления тока, вызвавшего эту утечку.

б) Векторная диаграмма трансформатора.

Векторные диаграммы вычерчиваются обыкновенно в сильно упрощенной форме. Все величины приводятся к коэффициенту трансформации 1 : 1. Не учитывая внутренних потерь и утечки в трансформаторе



Фиг. 1757.

Фиг. 1758.

Фиг. 1759.

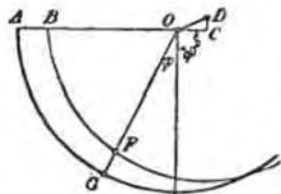
Фиг. 1760.

и сдвига фаз во вторичной цепи, мы получаем простейшую диаграмму (фиг. 1757), а с учетом потерь в железе — диаграмму фиг. 1758. Здесь отложены не ампер-витки, а непосредственно силы тока. E_1 здесь обозначает напряжение у зажимов первичной цепи, приложенное к трансформатору извне, которое уравновешивается возбужденной электродвижущей силой (стр. 1200); i_1 , i_2 , i_μ — первичный, вторичный и намагничивающий токи; i_0 — на фиг. 1758 обозначает ток холостого хода с двумя его слагающими: намагничивающим током гистерезиса и намагничивающим током 0—1. Учитывая далее омическое падение напряжения iR в первичной и вторичной обмотке и сдвиг фаз во вторичной цепи, зависящий от характера индукционной ее нагрузки, получаем векторную диаграмму фиг. 1759; учитывая далее падение напряжения самовындукции вследствие рассеяния в первичной и вторичной цепи при данном сдвиге, мы получим диаграмму фиг. 1760.

Первичное напряжение у зажимов P_1 , приложенное к трансформатору выше, имеет значение: создать необходимую для получения вторичного напряжения у зажимов P_2 электродвижущую силу $E_2 = E_1$ в первичной цепи и покрыть омическое падение напряжения в этих обмотках. Эти последние напряжения не совпадают по фазе, а именно: $i_1 R_1$ совпадает по фазе с i_1 , в $i_2 R_2$ совпадает по фазе с i_2 . Масштабы силы тока и напряжений друг от друга независимы. Дуга, описанная из точки O радиусом, равным R_2 , дает падение напряжения, или так называемое „изменение напряжения“ δ . Из приведенной диаграммы ясно видно, какое влияние оказывает на „изменение напряжения“ наличие потоков магнитного рассеяния, вызывающих в обеих обмотках появление электродвижущих сил самоиндукции (см. также след. главу).

с) Изменение напряжения.

Изменением напряжения трансформатора при данном коэффициенте мощности называется повышение вторичного напряжения, наступающее при переходе от номинальной нагрузки на холостой ход при условии, что первичное напряжение и число переводов остаются неизменными. Оно выражается в процентах по отношению к номинальному вторичному напряжению. Так как омическое падение напряжения $i_1 R_1$, $i_2 R_2$, с одной стороны, и падения самоиндукции S_1 , в S_2 с другой стороны, имеют практически одинаковые направления (фиг. 1760), то изменение напряжения может быть определено следующим путем: алгебраические суммы $i_1 R_1 + i_2 R_2$ и $s_1 + s_2$, приведенные ко вторичной обмотке, будучи сложены геометрически, дают напряжение короткого замыкания e_k , которое может быть найдено также опытным путем, а именно измерением напряжения короткого замыкания e_k . Согласно нормам СГЭ на точке, в ряду с обозначением мощности трансформатора, должна быть также указана и величина изменения напряжения. Общее омическое падение напряжения $i_1 R_1 + i_2 R_2$, выраженное в % от номинального напряжения, равняется δ , с достаточной для практических целей точностью потерю в меди, выраженной в % от номинальной мощности. При коэффициенте мощности, равном 1, изменение напряжения практически равно омической потере напряжения, а при коэффициенте мощности равном 0 — оно равно потере от самоиндукции. Пользуясь диаграммой Каппа (фиг. 1761), можно по напряжению короткого замыкания OD и омическому падению напряжения CD (по треугольнику короткого замыкания ODC) определить для любого угла сдвига фаз и любой нагрузки величину падения напряжения между холостой работой и полной нагрузкой CD — вычисленное омическое падение напряжения. При больших поперечных сечениях меди, если можно ожидать добавочных потерь на токи Фуко, величина CD находится по ваттной слагающей при измерении мощности тока короткого замыкания. Отрезок FG , получающийся при пересечении луча, проведенного под углом φ , с двумя



Фиг. 1761.

радиусами, описанными из точек O и D радиусами, равными вторичному напряжению холостого хода, даст изменение напряжения при данной номинальной силе тока и данным угле сдвига фаз. Для промежуточных значений центр второй окружности лежит не в точке D , а занимает промежуточное положение на линии OD на расстоянии от точки O , соответствующем данной силе тока.

Величину изменения напряжения можно найти путем вычисления, зная R_1 , R_2 , s_1 , s_2 , w_1 и w_2 . Приведенное ко вторичному напряжению общее омическое сопротивление $R = R_1 (w_2 : w_1)^2 + R_2$; соответствующая самоиндукция, создаваемая потоком утечки, равняется $i_2 x = s_1 (w_2 : w_1) + s_2$, где x — соответствующее данной точке безваттное сопротивление.

Падение (изменение) напряжения, соответствующее данному току i_2 и данному углу сдвига фаз во вторичной цепи φ , приближенно равняется $e_\varphi' = i_2 R \cos \varphi + i_2 x \sin \varphi$, или точнее, $e_\varphi = e_\varphi' + 100 - \sqrt{10000 - e_\varphi'^2}$, где $e_\varphi = i_2 R \sin \varphi - i_2 x \cos \varphi$.

При потере от самоиндукции $s = i_2 x$ до 4% можно принять практически $e_\varphi = e_\varphi'$.

д) Параллельная работа трансформаторов.

При параллельной работе трансформаторов, т.е. если несколько трансформаторов должны быть включены параллельно как своими первичными, так и своими вторичными обмотками, необходимо: точное совпадение их коэффициентов трансформации при холостом ходе, напряжения короткого замыкания не должны отличаться более, чем на $\pm 10\%$, а в трансформаторах трехфазного тока, кроме того, должны совпадать схемы обмоток и последовательность фаз. Отношение номинальных мощностей не должно превосходить отношения 3:1.

Примечание. Для правильного определения последовательности фаз выведенные концы проводов, согласно нормам ВЭС, всегда несут одинаковые обозначения, а именно: выведенные концы проводов высокого напряжения обозначаются римскими цифрами I, II, III и соответственные им концы низкого напряжения — арабскими цифрами 1, 2, 3; нулевой провод обозначается знаком 0. Начало обмотки каждой фазы обозначается буквой H, а конец — буквой K. Обмотки должны наматываться по направлению часовой стрелки от начала (H) к концу (K).

Одинаковость схем обмоток и требуемая последовательность фаз может быть проверена перед параллельным включением путем измерения разности напряжения между соединяемыми концами, при чем это напряжение должно равняться нулю. При неправильном соединении концов эта разность напряжения может оказаться равной двойному номинальному напряжению.

е) Коэффициент полезного действия.

Измерение коэффициента полезного действия см. стр. 1362. Коэффициент полезного действия относится (если на этот счет не имеется особых указаний) к нормальной нагрузке и коэффициенту мощности, равному 1.

Коэффициент полезного действия $\eta = \frac{\text{отданная мощность}}{\text{отданная мощность} + \text{потери}}$.

Потери складываются из потерь в железе V_e , включая потери в диэлектрике (потери холостого хода), и потерь в меди V_c (потери в обмотке), включая ток Φ у.о).

Средние величины коэффициента полезного действия приведены в таблице 1. Возможны отклонения $\pm (2 \cdot 10)\%$.

Таблица 1. Коэффициент полезного действия и напряжения короткого замыкания при полной нагрузке в kW и при $\cos \varphi = 1$.

| Высокое напряжение в kV | 5 | | 10 | | 50 | | 100 | | 500 | | 1000 | | 2000 | | 000 kVA | |
|-------------------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|---------|--------------|
| | η | ϵ_k | η | ϵ_k | η | ϵ_k | η | ϵ_k | η | ϵ_k | η | ϵ_k | η | ϵ_k | η | ϵ_k |
| 5-6 | 95,5 | 4,4 | 96,0 | 4,2 | 96,5 | 3,7 | 97,4 | 3,6 | 98,2 | 3,3 | 98,4 | 3,2 | 99,7 | 3,2 | 98,8 | 3,5 |
| 10-15 | 95,1 | 4,7 | 95,7 | 4,5 | 96,1 | 4,1 | 97,3 | 3,8 | 98,0 | 3,6 | 98,3 | 3,6 | 98,6 | 3,5 | 98,8 | 3,5 |
| 25-35 | | | 95,4 | 4,8 | 96,1 | 4,4 | 97,1 | 4,0 | 97,8 | 3,8 | 98,2 | 3,7 | 98,4 | 3,7 | 98,7 | 3,7 |

Коэффициент полезного действия достигает своего максимума при равенстве потерь в железе и в меди. Если при полной нагрузке $V_e > V_c$, то с уменьшением нагрузки кривая коэффициента полезного действия $\eta = f(N_g)$ понижается. Максимум получается в этом случае при перегрузке. Если же, как это обычно принято в современных трансформаторах, при нормальной нагрузке, $V_e < V_c$, то η_{max} получается в тот момент, когда $V_e = V_c$.

Пример. Трансформатор в 10 kVA при $\cos \varphi_g = 1$ дает, предположим, в одном случае при полной нагрузке $V_e = 240$ W и $V_c = 160$ W, а в другом случае $V_e = 80$ W и $V_c = 320$ W, тогда коэффициент полезного действия будет:

| от полной нагрузки | П р и | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|-------------|
| | η_1 | η_2 | η_3 | η_4 | η_{10} |
| При высокой потере в железе $V_e = 2,4\%$, $V_c = 1,6\%$ | 96,15 | 95,78 | 94,57 | 90,90 | 81,10 |
| " низкой " " $V_e = 0,8\%$, $V_c = 3,2\%$ | 96,15 | 96,65 | 96,90 | 96,15 | 92,34 |

Во втором случае η_{max} получается при половинной нагрузке, когда $V_e = V_c = 80$ W.

При построении трансформаторов следует стремиться к возможному уменьшению потерь в железе в целях увеличения средней годовой производительности, т. е. отношения полезно отданной к полученной работе (в kWh).

В осветительных установках принимают обычно (вследствие неравномерного расхода тока), что трансформатор средней мощности может отдавать в течение года в 440 раз больше kWh, чем его наибольшая мощность, выраженная в kW. Так как потери в железе постоянны и не зависят от нагрузки, то для трансформатора с потерей в железе в 2,4 и 0,8% при годовой работе, т. е. в течение $365 \cdot 24 = 8760$ h,

средняя годовая потеря составит в одном случае $\frac{2,4 \cdot 8760}{440} = 48\%$ и

в другом случае $\frac{0,8 \cdot 8760}{440} = 16\%$ от полезно отданной мощности. Средний годовой коэффициент полезного действия, не считая потерь в меди, которые в приведенном случае трансформатора в 10 kVA составляют от 1,6 до 3,2% выразится:

$$\eta_{\text{год}} = \frac{1 \cdot 100}{1,48} = 67,6\% \quad \text{и} \quad \frac{1 \cdot 100}{1,16} = 86,2\%.$$

В новых электрических станциях, которые не имеют еще полной присоединенной мощности, средняя годовая потеря достигает 30% и более. При расчете годового расхода топлива потери в железе трансформаторов имеют поэтому большое значение. В осветительных сетях, в целях уменьшения потерь холостого хода, выключают летом часть трансформаторов или устраивают специальные переключаемые трансформаторы, которые при высокой нагрузке включают по схеме треугольник-звезда, а при малых нагрузках по схеме звезда-зигзаг. В обоих случаях имеется налицо равенство напряжений, одинаковое число групп для включения и возможность равномерной нагрузки фаз через вторичную нулевую точку. Одновременно этим достигается значительное ослабление намагничивающего тока.

г) Охлаждение трансформаторов.

Различают следующие системы охлаждения трансформаторов:

1. Трансформаторы с естественным воздушным охлаждением (сухие трансформаторы). Теплоотдача достигается излучением и естественной циркуляцией воздуха.

2. Трансформаторы с искусственным воздушным охлаждением. — Циркуляция воздуха производится вентилятором или искусственной тягой.

3. Масляные трансформаторы с естественным охлаждением. — Наполненный маслом кожух охлаждается снаружи лучением и естественной циркуляцией воздуха.

4. Масляные трансформаторы с искусственным воздушным охлаждением. — Кожух охлаждается воздухом, подаваемым вентилятором; внутри сосуда устанавливается естественная циркуляция масла.

5. Масляные трансформаторы с искусственным воздушным охлаждением и искусственной циркуляцией масла.

6. Масляные трансформаторы с внутренним водным охлаждением. — Вода циркулирует по змеевику, помещаемому в верхней части сосуда, куда поднимаются слои наиболее нагретого масла.

7. Масляные трансформаторы с циркуляцией масла и наружным водным охлаждением. — Масло охлаждается в специальном холодильнике, поставленном снаружи от трансформатора.

8. Масляные трансформаторы с циркуляцией масла и естественным воздушным охлаждением. — Масло охлаждается в наружных воздушных холодильниках.

9. Масляные трансформаторы с циркуляцией масла и естественным воздушным охлаждением. — Масло охлаждается в наружном холодильнике, при чем охлаждающий воздух подается вентилятором.

Трансформаторы первого и второго типов применяются сравнительно редко. Трансформаторы 2, 4, 5 и 9 типов расходуют от 2,5 до 3 м³ воздуха в минуту на каждый потерянный кВт. Расход воздуха указывается на щитке трансформатора. Наибольшим распространением пользуются масляные трансформаторы с естественным воздушным охлаждением. Увеличением наружной поверхности, которое достигается применением волнистых стенок для кожухов трансформаторов (изготовленных автогенной сваркой), отдача тепла улучшается. В крупных трансформаторах — в 10000 киловатт и выше — волны делаются в 30—40 см вышней и, кроме того, снабжаются иногда охлаждающими ребрами.

Масло улучшает качество изоляции, но для этой цели оно должно быть совершенно сухое, так как малейшие следы влаги уже понижают прочность изоляции на пробивание (содержание воды около 0,01% понижает прочность почти на 50%).

Согласно норм VIII ВЕС пробивное напряжение масла не должно опускаться ниже:

- а) 12 кВ — для трансформаторов на напряжение до 40 кВ
 б) 17 кВ — " " " " " выше 40 кВ.

§ 4. Для гарантии в том, что пробивное напряжение масла не упало ниже указанных пределов, необходимо производить периодически испытания масла работающих трансформаторов. Пробы масла забираются из спускных крапов трансформаторных баков со всеми предосторожностями, исключающими возможность загрязнения проб или попадания посторонней влаги.

§ 5. Пробы испытываются в открытых подстанциях для низковольтных (до 40 кВ) трансформаторов — через 3 месяца, а для высоковольтных (выше 40 кВ) — через один месяц. Если ряд испытаний проб масла даст устойчивые результаты для электрической прочности масла, то после очередной просушки промежутки между следующими пробами могут быть увеличены соответственно до 6 и 12 месяцев. Для трансформаторов, находящихся в закрытых помещениях, сроки испытаний устанавливаются соответственно в 6 и 8 месяцев.

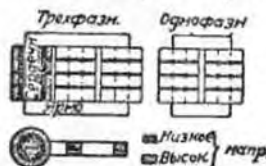
Просушка масла производится варкой, фильтрованием через фильтр-пресс или при помощи центрифуг. В процессе работы следует обращать особое внимание на герметичность сосудов, так как от соприкосновения горячего масла с воздухом происходит процесс его „запаивания“, ухудшающего теплоотдачу. Исследованное это рекомендуется устройство масляного компенсатора, который в то же время предупреждает проникновение влаги в трансформаторный бак.

Трансформаторы с внутренним водяным охлаждением расходуют, приблизительно, от 0,9 до 1,1 л мин при 25° на каждый потерянный киловатт. Количество расходуемой воды должно быть указано на щитке трансформатора.

Для мощных трансформаторов применяется по преимуществу охлаждение масла в наружных водяных холодильниках с принужденной циркуляцией масла. Расход энергии составляет около 0,5—1 кВт на каждые отдаваемые трансформатором 1000 кВА.

г) Конструкция трансформаторов.

1. Железный сердечник. В зависимости от конструкции сердечника различают: 1) трансформаторы с присто магнитной цепью или с наружной обмоткой, так называемые стержневые трансформаторы (фиг. 1762) и 2) трансформаторы с разветвленной магнитной цепью, так называемые трансформаторы броненного типа (фиг. 1763). Сечение сердечников у броненных трансформаторов всегда, а у стержневых трансформаторов: — часто, делается прямоугольным; для возможности осуществления кольцевых катушек сердечники у трансформаторов последнего типа часто выполняются с крестообразным сечением (фиг. 1764). Ядро изготавливается также в большинстве случаев с прямоугольным сечением. Для увеличения теплоотдающей поверхности железа сердечник и ядро снабжаются часто каналами для



Фиг. 1762.

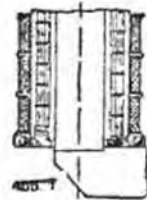


Фиг. 1763.

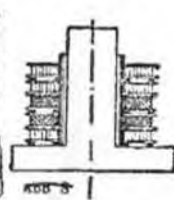
циркуляции воздуха или масла (фиг. 1764). Для ослабления пиковых токов сердечники и ядро составляются из листов толщиной 0,3 до 0,5 мм (при 50 пер. в сек.) и 0,8 мм (при 25 до 15 пер.); листы — из мягкого железа или железа специального состава — изолируются друг



Фиг. 1764.



Фиг. 1765.



Фиг. 1766.

от друга лаком или бумагой. Пакеты листов стягиваются изоляционными болтами, а в крупных трансформаторах, кроме того, скрепляются важными шпатами. Только в малых трансформаторах с толщиной сердечника не более 10 см могут применяться изоляционные от всех стирок вкладыши. Для возможности сборки и смены катушек неизбежны стыковые соединения. Стыки бывают перекрестные и в ряды. Последние имеют преимущество большей простоты сборки и смены катушек; недостаток их за-

ключается в более высоком токе намагничивания, что, впрочем, в крупных трансформаторах сказывается не особенно сильно. В средних и малых трансформаторах для уменьшения намагничивающего тока стержни изготавливаются перекрестным.

2. **Обмотки.** Различают цилиндрическую (фиг. 1764 и 1765) и дисковую обмотку (фиг. 1763 и 1766). Последняя применяется, преимущественно, для броненных трансформаторов. Обе обмотки могут состоять из прямоугольных или круглых катушек — в зависимости от формы сердечников. Первичные и вторичные обмотки должны быть достаточно надежно изолированы, при чем должно быть принято в расчет наивысшее, которое имеет место при работе, напряжение. Должны быть предусмотрены достаточные промежутки как между самими катушками, так между последними и железным сердечником и стенками трансформаторного кожуха. При высоких напряжениях обмотки разделяются на секции, которые изолируются цилиндрическими прокладками из прессованного картона или из другого равноценного изолирующего материала. Начальные витки и витки близ нулевой точки должны быть особенно тщательно изолированы для защиты от пробоями в момент включения. Как в осевом, так и в радиальном направлении катушки должны быть достаточно прочно зафиксированы механически по отношению к сердечнику, так как от трансформаторов требуется особая надежность при коротком замыкании в виду того, что при этом возникают огромные механические усилия, воспринимаемые уже в трансформаторах средней величины многими тоннами. В прямоугольных катушках с особой тщательностью должны быть закреплены длинные их стороны. Стыки присоединения между отдельными катушками часто устраиваются нерестанными, так как в результате продолжительной работы и вследствие усадки масла катушки получают некоторую усадку. При устройстве достаточно надежных промежуточных прокладок или при наличии пружинящих соединительных устройств нерестанные присоединения являются излишним. Изоляционным материалом для масляных трансформаторов является прессованный картон, прессиная, проваренная в масле бумажная лента, промазанная бумага; для воздушных (сухих) трансформаторов для той же цели служат прессиная, холотная или бумажная лента, микалит и т. п.

Круглая проволока применяется для сечений проводов до 10 мм^2 , для более высоких сечений применяется профильная медь, кабель или медная лента. Последняя укладывается в виде двойных катушек, так что начало и конец каждой катушки выведены наружу и легко могут быть включены. Изоляция: при больших сечениях — бумага или прессиная в виде прокладок и витов бумажная обмотка или оилетка.

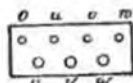
Для ослабления вихревых токов в меди длинная сторона прямоугольного сечения медной ленты располагается параллельно длинной расщелин, т. е. при дисковой обмотке по фиг. 1768, а при цилиндрической обмотке по фиг. 1767. В больших трансформаторах при цилиндрической обмотке можно, в целях уменьшения величины расщелин, обмотку низкого напря-



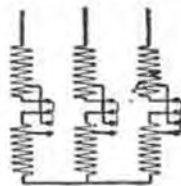
Фиг. 1767.



Фиг. 1768.



Фиг. 1769.



Фиг. 1770.

жения иногда подразделять так, что одна часть ее располагается с внутренней, а другая часть с наружной стороны обмотки высокого напряжения.

Для устранения искажений кривой напряжения (под влиянием третьей гармоники) применяются, особенно в крупных трансформаторах, специальные демпферные обмотки включаемые треугольником.

3. **Бачи для трансформаторов.** Кожухи трансформаторов даже крупных размеров конструируются так, чтобы была возможность перевозить их в собранном виде, включая масло. Змеевики для водяного охлаждения обыкновенно изготавливаются из меди или из металла Жюльера (сурьмянистого свинца) и помещаются в верхней части трансформатора. В трансформаторах с искусственной циркуляцией масла змеевик и для охлаждения масла располагается в особом водяном холодильнике.

В каждом трансформаторном баче должны иметься сливные приспособления, а также расширительный колпак для избытка масла и сальник для ввода термометра. Крышка трансформатора обыкновенно привертывается как одно целое с корпусом трансформатора для того, чтобы последний можно было вытаскивать из масляного резервуара, не производя отсоединения проводов. Для той же цели — подъема трансформаторного корпуса — крышка снабжается крановыми упками.

4. **Зажимы** — фарфоровые с гладкой поверхностью для трансформаторов среднего напряжения — должны иметь достаточно прочные размеры при очень высоких напряжениях вводные фарфоровые изоляторы снабжаются ребрами и утолщениями и заливаются маслом (при напряжениях от 15 до 100 kV расстояние от кривых трансформатора до токопроводящего зажима берется равным 1,6—2 см на каждые 1000 V); вводные изоляторы изготавливаются также из сплавов и других изолирующих материалов (перлит, турбоит, репелит, карболит и др.); при более высоких напряжениях — выше 25000 V — заливаются твердым жиром или маслом.

В некоторых случаях, особенно при пользовании конденсаторными зажимами Пагеля, в которых достигается равномерное распределение напряжения, благодаря специальному прокладкам различной волнистости, применяются изоляторы из прессованного картона. Расположение вводов и нормальное обозначение зажимов по фиг. 1769.

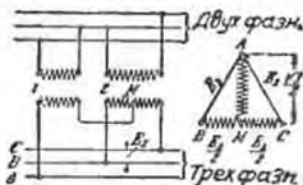
5. **Ответвления** или дополнительные зажимы предусматриваются для выравнивания падений напряжений в различных точках сегмента. Позволяют изменять вторичное напряжение на $\pm 4-5\%$. Переключение должно производиться на расстоянии. Отступления устраняются или у конечных витков, так что можно отделить большее или меньшее число витков, или близ нулевой точки, так что последнее может быть перенесено на соответственное число витков. Такое переключение производится при помощи вывотного штенселя, который ввинчивается при помощи специального ключа в один из трех контактов для нулевой точки (АБС). Отступления могут быть расположены также по середине сердечниковой об-

мотки, с соответствующими предохранительными приспособлениями против пробоя; перестановка производится при помощи переключателя, приводимого в действие на расстоянии (фиг. 1770).

h) Трансформаторы трехфазного тока.

Трехфазные или многофазные токи могут быть преобразованы при помощи однофазных трансформаторов в отдельных цепях с соответственным соединением первичных и вторичных цепей. Более дешевая и простая конструкция трех- и многофазных трансформаторов получается при соприкосновении магнитных цепей, т.е. когда сердечники замыкаются в таком же порядке, как сами токи.

На фиг. 1762 показан трехфазный сердечникный трансформатор с цилиндрической обмоткой и тремя сердечниками в одной плоскости. В мощных трансформаторах встречается иногда конструкция с пятью сердечниками в одной плоскости, из которых три средние несут обмотки. Эти сердечникные трансформаторы могут иметь более низкие размеры; этим увеличивается та предельная мощность отдельных единиц, которая диктуется условиями железнодорожного транспорта. Современная конструкция трансформаторов позволяет перевозить единицы мощностью до 30000 кВА на специальных платформах при снятых входных зажимах. В Америке для электротрансформации высокого напряжения отдают предпочтение установкам с однофазными трансформаторами вследствие независимости отдельных фаз на случай повреждения и вследствие более легкого их обслуживания. Три такие трансформатора, включенные звездой или треугольником, могут питать трехфазную сеть, четвертый трансформатор играет роль резерва. При включении треугольником первичной и вторичной цепи два из этих трех трансформаторов могут принять на себя до 58% нормальной мощности. Неравномерная нагрузка фаз первичной цепи! В случае трехфазных трансформаторов первичные и вторичные цепи могут быть независимы одна от другой включены звездой, треугольником или в zigzag. Нормальные схемы включения обмоток для трехфазных трансформаторов по нормам и предписаниям VDE приведены на таблице 2.



фиг. 1771.

Каждая многофазная система допускает трансформацию в другую многофазную. Пример: преобразование двух фаз на три фазы (схема Скотта, фиг. 1771). Трансформатор 1 дает во вторичной обмотке напряжение, пропорциональное высоте прямоугольного треугольника, т.е.

напряжение $E_2 \sqrt{3} : \sqrt{2}$, при чем обмотка соединена с средней точкой M обмотки второго трансформатора, который дает вторичное напряжение E_2 .

и) Трансформаторы специального назначения.

Трансформаторы для однофазных преобразователей при больших мощностях от 200 до 250 кВ выполняются со вторичной шестифазной

Таблица 2. Схемы включений.

| Схемы включений | Перестр. диаграммы | | Схемы включений | |
|---------------------------|---|--------|-----------------------|--------|
| | Высокое Напряжение | Низкое | Высокое Напряжение | Низкое |
| Сх. включения А | $\begin{cases} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{cases}$ | | | |
| Сх. включения В | $\begin{cases} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{cases}$ | | | |
| Сх. включения С | $\begin{cases} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{cases}$ | | | |
| Сх. включения D | $\begin{cases} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{cases}$ | | | |

обмоткой, в остальных случаях — трехфазная обмотка. Эти трансформаторы дают в общем повышенное рассеяние, если регулировка напряжения должна производиться путем переобмотки или недообмотки однофазного преобразователя. Если впуск в ход однофазного преобразователя производится асинхронно со стороны трехфазного тока, — то в настоящее время принято, как общее правило (см. фиг. 1779), трансформаторы должны иметь ответвления на $1/2$ нормального напряжения.

Трансформаторы для ртутных выпрямителей и в случае более или менее значительных мощностей, также выполняются с шестифазной вторичной обмоткой (фиг. 1782) и должны быть рассчитаны на мощность, пре-

вышающую на 60—80% мощность выпрямленного постоянного тока, так как форма кривой силы тока каждой фазы чрезвычайно неблагоприятна в смысле степени нагружаемости. Кривые силы тока образуют отрезки синусоидальных линий, симметричных по отношению к амплитуде, которые на стороне вторичной цепи трансформатора появляются один раз в течение периода, а на стороне первичной цепи также один раз в течение периода и в случае равенства числа фаз и два раза — в случае половинного числа фаз. Наличие нескольких ступеней напряжения позволяет питать по выбору или осветительную сеть током в 470 В, или сеть трамвайного тока в 600 В. Должна быть предусмотрена, кроме того, вспомогательная ступень на 35—40 В, для воспламенения паров ртути при пуске в ход выпрямителя.

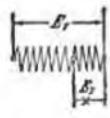
Испытательные трансформаторы — по преимуществу однофазные масляные трансформаторы, иногда воздушные трансформаторы для определенного номинального напряжения с заземлением средней точки или выведенного полюса. Регулировка напряжения достигается изменением напряжения с помощью ступенчатого или потенциала-регулятора. Изготавливаются испытательные трансформаторы, с односторонним заземлением, для напряжения до 1 000 000 В. При помощи двух трансформаторов нормального напряжения E при одностороннем заземлении можно получить вышесказанное напряжение $2E$. По схеме включения III та ф е я несколько трансформаторов могут быть соединены так, что общее напряжение подразделяется на три ступени, при чем напряжение каждого трансформатора может быть сравнительно невысоко.

Измерительные трансформаторы. Трансформаторы тока и напряжения (см. стр. 1343).

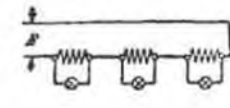
Автотрансформаторы — с неподвижными по отношению друг к другу последовательно включенными обмотками. Применяются в тех случаях, когда данное напряжение сети должно быть несколько повышено или понижено, при чем различие между первичным или вторичным напряжением должно быть сравнительно невелико. В сетях высокого напряжения эта разница не должна превышать 25%, так как в случае земляного соединения сторона вторичного напряжения может оказаться чрезмерно нагруженной (фиг. 1772 и 1773).

Дроссельные или реактивные катушки применяются в целом ряде случаев, а именно как делители напряжения при трехпроводном включении машины постоянного тока (стр. 1311), для возможности параллельного включения и сеть трансформаторов несоответствующим для

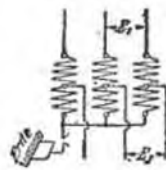
параллельной работы характеристиками, для регулировки напряжения одноякорных преобразователей (стр. 1325), при параллельной работе ртутных выпрямителей и одноякорных преобразователей, как заземляющие катушки



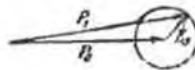
Фиг. 1772.



Фиг. 1774.



Фиг. 1773.



Фиг. 1775.



Фиг. 1776.

между нулевой точкой трансформаторов или машины и землей, для поглощения статических зарядов, для последовательного включения приемного тока, например, дугных ламп (фиг. 1774), которые в то же время должны быть независимы друг от друга, т.-е. если желательно избежать изменений в силе тока при потухании отдельных ламп (в настоящее время для этой цели применяются другие приспособления) ETZ, 1919 S. 8.

В. Потенциал-регуляторы.

Потенциал-регуляторы представляют трансформаторы, у которых первичная или вторичная обмотки могут быть повернуты одна относительно другой на некоторый угол. Применяются для регулировки напряжения и являются по существу заторможенными асинхронными моторами, которые при некотором относительном положении статора и ротора играют роль обыкновенных трансформаторов. Присоединенная к сети первичная обмотка, роль которой играет обмотка ротора, возбуждает во вторичной обмотке, выключенной в виде обмотки статора, добавочное напряжение E_p , которое в однофазных регуляторах зависит от относительного положения ротора и которое складывается с напряжением у клемм, увеличивая или уменьшая это последнее. Степень регулировки изменяется поворотом ротора по отношению к статору, благодаря чему большее или меньшее число вторичных витков скланируется с первичным полем. Поворот ротора производится при помощи червячной передачи, приводимой в действие ручным маховиком или от вспомогательного мотора. Однофазные регуляторы получают, кроме того, добавочную, сдвинутую на 90° по отношению к первичной обмотке, коротко-замкнутую обмотку, назначение которой компенсировать поперечное поле, которое при равномерно распределенной железной массе может резко проявиться и тем значительно понизить коэффициент мощности. Потенциал-регуляторы для трехфазного

тока также изготавливаются в виде асинхронных моторов. Добавочное напряжение E_p здесь не зависит от относительного положения роторной обмотки; изменяется только фаза E_p , так что регулировка напряжения происходит, как показано на фиг. 1775. Крутящий момент уравновешивается действием самоторозищейся червячной передачи или противодействием двух монтированных вместе поворотных регуляторов.

Трехфазные потенциал-регуляторы применяются для регулировки напряжения в трехфазных сетях, в качестве регуляторов напряжения одноякорных преобразователей (стр. 1325), для выпрямителей большой мощности или для преобразователей частоты (стр. 1281).

В случае одноякорных преобразователей регуляторы выполняются с воздушным охлаждением и с горизонтальной осью, при чем в случае, если число оборотов преобразователя достаточно для приведения в действие вентилятора, охлаждающего регулятор, ось последнего располагается по направлению оси умформера. В противном случае, он снабжается самостоятельным охлаждающим вентилятором, а при высоких

напряжения выполняется в виде трансформатора с масляным охлаждением и с вертикальной осью.

При параллельной работе потенциал-регуляторов следует иметь в виду, что простые регуляторы вызывают вращение вектора напряжения. Поэтому в многофазных сетях рекомендуется применение двойных регуляторов, в которых един фаз между напряжениями P_1 и P_0 (фиг. 1773) устрояется соответственной схемой включений (фиг. 1776).

С. Преобразователи.

Для преобразования переменного тока в постоянный и обратно пользуются обыкновенно так называемым вращающимся преобразователем (умформером). Эти последние выполняются: а) в виде мотор-генераторов, состоящих в большинстве случаев из соединенных на общем валу или при помощи муфты мотора и генератора; б) в виде однокорных преобразователей с раздельной первичной и постоянной обмоткой (применяются редко); в) в виде однокорного преобразователя с общей обмоткой как для постоянного, так и для трехфазного тока и, наконец, д) в виде каскадных преобразователей, состоящих из асинхронного двигателя, соединенного механически и электрически с обыкновенным однокорным преобразователем. В редких случаях речь может идти о преобразовании трехфазного тока в однофазный для железнодорожных сетей или о преобразовании числа периодов, например, при колесании сетей, работающих с разными числами периодов и имеющих самостоятельные силовые станции. Подобная задача — преобразования числа периодов производится при помощи мотор-генераторных агрегатов в виде синхронно-синхронно-преобразователей или асинхронно-синхронно-преобразователей с трехфазной возбудительной машиной или с вспомогательным мотором со включением по схеме Крэмера (AEG) для асинхронного пускового мотора.

В железнодорожном деле иногда приходится иметь дело с преобразованием однофазного тока в трехфазный той же частоты при помощи трансформатора фаз для того, чтобы иметь возможность подведения электровозу однофазный ток преобразовать в трехфазный для питания моторов. Сюда относятся: а) синхронно работающий умформер Кандо¹⁾ с регулировкой напряжения, состоящий из статора, несущего однофазную и трехфазную обмотку и ротора возбуждаемого постоянным током; б) мотор Schöub²⁾ (Крупи) с промежуточным, возбуждаемым постоянным током ротором с короткозамкнутой обмоткой, несущей на статоре однофазную, а на роторе трехфазную обмотку с контактными кольцами, с которых снимается трехфазный ток с частотой скольжения.

а) Однокорный преобразователь.

Однокорный преобразователь характеризуется наличием якоря постоянного тока, к которому при помощи контактных колец подводится одно-, двух- или трехфазный ток, а при помощи коллектора снимается постоянный ток. Нормальная обмотка постоянного тока соединяется с одной стороной с коллектором, а с другой стороны с 2, 3, 4 или 6 кон-

¹⁾ ETZ 1925, стр. 37.

²⁾ Krupp'sche Monatshefte, Dezember, 1925.

тактными кольцами. Возбуждение — обычной для машин постоянного тока конструкции — питается или самостоятельной возбудительной машиной или создается полученным постоянным током при помощи шунтовой или коммутационной обмотки. Для улучшения коммутации однокорный умформер снабжается дополнительными полюсами. Однокорный умформер работает как синхронный мотор. Его число оборотов определяется числом полюсов и числом периодов питающего тока: $n = 60/p$. Нормальное число оборотов при 50 периодах в секунду дает

Т а б л и ц а 3.

| Мощность в kW | до 400 | 300—700 | 1000—1200 | 900—2000 | 2000—4000 |
|-------------------------|--------|---------|-----------|----------|-----------|
| Число об./мин. | 1500 | 1000 | 750 | 500 | 250 |

Число полюсов и наименьшая допустимая окружная скорость обуславливают взаимное расстояние угловых щеток различной полярности, а это, в свою очередь, определяет максимальное допустимое напряжение постоянного тока. Предельное напряжение при 50 периодах в сек. составляет от 1200 до 1500 V. Однокорные умформеры для 25 периодов могут быть построены для более высоких напряжений, так как полное деление у них вдвое больше, чем в случае тока в 50 периодов.

Железнодорожные однокорные преобразователи должны иметь специальные предохранительные приспособления против короткого замыкания. Это достигается быстродействующими выключателями на стороне постоянного тока, которые приходят в действие прежде, чем угловая щетка перейдет с одной коллекторной пластины на другую, так что исключается возможность возникновения кругового искрения. Опасность переобжаривания искры устраняется иногда устройством раздельных перегородок на пачирующего материала между щетками.

Преимущества однокорных преобразователей: малые размеры, небольшая занимаемая площадь, небольшая первоначальная стоимость, высокий коэффициент полезного действия; коэффициент мощности = 1.

Недостатки: недостаточно широкие пределы регулирования напряжения; необходимость включения трансформатора; затруднения при возвратной работе.

Между напряжением подводимого переменного тока и отдаваемого постоянного тока существует строгое соотношение. Для различных величин $\alpha =$ полюсная дуга : полюсный шаг; коэффициенты трансформации напряжения даны в таблице 4.

Т а б л и ц а 4. Коэффициент трансформации напряжений в однокорных преобразователях.

| | Для синусоидального тока | Для $\alpha =$ | | |
|--------------------------------------|--------------------------|----------------|------|------|
| | | 9,70 | 0,65 | 0,60 |
| Однофазный преобразователь | 0,71 | 0,71 | 0,73 | 0,75 |
| Трехфазный " | 0,61 | 0,62 | 0,64 | 0,66 |
| Четырехфазный " | 0,50 | 0,50 | 0,52 | 0,53 |
| Шестифазный " | 0,35 | 0,35 | 0,37 | 0,38 |

При трехфазном токе и синусоидальном поле, напр., при напряжении постоянного тока в 500 вольт, напряжение между фазами переменного тока составит $500\sqrt{3} : (2\sqrt{2}) = 500 \cdot 0,61 = 305$ V. На практике принимают обыкновенно коэффициент трансформации напряжения равным 0,62 при трехфазном и 0,36 — при шестифазном токе.

Деление напряжения на стороне высокого напряжения для питания трехпроводной сети достигается или присоединением нулевого провода к нулевой точке трансформатора в случае, если таковая доступна, или через посредство трех- или шестифазных реактивных катушек, присоединяемых к контактным кольцам (фиг. 1779).

Мощность и коэффициент полезного действия одноякорного умформера зависит от его коэффициента мощности. Через якорь одновременно протекают переменный ток и постоянный. Первый имеет приблизительно синусоидальную форму, а второй, благодаря коммутации, — прямоугольную форму. Так как один из токов является моторным током, а другой — генераторным, то нагревание катушек происходит лишь под влиянием разности обоих токов. Точно также реакция якоря под влиянием ваттной слагающей тока сравнительно невелика, вследствие чего одноякорные преобразователи могут иметь меньшие размеры, чем машины постоянного тока той же мощности. Соотношения между мощностями умформера и генератора постоянного тока при одинаковом нагревании даны в таблице 5.

Таблица 5. Отношения между мощностями умформера и динамомашин при одинаковом нагревании.

| Число фаз | 1) | 3 | 4 | 6 |
|---|------|------|------|------|
| Без потерь; $\cos \varphi = 1$ | 0,85 | 1,31 | 1,64 | 1,96 |
| При потере в 4% _н ; $\cos \varphi = 1$ | 0,82 | 1,31 | 1,61 | 1,94 |
| При потере в 4% _н и безваттном токе в 30% _н | 0,80 | 1,23 | 1,45 | 1,67 |

Безваттные слагающие тока не компенсируются постоянным током и поэтому они обуславливают большую потерю в меди и большую реакцию якоря. Так как напряжение постоянного тока должно при разных нагрузках остаться постоянным, то при ослаблении возбуждения из сети заимствуется отстающий ток, которым покрывается уменьшение тока возбуждения. При увеличении же возбуждения из сети заимствуется опережающий ток, который ослабляет избыток возбуждения. Наиболее благоприятный коэффициент полезного действия получается, если возбуждение отрегулировано на коэффициент мощности = 1. Коэффициенты полезного действия одноякорных преобразователей (без трансформаторов) приведены в таблице 6.

При помощи одноякорных преобразователей можно до некоторой степени регулировать смещение фаз, так как при перевозбуждении на сети замещаются опережающие токи, при недо возбуждении в сеть по-

¹⁾ Однофазные одноякорные преобразователи не рекомендуются вследствие плохого их использования в вследствие некоторой пульсации постоянного тока.

Таблица 6. Коэффициенты полезного действия одноякорных преобразователей: $n = 1500$ оборотов в мин., $\cos \varphi = 1$.

| Нагрузка | 10 | 20 | 50 | 100 | 160 | 200 | 250 300 кВ ¹⁾ |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|
| η_1 | 86,0—87,0 | 87,5—88,0 | 90,0—90,5 | 91,5—92,0 | 92,0—93,0 | 93,0—93,5 | 94,5—95,0 |
| η_2 | 85,0—86,0 | 86,0—87,0 | 89,5—90,0 | 91,0—91,5 | 91,5—92,5 | 92,0—93,0 | 94,0—94,5 |
| η_3 | 81,0—82,0 | 83,5—84,0 | 87,5—88,0 | 88,5—89,0 | 89,0—91,0 | 90,0—91,5 | 92,5 93,0 |
| η_4 | — | — | — | 80,5—81,0 | 81,5—82,0 | 82,0 82,5 | 84,5—85,0 |

падают отстающие токи. Но для того, чтобы такое смещение фаз было возможно при нормальной нагрузке, размеры машин должны быть более крупными. Без изменения модел машин, при частичной нагрузке возможно изменение смещения фаз в пределах, приведенных в таблице 7, допустимых коэффициентов мощности для одноякорных преобразователей.

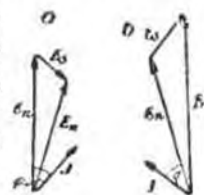
Таблица 7. Допустимые коэффициенты мощности.

| Нагрузка | η_1 | η_2 | η_3 | η_4 |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Трехфазные преобразователи | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,82 |
| Шестифазные | 1,00 | 0,96 | 0,85 | 0,60 |

Регулировка напряжения. Так как изменение возбуждения включенного в сеть одноякорного преобразователя не оказывает непосредственно никакого влияния на напряжение, а воздействует лишь на фазу заимствуемого из сети тока, при чем напряжение постоянного тока сохраняет постоянное отношение к напряжению переменного тока, то для регулировки напряжения преобразователя необходимо соответственным образом изменить напряжение переменного тока. Это достигается включением перед преобразователем реактивной катушки или трансформатора с сильным рассеиванием. При этом напряжение удается регулировать в известных пределах благодаря тому, что недо возбуждение создает отстающий ток, при чем в реактивной катушке возбуждается напряжение E_s (фиг. 1777), которое вместе с постоянным напряжением E_n дает на кольцах преобразователя повышенное напряжение E_m . Наоборот, перевозбуждение создает опережающий ток, индуцирующий в дроссельной катушке, сдвинутую на 90° напряжение E_s (фиг. 1778), повышающее напряжение у зажимов одноякорного преобразователя. Таким образом, в отношении регулировки напряжения постоянного тока действие изменения возбуждения поля в случае преобразователей остается такое же, как и у шунтовых машин постоянного тока. Более сильное возбуждение повышает на стороне постоянного тока.

Возможно также командирование одноякорных преобразователей при помощи последовательной обмотки на индукторных полюсах, через которую проходит главный постоянный ток. Если требуется регулировка

¹⁾ Для 250 до 4000 кВ считают последние значения (для 500 кВ) включая и трансформатор.



Фиг. 1777 и 1778.

напряжения в широких пределах, то со стороны переменного тока устанавливаются дополнительные трансформаторы с регулирующими приспособлениями или потенциал-регуляторы (стр. 1321). Добавочные якоря, в которых может возбуждаться добавочное напряжение переменного тока, в настоящее время более не применяются, так как они ухудшают условия коммутации, но зато применяются часто вольтдобавочные машины на стороне постоянного.

Регулировка напряжения возможна в пределах:

- до $\pm 4\%$ — при помощи трансформаторов с магнитным рассеиванием,
- " $\pm 8\%$ — " " дроссельных катушек,
- " $\pm 25\%$ — " " потенциал регуляторов.

Параллельная работа. Одноякорные преобразователи, предназначенные для параллельной работы, должны иметь одинаковое падение напряжения или одинаковые характеристики. В случае надобности это может быть достигнуто принудительным путем при помощи дроссельных катушек. Возможна параллельная работа с ртутными выпрямителями. При параллельной работе рекомендуется установка невтробожежных выключателей, которые в моменты действия возвратного тока, когда машины могут „повести“, выключают ток на стороне постоянного и переменного тока. В целях предупреждения неравномерной нагрузки щеток рабочим током каждый узоформер снабжается своим самостоятельным трансформатором.

Качание преобразователей, которое легко может проявиться, особенно при большом числе полюсов, устраняется при помощи демпферной обмотки, которой снабжаются полные башмаки (сравни стр. 1236).

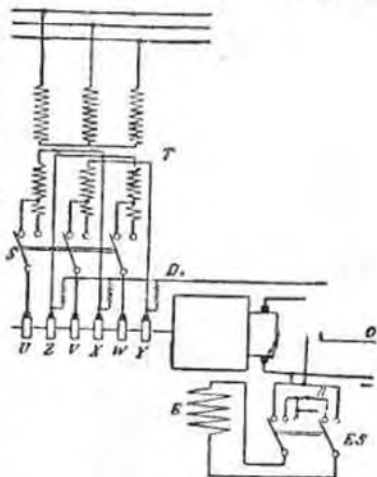
Преобразование постоянного тока в переменный применяется в редких случаях и требует соблюдения ряда условий. При сильно индуктивной нагрузке, вследствие ослабления возбуждения, благодаря реакции якоря, преобразователь может „потереть“. Поэтому необходимо устройство центробежных выключателей и вольтдобавочных машин.

Часто устраиваются специальные приспособления для осевого смещения вала в целях достижения равномерного износа коллектора в контактных коллах. Приспособления эти могут быть механические или электрические.

Пуск в ход может быть осуществлен со стороны постоянного тока, если имеется аккумуляторная батарея или другая сеть постоянного тока, которой можно пользоваться для пуска преобразователя. Выключение производится по достижении синхронизма. Обязательна установка синхронизирующих приспособлений. Пуск в ход со стороны переменного тока производится при помощи резистивного небольшого синхронного мотора, рассчитанного на большее число оборотов, чем преобразователь, для того, чтобы при помощи пускового реостата его можно было постепенно отрегулировать на синхронное число оборотов преобразователя. В последнее время применяется способ непосредственного пуска со стороны трехфазного тока при помощи сдвоя на ступенной выпряжки трансформатора, отрегулированной на 25 до 40% полного напряжения.

На стороне высокого напряжения трансформатора пусковой ток достигает, в случае преобразователей от 200 до 1000 kW, 70-90% нормального силы тока, но при значительном сдвиге фаз ($\cos \varphi$ до 0,2),

Благодаря демпферной обмотке на полюсных башмаках и частичному напряжению, преобразователь достигает постепенно, как асинхронный мотор, синхронного числа оборотов. Полюсность устанавливается случайно. Коротким переключением главного выключателя устанавливают правильную полюсность. В мощных агрегатах изменяют направление тока в возбуждении дважды (фиг. 1779). Добившись тем или иным путем правильной электрической полюсности, преобразователь включают через пусковые дроссельные катушки на полное рабочее напряжение (фиг. 1779). Для предупреждения возможности появления опасных высоких напряжений в обмотке возбуждения, ее включают при пуске в ход через посредство регулируемого сопротивления.



Фиг. 1779.

в) Каскадные преобразователи¹⁾.

Каскадный преобразователь представляет асинхронный трехфазный двигатель, соединенный с обыкновенным одноякорным преобразователем не только механически, но и электрически, т.-е. фазовая обмотка ротора (напр., 12-фазная) двигателя с p_1 -парами полюсов присоединяется к соответствующим точкам якоря динамо-машины постоянно-току с p_2 -парами полюсов. При синхронном ходе весь агрегат вращается со скоростью $n = 60 f : (p_1 + p_2)$ оборотов в минуту. В большинстве случаев принимают $p_1 = p_2$, и таким образом агрегат вращается с половинным синхронным числом оборотов. Принятые числа оборотов приведены в таблице 8.

Таблица 8.

| | | | | |
|-------------------------------|---------|----------|----------|-----------|
| Мощность в kW | 200-100 | 400-1000 | 800-2000 | 1500-2500 |
| Число оборотов в мин. | 750 | 500 | 375 | 300-250 |

Пуск в ход со стороны переменного тока производится, как у асинхронного мотора, при помощи пускового реостата, который соединяется с тремя обмотками ротора, сдвинутыми на 120° , при помощи колес, по которым скользят 3 щетки. Фазовые обмотки ротора (12 обмоток в нашем примере) могут замыкаться накоротко при помощи медного замыкателя, образующего ободку для всех фаз нулевую точку. При открытии замыкателя включают ток в статорную обмотку двигателя и преобразователь приходит во вращение. По достижении синхронного числа оборотов ротором, а вместе с ним и якорем преобразователя, коротко замыкают

¹⁾ Arnold und La Cour. Die Kaskadenformner, Stuttgart, 1904, F. Enke Halle, Der Kaskadenformner, ETZ 1910, S. 575.

пусковой реостат и общий для всех 12 фаз замыкатель нулевой точки и приподнимает щетки. Преобразователь начинает после этого работать с постоянной синхронной скоростью. Возможно деление напряжения постоянного тока для питания трехпроводной сети, при чем нулевая точка, соединяющаяся со средним проводом, образует опущенными щетками. Регулировка напряжения, — как у однокорковых преобразователей. Требуемое реактивное напряжение может быть создано сильным рассеянием в трехфазном моторе. Пределы регулировки при отсутствии дроссельных катушек $\pm 10\%$ от номинального напряжения. Чтобы преобразователь не „понос“, предусматривается центральный выключатель. Демпферная обмотка на полюсных башмаках — как защита против качания однокоркового умножителя.

Преимущества: независимость напряжения трехфазного тока от напряжения постоянного тока; трехфазный статор может иметь обмотку,

Таблица 9. Коэффициент полезного действия.

| Мощность kW | Нагрузка | | | |
|----------------|---------------|---------------|---------------|----|
| | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{4}$ | 1 |
| 250 | 90 | 85 | 88 | 83 |
| 500 | 91,5 | 91 | 90 | 84 |
| 1000 | 92 | 91,5 | 91 | 86 |
| 1500 | 93 | 92,5 | 92 | 87 |

рассчитанную на высокое напряжение, так что, в случае надобности, можно обходиться без трансформатора; высокий коэффициент полезного действия (на 2—3% выше, чем у мотора-генератора); имея на стороне постоянного тока число периодов равным 25 в секунду, каскадные преобразователи могут быть изготовляемы в отношении постоянного тока на более высокое напряжение, чем обыкновенные преобразователи.

Недостатки: наличие двух машин; статора постоянного тока имеет большие размеры, чем у однокорковых преобразователей; большая занимаемая площадь; более высокая стоимость.

е) Мотор-генераторы.

Мотор-генераторы применяются:

- 1) для преобразования постоянного тока в постоянный же ток более высокого напряжения;
- 2) для преобразования постоянного тока в переменный однофазный или трехфазный и обратно;
- 3) для преобразования однофазного или трехфазного тока в такой же ток с другим числом периодов.

1. Агрегат состоит из шунтового мотора и динамомашин. Если постоянный ток низкого напряжения преобразуется в такой же ток высокого напряжения, то вместо специальной динамо можно применить вольтодобавочную динамо, которая включается последовательно с расположенным напряжением. Если же наоборот, требуется преобразовать ток высокого напряжения в ток низкого напряжения, то вместо полного преобразования применится метод так называемого встречного соединения; мотор работает в последовательном включении с сетью низкого напряжения, а приходящая им в движение динамо своими клеммами присоединяется к полюсам низкого напряжения.

Преимущества: независимость напряжения трехфазного тока от напряжения постоянного тока; трехфазный статор может иметь обмотку, рассчитанную на высокое напряжение, так что, в случае надобности, можно обходиться без трансформатора; высокий коэффициент полезного действия (на 2—3% выше, чем у мотора-генератора); имея на стороне постоянного тока число периодов равным 25 в секунду, каскадные преобразователи могут быть изготовляемы в отношении постоянного тока на более высокое напряжение, чем обыкновенные преобразователи.

2. Шунтовой мотор постоянного тока соединяется непосредственно с генератором одно- или трехфазного тока. В обратном случае, при условиях спокойной работы, синхронный мотор соединяется с генератором постоянного тока для того, чтобы иметь возможность улучшить коэффициент мощности сети, благодаря перевозбуждению синхронного мотора. При тяжелых условиях работы приходится прибегать к асинхронному мотору, при чем весь агрегат снабжается ягода для устранения „толчков“ в нагрузке, маховым колесом, которое запасает энергию в моменты слабой нагрузки и отдает ее в моменты, когда нагрузка бывает высока (вращающийся аккумулятор Пальгвера. В крупных агрегатах можно отрегулировать коэффициент мощности, доводя его до 1, при помощи возбуждательной машины.

3. Синхронный мотор в качестве первичного двигателя. При параллельной работе нескольких агрегатов должны быть предусмотрены приспособления для поворота статоров. Находят применение при переходе от частоты сети в 50 периодов на частоту в $16\frac{2}{3}$ периодов в сек. для питания железнодорожных моторов.

Преимущества мотор-генераторов: полная независимость напряжений обеих машин; приводный мотор может иметь обмотку для высокого напряжения, так что делается излишним промежуточное включение трансформаторов; регулировка напряжения возможна в широких пределах (система Леонарда, равно как возможно улучшение $\cos \phi$ при пользовании синхронными моторами.

Недостатки: две машины, большая занимаемая площадь, высокая стоимость, меньший коэффициент полезного действия, который при полной нагрузке на 2—3%, а при нагрузке в $\frac{1}{4}$ — на 4—6% ниже, чем коэффициент полезного действия каскадного преобразователя.

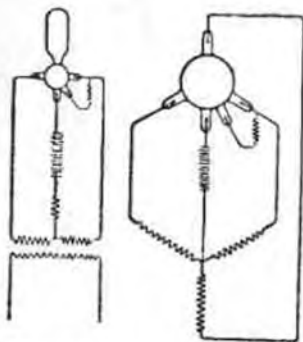
Д. Выпрямители.

а) Ртутные выпрямители.

Выпрямляющее действие вольтовой дуги с ртутными парами предполагает наличие раскаленного катода (катодное пятно около 3000°C), нераскаленного анода (железного или графитного от 500 до 600°C) и высокого вакуума (ок. 0,05—0,001 мм рт. столба). Далее, необходим сборочный резервуар для регенерирования оседающего материала для катода (ртути). Зажиганием называется включение вольтовой дуги при пуске и ход выпрямителя. Наименьшая сила тока — ты сила тока, при которой выпрямитель поддерживается в рабочем состоянии, не погасая. В случае, если сила тока упадет ниже этой предельной величины, необходимо в спомогательное возбуждение. Последнее состоит из вспомогательного анода, который для своего питания требует чрезвычайно малого напряжения и образует с анодом небольшой вспомогательный выпрямитель. Обратным зажиганием называется явление, соответствующее короткому замыканию и заключающееся в устремлении тока через выпрямитель в противоположное выпрямленному току направление; наступает, если анод слишком накалится, или если на нем конденсируется пары ртути. Напряжение вольтовой дуги практически не падает от силы тока и составляет поэтому независимую от нагрузки потерю энергии, ко-

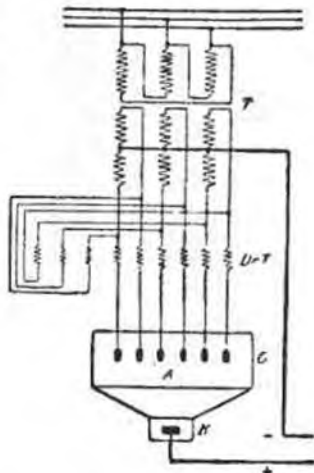
тогда отводится в виде тепла. Кривая анодного тока представляет отрезок синусоиды, симметричный относительно амплитуды, при чем ширина этого отрезка зависит от числа фаз питающего тока. В зависимости также от этого числа фаз постоянный ток характеризуется большим или меньшим числом гармонических волн высшего порядка.

Коэффициентом мощности называется отношение мощности постоянного тока к мощности переменного тока в вольт-амперах. Зависит отчасти от сдвига фаз и отчасти — от формы кривой. На стороне переменного тока измерятся диалометрическими приборами, а на стороне переменного тока — приборами с подвижной катушкой. Ввиду толчкообразно чередующейся нагрузки отдельных фаз трансформаторы выключаются по схеме: треугольник-звезда или звезда-зигзаг. Регулировка напряжения в случае выпрямителей небольшой мощности производится при помощи дополнительных сопротивлений, а при большой мощности при помощи ступенчатых трансформаторов или потенциал-регуляторов (фиг. 176с2). Деление напряжения при помощи делительного агрегата или батарей. Питание сети двумя последовательно включенными выпрямителями не осуществимо. Возможна параллельная работа выпрямителей как между собой, так и с сетью, с посторонней динамо или с преобразователем.



Фиг. 1780.

Фиг. 1781.



Фиг. 1782.

Для возможности использования обеих полуwave переменного тока необходимо устройство по крайней мере двух анодов (фиг. 1780). Для того, чтобы не дать силе тока опуститься до нулевого значения, в случае однофазных выпрямителей и провод постоянного тока включают дроссельную катушку (используя дроссельную катушку D на фиг. 1780). В случае же выпрямителей трехфазного тока такие катушки являются излишними, так как в любой момент в одной из трех фаз имеется определенная сила тока. Вольты дуги для силы выпрямленного тока

от 5 до 200 ампер могут быть заключены в пустотных стеклянных колбах (стеклянные выпрямители), для более высоких сил тока приблизительно до 2000 А требуются стальные сваренные автогенным путем сосуды с водяным охлаждением (мощные выпрямители).

в) Стеклянные выпрямители.

Зажигание производится наклоном стеклянной колбы до соприкосновения ртуть катодом с вспомогательным анодом (1780 и 1781). В крупных выпрямителях наклоном производится электромагнитными приспособлениями. Для малых сил тока, примерно до 20 А стеклянные баллоны изготовляются однофазными, для средних сил тока — трехфазными, а для больших сил тока — шестифазными.

Охлаждение для выпрямителей;

от 5 до 60 А — естественное воздушное,

100 до 250 А — искусственное воздушное при помощи вентилятора,

300 до 500 А — масляное охлаждение.

Перегрузка допустима в 100% в течение 10 секунд.

" " " 50% " 60 "

" " " 25% " 10 минут.

Перегрузка, короткое замыкание и обратное воспламенение представляют опасность для выпрямителей, и потому эти места должны быть защищены выключенными плавкими предохранителями. Для параллельной работы требуется установка дроссельных катушек, для получения необходимого при пуске в ход падения напряжения, так как напряжение вольтовой дуги, — приблизительно 15—19 В — не зависит от силы тока. Коэффициент полезного действия для нагрузок до $\frac{1}{8}$ от нормальной величины остается почти без изменения.

Таблица 10. Коэффициент полезного действия ртутных выпрямителей.

| Напряжение | 65 | 115 | 230 | 470 | V |
|--|----|-----|-----|-----|---|
| Коэффициент полезного действия (исключая все вспомогательные приборы). | 75 | 79 | 87 | 91 | % |

Наименьшая сила тока около 5 А. На вспомогательное возбуждение расходуется от 120 до 200 W. В малых выпрямителях со стеклянными колбами аноды могут играть одновременно роль анодов для возбуждения; коэффициент мощности при работе на три фазы от 0,82 до 0,85; при работе на шесть фаз — 0,93—0,95. Продолжительность службы малых выпрямителей 8000 часов, больших — до 2000 часов.

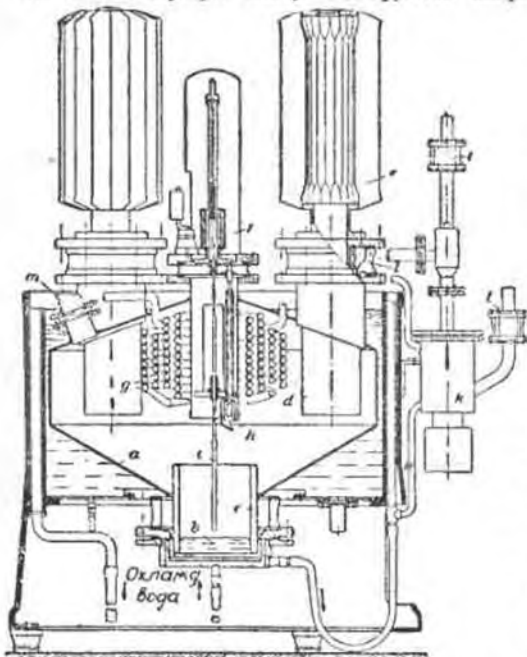
Благодаря однообразному и надежному монтажу всех вспомогательных аппаратов, таких: трансформаторы, дроссельные катушки, выключатели, предохранители, измерительные приборы, конструкция этих ртутных выпрямителей достигла в настоящее время высокой степени совершенства. Применение: зарядка всякого рода аккумуляторов, обслуживание проекционных фонарей, прожекторов, питание небольших сетей постоянного тока в присоединении к электропередачам.

Преимущества: малая занимаемая площадь, малый вес, простота ухода, высокая специализация приспособлений для параллельной работы, быстрый

пуск в ход, высокий коэффициент полезного действия, бесшумность. Особенно пригодны для установок с недостаточным обслуживающим персоналом.

с) Мощные ртутные выпрямители.

На фиг. 1783 показан мощный ртутный выпрямитель на 1000 А завода Сименс-Шукерт. Как у всех крупных выпрямителей, корпус изготовлен из железных листов, сваренных автогенным путем.



Фиг. 1783; а) корпус, б) катод, с) катодное кольцо, д) вход, е) охлаждающая рубашка, ф) обмотка, г) охлаждающая катушка, г) охлаждающая катушка, и) вход возбуждения, к) запорный стержень, л) паровая ловушка, м) смотровое окно для наблюдения.

электромагнитного притягивания в ртутную ванну.

Включение по схеме фиг. 1782. Выброс большой силы тока выпрямитель выполняется шестифазным.

Охлаждение—при помощи водной рубашки. В большинстве случаев лампы и катоды охлаждаются независимо один от другого. Расход воды приблизительно литр/час на один ампер нагрузки.

Высокая устойчивость против толчкообразных перегрузок, вследствие чего подобные мощные выпрямители пригодны для обслуживания железнодорожных сетей с тяжелыми условиями работы.

Чтобы ослабить вредное действие коротких замыканий и возвратных токов, устанавливаются на стороне постоянного

тока конденсаторы, а на стороне переменного тока масляные выключатели. Для параллельной работы требуется включение дроссельных анодных катушек. Напряжение вольтовой дуги—около 22—27 В—независимо от силы тока. Коэффициент полезного действия до $\frac{1}{2}$ норм. напр. практически не зависит почти от нагрузки (см. таблицу 11).

Вакуум поддается и поддерживается циркуляционным масляным насосом в соединении с насосом для ртутных паров. Расход энергии 300—450 W. Масляный насос работает только при первом пуске в ход. Спусти некоторое время все остаточные газы удаляются, так что работать насосу приходится лишь в особых случаях. От времени до времени следует производить проверку степени вакуума. Зажигание производится при помощи вспомогательного анода, пропущенного через центральную часть выпрямителя и погружаемого при пуске в ход при помощи

тока быстродействующие выключатели, а на стороне переменного тока масляные выключатели. Для параллельной работы требуется включение дроссельных анодных катушек. Напряжение вольтовой дуги—около 22—27 В—независимо от силы тока. Коэффициент полезного действия до $\frac{1}{2}$ норм. напр. практически не зависит почти от нагрузки (см. таблицу 11).

Таблица 11. Коэффициент полезного действия мощных ртутных выпрямителей.

| Напряжение | 120 | 230 | 470 | 600 | 825 | 1200 | 1650 | V |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|---|
| Коэффициент полезного действия (включая все вспомогательные приборы). | 81 | 88 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | % |

Наименьшая сила тока 15 А. Вспомогательное возбуждение расходуется около 1000 W. Коэффициент мощности—как у выпрямителя со стеклянной колбой.

Уход: Выпрямители почти не требуют особого ухода; нужна лишь ежедневная проверка вакуума и водного охлаждения.

Применение: Питание больших сетей постоянного тока, а также железнодорожных сетей, обслуживаемых полностью постоянным током. Встречаются агрегаты на 2000 А и 1200 В. Броун-Бовери строит выпрямители, дающие при 4000 В около 300 А.

Преимущества—те же, что у выпрямителей со стеклянными баллонами. Так как они дают возможность получения постоянного тока высокого напряжения с высоким коэффициентом полезного действия, то они особенно пригодны для железнодорожных подстанций.

д) Другие виды выпрямителей.

Выпрямители с аргоном сходны с ртутными выпрямителями. В качестве катода служит амальгама ртути; сосуд заполнен газом аргоном. Минимальная сила тока 0,3—0,5 А; пригоден, как выпрямитель для небольших мощностей. Напряжение вольтовой дуги, зависящее от силы тока, колеблется в пределах от 14 до 20 В. Рабочий ток до 250 А. Зажигание—толчкообразным повышением напряжения от 400 до 700 В (без наклона баллона).

Выпрямители с лампами накаливания—используют выпрямляющее действие нити накаливания. Применяются для небольших мощностей. Рабочий ток—до 0,2 А.

Катодный выпрямитель характеризуется накаливаемым электрическим током (ток накала) катодом. Последний по Венельту покрыт окисью кальция. Только для слабых сил тока. Падение напряжения от 15 до 22 В. Рабочий ток от 0,25 до 1 А—для напряжений от 3000 до 10000 В и от 2 до 40 А—для напряжений от 20 до 110 В. Катодные выпрямители с заполнением благородными газами¹⁾ (Рамаг заполняет свои выпрямители аргоном). Падение напряжения от 7 до 11 В; рабочий ток около 6 А. Строятся специальные выпрямители для очень высоких напряжений—до 300000 В для получения рентгеновских лучей и для испытательных целей. Падение напряжения от 500 до 1500 В; рабочий ток около 0,1 А.

^{1) ETZ, 1925, S. 1780.}

Механические выпрямители. Маятниковый выпрямитель представляет настроенный на данное число колебаний и качающийся синхронно с выпрямляемым переменным током контактный выключатель; вращающийся выпрямитель—вращающийся синхронно-контактный выключатель, который включает токи одного направления. Необходимы специальные приспособления для использования обеих половин. Механические выпрямители применяются преимущественно для лабораторных целей и для рентгеновских приборов.

Электролитические выпрямители используют выпрямляющее действие цинкомедных элементов, состоящих из алюминиевого катода и металлического анода угольного анода, погруженных в электролит. Коэффициент полезного их действия мал, и потому они почти не имеют практического применения.

Коллоидный выпрямитель использует выпрямляющее действие элемента из коллоидального серебра в серной кислоте в качестве анода в металлическом катоде. Плотность тока на металлическом катоде около 1 А на см² и выше. Выпрямленный ток подводится к раствору серебра при помощи угольного электрода. Коэффициент полезного действия значительно выше, чем у электролитического выпрямителя.

У. Электрические измерения.

А. Электрические измерительные приборы.

Электрические измерительные приборы служат для измерения электрических и других величин при научных или технических исследованиях, напр., при испытании электрических машин (точные измерительные приборы) или при контроле работ электрических станций и установок (технические измерительные приборы). Технические измерительные приборы—в виде переносных монтажных измерительных приборов, или в виде приборов для монтажа на распределительных досках. Последние могут быть выполнены либо для непосредственного отчета по показанию стрелки, либо в виде самопишущих приборов. В большинстве случаев приборы бывают цилиндрической формы, с диаметром подола приблизительно ок. 200 мм, или профильной формы, с секторообразным или плоским профилем; последние для заднего соединения.

В Германии измерительные приборы испытываются и проверяются согласно норм V. D. E. ¹⁾ Пормы обнимают: измерители силы тока до 1000 А, измерители напряжения до 20 000 В, измерители коэффициентов мощности, измерители мощности, измерители часа периодов

На шкале измерительных приборов должны быть следующие обозначения:

1. Обозначение типа для указания, что соблюдены все условия, предъявляемые к данному типу приборов, а именно:

тип E для точных измерительных приборов 1 класса

" F " " " " " 2 " " "

" G " технических приборов 1 класса

" H " " " " " 2 " "

¹⁾ E. T. Z. 1922 г., стр. 290, 519, 858

2. Обозначение способа установки

— для установки в вертикальном положении

— " " " горизонтальном положении

< 30° " " " наклонном положении.

3. Обозначение рода тока:

~ для переменного тока

= для постоянного тока

≅ для по-

стоянного пере-

менного тока.

4. Обозначение пробного напряжения для указания соответствия между рабочим и пробным напряжением, согласно таблицы 1.

Таблица 1.

| Пробное напряжение | Рабочее напряжение | Условное обозначение пробного напряжения |
|--------------------|--------------------|--|
| 600 В | до 40 В | черная звездочка |
| 1 000 " | " 100 " | красная " |
| 2 000 " | " 500 " | красная " |
| 3 000 " | " 900 " | голубая " |
| 5 000 " | " 1 500 " | белая " |

а) Определения ²⁾.

Измерительный механизм. Приспособление для получения и отчета отклонений указателя. Подвижной орган—стрелка и движущиеся вместе с ним части. При помощи направляющей силы стрелка указателя поворачивается в нулевое положение по прекращении действия измеряемой величины. **Измерительный прибор**—совокупность измерительного механизма и вспомогательных частей, монтируемых вместе с ним внутри кожуха. **Шунт**—сопротивление, включаемое параллельно с нитью для главного тока. **Добавочное сопротивление**—сопротивление, последовательно включаемое с нитью, через которую протекает ток измерения. **Измерительная величина**—та физическая величина, для измерения которой служит данный прибор. **Соединительные проводники**—проводники между прибором и шунтом или добавочным сопротивлением, рассчитанные на определенное падение напряжения. **Предел измерения**—область показаний прибора, для которой соблюдены условия точности указаний прибора. Этот предел обнимает: а) в приборах с равномерными и одинаково точными делениями—всю область шкалы, б) в приборах с неравномерными делениями—особо отмеченную часть шкалы. **Ошибка в показаниях**—разница между истинным и действительным размером измеряемой величины вследствие механического несовершенства прибора и негочности градуировки; выражается в процентах конечной величины данного предела измерений. Ошибки и показания зависят еще от температуры, частоты тока, напряжения, положения и влияния посторонних изде-

Классификация измерительных приборов и их условное обозначение даны в таблице 2.

Для монтажа электрических машин применяются исключительно точные измерительные приборы. Точность отчета достигается зеркальной шкалой и нож-образной стрелкой. Шпур для подвижного механизма служат либо стальные острия, либо выкормы шпур. Трение в осях должно быть возможно мал. Влияние температурных

²⁾ по правилам для измерит. приборов VDE.

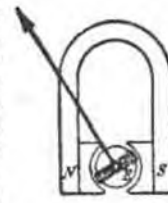
Таблица 2. Классификация измерительных приборов и их символическое обозначение.

| № | Тип прибора | Символическое обозначение | | Характеристика прибора |
|---|---|---------------------------|---------------------|--|
| | | с подвижной рамкой | без подвижной рамки | |
| 1 | Вращающаяся катушка | | | Прибор с вращающейся катушкой — имеет подвижный магнит и одну или несколько катушек, которые или вращаются через ших тока, вызывая отклонения в магнитном поле. |
| 2 | Вращающийся железный сердечник | | | Прибор с вращающимся сердечником (сердечник железа) обладает одной или несколькими железными катушками, которые вращаются благодаря действующему магнитному полю, создающему силой или несомненно неподвижные катушки, через которые протекает измеряемый ток. |
| 3 | Электромагнитные приборы без железного сердечника | | | Электромагнитные приборы — имеют неподвижную и электромагнитически отклоняемую катушку. Измеряемый ток проходит через обе системы катушек. |
| 4 | Индукционные приборы | | | Прибор с вращающейся магнитной рамкой имеет подвешенные в неподвижные токовыводящие части (дуги или коротко замкнутые кольца, диски, барабаны). По крайней мере в одном из этих проводящих ток возбуждается путем электромагнитной индукции. |
| 5 | Тепловые измерительные приборы | | | Тепловые приборы. Удлиняющийся благодаря расширению проводник ток проходит, непосредственно под действием протекающего тока, вызывает отклонение стрелки. |
| 6 | Электростатические измерительные приборы | | | Электростатические приборы. Сила притяжения или отталкивания, возникающая между двумя заряженными до различного потенциала телами, сообщает отклонение стрелке. |
| 7 | Вибрационные измерительные приборы | | | Вибрационные приборы — указывают момент совпадения измеряемого числа периодов с соответствующим числом периодов, настроенных на разное число колебаний тока. |

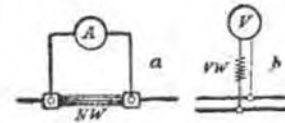
колебаний должно быть доведено до минимума путем соответствующего включения. Успокоительное приспособление не должно обеспечить возможно аperiodическую установку стрелки. Успокоение бывает либо воздушное, когда стрелка при своем отклонении приводит в движение крыльчатый отрезок внутри воздушной камеры, или перемещает поршень внутри изогнутого цилиндра, так что должно быть вытеснено некоторое количество воздуха, либо электромагнитное успокоение, благодаря токам Фуко, которые возбуждаются в металлическом диске, вращающемся между полюсами подковообразного магнита, или при перемещении коротко замкнутой катушки в магнитном поле. Сюда же относится рамочное успокоение в измерительных приборах с вращающейся катушкой. Металлическая рамка, несущая подвижную катушку, играет роль коротко замкнутой обмотки.

б) Измерительные приборы для постоянного тока.

Измерительные приборы с неподвижным магнитом и подвижной катушкой. Конструкция прибора — согласно таблице 2 и фиг. 1784. Ток подводится к подвижной катушке при помощи двух спиральных пружинок, которые одновременно сообщают противодействующее усилие подвижному механизму. Шкала — с пропорциональными делениями. Точность измерения до 0,1% достигается при ничтожных внутренних потерях. Наиболее подходящие точные измерительные приборы для постоянного тока. По нормам СИЭ для приборов класса Е точность измерений допускается до $\pm 0,2\%$. Катушка намотана на замкнутую алюминиевую рамку, которая одновременно играет роль электромагнитного успокоителя. Точные измерительные приборы строятся обыкновенно в виде милливольтметров или миллиамперметров с выверенным сопротивлением, например 10-омный прибор со шкалой на 150 делений и с потерей напряжения в 45 мВ, т. е. для тока в 4,5 мА при полном отклонении стрелки. Компенсация температурных колебаний достигается с достаточной для практических целей полнотой.



Фиг. 1784.



Фиг. 1785 и 1786.

Градировка производится путем сравнения напряжения с нормальным элементом по методу мостика Уитстона, при чем элемент не показывает отдачи тока. Внутренние потери см. таблицу 4, стр. 1351.

Измерительные приборы с подвижной катушкой применяются часто также для установки на распределительных досках.

Увеличение предела измерения достигается в случае амперметров при помощи шунтов (фиг. 1785), в случае вольтметров при помощи добавочного сопротивления (фиг. 1786). Эти измерительные сопротивления состоят обыкновенно из марганцовых шипов, лент или проволоки с возможно низким температурным коэффициентом. Шунты строятся до 30 000 А; добавочные сопротивления — для любого максимального

направлен. Ваттметры для постоянного тока изготавливаются с подвижной катушкой в виде специальных приборов для измерений при быстронагружаемых нагрузках (напр. при моторах для прокатных станков). Мощность измеряется по силе тока и напряжению.

В качестве гальванометрических приборов изготавливаются с иллитным подвижимым. Для самых точных измерений отсчет производится по отклонению зеркала. Дают измерения до $0,5 \times 10^{-10}$ А, с отклонением по шкале на 1 мм и при расстоянии шкалы в 1 м.

с) Измерительные приборы для постоянного и переменного токов.

Приборы с неподвижной катушкой и подвижным сердечником из мягкого железа. Конструкция прибора по таблице 2 и фиг. 1787 и 1788. При прохождении тока через неподвижную катушку *F* изогнутая пластинка *E* из мягкого железа втягивается внутрь,

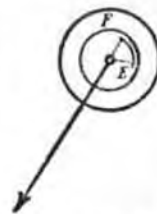
стремясь занять положение в том месте катушки, где напряженность магнитного поля больше (фиг. 1787), либо две пластинки *E* намагничиваются так, что они взаимно отталкиваются (фиг. 1788) или притягиваются. Противодействующей силой обыкновенно является сила тяжести. Деления шкалы неравномерные. Явления остаточного магнетизма и гистерезиса вследствие незначительных размеров железной пластинки ничтожно малы,

так что шкала при постоянном и переменном токе получается почти одинаковой. Дешевый измерительный прибор. Применяется преимущественно, как технический прибор и для установки на распределительных досках. Для этих целей показания их в достаточной степени невелики от частоты тока и от температурных колебаний. Изготавливаются в виде амперметров и вольтметров. Увеличение пределов измерений амперметров при помощи соответствующих шунтов невозможно. Успокоение — воздушное при помощи крылатки или поршня. Внутренний штерн см. таблицу 4, стр. 1351).

Электродинамические измерительные приборы. Конструкция по таблице 2 и фиг. 1783. Ток подается к подвижной катушке *B* при помощи двух спиральных пружинок, которые одновременно сообщают противодействующее усилие подвижному механизму. В амперметрах для слабых токов (до 1 ампера) катушки соединяются последовательно. При более высоких токах подвижная катушка *B* включается параллельно к неподвижной катушке *F*, вместе с дополнительным сопротивлением для компенсации температурных колебаний. В вольтметрах обе катушки соединяются последовательно друг с другом и с дополнительным сопротивлением. В ваттметрах через неподвижную катушку проходит рабочий ток, а через подвижную — ток напряжения. В вольт- и амперметрах деления шкалы неравномерны, в ваттметрах деления шкалы — равномерные. Градуировка производится коммутированным постоянным током. Увеличение пределов измерения достигается включением дополнительных



Фиг. 1787.



Фиг. 1788.

сопротивлений в шунтовой катушке напряжения или путем изменения числа катушечных секций, включенных в цепь рабочего тока, или, наконец, включением трансформаторов тока и напряжений.

Электродинамические измерительные приборы без железного сердечника применяются преимущественно как прецизионные приборы для измерения переменного тока. Следует обращать внимание на влияние посторонних полей и смежных находящихся под током проводников.

От колебаний числа периодов показаний электродинамических приборов почти не зависит (до 100 периодов в сек.). Компенсация температурных колебаний для практических целей — совершенная. Измерительные приборы с замкнутым железным магнитопроводом применяются, как монтажные, как самонесущие приборы и как приборы для распределительных досок. Роль магнитопровода играет собранный из листов железный корпус *B* (фиг. 1790). Имеют значительный крутящий момент. Успокоительное приспособление пневматического типа — в виде крылатки или поршня.

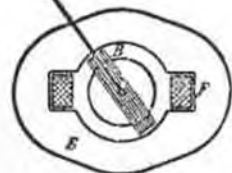
Тепловые измерительные приборы. Конструкция приборов по таблице 2 и фиг. 1791. Нагреваемая протекающим током нить представляет тонкую платино-иридиевую проволоку. Настигаемую небольшой пластинчатой кружалой *F* (фиг. 1791).

Удлинение нагреваемой проволокой током проволоки передается указательной стрелке, благодаря действию пружинки *F*, оттягивающей илсно колея проволоки, обхватывающей ось стрелки. Нулевое положение стрелки зависит от температуры, вследствие чего перед началом измерения должна быть проверка установки на нуль. Деления шкалы равномерные. Градуировка постоянным током. Успокоение магнитное. Увеличение пределов измерения при помощи дополнительных сопротивлений и шунтов. Сопротивительные провода к шунтам должны быть расположены бифидально во избежание вредного действия

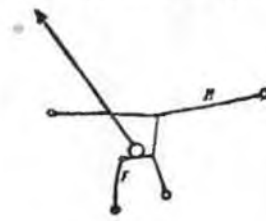
посторонних переменных полей. Показания не зависят от числа периодов. Применяются поэтому в технике токов высокой частоты для измерения напряжений и токов небольшой силы. В случае токов высокой частоты увеличение пределов измерений при помощи шунтов невозможно. Поэтому для токов большой силы обязательны специальные приборы. Внутренний штерн см. таблицу 4



Фиг. 1789.

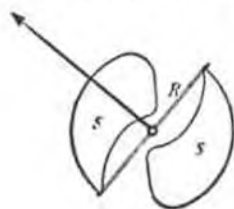


Фиг. 1790.



Фиг. 1791.

Электро-статические измерительные приборы. Конструкция приборов по таблице 2 и фиг. 1792. Для точных измерений сильных токов применяется квадратный электрометр, а именно, для измерений напряжения и мощности. Для технических измерений токов высокого напряжения служат многокамерные вольтметры, изготовляемые для непосредственного измерения до 20 kV. Увеличение пределов измерения производится путем включения дополнительных конденсаторов. В последнее время фирма Гартман и Браун выпустила прибор такого же типа для токов низкого напряжения до 150 вольт с подвижной частью, состоящей из тонкой трубочки R (фиг. 1792), притягиваемой дисками S своеобразной формы. Подвижной механизм снабжен нитью водвессом. Показания электрических приборов могут быть искажены под влиянием посторонних электрических полей, если не приняты меры к их



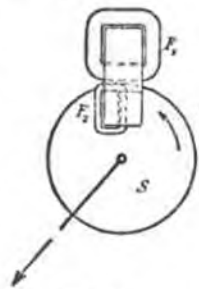
Фиг. 1792.

устранению путем заземления металлического кожуха. При измерениях помощью квадратного электрометра все соединительные провода должны быть также защищены от посторонних влияний. В качестве добавочного конденсатора для статического вольтметра можно пользоваться в электрических установках конденсаторной клеммой любого аппарата.

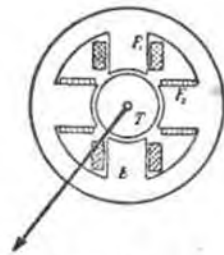
д) Измерительные приборы для переменного тока.

Индукционные измерительные приборы. Конструкция приборов согласно таблицы 2 и фиг. 1793 и 1794 имеет исключительно неподвижные катушки F_1 и F_2 . Применяются преимущественно как ваттметры и фазометры, реже — в качестве ампер- и вольтметров. Подвижной орган состоит из диска S или барабана T , которые приводят в действие указательную стрелку или счетный механизм.

В случае конструкции по фиг. 1793 силовые линии, возбужденные в железном сердечнике, благодаря действию неподвижной катушки F_1 , пересекают алюминиевый диск S и отчасти коротко-замкнутую катушку F_2 , находящуюся между полюсами магнита, в которой по общим законам возбуждается сдвинутое по фазе магнитное поле. Благодаря взаимодействию этих полей, сдвинутых одно относительно другого в пространстве и во времени, получается результирующее вращающееся поле, которое увлекает диск S . Коротко-замкнутая катушка F_2 может быть заменена металлической пластиной на место коротко-замкнутой обмотки устраивается другая неподвижная катушка со своим самостоятельным железным сердечником



Фиг. 1793.

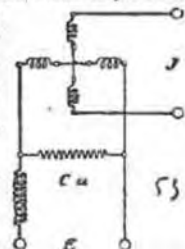


Фиг. 1794.

В случае равенства фаз тока и напряжения в обеих катушках необходимо искусственно создать сдвиг их на 90° путем соответствующего включения (фиг. 1795). В случае конструкции по фиг. 1794 оба поля пересекают вращающийся барабан T . Здесь также необходимо создать сдвиг фаз магнитных полей в 90° (путем включения дроссельных катушек и сопротивлений) для получения вращающегося поля, направление которого „увлеч“ в своем движении барабан T . Успокоительное приспособление — электромагнитное. Внутренние потери см. таблицу 4.

Вибрационные измерительные приборы. Конструкция приборов согласно таблице 2. Вибрационный гальванометр применяется в качестве „нулевого“ прибора при измерениях по методу мостика Уитстона переменных токов, а также в виде катушечного гальванометра (по Zölllich'y).

Частотомеры, а отчасти и счетчики числа оборотов изготовляются обыкновенно как вибрационные приборы. Ряд стальных язычков, настроенных на различное число естественных (собственных) колебаний, располагается впереди явора электромагнита, через обмотку которого проходит ток, частоту которого требуется измерить. Колебания язычка, подверженного действию переменного магнитного поля, вызывают наибольший резонанс в тех язычках, естественное число колебаний которых в большей или меньшей степени соответствует числу перемен направления напряжения. В присоединении с генераторами переменного тока приборы эти могут быть градуированы в качестве счетчиков числа оборотов. Соответственным образом настроенные приборы могут быть приведены в колебательные движения путем чисто механического резонанса и в таком виде также служат в качестве измерителей числа оборотов. Для контроля числа оборотов на расстойки служит небольшой генератор, монтируемый на валу машины, играющий роль передатчика, и приемник в виде язычкового частотомера, градуированного по числу оборотов. Для машин с очень большим числом оборотов приборы этого типа непригодны. В качестве передатчика может служить также небольшая динамо постоянного тока со стальными магнитами, в также униполярная машина, в качестве же указателя числа оборотов — прибор с вращающейся катушкой, градуированный на число оборотов.



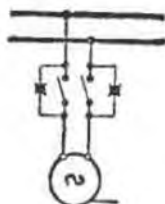
Фиг. 1795.

е) Специальные измерительные приборы для переменного тока.

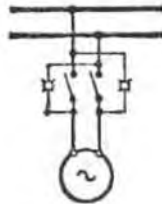
Фазометры — для непосредственного отчета угла сдвига фаз между током и напряжением (вместо вычисления такового на основании мощности, напряжения и силы тока). Построенный по типу электродинамических приборов фазометр состоит из неподвижной катушки для главного тока и двух подвижных катушек напряжения, присоединенных к линии параллельно; в цепь одной из катушек включено индуктивное сопротивление, сильно сдвигающее фазу катушек одну относительно другой. В случае трехфазного тока катушка для главного тока включается в одну фазу, а обе подвижные катушки напряжения через добавочные сопротивления к другим фазам. Система подвижных катушек со скрепленной с ними

указательной стрелкой приходит во вращение под влиянием противоположно направленных вращающихся моментов, пока эти последние взаимно не уравновесят друг друга. Шкала градуируется на значение коэффициента мощности — $\cos \varphi$.

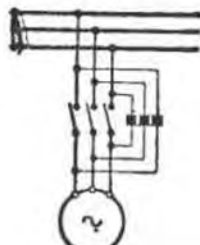
Приборы для включения генераторов переменного тока на параллельную работу — служат для определения момента установившегося равенства напряжений, числа периодов и фаз (синхронизма). Двойной вольтметр показывает равенство напряжений. Прибор имеет два измерительных механизма и две стрелки — для напряжений шты и генератора, с переключателем для всех имеющихся в данной установке генераторов. Двойной частотомер показывает равенство числа периодов; включается как двойной вольтметр; имеет два ряда колеблющихся язычков, или один ряд, входящий под действие двух возбуждающих колебания катушек. Синхроноскоп показывает, вращается ли подключаемый на параллельную работу генератор быстрее или медленнее уже работающего; стрелка вращается при этом либо в одном, либо в другом направлении (Сименс и Гальске), либо отклоняется в ту или иную сторону (Вестон). Указатель нулевой разницы напряжений (синхронизирующий вольтметр) показывает равенство фаз. Применяющиеся для этой цели фазовые лампы включаются либо на затухание (фиг. 1796), либо на наибольшую яркость (фиг. 1797), т. е. параллельное включение генератора должно последовать либо в момент потухания лампы, либо в момент ее наиболее яркого вспыхивания. Одновременная последовательность фаз при трехфазных генераторах определяется по схеме включения фиг. 1798.



Фиг. 1796



Фиг. 1797.



Фиг. 1798.

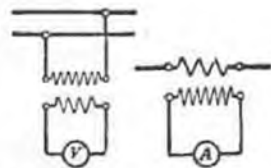
Осциллограф — дает оптическое изображение процесса изменения во времени силы или напряжения переменного тока; служит для технико-научных исследований. Состоит из одной или нескольких «петель», подвешенных в междупольном пространстве сильного электромагнита. Против оси магнитов к петле прикреплено маленькое зеркальце, на которое падают лучи от дуговой лампы. Отраженные пучки лучей собираются при помощи линзы в одну точку, которая фиксируется на поверхности синхронно вращающегося барабана, на который сверху светочувствительная фотографическая бумага. Измеряемый ток пропускается через петлю, которая вместе с зеркальцем поворачивается на некоторый угол

в такт с колебаниями силы тока, и таким образом на фотографической бумаге запечатлевается диаграмма изменений во времени измеряемой величины.

Г) Трансформаторы тока и напряжения.

Измерительные трансформаторы служат для увеличения пределов измерения измерительных приборов переменного тока, для разделения цепи низкого напряжения для измерительных приборов от цепи высокого напряжения, а в электрических установках — для присоединения счетчиков и реле. Они применяются в этих случаях для токов около 300 А и для напряжений до 700 В. Различают трансформаторы тока и трансформаторы напряжения. Первичные их обмотки включаются по правилам амперметра или вольтметра, самые же приборы включаются во вторичную обмотку (фиг. 1799 и 1800). Трансформаторы тока обычно рассчитываются на силу тока во вторичной цепи в 5 А, а трансформаторы напряжения — на 100 В. В зависимости от пределов точности они разделяются, как и измерительные приборы, на классы, при чем точные измерительные трансформаторы для приборов, предназначенных для расчета с абонентами, должны быть выполнены согласно соответствующих норм.

Такие точные измерительные трансформаторы применяются при измерениях для испытаний электрических машин и в соединении со счетчиками. Коэффициент трансформации в этих трансформаторах для практических целей можно считать постоянным. Расхождение фаз первичной и вторичной измеряемой величины в большинстве случаев не превосходит 10 минут, так что даже при измерениях, которые зависят от $\cos \varphi$, каковы измерения мощности, величиной сдвига можно пренебречь. К измерительным трансформаторам присоединяются разные приборы, напр. к трансформаторам напряжения — вольтметры, частотомеры, катушки напряжения ваттметров; к трансформаторам тока — амперметры, катушки главного тока ваттметров и др. Номинальная мощность в kW указывает, как велик может быть общий расход энергии во всех присоединенных приборах соответственно требованиям, предъявляемым к измерительным приборам данного класса. Коэффициент трансформации точных измерительных трансформаторов часто может быть измерен в отношении 1:2:4 путем переключения катушечных групп в первичной цепи при посредстве барабанных или штепсельных переключателей. Трансформаторы для очень высокой силы тока получают иногда разъемное ярмо, так что они могут быть одеты своим железным сердечником на токопроводящую шину. В последнее время для сил тока от 300 А до максимальной встречающейся на практике величины пользуются так называемыми однопроводниковыми (стержневыми) трансформаторами, которые применяются, напр., как вводные трансформаторы. Первичная обмотка состоит при этом из одного прямого проводника, вторичная же обмотка монтирована непосредственно на кольцевом железном сердечнике. Фирмой Сименс и Гальске вышущен «петлевой» трансформатор в качестве перв-



Фиг. 1799.

Фиг. 1800.

носного точного прибора. Он состоит из коробки с цилиндрическим отверстием по середине, которое служит в то же время полостью железного сердечника. Роль первичной обмотки играет кабель, который подводит измеряемый ток. В зависимости от пределов измерений кабель может быть свернут в один или несколько витков. Кроме того прибор снабжается несколькими прочно монтированными катушками на 15, 50 и 150 А, так что подобный трансформатор тока может служить для пределов измерения от 15 до 1500 А.

г) Счетчики.

Счетчики служат для измерения выработанной, отданной или израсходованной электрической энергии. Для расчета между потребителями и поставщиками электрической энергии допускаются лишь счетчики тех типов, которые после испытания Главной Палатой Мер и Весов признаны пригодными для указанной цели.

При установке на место применения счетчик должен удовлетворять следующим требованиям.

а) Без нагрузки (при прохождении тока только в шунтовой обмотке), счетчик не должен изменять своих показаний даже при повышении напряжения на 10% сверх нормального.

б) Погрешность счетчика между 100% и 10% полной нагрузки, для которой назначен счетчик, не должна быть больше $\pm 3\%$; в счетчиках, предназначенных для нагрузки менее 300 W, при 10% полной нагрузки, допустимая погрешность увеличивается до $\pm 5\%$.

в) Счетчик должен начать вращаться без остановки при нагрузке, составляющей не более 1% полной нагрузки для счетчиков свыше 300 W и 2% для счетчиков на 300 W и ниже.

д) На переменном токе при сдвиге фазы тока относительно фазы напряжения, не превышающем 60% (соответственно $\cos \varphi = 0,5$) погрешность счетчика не должна превышать $\pm 4\%$ для всех нагрузок, не ниже 10% полной мощности счетчика.

При испытаниях счетчиков пригодными к применению для расчета с потребителями электрической энергии признаются те типы, которые кроме того отвечают следующим требованиям.

а) Погрешность счетчика для одной и той же нагрузки (в пределах 100% и 10% полной нагрузки) не должна колебаться более, чем на $\pm 2\%$.

б) При изменении напряжения на $\pm 10\%$ от указанного на счетчике погрешность не должна изменяться более, чем на $\pm 2\%$.

в) Температурный коэффициент счетчика в пределах от 0 до $+40^\circ\text{C}$ не должен превышать $\pm 0,2\%$.

д) Погрешность счетчика от короткого замыкания, произведенного в цепи счетчика через нормальные предохранители, соответствующие наибольшему току, для которого назначен счетчик, не должна превышать $\mp 3\%$.

Мощность устанавливаемого счетчика должна быть выбрана в соответствии с максимальной одновременной нагрузкой.

Установка счетчиков не должна производиться в помещениях сырых или подверженных ненормальным колебаниям температуры.

Счетчики в цепях высокого напряжения с трансформаторами тока и напряжения должны быть установлены так, чтобы снятие показаний

могло быть произведено без опасности от соприкосновения к проводам высокого напряжения. Счетчики должны быть защищены от перегрузки предохранителями, установленными на месте отведения линии потребления от магистрали.

Счетчики дают электрическую работу EI при постоянном токе, или $EI \cos \varphi \cdot t$ при переменном токе, в ватт-часах (Wh) или киловатт-часах (kWh), где E — напряжение у места потребления, I — сила тока, φ — угол сдвига фаз и t — время. Если E можно принять постоянным, то достаточно производить измерение количества электричества It в ампер-часах (счетчики ампер-часов). Если можно принять постоянной мощность EI или $EI \cos \varphi$, то достаточно производить измерение только времени t .

Счетчики переменного тока могут быть присоединяемы к сетям высокого напряжения через посредство трансформаторов тока и напряжения.

Электролитические счетчики. При прохождении тока в I ампер в течение времени t через электролит на электродах отлагаются определенные количества вещества, пропорциональные произведению It ; таким образом, обратно, по количеству выделившегося вещества можно определить количество израсходованных ампер-часов. Основанные на этом принципе приборы являются поэтому счетчиками ампер-часов при постоянном токе. В счетчиках Шт и а (Stia von Schott und Gew., Лейп) в замкнутом стеклянном цилиндре производится разложение электролитного раствора водистой ртути и водистого калия, при чем на катоде в виде прилипающей пластинки происходит выделение ртути, которая стекает в градуированную трубку. В качестве анода служит кольцеобразный желобок, наполненный ртутью, находящейся в соединении с небольшим запасным резервуаром для ртути. По наполнении ртутью градуированный цилиндр опрокидывается, и выделяющаяся ртуть выливается в желобок, а затем в резервуарчик для ртути. Счетчики Шт и а присоединяются через шунт к сети, при чем для ослабления температурного коэффициента элемента в цепь счетчика включается добавочное сопротивление.

Водородный счетчик выпущен заводом Сименс-Шукерта. Электролитом служит разведенная фосфорная кислота, анодом — платиновая пластинка, катодом — золотая сетка. Разложение происходит в замкнутом стеклянном сосуде, при чем водород поступает в измерительный цилиндр.

Маятниковые счетчики. В современных условиях применяются редко. Строются как счетчики ампер-часов для постоянного тока и как счетчики ватт-часов для постоянного, однофазного и трехфазного тока. Два отрегулированных на тождественные периоды колебаний маятника качаются рядом и действуют на часовой механизм таким образом, что последний приходит в движение лишь при нарушении равенства периодов колебаний. Нарушение синхронизма в колебаниях маятников достигается в счетчиках ампер-часов воздействием на один из маятников неподвижной катушки, через которую протекает измеряемый ток. Число оборотов часового механизма с большой точностью можно принять пропорциональным силе тока. В счетчиках ватт-часов оба маятника снабжены катушками, через которые проходит ток напряжения. На эти последние воздействуют две неподвижные катушки, через которые проходит главный ток, при чем направление тока в них таково, что одна катушка уско-

рлет, а другая замедляет колебания маятника. Число оборотов зубчатой передачи пропорционально произведению EI . Механизм для качания маятника заводится через определенные промежутки времени специальным электромагнитом. Счетчик ватт-часов пригоден для постоянного, однофазного и трехфазного тока. При трехфазном токе прибор включается по методу двух ваттметров (см. стр. 1350).

Моторные счетчики относятся к типу динамометрических приборов (преимущественно для постоянного тока). Присоединенная при помощи коммутатора к измеряемому напряжению якорная обмотка (без железного сердечника) вращается в поле двух неподвижных катушек, через которые пропускается измеряемый главный ток. На валу якоря смонтирован алюминиевый диск, вращающийся между полюсами постоянного магнита; возбужденные в диске токи Фуко создают во взаимодействии с полем магнитов тормозящий момент. Общий, сообразный влорю крутящий момент пропорционален произведению EI , т. е. мощности тока. Якорь приводит в действие счетный механизм, который своим числом оборотов учитывает отдаваемую работу. Прибор является таким образом счетчиком ватт-часов. Обращать внимание на возможность влияния посторонних полей.

Магнито-моторные счетчики (только для постоянного тока). Якорь без железного сердечника вращается в поле двух постоянных магнитов. Якорь через коллектор присоединяется к шунту, через который проходит главный ток, и в свою очередь приводит в движение часового механизма. Действующий на якорь крутящий момент пропорционален измеренной силе тока. Тормозящий момент получается, как и у динамометрических счетчиков, возбужденными в алюминиевом диске токами Фуко. Прибор является таким образом счетчиком ампер-часов. Затруднения связаны в нем со слабым напряжением у счетца. Следует также обращать внимание на действие посторонних полей.

Индукционные счетчики (для однофазных переменных токов). На алюминиевый диск или барабан действуют, кроме постоянного магнита, служащего успокоителем, два электромагнита, из которых один имеет обмотку из большого числа тонких витков присоединен к измеряемому напряжению, а другой с его толстой обмоткой из небольшого числа витков—к главному току. В случае совпадения фазы тока и напряжения между обеими катушками создается искусственно сдвиг фаз в 90° для того, чтобы действующий на диск или барабан крутящий момент был пропорционален $EI \cdot \cos \varphi$ и для того, чтобы связанный с валом диска счетный механизм учитывал электрическую работу. Прибор является таким образом счетчиком ватт-часов.

Счетчики трехфазного тока. На общем валу сидят два алюминиевые диска или барабана, из которых каждый, как и в предыдущем случае, находится под действием двух электромагнитов. Магниты одного диска находятся под действием катушки тока, включенной в одну фазу, и катушки напряжения, включенной между первой и второй фазой; магниты же второго диска находятся под действием катушки тока, включенной в 3-ю фазу и катушки напряжения между 2 и 3-ей фазой (включение по способу двух ваттметров). В некоторых счетчиках обе магнитные системы действуют на один и тот же диск. Тормозящий момент

в обоих случаях создается постоянными магнитами, действующими на алюминиевый диск или барабан. Число оборотов, отсчитываемое счетным механизмом, пропорционально произведению $EI \cos \varphi \sqrt{3}$, т. е. прибор является счетчиком ватт-часов. Преимущества всех индукционных счетчиков—наличие исключительно неподвижных катушек. Наиболее распространенный тип счетчиков для трехфазного тока—индукционные счетчики.

В. Электрические измерения.

При производстве электрических измерений необходимо иметь в виду, что точность показаний приборов постоянного тока, а также приборов динамометрических и с вращающимися катушками, может быть искажена под влиянием посторонних магнитных полей в смежных проводах. Приборы эти следует поэтому устанавливать на расстоянии не менее 1 м от проводов сильного тока и на расстоянии друг от друга не менее 40—50 см. Протирка стеклянных окошек приборов может вызвать статический заряд, который также может влиять на правильность показаний прибора. Влажным дыханием можно этот заряд уничтожить. Нормальное трение острия в подпятнике ослабляется легким постукиванием по прибору. Перед употреблением прибор устанавливать на 0. При точных измерениях пользоваться последними $\frac{2}{3}$ шкалы. Обращать внимание, чтобы отчет производился без „параллакса“.

а) Измерение силы тока и напряжения.

Для увеличения пределов измерения пользуются при постоянном токе шунтами для амперметров и добавочными сопротивлениями для вольтметров (см. стр. 1337). При измерениях переменного тока для той же цели служат трансформаторы тока и напряжения. Трансформаторы тока рассчитываются обыкновенно на силу тока во вторичной цепи в 5А. Трансформаторы обыкновенно изготовляются для нескольких пределов измерений, которые вводятся путем переключателей. Трансформаторы тока должны быть всегда соединены с прибором или короткозамкнуты. При измерениях на машинах высокого напряжения корпус прибора должен быть заземлен медным проводом сечением не менее 16 мм^2 . Трансформаторы напряжения рассчитываются обыкновенно на напряжение во вторичной цепи в 100 V. Никогда они не должны быть коротко замкнуты. Корпус и вторичную обмотку не следует заземлять. Самый трансформатор напряжения должен быть защищен предохранителями. При точных измерениях принимать в расчет собственные потери как в приборах, так и в трансформаторах. Проверить нагрузку трансформаторов приборами, так как коэффициент трансформации в известной степени зависит от нагрузки. Величины внутренних потерь в измерительных приборах даны в таблице 4 (см. стр. 1351). Градуировка всех измерительных приборов, за исключением приборов индукционного типа, производится постоянным током. Для высокого

напряжения часто применяют статистические вольтметры; для увеличения предела напряжения в этом случае пользуются добавочными конденсаторами.

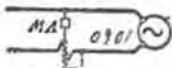
Таблица 3. Искровое напряжение в кV между двумя шарами.

| Расстояние между шарами в см | Диаметр шаров в см | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|------|------|------|------|-------|-----|------|
| | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 25 | 50 | 5 |
| 1 | 28,8 | 31,2 | 32,2 | 32,1 | 31,8 | 31,8 | . | 4,6 |
| 2 | 38,6 | 52,8 | 59,3 | 60,0 | 61,0 | 60,5 | 58 | 8,1 |
| 3 | 44,0 | 64,5 | 80,7 | 86,4 | 86,2 | 87,3 | . | 11,4 |
| 4 | 47,9 | 71,8 | 97,7 | 108 | 110 | 113,5 | 110 | 14,5 |
| 5 | 50,7 | 77,3 | 111 | 128 | 133 | 138 | . | 17,5 |
| 6 | . | 81,8 | 122 | 149 | 154 | 162 | 167 | 20,5 |
| 7 | . | 85,5 | 151 | 163 | 174 | 185 | . | 23,5 |
| 8 | . | . | 139 | 176 | 191 | 205 | 215 | 26,3 |
| 9 | . | . | 145 | 187 | 207 | 227 | . | 29,3 |
| 10 | . | . | 150 | 200 | 222 | 247 | 272 | 32,2 |
| 11 | . | . | . | 209 | 236 | 266 | . | . |
| 12 | . | . | . | 219 | 249 | 283 | 324 | . |
| 13 | . | . | . | 227 | 260 | 300 | . | . |
| 14 | . | . | . | 234 | 271 | 316 | 368 | . |
| 15 | . | . | . | 241 | 282 | 331 | . | . |
| 16 | . | . | . | 247 | 291 | . | 411 | . |
| 17 | . | . | . | 252 | 300 | . | . | . |
| 20 | . | . | . | . | . | . | 483 | . |
| 25 | . | . | . | . | . | . | 451 | 552 |
| 30 | . | . | . | . | . | . | 492 | 641 |
| 40 | . | . | . | . | . | . | 555 | 775 |
| 50 | . | . | . | . | . | . | . | 872 |

Расстояние между шарами в м/м

Напряжение постоянного тока в кV. Для эффективного значения напряжения переменного тока делить на $\sqrt{2}$ (синусоидального). Давление 760 мм рт. ст. температура 20°.

Измерения очень высоких напряжений производится при помощи искровых электрометров с шариковыми разрядниками, отмечающих амплитуду напряжения. Принимать во внимание форму кривой напряжения! Для ограничения тока после пробивания выключаются соответствующие силовые сопротивления. При точных измерениях расстояние между шариками должно быть меньше их диаметра. При малой продолжительности действия напряжения искровой промежуток освещают ультрафиолетовыми лучами (дуговая лампа, радий). Величины напряжений искры при пробивании между шариковыми разрядниками приведены в таблице 3.



Фиг. 1801.

б) Измерение мощности.

Мощность постоянного тока $N = EI$.

Мощность переменного тока:

$$N = EI \cos \varphi.$$

Измерение мощности переменного тока производится ваттметром, включаемым по схеме фиг. 1801. Одновременным измерением кроме того силы тока и напряжения можно определить коэффициент мощности $\cos \varphi = EI \cos \varphi : EI$, где φ — угол сдвига фаз между током и напряжением. При измерениях мощности трехфазного тока, в случае

равномерной нагрузки фаз и синусоидальной формы кривой напряжения, коэффициент мощности может быть определен непосредственно по углам отклонения стрелок ваттметров при включении их по способу двух ваттметров на основании диаграммы фиг. 1802 или по формуле

$$\lg \varphi = \sqrt{3} (a_1 - a_2) : (a_1 + a_2) = \sqrt{3} (1 - \frac{a_2}{a_1}) : (1 + \frac{a_2}{a_1}).$$

При включении ваттметра обращать внимание, чтобы между катушками тока и напряжения не было слишком большой разности напряжений. Поэтому один конец катушки напряжения и катушки силы тока присоединяются непосредственно к одному зажиму прибора (фиг. 1801). При переключениях на другие пределы измерений под током коротко замыкать катушку главного тока! При измерениях малых мощностей, в зависимости от порядка включения катушки напряжения, необходимо учесть либо расход тока в катушке напряжения, либо падение напряжения в катушке силы тока, равно как потерю энергии в остальных присоединенных приборах. Мощность трехфазного тока

$$N_d = EI \cos \varphi \sqrt{3}; \quad N_d = 3 E_{ph} I \cos \varphi,$$

где E_{ph} — фазовое напряжение, E — межфазовое (сопряженное) напряжение, I — передаваемая сила тока.

Измерение мощности трехфазного тока.

1. Измерение при равномерной нагрузке фаз и доступной нулевой точке:

Измерение одним ваттметром, при чем катушка напряжения присоединяется к фазовому напряжению.

Измеряется величина $N = E_{ph} I \cos \varphi$ — мощность одной фазы.

Общая мощность $N_d = 3N = 3 E_{ph} I \cos \varphi$.

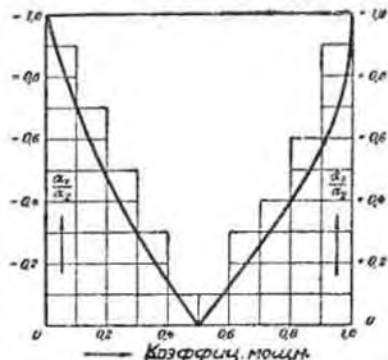
2. Измерение мощности при равномерной нагрузке фаз и недоступной нулевой точки или при включении треугольником:

Образование искусственной нулевой точки при помощи трех равных включенных звездой сопротивлений, к одному из которых присоединяется катушка напряжений ваттметра (фиг. 1803).

Измеряется $N = E_{ph} I \cos \varphi$.

Общая мощность $N_d = 3 E_{ph} I \cos \varphi$.

3. Измерение мощности при неравномерной нагрузке фаз и доступной нулевой точки:



Фиг. 1802. $\frac{a_1}{a_2}$ относительные углы отклонений стрелок ваттметра при включении по способу двух ваттметров.

Измерение при помощи трех ваттметров. Три катушки напряжения присоединяются к фазовым напряжениям.

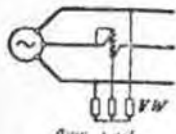
Измеряется $N_d = \sum N = \sum E_{ph} I \cos \varphi$.

4. Измерение мощности при неравномерной нагрузке фаз и недоступной нулевой точке:

Измерение при помощи трех ваттметров. Три катушки напряжения включены звездой. При измерениях мощности холостого хода у синхронных моторов и трансформаторов устройство искусственной нулевой точки неприменимо.

5. Измерение мощности в самом общем случае, независимо от того, будет ли нагрузка равномерная или неравномерная:

Измерение при помощи двух ваттметров. Самый распространенный метод. Две катушки тока включены в два главных провода, а катушки напряжения — между этими проводами и третьим главным проводом (фиг. 1804).

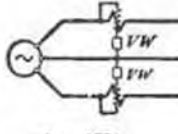


Фиг. 1803.

Измеряются N_1 и N_2 .

Общая мощность $N_d = N_1 + N_2$.

При помощи переключателя измерение можно выполнить и с одним ваттметром, отсчитывая отдельно сперва N_1 , а затем N_2 .



Фиг. 1804.

с) Измерение сопротивлений.

Измеряются E и I . Сопротивление $R = E : I$.

Применимо для измерения всяких сопротивлений. Ток для измерения и продолжительность измерения должны быть возможно малы, чтобы измеряющий ток не вызвал заметного повышения температуры. Привести в расчет внутренние потери энергии в приборах (таблица 4, стр. 1351).

Малые сопротивления измеряются по методу двойного мостика Томсона. Требуется гальванометр. Включения по специальным схемам.

д) Измерение температуры.

В неподвижных обмотках, возбуждаемых постоянным током, повышение температуры измеряется по возрастанию сопротивления (стр. 1353).

Обозначив сопротивление проводника при 0° через R_0 и при температуре t° через R_t , будем иметь $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$, где α — температурный коэффициент. Последний зависит от проводимости металла и начальной температуры. Если начальная температура 0° , то для меди $\alpha_0 = 1 : 235$; если же начальная температура t_1 , то для окончательной температуры t_2 $\alpha_t = 1 : (235 + t_1)$ и $R_t = R_{t_1} [1 + \alpha_t (t - t_1)]$, откуда и определяется окончательная температура.

Легче определяется для меди приращение температуры, которое по формуле:

$$t - t_1 = -\frac{R_t - R_{t_1}}{R_{t_1} \alpha_t} (235 + t_1).$$

Таблица 4. Потери в измерительных приборах при полной нагрузке.

| Измеряемая величина | Тип прибора | Внутренние потери для заданной величины | Увеличение предела измерений | Возможность внешних влияний | Примечание |
|---------------------|---------------------------------|---|--|--------------------------------------|---|
| Напряжение. | Вращающиеся катушки | 150 mV 160 mA 60 mV 30 mA 45 mV 45 mA | Переменный ток. Дополочное сопротивление. | Магнитные поля, сильные токи и т. п. | С и Г. Для пост. тока редко применим. Для точных измерений не применяется. |
| | Динамометрические. | см. переменный ток. | " | " | АБ. |
| Сила тока. | Вращающийся железный сердечник. | 120 V 180 mA 150 mA | " | Колебания температуры. | Н. и В. |
| | Тепловые. | 0 | Невозможно. | Электрическое поле. | То же. |
| | Электростатические. | см. выше. | Шунт. | То же. | |
| | Вращающиеся катушки | 100 A 10 mV | см. переменный ток. | " | Температурные колебания. |
| Напряжение. | Динамометрические. | 120 V 60 mA 15 V 500 mA до до 600 V 30 mA | Постоянный ток. Дополочное сопротивление и трансформатор напряж. | Магнит. поля и сильн. токи. | С и Г. |
| | Вращающ. железный сердечник. | Индук. тип. Тепловые. | " | То же. | |
| Сила тока. | Электростатические. | 0 | Дополочный конденсат. | Электрическое поле. | Н. и В. *) |
| | Динамометрические. | 2,5 A 3 V до до 200 A 0,2 V 5 A 1,3 V | Трансформатор тока. | Магнит. поля и сильн. токи. | Н. и В. |
| Мощность. | Индукционные типы. | 5 V 3 V | Трансформатор тока. | Температурные колебания. | |
| | Тепловые. | см. пост. ток. | Трансформатор орытоса и шунты. | Магн. поля и сильн. токи. | С & П |
| Частота. | Динамометрические. | 100 V 30 mA 70 V 50 mA 5 A 200 mV до до 50 A 100 mV 100 A 250 mV | Обмотки напряжений как у вольтметр. Обмотка тока как у амперметр. | " | С & П |
| | Вибрационные. | 100 A 250 mV | Обмотка тока как у амперметр. | " | С & П |

*) В многокамерных вольтметрах собственная емкость принимается: в пред. номер. до 400 в. собствен. ем. прибор. от 75 до 100 см } в нулевом положении
" } в желтый соотв.
" } в конец положе

VI. Испытание электрических машин.

А. Нормы для испытания электрических машин.

Испытания электрических машин и трансформаторов производятся по нормам и правилам Электротехнических стандартов¹⁾. Во время работы машины не должны выходить из пределов установленных допусков в отношении: повышения температуры, диэлектрической прочности, механической прочности и прочности при коротком замыкании, коэффициента полезного действия при нормальной нагрузке, перегрузки и изменения напряжения.

а) Повышение температуры.

Нормы предусматривают следующие виды работ:

§ 3 а) Продолжительная работа, при которой рабочий период настолько велик, что температура достигает своей конечной величины.

б) Временная работа, при которой рабочий период настолько короток, что температура машины не может достигнуть своей конечной величины, период же покоя длится настолько долго, что температура может снова повыситься приблизительно до температуры окружающей среды.

с) Повторно-кратковременная работа, при которой длящиеся несколько минут периоды работы чередуются с периодами остановки.

Измерение повышения температуры в машинах и трансформаторах должно быть производимо при нормальной их мощности согласно с упомянутыми выше различиями и характере работ, а именно:

1) при повторно кратковременной работе — по истечении одного часа непрерывной работы;

2) при временной работе — после непрерывного действия машины в течение обозначенного на щитке условного рабочего времени;

3) при продолжительной работе: а) в машинах — по истечении 10 часов; б) в трансформаторах — по истечении промежутка времени, достаточного для достижения постоянной температуры.

Измерение температуры производится:

а) в трансформаторах (§ 17) — по увеличению сопротивления меди; б) в возбужденных катушках, питаемых постоянным током (§ 16), и во всех неподвижных обмотках генераторов и двигателей — по величине возрастания сопротивления (температурный коэффициент может быть принят равным 0,004);

с) в прочих частях генераторов и двигателей испытание на повышение температуры производится при посредстве термометра.

б) Перегрузка (§ 22, 23).

Машины и трансформаторы должны выдерживать перегрузку в следующих пределах:

а) для генераторов, двигателей и преобразователей:

¹⁾ До вступления в силу в СССР действительные нормы, утвержденные VIII Электротехническим съездом, а также Правила и нормы, одобренные ЦЭС'ом после VIII Съезда. Имеются предписания в подлиннике выделенной из норм СГО в части, касающейся испытаний электрических машин (Regeln für Prüfung elektrische Maschinen, или сокращенно REM), трансформаторов (Regeln für Prüfung von Transformatoren, или сокращенно RET), правила соответствуют извлечению из норм ВЭС, одобренных ЦЭС'ом.

Таблица 1а. Допустимые повышения температур (§§ 18 и 19).

| № | Изоляция | Часть машины | Повышение температуры | |
|---|---|---|-------------------------|--|
| 1 | Изоляция из хлопчатой бумаги | Изолированные обмотки и контактные кольца, железно генераторов и двигателей, в котором уложена обмотка. | 50° С | Для обмоточных машин и повышения температуры воздуха не превышает 35° С. |
| 2 | Изоляция из хлопчатой бумаги в масле и бумажная изоляция. | | 60° С | |
| 3 | Изоляция из эмали, слюды, асбеста и препаратов из них. | | 80° С | |
| 4 | Изоляция из хлопчатой бумаги. | Неподвижные обмотки. | 60° С | |
| 5 | Изоляция из хлопчатой бумаги в масле и бумажная изоляция. | " " | 70° С | |
| 6 | Изоляция из эмали, слюды, асбеста и препаратов из них. | " " | 90° С | |
| 7 | Изоляция из хлопчатой бумаги. | Коллекторы Масло в подшипниках. Изолированные обмотки, контактные кольца, железно, в котором уложена обмотка. | 60° С 50° С 70° С | Для электродвигателей для городских электрических железных дорог после часовой непрерывной работы. |
| 8 | Изоляция из бумаги. | | 80° С | |
| 9 | Изоляция из эмали, слюды, асбеста и препаратов из них. | | 100° С | |
| | | Коллекторы. | 80° С | |

Таблица 1б. Предельные температуры для машин.

| № | Изоляция | Часть машины | Предельная температура | Предельный нагрев | Способ измерения |
|---|----------------------|---|--|-------------------|--------------------------------------|
| 1 | Изоляция гр. I до VI | Однослойная голая обмотка полюсов с бумажной прокладкой | 100° | 65° | ж о д о м о с т |
| 2 | | Постоянно короткозамкнутая обмотка | На 5° больше чем ряд 1 до 7 | | |
| 3 | Не изолировано | Постоянно короткозамкнутые обмотки | Ограничено лишь влиянием на соседние изолированные части | | |
| 4 | — | Железный сердечник без уложенных обмоток | | | |
| 5 | — | Железный сердечник с уложенными обмотками | Так же, как и ряд 1 до 7 | | |
| 6 | — | Коммутатор и скользящие кольца | 95° | 60° | |
| 7 | — | Подшипники | 80° | 45° | |
| 8 | — | Все прочие части | Ограничено лишь влиянием на соседние изолированные части | | |

Таблица 2. Предельные температуры для трансформаторов.

| № | Части трансформаторов | | Предельная температура | Предельный нагрев | Способ измерения |
|----|---|--|---|-------------------|--|
| | | | | | |
| 1 | Непропитанные | | 85° | 50° | Определяется по основан. увеличен. сопротивлению |
| 2 | Непропитанные, по посредству волнистых материалов, как-то: бумага, лебедная хлопчатая бумага, натуральный шелк, древесина | | 85° | 50° | |
| 3 | Пропитанные | | 95° | 60° | |
| 4 | Непропитанные или залитые массой | | 85° | 60° | |
| 5 | В масле | | 105° | 70° | |
| 6 | Препараты из слюды или асбеста | | 115° | 80° | |
| 7 | Слюда, фарфор или друг. огнестойкие материалы | | На 5% больше рядов 1-6 | | |
| 8 | Однослойные обмотки из голого провода | | На 5% больше ряд. 1-6 | | Термометр |
| 9 | Постоянно короткозамкнутые обмотки | | Как и другие обмотки при измерении при помощи определенной пары сопротивлений | | |
| 10 | Железный сердечник | | 85° | 60° | |
| 11 | | | для сухих трансформаторов | | |
| 12 | Верхний слой масла | | 85° | 60° | |
| 13 | Все прочие части | | Огранич. только соседними изоляционными частями | | |

Таблица 3. Предельные температуры для железнодорожных электродвигателей.

| № | Части машины и изоляции | Предельный нагрев при испытании | | | | Предельная температура во время работы (§ 36) | |
|---|--|---|----------------------------------|--|-----------------------------|---|-----------------------------|
| | | Испытания при продолжительной работе (KB § 25) | | Испытания при продолжительной работе (DB § 24) | | время работы (§ 36) | |
| | | По термометру | По увеличению сов. сопротивления | По термометру | По увеличению сопротивления | По термометру | По увеличению сопротивления |
| 1 | Обмотки группы II и III | 70° | 90° | 70° | 80° | 85° | 105° |
| 2 | Обмотки группы V | 90° | 110° | 90° | 100° | 115° | 125° |
| 3 | Все части группы VI | Огранич. только влиянием на соседн. изоляц. части | | | | | |
| 4 | Железные сердечники | Как увеличенные обмотки | | | | | |
| 5 | Коммутатор и скользящие кольца | 80° | — | 80° | — | 105° | — |
| 6 | Подшипники | 55° | — | 55° | — | — | — |

Для обмоток шунтового возбуждения машин постоянного тока предельные нагревы и температуры ряда I уменьшаются на 20°.

Для закрытых моторов трамвайного типа, предназначенных для узкоколейки, предельный нагрев по виду 6 может быть увеличен на 20°.

Таблица 4. Предельные температуры для железнодорожных трансформаторов.

| № | Части трансформатора и изоляции | Предельный нагрев при испытании по показаниям приборов (§ 24 и 25) | Предельная температура во время движения (§ 26) | Способ измерения |
|---|---|--|---|--------------------------------------|
| | | | | |
| 1 | Обмотки группы II или гр. III | 80° | 105° | Исчислено из увеличен. сопротивлении |
| 2 | Обмотки в масле | 80° | 105° | |
| 3 | Обмотки группы V | 100° | 125° | |
| 4 | Все части группы VI | На 5° больше рядов 1, 2 и 3 | | |
| 5 | Однослойные голые обмотки | На 5° больше рядов 1, 2 и 3 | | Термометр |
| 6 | Железный сердечник | 80° | 105° | |
| 7 | Верхний слой масла | 70° | 95° | |
| 8 | Все остальные части | Только ограничено соседними изоляционными частями | | |

Значения предельного нагрева действительны для продолжительной и кратковременной работы.

Таблица 5. Пробные напряжения для машин и трансформаторов.

| Обмотки | Предел | Пробное напряжение в вольтах (наибольшее значение) | | |
|--|--|---|-------------|------------|
| | | 3 E | 2 E + 1000 | |
| Обмотки машины (обмотки возбуждения однофазных преобразователей и синхронных моторов см. ниже) | Менее 500 W Более 500 " до 5000 V " 500 " и выше 5000 V Машины напряжением свыше 5000 V с замкнутыми во все время испытания одним питающим полюсом. | 3 E | 2 E + 500 | |
| | | 3 E | 2 E + 1000 | |
| Обмотки возбуждения однофазных преобразователей и синхронных моторов | С постоянно замкнутой цепью возбуждения С подразделенной для пуска обмоткой возбуждения С выключ. цепью возбуждения | { без трехфазного пускового тока { трехфазный пусковым током | 3 E | 2 E + 1000 |
| | | | 10 E + 1000 | 2000 |
| | | | 10 E + 1000 | 2000 |
| Обмотки трансформаторов | До 1000 вольт 1000 " " Выше 1000 " " | 3,25 E | 1000 | |
| | | 3,25 E | 2500 | |
| Проходн. изоляторы | До 3000 " " Выше 3000 " " | 8 E + 2000 | — | |
| | | 2 E + 20000 | — | |

Что касается, то действительно только для железнодорожных электромоторов и трансформаторов.

25% в течение $1/2$ часа, при чем при генераторах переменного тока коэффициент мощности должен быть принимаем не ниже означенного на машине;

б) для двигателей, преобразователей и трансформаторов:

40% в течение 3 минут, при чем в двигателях должно поддерживаться нормальное напряжение у зажимов.

По отношению к механической прочности следует, чтобы машины, которые по условиям эксплуатации работают при почти постоянном числе оборотов, при холостом ходе без возбуждения и при полном возбуждении выдерживали повышение числа оборотов на 15% в течение 5 минут.

Генераторы должны допускать сохранение постоянного напряжения без изменения числа оборотов вплоть до перегрузки на 15%, при чем для генераторов переменного тока коэффициент мощности должен быть принимаем не ниже означенного на машине.

в) Коммутация (§ 9).

Машины с коллектором должны при всякой нагрузке, не превышающей допустимого предела, и при надлежащем положении приработавшихся щеток, работать без искробразования, по крайней мере в такой степени, чтобы чистить коллектор стеклянной бумагой или т. п. требовалось не ранее, чем по истечении 24-часовой работы; при этом положение щеток должно оставаться неизменным при колебаниях нагрузок от $1/4$ до полной нагрузки.

д) Изоляция (§§ 26, 30, 32, 33).

Машины и трансформаторы должны быть в состоянии выдерживать испытание на пробивание в течение 1 минуты при пробном напряжении, превышающем нормальное на указанную ниже величину:

а) Машины и трансформаторы для напряжения ниже 40 V должны испытываться напряжением не менее 100 V.

б) Машины и трансформаторы для напряжения от 40 до 5000 V — напряжением, в $2 1/2$ раза превышающим рабочее, но не меньшим 1000 V.

в) Машины и трансформаторы с напряжением от 5000 до 7500 V испытываются напряжением, превышающим рабочее на 7500 V.

д) При рабочем напряжении большем 7500 V величина его при испытании превышает рабочее в 2 раза.

Вышеприведенные величины напряжения при испытании относятся лишь к испытаниям переменным током, при чем имеются в виду эффективные напряжения. При испытании постоянным током величина напряжения должна равняться 1,4 вышеозначенной.

При испытании магнитных катушек, питаемых от постороннего источника, величина напряжения при испытании должна превышать в 3 раза напряжение возбуждающего тока и быть, во всяком случае, не менее 1000 V.

Обмотка ротора асинхронных моторов испытывается напряжением в $2 1/2$ раза большим наводимого в роторе во время пуска и ход, но не меньшим 100 V.

Короткозамкнутые роторы не испытываются.

Машины и трансформаторы должны выдерживать повышенное на 30% рабочее напряжение в течение 5 минут. Испытание машин на

повышение напряжения может сопровождаться повышенным числом оборотов до 15%, при этом, однако, не должно допускать перегрузки. Это испытание имеет целью проверить лишь прочность изоляции и должно производиться при такой начальной температуре, чтобы повышение температуры не превышало допустимого предела.

е) Коэффициент полезного действия.

Коэффициент полезного действия, или отдачи, представляет собой отношение количества энергии, отдаваемой машиной, к количеству энергии, ей сообщаемой. Коэффициент полезного действия может быть найден путем непосредственного измерения обеих этих величин, или же косвенно, путем измерения величины потери энергии.

$$\text{Коэффициент полезного действия } \eta = \frac{\text{отдаваемая энергия}}{\text{полученная энергия}} = \frac{\text{отдаваемая энергия}}{\text{отдаваемая энергия} + \text{сумма потерь}} = \frac{\text{отдаваемая энергия}}{\text{полученная энергия} - \text{потери}}$$

При указании коэффициента полезного действия должен быть назван также метод, по которому он был найден.

г) Методы определения коэффициента полезного действия (§ 37).

Непосредственный электрический метод. Применяется для динамомашин, двигателей, преобразователей и трансформаторов и состоит в определении посредством электрических измерений как отдаваемой, так и получаемой мощности.

Косвенный электрический метод. Две машины равной мощности, одинакового типа и для одного и того же рода тока соединяются между собой механически и электрически таким образом, чтобы одна служила генератором, а другая двигателем. Система эта приводится в действие от постороннего источника тока таким образом, что сообщается и измеряется количество энергии, необходимое для покрытия потерь. Работа обеих машин регулируется таким образом, чтобы средняя величина между мощностью, сообщаемой двигателю, и мощностью, отдаваемой генератором, приближалась, по возможности, к нормальной мощности каждой отдельной машины. Средняя величина эта находится путем измерения. Мощность, необходимая для покрытия потерь, может быть также сообщена механическим путем и измерена электрическим путем. Если при производстве измерения необходимо прибегнуть к ременной передаче, то следует соответствующим образом принять во внимание возникающие при этом потери. Описанный метод применяется также для трансформаторов, если они являются тождественными по мощности, напряжению и частоте.

Непосредственный метод торможения пригоден для небольших двигателей, а также генераторов, могущих действовать в качестве двигателей. Необходимо при этом позаботиться, чтобы магнитные и механические условия, число оборотов и мощность мало отличались во время испытания от соответствующих величин при пользовании машиной в качестве генератора.

Косвенный метод торможения. Если имеется генератор или двигатель соответствующей мощности, коэффициент полезного действия которого при различных нагрузках в точности известен (калиброванная ма-

шина), то такой генератор или двигатель может быть применен в качестве тормоза или приводящего в действие двигателя.

Метод холодного хода. Этот метод состоит впускании машины холодным ходом в качестве двигателя, при чем измеряется энергия, расходуемая на приведение в действие машины при нормальном числе оборотов и нормальном напряжении поля. Величина потери, обусловливаемой сопротивлением воздуха, трением подшипников и щеток, гистерезисом и токами Фуко, предполагается неизменяющейся и при нагрузке машины. Путем электрических измерений находится потеря вследствие тепла, развиваемого током при преодолении сопротивлений обмоток магнитных катушек, якоря, сопротивления как самих щеток, так и контактов у коллектора. В асинхронных двигателях потеря во вторичном якоре может быть найдена путем измерения относительного скольжения.

Сумма всех приведенных выше потерь называется термином **измеримые потери**. Коэффициент полезного действия равен отношению величины мощности в сумме мощности и измеримых потерь.

Метод вспомогательного двигателя. Способ этот состоит в том, что определяют мощность, сообщаемую двигателю, приводящему в движение испытываемую машину при нормальном ее возбуждении и вычитают потерю, происходящую в двигателе, а также потерю вследствие ремешной передачи, если таковая имеется. Потери, происходящие во вспомогательном двигателе, определяются при холостом ходе последнего и при том же числе оборотов и напряжении, как и при первом опыте, при чем принимаются также в расчет добавочные потери, происходящие при нагрузке машины вследствие сопротивлений обмоток магнитных катушек, якоря, сопротивления щеток и контактов их у коллектора, находящиеся путем электрических измерений, как указано выше.

Метод разделения потерь. Для нахождения потерь от одного лишь трения воздуха, подшипников и щеток отдельно от потерь вследствие гистерезиса и токов Фуко производится исследование машины несколько раз при различной величине напряжения и нормальном числе оборотов при установившемся ходе машины, при чем величину напряжения следует брать, по возможности, низкой. На основании ряда полученных подобным путем чисел, соответствующих величинам потерь при различных напряжениях, составляется график, при чем кривая продолжается настолько, чтобы могла быть отсчитана потеря, соответствующая напряжению, равному нулю. Величина эта указывает потерю на трение и подлежит вычитанию из потерь, определенной электрическим путем при испытании машин холостым ходом при работе ее в качестве двигателя. Найденная разность рассматривается как потеря вследствие гистерезиса и токов Фуко. Потери вследствие тепла, развиваемого током при преодолении им сопротивления магнитных катушек, якоря, щеток и их контактов у коллектора при нагрузке определяются, как указано выше.

г) Изменение напряжения (§ 45).

Под изменением напряжения генератора переменного тока понимается то изменение напряжения, которое наступит, если при нормальном напряжении у щетков, не изменяя числа оборотов и силы тока

возбуждения, выключить ток в якоре, указанный на щитке машины, как наибольший.

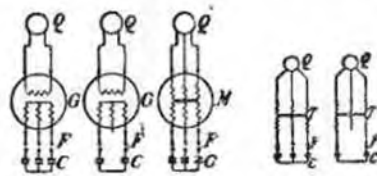
Для машины, предназначенных только для неиндуктивной нагрузки, достаточно указать изменение напряжения в них лишь для этого случая. Для машин, предназначенных для индуктивной нагрузки, необходимо еще указать изменение напряжения при индуктивной нагрузке, коэффициент мощности которой $\cos \varphi = 0,8$.

При испытаниях на изменение напряжения машин постоянного тока придерживаются следующего правила: машины с параллельным, смешанным или независимым возбуждением испытываются по крайней мере 4 раза при постепенном равномерном уменьшении нагрузки, начиная с полной при нормальном напряжении и доходя до холостого хода, с сохранением нормального числа оборотов и без подрегулирования возбуждения реостатом. Разность между наблюдаемым большим и наименьшим напряжением и принимается, как величина изменения напряжения.

h) Испытание на выдержку крутого фронта воли (см. стр. 1362).

Испытание изоляции витков в машинах и трансформаторах свыше 2500 V рабочего напряжения и, в особенности, первых витков на сопротивление крутому фронту воли, выполняющихся во время нормальной работы (см. стр. 1199). Испытываемая машина *M* или трансформатор *T* возбуждается при нормальной частоте на 1,3 рабочего напряжения и, через шаровые разрядники с мас-

сивными медными шарами диаметром 50 мм, отстоящими друг от друга на расстоянии, допускаемом при 1,1 *E*



Фиг. 1805.

Фиг. 1806.

Фиг. 1807.

(см. 1348), включаются двумя или всеми фазами в кабель или в конденсаторы, соединенные звездой (фиг. 1805 и 1806). Для железнодорожных трансформаторов с одним замкнутым полюсом расстояние между шарами устанавливается на пробой при 2,2 *E*. Испытание производится переменным током 50 периодов в сек. по схеме фиг. 1807. Продолжительность испытания 10 секунд. Емкость при испытании:

| Рабочее напряжение: | Емкость в каждой фазе: |
|---------------------|------------------------|
| 2,5 до 6 kV | миним. — 0,05 μF |
| „ 15 „ | „ — 0,02 „ |
| выше 6 до 20 „ | „ — 0,02 „ |
| до 35 kV | „ — 0,01 μF |
| „ 60 „ | „ — 0,05 „ |

Подчеркнутое действительно для железнодорожных трансформаторов.

Испытание витков. Изоляция витков испытывается у машин при холостом ходе посредством увеличения подводимого или вырабатываемого напряжения до 1,3 рабочего напряжения, а для многофазных машин, каждая фаза которых не может быть испытана особо—до 1,5 рабочего напряжения. Испытание производится в течение 3 минут. Частота и число оборотов могут быть соответственно увеличены. Для трансформаторов испытание производится в течение 5 минут при холостом ходе напряжением, равным двойному рабочему напряжению при соответственно увеличенной частоте. Для мощностей свыше 1000 kVA применяется, по возможности, такое же испытательное напряжение и во всяком случае не менее 1,3 рабочего напряжения в течение 5 минут. Для железнодорожных трансформаторов испытание производится при двойном рабочем напряжении с соответственно увеличенной частотой в течение 5 минут.

В. Измерения при испытании электрических машин.

При испытании электрических машин производится:

1. Механические измерения, каковы: определение числа оборотов при помощи тахометров, механические измерения мощности при помощи тормазных динамометров и при помощи индикаторов (редко).

2. Измерения температур при помощи термометров, термоэлементов, при помощи электрических термометров, основанных на изменении сопротивлений.

3. Электрические измерения.

К приведенным выше извлечениям из норм для испытания электрических машин нужно добавить следующие замечания:

К пункту а) Повышение температуры. (Стр. 1350). При монтаже приборов обращать внимание на установку соответствующих по величине предохранителей и рубильников. Номинальную мощность необходимо установить, измерять и непрерывно за ней наблюдать путем отсчета числа оборотов, напряжения, силы тока, а при переменном токе, кроме того, числа периодов и коэффициента мощности ($\cos \varphi$).

При испытании моторов мощность измеряется либо механическим, либо электрическим торможением. В тех случаях, когда только это представляется возможным, энергию следует возвращать в сеть. Обязательным условием является совпадение напряжений и числа периодов. При испытании генераторов мощность поглощается электрически, т. е. в сопротивлениях, которые должны иметь размеры, соответствующие количеству выделяемой теплоты. При малых мощностях ограничиваются ламповыми реостатами, при больших же мощностях — преимущественно водяными реостатами. Так как проводимость воды возрастает с повышением температуры (фиг. 1808¹⁾, то необходимо предусмотреть возможность перестановки электродов для притока и отвода воды. При постоянном токе обращать внимание на возможность образования гремучего газа! При малых напряжениях проводимость воды искусственно повышают добавлением соды и др. солей. При напряжениях около 500 V

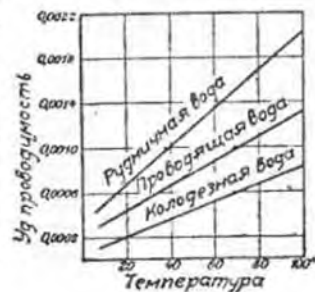
¹⁾ На фиг. 1808 вместо „проводящая вода“ следует читать „водопроводная вода“.

можно в большинстве случаев ограничиваться чистой водой без добавления солей. При напряжениях же около 2000 V применяется исключительно чистая вода. Проводимость воды может колебаться в широких пределах (фиг. 1808), поэтому даже в испытанных установках необходимо от времени до времени производить проверку в отношении проводимости располагаемой воды.

Для отвода выделившейся теплоты пользуются в следующими средствами:

1. Испарение воды. Расход на 1000 kW около 0,4 л/сек при плотности тока от 0,06 до 0,11 A/cm². Расстояние между электродами регулируется в зависимости от проводимости испаряющей воды; выравнивать разницу между горячей и холодной водой.

2. Проточная вода. Количество воды, необходимой для отвода 1000 kW, согласно таблице 6 (по Рихтеру):



Фиг. 1808.

Таблица 6.

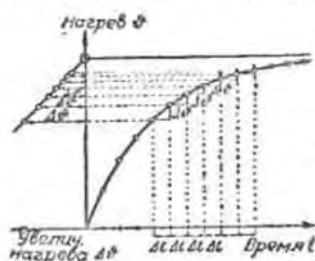
| Повышение температуры воды | л/сек | Повышение температуры воды | л/сек |
|----------------------------|-------|----------------------------|-------|
| 10° C | 24,0 | 50° C | 4,8 |
| 20° C | 12,0 | 80° C | 3,0 |
| 30° C | 8,0 | 95° C | 2,5 |

Допустимая плотность тока от 0,5 до 0,1 A/cm² для температуры от 20 до 90°. Рабочая температура не должна превышать 70°; при последней температуре плотность тока не должна превышать 0,11 A/cm². Проводимость воды согласно фиг. 1808. Расстояние между электродами при высоком напряжении от 6 до 10 см на каждые 1000 V при указанной выше проводимости.

В турбинных установках можно пользоваться железными пластинами (от 0,5 до 1,0 мм толщиной) скрепленными между собой деревянными колодками, погруженными в охлаждающую бассейн для конденсаторов. Плотность тока около 0,1—0,2 A/cm², так что, например для отвода 500 kW при 3000 V трехфазного тока достаточно 3 пластины размером 30×30 см, укрепленные колодками на расстоянии от 10 до 15 см друг от друга.

При крупных машинах лишь в редких случаях удается отдавать энергию обратно в сеть. По достижении установившейся температуры, в случае крупных машин, не позже, чем через 10 часов, измеряется достигнутая температура. За температуру охлаждающей среды принимают среднюю величину, полученную путем отсчета показаний термометра через равные промежутки времени в течение последней четверти продолжительности опыта, при чем температура отсчитывается на середине

высоты машины на расстоянии 1 м от нее. При измерении температур термометром рекомендуется определять не только конечную температуру, но также ход изменения температуры (кривые повышения температуры), по которому можно точнее определить момент достижения установившейся температуры, как показано на фиг. 1809. Температуру принимают установившейся, если в течение часа она не меняется более, чем на 2° . Чем лучше охлаждается машина, тем быстрее достигается ее установившаяся температура. Для машины средней мощности это достигается в течение от 3 до 6 часов. Если для измерения температуры требуется произвести остановку машины, то это следует производить на возможно короткий момент и измерение производить возможно быстрее, так как охлаждение происходит особенно интенсивно в течение первых минут. В случае возможности следует



Фиг. 1809.

вычертить кривую охлаждения и путем экстраполяции определить температуру в момент выключения. При измерении термометром отмечают в течение опыта момент высшей температуры.

Для улучшения отдачи тепла термометру ртутный шарик покрывают оловянной фольгой. Следует помнить, что в ртутных термометрах показания могут быть искажены, благодаря действию токов Фуко, возбуждаемых в ртуть. В последнее время все большее применение для измерения температур при испытании машин и трансформаторов получают термоэлементы и термометры, основанные на изменении сопротивления проводников при нагревании.

В пункте в) Перегрузки. Требуется лишь простое измерение силы тока. Измерение крутящего момента производится или непосредственно или, в случае асинхронных моторов, путем снятия круговой диаграммы.

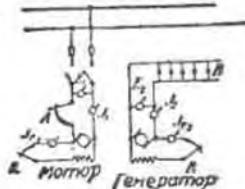
В пункте г) Коммутация. Не требуется специальных измерений.

В пункте д) Изоляция. 1. Измерение сопротивления изоляции обмотки. Требуется лишь простое измерение напряжения. Регулировка напряжения должна быть возможно более плавная. Повышение напряжения быстрое. При пробоях поддерживать ток в допустимых пределах при помощи соответствующих добавочных сопротивлений. Предварительное заземление.

2. Испытание на выдержку крутого фронта волны. Включение генераторов и моторов согласно фиг. 1805; испытание трансформаторов по схеме фиг. 1806 для моторов трамвайного типа по фиг. 1807. Q — питающий генератор; G, M, T — испытываемый генератор, мотор и трансформатор; R — искровой промежуток; C — емкость; Z — заземление. Расстояние между шариками согласно таблице 3 (стр. 1348). Скорость задвигания искрового промежутка — 3 м/сек. Промежуточные соединения возможны короткие. Звонитание искрового промежутка либо путем временного сближения шариков, либо шунтированием воздушного зазора.

В пункте е) Коэффициент полезного действия. 1. Непосредственный электрический метод. Измеряется как сообщаемая, так и отдаваемая мощность, например, у мотор-генераторов постоянного тока. Измерение мощности производится путем измерения соответствующих напряжений и сил тока (фиг. 1810).

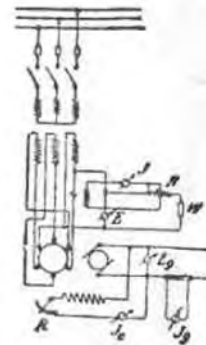
E_1 — напряжение } сообщаемой мощности
 I_1 — сила тока }
 E_2 — напряжение } отдаваемой мощности
 I_2 — сила тока }
 R — регулятор поля, A — пусковой реостат.



Фиг. 1810.

Коэффициент полезного действия $\eta = (E_2 I_2) : (E_1 I_1)$.

Однокорный умформер (фиг. 1811). Измерение мощности на стороне постоянного тока по напряжению и силе тока, на стороне трехфазного тока при помощи ваттметра. Связь между катушкой главного тока и катушкой напряжения в виду равномерности нагрузки фаз!



Фиг. 1811.

Измерение силы тока при помощи трансформатора тока — в случае переменного тока и при помощи шунта — в случае постоянного тока. Коэффициент полезного действия $\eta = E_g \cdot I_g : 3 N$.

2. Непосредственный метод торможения. Механический метод торможения см. т. I; торможение по принципу токов Фуко см. ETZ, 1900, стр. 365, 467; ETZ, 1901, стр. 149; малютковская динамо Langer и Finzi, см. Z. d. V. d. I. 1914, стр. 41; водяной тормаз конструкции Фруде (Froude см. Arnold, машина пост. тока).

3. Косвенный метод торможения. Схема соединенной по фиг. 1810. Потери или коэффициент полезного действия мотора (генератора) должны быть известны. Вычерчивается

диаграмма коэффициента полезного действия для данного напряжения и данного числа оборотов. Соединения машин непосредственное.

Коэффициент полезного действия $\eta = E_g \cdot I_g : (E_m \cdot I_m \cdot \eta_m)$.

В случае машины с независимым возбуждением (напр. синхронные машины) следует принять в расчет потери на возбуждение V_g . Коэффициент полезного действия $\eta = E_g \cdot I_g : (E_m \cdot I_m \cdot \eta_m + V_g)$.

4. Косвенный электрический метод. а) Машин постоянного тока. Условия применения: машины одной мощности, одинакового типа и одного и того же рода тока, соединение непосредственное или ременной передачей. Пуск в ход при помощи пускового реостата (фиг. 1812). При выключенном рубильнике обе машины возбуждаются до одинакового напряжения. Выключаются рубильники. Нагрузка — увеличением возбуждения генератора. Пред-

положение: коэффициенты полезного действия обеих машин одинаковы $\eta_g = \eta_m$.

$$\eta_g = \text{отданная мощность} : \text{сообщенная мощность} = EI : (I + I_e) E \eta_m$$

откуда $\eta_g \cdot \eta_m = I : (I + I_e)$; $\eta_g = \eta_m = \sqrt{I : (I + I_e)}$.

Если при производстве измерений необходимо прибегнуть к ременной передаче, то следует принять в расчет ее коэффициент полезного действия

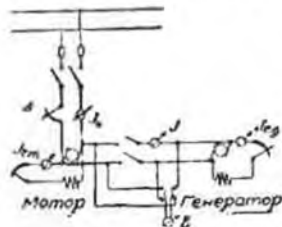
$$\eta_m = \eta_g = \sqrt{I : (I + I_e)} \eta_R$$

Измерение практически легко выполнимо, но теоретически не вполне точно, так как ток в якоре больше у мотора, а возбуждение сильнее у генератора.

б) Асинхронные машины. Требуется ременный привод с постоянным передаточным отношением, так как генератор может начать отдавать работу при скорости, превышающей синхронную. Трудность регулировки, а потому редко применяется.

5. Метод холостого хода

а) Моторы постоянного тока. Определяется расход энергии при холостом ходе N_0 после установившейся скорости вращения при нормальном числе оборотов и при нормальной напряженности поля. Щетки устанавливаются по нейтральной линии. Напряжение у зажимов вследствие некоторого падения его при нагрузке, должно быть уменьшено на соответствующую величину. Измеряется сила тока и напряжение.



Фиг. 1812.

$$N_0 = \Sigma V_e + \Sigma V_r \left\{ \begin{array}{l} V_e - \text{потери в железе} \\ V_r - \text{ " на трение,} \\ N_0 - \text{мощность холостого хода.} \end{array} \right.$$

Потери в меди подсчитывают по измеренному и пересчитанному на 75° сопротивлению якоря, принимая во внимание ток возбуждения.

$$V_{ca} = I_a \cdot r_a; V_{ce} = I_e E;$$

Коэффициент полезного действия
отданная мощность

$$\eta = \frac{\text{отданная мощность}}{\text{отданная мощность} + V_e + V_r + V_{ca} + V_{ce} + V_a}$$

где V_a — потери контактов щеток у коллектора. Измеряются независимо от силы тока по среднему переходному напряжению в зависимости от сорта угля в 1,0 V для двух щеток: $V_a = I_a \cdot 1,0$.

б) Генератор постоянного тока. Измерение производится, как в вышеописанном случае а), но в виду некоторого падения напряжения при нагрузке напряжение у зажимов якоря при испытании должно быть на соответствующую величину увеличено.

в) Синхронные машины. Измерение потери при холостом ходе выполняется таким же путем при установившемся ходе машины

в качестве синхронного мотора. Мощность измеряется однако ваттметром, при чем сила тока устанавливается на минимальную величину для возможного уменьшения сдвига фаз между напряжением и током.

Потери в меди определяются как указано выше. Принять во внимание потерю на возбуждение, а также потери у контакта щеток.

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{\text{отданная энергия}}{\text{отданная энергия} + V_e + V_r + V_{ca} + V_{ce} + V_a}$$

д) Асинхронные моторы. Измерение производится таким же путем, но при нормальном числе периодов, учитывая при этом омическое падение напряжения в статоре. Потери в меди статора находят путем подсчета на основании измеренного и пересчитанного на 75° сопротивления трех фаз. В случае моторов с контактными кольцами таким же путем подсчитываются потери в меди ротора. В случае короткозамкнутых моторов потери в роторе определяются путем измерения относительно скольжения. Потери в роторе равняются переданной ему мощности, помноженной на скольжение, выраженное в %. Переданная ротору мощность = сообщенной статору мощности минус потери в железе и меди статора (см. стр. 1276).

Для определения скольжения при полной нагрузке необходимо соответствующее испытание под нагрузкой

$$V_{c2} = N_s \cdot (s : 100); N_s = N - (V_{e1} + V_{e2});$$

$$\eta = \frac{N - (V_{e1} + V_e + V_{e2} + V_r)}{N}$$

где V_{e1} — потери в железе статора, V_{e2} — потери в железе ротора, V_e — потери в железе статора, V_r — потери на трение, N — сообщенная мотору мощность, N_s — переданная через воздушный зазор мощность, s — скольжение в %.

Для разделения потерь в железе от потерь на трение можно пользоваться описанным ниже (пункт 8) методом разделения потерь, методом вспомогательного мотора (пункт 6) или методом торможения по инерции (пункт 9).

6. Метод вспомогательного мотора. Включение по схеме фиг. 1810. В случае коллекторных машин возможно измерение потерь на трение щеток. После достижения установившегося хода производятся следующие измерения:

а) Вспомогательный мотор работает один, отсоединенный от испытуемой машины; измеряется сообщенная мощность N_1 .

б) Вспомогательный мотор соединяется с испытуемой машиной, последняя работает без возбуждения; измеряется мощность N_2 .

в) Сделанная испытуемая машина возбуждается, при чем величина возбуждения E непрерывно увеличивается; измеряется N_3 .

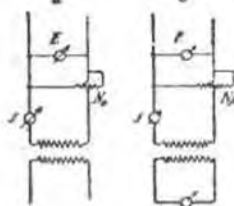
Изменением величины потери в меди якоря мотора вследствие возрастания нагрузки можно пренебречь.

$$\text{Потери на трение } V_r = N_2 - N_1,$$

$$\text{в железе } V_e = N_3 - N_2.$$

Величины эти наносятся на диаграмме, как функции возбуждения E . Потери в меди определяются таким же путем, как и при методе холостого хода. При независимом возбуждении принять во внимание потери на это возбуждение.

Для вспомогательных моторов малой мощности необходимо принимать во внимание изменение коэффициента полезного действия одновременно с изменением нагрузки. Кривая этого изменения коэффициента полезного действия должна быть заранее дана. В качестве вспомогательного мотора можно пользоваться также первичным двигателем для генератора (например, паровой машиной). Разница в расходе энергии определяется по индикаторной диаграмме.



Фиг. 1813 а-б.

7. Испытание трансформаторов на холостой ход и короткое замыкание. Испытание трансформаторов на холостой ход при номинальном напряжении и номинальной частоте дает независимую от нагрузки потерю в железе, так называемую потерю холостого хода (фиг. 1813а) $N_e = V_e I_e$.

Испытание на короткое замыкание при номинальной силе тока дает потерю в меди при нормальной нагрузке (фиг. 1813б) $N_k = V_k I_k$.

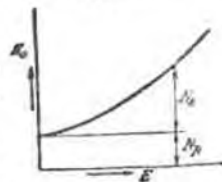
Для получения при этом методе испытанья небольших сил тока в высоких напряжениях измерение мощности целесообразно производить в цепи высокого напряжения. Регулировка напряжения должна производиться осторожно, так как приходится работать с очень низким напряжением короткого замыкания. При малых мощностях принимать во внимание потери энергии в измерительных приборах. Если одновременно требуется измерить напряжение короткого замыкания, то на стороне низкого напряжения ток короткого замыкания устанавливается без амперметра, при чем сила тока регулируется по стороне высокого напряжения. Если нормальная мощность трансформатора будет N kW, то коэффициент полезного действия

$$\eta = N : [N + (V_e + V_k)].$$

Измерение мощности производится в случае трехфазных трансформаторов по методу двух ваттметров.

E —напряжение, I —сила тока, N —мощность.

8. Метод разделения потерь. Определяются потери холостого хода при нормальном числе оборотов и при постепенно повышающемся напряжении, при чем эти потери наносятся в виде графика для каждого значения E (для лучше—для каждого значения E^2). Пересечение кривой с ординатой отсекает отрезок пропорциональный потере от трения при напряжении равном нулю (фиг. 1814). Этот же метод применим для разделения потерь при асинхронном вращении.



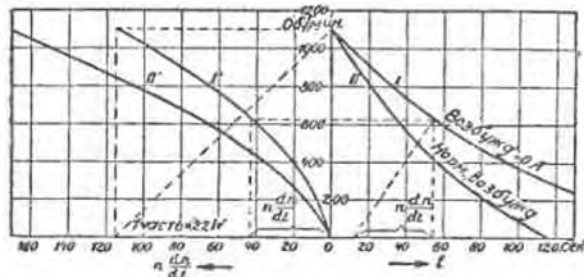
Фиг. 1814.

9. Метод постоянного торможения. Вращающаяся с числом оборотов n в секунду электрическая машина, имеющая момент инерции J и угловую скорость $\omega = 2\pi n : 60$, обладает запасом живой силы, равным $A = \frac{1}{2} \omega^2 J$. Если после установившегося хода прервать ток в ядре, то движение замедляется, и число оборотов уменьшается, вследствие израсходования за данный промежуток времени части запаса живой силы, равного работе, израсходованной за то же время на вращении потерь. Этот расход равен

$$N = \frac{dA}{dt} = J\omega \frac{d\omega}{dt} = \left(\frac{2\pi}{60}\right)^2 Jn \frac{dn}{dt} = c \cdot n \frac{dn}{dt},$$

где c — постоянная величина для данной машины, $n \cdot \frac{dn}{dt}$ — субнормаль соответствующей кривой самоторможения $n = f(t)$, которая легко находится графически. Так как измерение J затруднительно, то c определяется по формуле: $c = N : \left(n \cdot \frac{dn}{dt} \right)$ путем измерения мощности N (для данного режима работы) и графического определения субнормали кривой замедления для того же рабочего состояния. Вычертив ряд кривых замедления и построив соответствующие субнормали, находим соответствующие потери мощности $N = c \cdot n \cdot \frac{dn}{dt}$ для каждого числа оборотов, а именно:

а) потери на трении по кривой замедления при холостом ходе и невозбужденных электромагнитах;



Фиг. 1815.

б) потери в железе + трение по кривой замедления при холостом ходе и возбужденных электромагнитах при равной величине возбуждения;

в) потери нагрузок + трение — на кривой соотношения числа оборотов ко времени, необходимому для остановки машины, при коротком замыкании с возбуждением, соответствующим рабочему току (в синхронных машинах).

Так, например, кривые I и II на фиг. 1815 изображают полученные путем опыта кривые соотношения числа оборотов ко времени для невоз-

бужденного и нормально возбужденного мотора постоянного тока мощностью 50 kW, 1000 об./мин.; кривые I' и II' представляют собой кривые

$n \frac{dn}{dt}$, построенные графически на основании кривых соотношения числа

оборотов к продолжительности остановки. Кроме того, измерится потребная мощность якоря постоянного тока при нормальном возбуждении и при числе оборотов несколько выше или ниже нормального рабочего числа оборотов (при соответственно уменьшенном напряжении якоря), а именно: 3660 W при 1100 об./мин. в минуту и 2860 W при

9000 об./мин. Отсюда определяется постоянная с машины: $c = N : \left(n \frac{dn}{dt} \right)$

для рабочего числа оборотов, как среднее к 22. В этом случае кривые

$n \frac{dn}{dt}$, в другом масштабе, образуют кривые потерь, при чем часть

масштаба изобразит 22 W. При нормальном числе оборотов получаются, например, для чистых потерь на трение (при невозбужденной машине) из I' — 2100 W, при нормальном возбуждении — из II' — 3300 W; следовательно, потери в железе при нормальном числе оборотов — 1200 W. При электрическом измерении мощности и при построении кривых соотношения числа оборотов ко времени для различных состояний работы (например, для различных возбуждений), — могут быть определены потери для всех этих состояний работы. Нанося на график, как функцию числа оборотов или периода, значения потерь в железе для каждого периода, мы получим в точке 0 пер./сек. отдельно величину потерь на гистерезис.

Для быстроходных двигателей, требующих продолжительного времени до остановки, часто, для графического построения субнормал, бывает достаточно определения направления лопатки тангенса; — при этом эта последняя определяется путем нанесения на график двух величин, измеряемых через определенные промежутки времени. В турбогенераторах, разъединить которые часто невозможно, потребность мощности определяется для генератора, так же, как и для синхронного мотора, электрическим способом при нормальном напряжении, при нормальной частоте и при $\cos \varphi = 1$, в то время как паровая турбина вращается при вакууме. При том же вакууме и при том же напряжении на клеммах, уменьшенном на величину падения напряжения при измерении потребной мощности, производится испытание продолжительности остановки машины (на график наносятся две точки) и постоянная с вычисляется как выше. Теперь, для выделения каждой отдельной величины потерь могут быть построены на основании опыта дальнейшие кривые или отрезки кривых соотношения числа оборотов к продолжительности остановки. Для получения величины потерь на трение турбинных лопаток опыт с определением времени остановки машины повторяют для различных степеней вакуума, так что получается возможность экстраполяции на 100% вакуума. Для определения потерь нагрузки при рабочем токе кривая соотношения числа оборотов ко времени, построенная для остановки машины, строится при коротком замыкании с возбуждением, соответствующим рабочему току.

VII. Схемы включения источников тока и распределительные устройства.

На фиг. стр. 1369 до 1375 введены следующие обозначения:

A — выключатель,
 MaA — максимальный выключатель,
 MiA — минимальный выключатель,
 MaKa — максимальный в обратного тока выключатель,
 U — переключатель,
 SS — запястный выключатель,
 T — разъединитель,
 TmH — разъединитель с вспомогательными контактами,
 S — предохранитель,
 St — штепсельный контакт,
 Str — амперметр,
 X Str — амперметр с отклонением стрелки в обе стороны,

Sp — вольтметр,
 Le — ваттметр,
 Spt — делитель напряжения,
 Freq — частотомер,
 Str Tr — трансформатор тока,
 Sp Tr — трансформатор напряжения,
 EZS — одноконтный элементный коммутатор,
 DZS — двойной элементный коммутатор,
 Anl — пусковой реостат,
 RW — регулировочное сопротивление,
 MR — реостат в цепи магнитов,
 NR — шунтовой реостат.

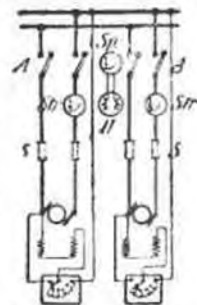
A. Схемы включения для постоянного тока.

а) Двухпроводная система.

Схема соединения двух параллельно работающих шунтовых генераторов (фиг. 1816).

Шунтовую обмотку генераторов рекомендуется присоединять одним концом непосредственно к сборным шинам; этим достигается более быстрое возбуждение подлежащей включению машины и исключается возможность перемены полярности. (Для возбуждения достаточно замкнуть при этом выключатель на одном проводе, но фиг. 1816 на левом). Таким образом, вместо одного двухполюсного выключателя необходимы два однополюсных, один из которых, по фиг. 1816 правый, может быть разомкнут только после того, как разомкнута цепь возбуждения. Такая последовательность необходима потому, что в противном случае электромагниты могут быть повреждены возникающими индукционными токами; см. также стр. 1371, 1373.

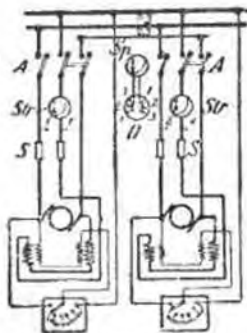
Обмотка возбуждения динамомашин, во избежание пробоя, должна присоединяться к сборным шинам таким образом, чтобы даже при выпадении соответствующего автоматического выключателя, цепь возбуждения оставалась не прерванной. При этом индукционной напряжением, возникающей в замкнутой цепи, не может вызвать повреждение обмоток.



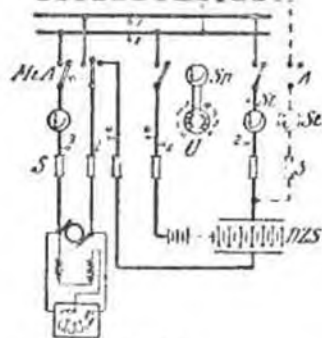
Фиг. 1816

Схема соединения двух параллельно работающих генераторов компаунд (фиг. 1817). В этом случае необходима установка особого уравнивательного провода, сопротивление которого должно быть меньше, чем суммарное сопротивление последовательных обмоток работающих машин. Уравнивательный провод необходим также при параллельной работе генераторов с последовательным соединением. В случае применения аккумуляторной батареи схема соединений зависит в первую очередь от того, как будет производиться заряд батареи. Заряд может производиться: 1) путем повышения напряжения главной машины; 2) применением дополнительной машины при регулировании главной машины на

Сборная шина для приключения вспомог. тельного провода.



Фиг. 1817

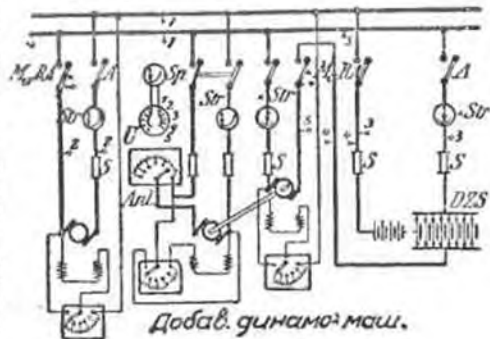


Фиг. 1818.

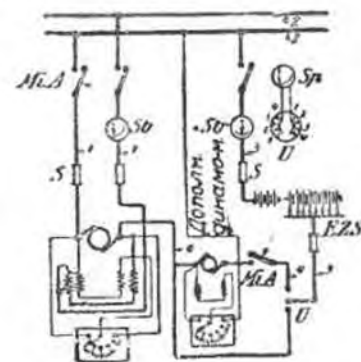
напряжение в сети; 3) отдельными группами при неизменяющемся напряжении главной машины.

1. Повышение напряжения главной машины (путем усиления поля или увеличения числа оборотов). Применение одиночного элементного коммутатора не дает возможности питать лампы во время зарядки, равным образом в этот период нельзя пользоваться батареей как временным резервом. Тем не менее эта схема соединенная, благодаря своей простоте и незначительному числу переключаемых элементов одиночного коммутатора, рекомендуется для небольших установок, дающих свет лишь вечером, тогда как днем производится заряд батареи. Применение двойного элементного коммутатора (фиг. 1818) дает возможность питать лампы также во время заряда. Если сила разрядного тока равна силе тока динамомашин, батарея представляет полный временный резерв для последней. Если сила разрядного тока батареи меньше, то схему соединений рекомендуется несколько изменить; в этом случае добавляется вспомогательный провод, позволяющий при повреждении машины производить питание от батареи лишь того количества ламп, которое соответствует допустимому разрядному току батареи (на фиг. 1818 помечен пунктиром).

[Примечание и фиг. 1818 и 1819. Минимальные автоматы $M.A.$ должны при пуске в ход удерживаться рукою в замкнутом состоянии, или иметь зазор, при помощи которого установленный от руки выключатель удерживается закрытым до тех пор, пока через него не проходит ток, после чего зазор должен быть открыт. При обратном токе, или поении силы тока ниже определенной величины, выключатель работает как обыкновенный минимальный (нулевой) выключатель. Это приспособление необходимо при возбуждении от постороннего источника, чтобы можно было сначала выключить левый выключатель (см. фиг. 1819) и затем достичь возбуждения. Правый выключатель (см. фиг. 1819) не должен быть минимальным, так как при автоматическом выпадении возбуждения сразу прервалось, если бы не находился под влиянием от другого источника (опасность от индукционных токов).



Фиг. 1819.



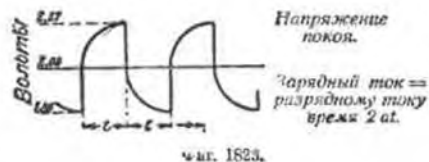
Фиг. 1820.

Если вместо возбуждения от постороннего источника применено собственное возбуждение, упомянутое приспособление при $M.A.$ может отсутствовать (фиг. 1818); по схеме фиг. 1819 возможно также собственное возбуждение, для чего перед возбуждением должен быть замкнут правый выключатель.

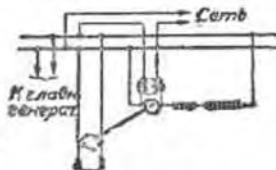
Часто при главных машинах крупных установок и при возбужденных генераторах трехфазного тока применяются вместо минимальных обыкновенные выключатели, или, лучше, максимальные выключатели с автоматическим выключением от обратного тока.

2. Заряд батареи дополняющей машиной. При неизменном напряжении главной машины для заряда обычно применяется дополнительная машина. Хотя применение одиночного элементного коммутатора и дает возможность питать во время зарядки также и лампы, но в качестве временного резерва батарея может быть использована

мерная нагрузка генератора, соответственно среднему расходу энергии; эта цель достигается лишь в том случае, когда напряжение у зажимов батарей может меняться надлежащим образом. Если расход энергии в сети выше среднего, напряжение на шинах должно быть равно разрядному напряжению батарей и с увеличением расхода энергии оно должно падать так, чтобы усиливался разрядный ток. Обратно, если расход энергии ниже среднего, напряжение на клеммах батарей следует держать выше зарядного напряжения, так чтобы батареи могли поглощать энергию. Фиг. 1823 показывает изменение напряжения буферной батареи при заряде и разряде; видно, что ток зарядный и разрядный между собою равны и достигают нормальной величины.

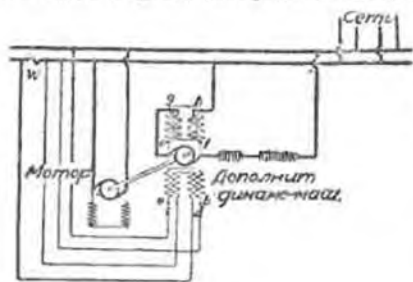


Фиг. 1823.

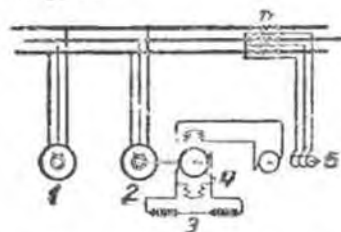


Фиг. 1824.

Если, в неключительных случаях, допустимы такие колебания напряжения сети, то наиболее простое регулирование достигается, устанавливая подвод рабочего тела (воды, пара), к двигателю от руки с установкой регулятора лишь для того, чтобы машина не могла поместить; при этом число оборотов движущей машины, а соответственно этому и напряжение динамомашин, повышается при увеличении нагрузки.



Фиг. 1825.



Фиг. 1826. 1 — генератор; 2 — мотор; 3 — батарея; 4 — буферная динамомашинка; 5 — однофазный преобразователь.

— Если, напротив, требуется сохранить приблизительно постоянное напряжение, то между сетью и батареями может быть включена дополнительная машина, изменяющая соответствующим образом напряжение батарей в целях правильного заряда и разряда последней. По схеме Пирани (фиг. 1824), наиболее часто применяемой в Германии, дополни-

тельная машина получает возбуждение от батарей или от вспомогательной возбуждающей машины. Возбуждению от батарей противодействует вторая обмотка полюсов, питаемая током сети и вызывающая при средних нагрузках сети повышение напряжения батарей¹⁾. Схема при своей простоте в большинстве случаев оказывается удовлетворяющей требованиям; более совершенным является применение (впервые в Англии) дополнительной машины Ланкашира (фиг. 1825). В этой схеме дополнительная машина возбуждается не током сети, а током генератора, так что малейшие колебания напряжения последнего вызывают необходимое дополнительное напряжение. Для усиления действия дополнительной машины кроме уменьшенной обмотки *ab* снабжена шунтовой обмоткой *ef*, приключенной к ее собственным клеммам, а также последовательной обмоткой *gh*, выравнивающей собственные потери в ядре.

Фиг. 1826 представляет присоединение буферной батареи к трехфазной сети по схеме предложенной Шредером. Помощью включенного последовательно в сеть трансформатора питается однокорный преобразователь, сторона постоянного тока которого присоединена к дополнительной обмотке магнитов буферной динамо. Благодаря этому, напряжение буферной динамо регулируется в зависимости от силы трехфазного тока таким образом, что батарея выравнивает колебания нагрузки и способствует равномерной работе генератора.

В. Схемы соединения для трехфазного тока.

Фиг. 1827 дает типовую схему соединений для центральной станции средней мощности при трехфазном токе. Каждый генератор работает непосредственно на свой трансформатор. Вспомогательные сборные шины дают возможность поддерживать работу, если в одной группе повредлен генератор, в других группах трансформатор. Постоянный ток для вспомогательных механизмов распределительного устройства, а также для запасного освещения получается от аккумуляторной батареи, заряжаемой мотор-генератором; последний получает питание от трансформатора для собственных нужд станции. Выключатель между двоякими шинами позволяет в случае повреждения каждого из четырех масляников оставить его присоединенным к одной системе шин, все же оставшие аппараты включить на другие шины. Все соединения на данной схеме изображены одной линией независимо от числа требующихся при этом проводов:

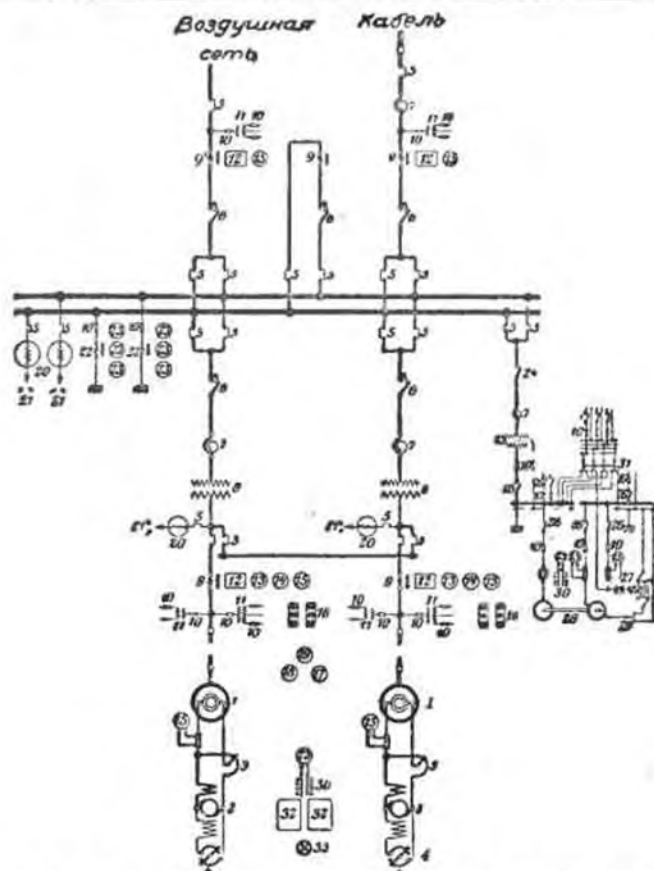
С. Выполнение распределительных устройств.

а) Общие данные.

Выполнение распределительных устройств должно удовлетворить следующим требованиям:

- 1) достаточная надежность по отношению к возможности пожара, отказу от действия в случайном приспособлении к токоведущим частям.
- 2) удобство осмотра всего устройства,

¹⁾ ETZ 1906 S. 252 и El. Betrieb und B. 1908, Heft 2.



Диаг. 1827. Схема соединений двух генераторов трехфазного тока 6000 В и трансформаторов. Распределение энергии воздушной сетью и кабелем.

1—генератор трехфазного тока, 2—возбудитель, 3—розетка в цепи возбуждения, 4—шунтовый реостат возбудителя, 5—разъединитель, 6—магнитный выключатель с предохранительным сопротивлением, 7—предохранительная дроссельная катушка, 8—трансформатор силовой, 9—трансформатор тока, 10—предохранитель, 11—трансформатор напряжения, 12—счетчик, 13—ваттметр, 14—фазометр, 15—амперметр, 16—контакты для параллельного включения, 17—вольтметр на две цепи, 18—интерметр частоты на две цепи, 19—нулевой вольтметр, 20—масляный реостат, 21—трехфазный роторный предохранитель от перенапряжения, 22—заземляющая дроссельная катушка, 23—вольтметр, 24—масляный автомат, выключатель под действием главного тока, 25—трансформатор для собственного тока, 26—выключатель низкого напряжения, 27—батарея с двойным элементарным коммутатором, 28—устройство для зарядки батарей, 29—переключатель, 30—переключатель вольтметра, 31—переключатель для запасного освещения, 32—быстродействующий регулятор двигателей, 33—цилиндрический коммутатор (контроллер).

3) доступность всех частей; условие которое может быть выполнено лишь в том случае, когда имеется достаточно места. Требуемое пространство см. д) Примеры выполненных устройств стр. 138.).

4) возможность расширения по сравнению с размерами принятыми для первых лет эксплуатации.

б) Установки низкого напряжения.

По существующим нормам установками низкого напряжения считаются таковые с напряжением до 250 В между проводами, или между проводом и землей.

Аппараты и инструменты располагаются большей частью на мраморных досках, прикрепляемых к свободно стоящему железному столу; доски меньших размеров прикрепляются непосредственно к стене. Соединительные провода между аппаратами и приборами прокладываются по задней стороне доски, регулирующие сопротивления генераторов, а равно установленные на изоляторах сборные шины привертываются к железному столу. В крупных установках удобнее иметь 2 доски, на одной из которых сосредоточены аппараты и инструменты для генераторов, на другой доске аппараты и инструменты для отходящих проводов (фидеры), испытатели изоляции и проч.

в) Установки высокого напряжения.

Распределительное устройство высокого напряжения как для силовых станций, так и для подстанций состоит в общем случае из трех частей; первая включает приборы, необходимые для наблюдения за работой генераторов и для обслуживания их, маховички регулирующих сопротивлений, рукоятки выключателей генераторов, или соответствующие им кнопки, при включении помощью реле и т. п.; вторая часть содержит инструменты, рычаги выключателей или кнопки соответствующие отходящим фидерам, третья часть—ячейки и закрытые камеры с масляными выключателями и прочими аппаратами, соединительные шины, предохранители против перенапряжений, соединительные кабели и т. п.

Аппараты и инструменты, предназначенные для наблюдения за работой и обслуживания генераторов, у трансформаторов и т. п., укрепляются на досках из мрамора, листового железа, цементных плиток и т. п. материалов, или же на колоннах и распределительных щитах. В последних двух случаях целесообразно такое расположение, чтобы дежурный по щиту был при работе обращен лицом к машинному залу, имел возможность наблюдать за всем происходящим там и был бы в непосредственной связи с дежурными машинного зала. В крупных установках распределительное устройство часто бывает совершенно отделено от машинного зала, чтобы работе дежурного по щиту не мешал шум машин. Для связи с машинным залом служат в этом случае телефоны и сигнальные аппараты.

При выполнении ячеек распределительных щитов применяются соответственно с целью абсолютной изоляции, ксилолит и т. п. материалы. При расположении ячеек в камере следует главным образом обращать внимание на безопасность в пожарном отношении. Камеры для аппаратов разбиваются на группы по допускающие провизировки ямы в помещенные сборные шины, проходы для обслуживания и лестничные клетки, а также из одной группы

в другую. В помещениях для масляных выключателей должна быть предусмотрена возможность спуска масла. Разделные фаз сборных шин промежуточными стенками, часто применявшиеся ранее, в настоящее время оставлены т.-к. вредят условиям доступности и удобству осмотра. В установках с очень высокими напряжениями, или при больших мощностях, масляные выключатели устанавливаются обычно по одному в особых камерах, расположенных вдоль наружной стены и отделенных совершенно от остальных помещений. В этих случаях доступ в камеры ведется только снаружи. Служебные проходы, расположенные позади камер с масляниками, должны иметь два выхода, чтобы дать возможность спуститься обслуживающему персоналу в случае пожара. Лестницам должны быть расположены таким образом, чтобы из каждого места щита можно было достичь их двумя путями, чтобы обеспечить выход также в том случае, когда один из путей перегражден огнем или дымом. Расстояние до лестницы от наиболее удаленной точки не должно превышать 30 м.

Масляные выключатели и разъединители должны быть расположены не более как в двух этажах, чтобы обеспечить быстрое и безопасное включение каждого ответвления. В отношении масляников должна быть предусмотрена возможность выкатить их из камеры; нижняя часть их, содержащая масло, должна легко опускаться для осмотра контактов. Если в камер масляников нельзя ясно различить положение разъединителей, то такое должно отмечаться в камерах помощью сигнальных ламп.

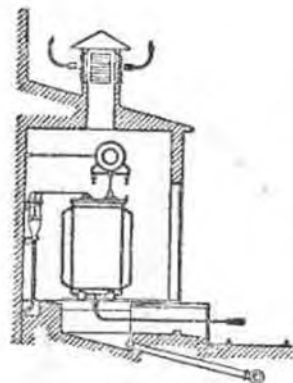
Трансформаторы тока, выполненные маслом, или какой-либо массой, по возможности не должны располагаться над масляниками, чтобы могущее вытечь масло не попало на проходные изоляторы, или на выключающий механизм. Трансформаторы тока, реле и пр. автономные аппараты должны обладать той же степенью надежности по отношению к токам коротких замыканий, как и соответствующие им масляники.

При расположении проводов следует обращать внимание на возможно меньшее число опорных и проходных изоляторов, являющихся часто причинами повреждений. В местах соединения сборных шин и проводов должны иметь большую поверхность соприкосновения и крепко свививаться. Вообще закрепление проводов в распределительных устройствах должно обладать большой прочностью. Вблизи проводов следует избегать присутствия частей, которые могли бы быть сорваны с места сильным магнитным полем, возникающим при коротких замыканиях и в свою очередь служили бы причиной новых повреждений. Провода, служащие для измерений, должны располагаться в камерах высокого напряжения таким образом, чтобы они не могли быть повреждены возможными дугами разрядов и чтобы была предусмотрена возможность как замыкания проводов, так и добавления новых. Ни в коем случае не следует вести измерительные провода через посторонние камеры высокого напряжения.

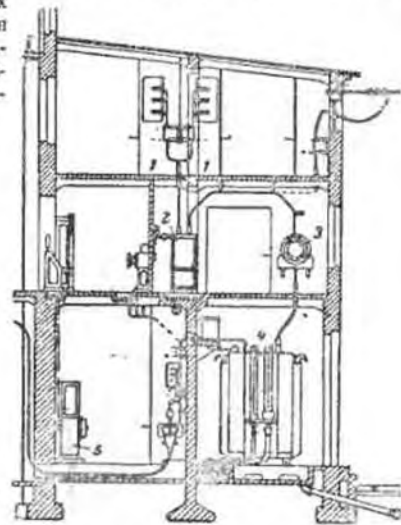
Все предохранительные решетки, предохранительные двери, железные двери, железные каркасы, корпуса масляных выключателей и трансформаторов должны тщательно заземляться. Поперечное сечение заземляющего провода должно быть выбрано достаточных размеров. Хорошее заземление всех металлических частей в находящихся под током имеет громадное значение для надежности работы распределительного устройства (см. Руководящие указания по устройству заземлений электрических уста-

новое высокого напряжения. Проект опубликован в журн. „Электричество“ 1926 г. № 11).

Места вывода проводов высокого напряжения должны быть защищены от дождя и снега выступающей крышей, или же должны быть расположены в нишах здания. Места вывода должны быть доступны для осмотра во время работы с соответствующим образом расположенного прохода; при особо высоких напряжениях кажда линия должна быть снабжена разъединителями, позволяющими замкнуть линию на коротко и заземлить ее.



Фиг. 1828.



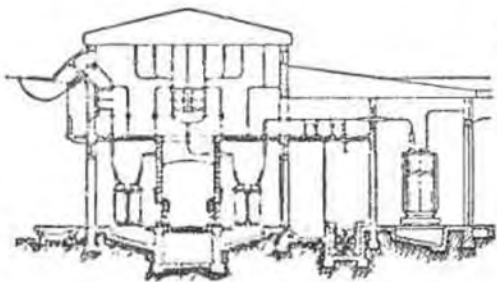
Фиг. 1829. 1—камеры сборных шин. 2—масляный выключатель. 3—предохранительная реактивная катушка. 4—трансформатор с водным охлаждением с замеском. 5—регулятор возбуждения.

Трансформаторы. В непосредственной связи с распределительными устройствами находится относящиеся к ним трансформаторы, вместе с приваждностими и контрольными приборами. Небольшие трансформаторы среднего напряжения могут устанавливаться в помещениях за или под распределительным устройством. Трансформаторы большого размера делаются подвешиваемыми на небольших колесах и устанавливаются в нижнем этаже, или в подвале таким образом, чтобы они без труда могли выкатываться или выкатываться оттуда. Наиболее мощные трансформаторы устанавливаются в специальных помещениях, безопасных в отношении пожара и распространения дыма и расположенных вне помещения распределительных устройств, вне в пристройках (фиг. 1828). В этом случае освещение и охлаждающие помещения осуществляются без всякого труда. Расширительный сосуд для масла должен устанавливаться таким образом, чтобы в него без труда могло добавляться масло и чтобы

уровень последнего был ясно виден. Дроссельные катушки, применяемые для защиты против волн перенапряжения, лучше всего устанавливать в камерах трансформаторов, располагая их на легко доступных галереях. Непосредственно под трансформаторами должны иметься достаточно широкие воронки и трубы для того, чтобы иметь возможность быстро спустить наружу вытекающее горящее масло и таким образом сделать его безвредным. При естественном охлаждении трансформатора следует заботиться об отводе тепла из помещения и поступлении свежего воздуха. Искусственное охлаждение достигается, напр., помещением в корпус трансформатора спетемы труб, по которым циркулирует холодная вода. Для наблюдения за работой трансформаторов в крупных важных установках применяются приборы, позволяющие производить контроль температуры на расстоянии. Они состоят из сопротивлений, погружаемых в масло трансформаторов, и из досок с соответствующими измерительными приборами, располагаемой в помещении, где сосредоточено управление трансформаторами.

д) Примеры выполненных устройств.

Фиг. 1829 дает разрез через распределительное устройство средней мощности (SSW) с напряжением генераторов 6000 V и с присоединением воздушной сети 30 000 V. Контакты вспомогательной цепи к выключателям

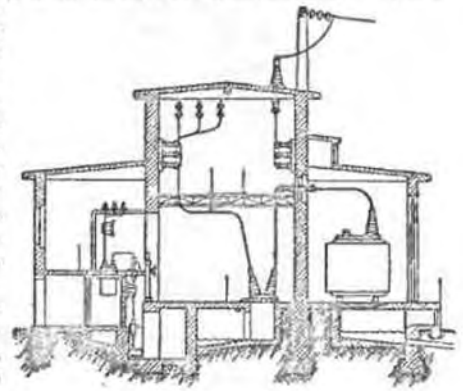


Фиг. 1829.

генераторов и воздушных проводов, вместе с маховичками реостатов возбуждения и относящимися к генераторам приборами, расположены на пульте. Регуляторы скорости, точно также как и аппараты и инструменты станционной и батареи, заряжающего умформера и т. д. расположены на стоящей сбоку распределительной доске. Все распределительное

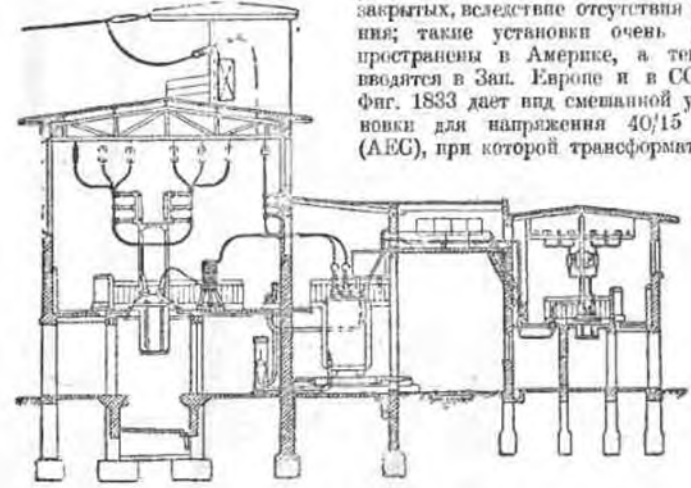
устройство расположено в 3 этажах, но приборы требующие наблюдения находятся, главным образом, в двух верхних этажах. Разъединители находятся под сборными шинами; все разъединители, относящиеся к одному ответвлению, могут приводиться в действие с одного места. Фиг. 1830 изображает двухэтажную подстанцию (AEG) для напряжения 6/100 kV. Каждый из трехкорпусных масляных установок в особой камере, взрывающей доступ только снаружи. Разъединители расположены таким образом, что они видны из помещения, где находятся приводы масляных выключателей. Расгущая мощность генераторов слловых станций, делающая необходимым выключение масляником при коротких замыканиях колоссальных мощностей, обуславливает опасность взрыва корпуса масляника. Во избежание взрыва и пожара масла масляники установились

ются таким образом, что взрыв их не может вызвать повреждения стен здания при выключении всей установки. Фиг. 1831, подстанция для 6/100, kV (BBC), показывает установку 100 kV-масляников в сильных бетонированных ямах, соединенных широкими каналами с наружным пространством. В остальном рисунок изображает тип здания, приспособленный к удобному осмотру всех частей и к уменьшению числа проходных изоляторов, являющихся всегда слабой частью установки.



Фиг. 1831.

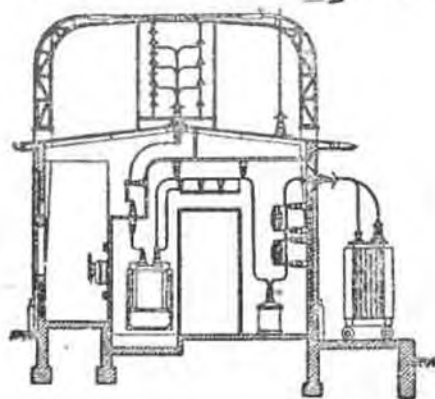
Фиг. 1832 представляет двухэтажное здание распределительного устройства (SSW), сконструированного по тем же принципам; разница в том, что здесь масляники расположены поверх пола, так что газы от взрыва и выпавшее масло могут непосредственно удалиться наружу. При напряжениях свыше 30 kV часто применяются открытые установки, оканчивающиеся дешевые закрытых, вследствие отсутствия здания; такие установки очень распространены в Америке, а теперь вводится в Зап. Европе и в СССР. Фиг. 1833 дает вид смешанной установки для напряжения 40/15 kV (AEG), при которой трансформаторы



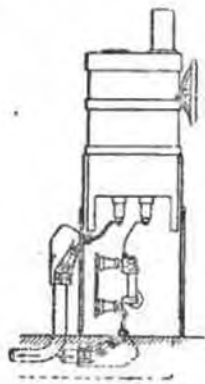
Фиг. 1832.

и сборные шины расположены открыто, а выключатели, измерительные трансформаторы и проч. расположены внутри здания.

В небольших установках при напряжениях до 12 kV применяются часто распределительные ящики; фиг. 1834 дает вид распре-



Фиг. 1833.



Фиг. 1834.

делительного ящика с масляным выключателем. Если ящики должны работать на сборные шины, последние устанавливаются между ящиком и стеной. Выключение производится находящимся в ящике под маслом максимальным автоматом с выдержкой времени, или без таковой, или автоматом обратного тока; иногда ящики снабжаются автоматами обоих типов; кроме того выключение, конечно, может производиться и от руки.

VIII. Выбор системы тока.

а) Постоянный ток.

Постоянный ток имеет применение: в чисто осветительных установках при питании не слишком большого района, так как потребление энергии происходит в этом случае только вечером и возможность применения аккумуляторов обеспечивает равномерную нагрузку машины во все время работы; в небольших осветительных установках применяется и без аккумуляторов, вследствие простоты и дешевизны всего устройства. В фабрично-заводских установках с моторной нагрузкой применяется часто вследствие легкости регулирования моторов постоянного тока, если только расстояния между отдельными мастерскими не слишком значительны. В установках с сильно колеблющейся нагрузкой, если желательно равномерное производство энергии, что может быть достигнуто применением буферных батарей. Особые свойства моторов последовательного соединения дают им преимущества для подъемных приспособлений (кранов) и для тяги, если для последней

цели, вследствие значительности расстояния, не следует предпочесть однофазный переменный ток. Далее постоянный ток применяется в установках, где требуется широкая регулировка числа оборотов, как напр. на бумажных фабриках, в типографиях, для шахтных подъемников, прокатных станов и т. д.; в судовых установках вследствие простоты проводки и особенностей моторов последовательного соединения; для химических целей (электролиз), кинотехники.

Выбор напряжения: в осветительных установках при небольших расстояниях 110 V и двухпроводная система, при больших расстояниях 220 V или трехпроводная система $2 \times 110 = 220$ V, или $2 \times 220 = 440$ V.

В силовых установках напряжение выбирается в зависимости от расстояний, мощности моторов и особых условий в пределах от 110 до 600 V, для пужд тяги 1500 V и даже выше.

Нормальными напряжениями для моторов являются 110, 220, 440, 500 и 750 V.

б) Трехфазный ток.

Трехфазный ток выбирается для передачи значительных количеств энергии на большие расстояния во всевозможного рода установках. Для крупных станций с осветительной или силовой нагрузкой при больших расстояниях, а также для распределения энергии по целому району. Для моторных установок в сырых помещениях с взрывчатыми газами и легко воспламеняющейся пылью (шахты, представляющие опасность в отношении взрыва, пороховые заводы и т. п.). В ткацком производстве (одиночный привод ткацких станков) вследствие простоты и безопасности коротко замкнутого мотора в пожарном отношении; в прядильнях, вследствие простоты регулировки револьверных моторов

Таблица 1. Синхронное число оборотов.

Так как нормальной частотой является 50 периодов, то обычно следует иметь в виду только число оборотов, помеченное в соответствующей ей графе.

| Число полюсов | Ч а с т о т а | | | | | | | |
|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 15 | 16,5 | 20,8 | 25 | 30 | 41,6 | 50 | 60 |
| 2 | 900 | 1 000 | 1 250 | 1 500 | 1 800 | 2 500 | 3 000 | 3 600 |
| 4 | 450 | 500 | 625 | 750 | 900 | 1 250 | 1 500 | 1 800 |
| 6 | 300 | 333,3 | 416,5 | 500 | 600 | 833 | 1 000 | 1 200 |
| 8 | 225 | 250 | 312,5 | 375 | 450 | 625 | 750 | 900 |
| 10 | 180 | 200 | 250 | 300 | 360 | 500 | 600 | 720 |
| 12 | 150 | 166,6 | 208,5 | 250 | 300 | 417 | 500 | 600 |
| 16 | 112,5 | 125 | 150 | 187,5 | 225 | 312,5 | 375 | 450 |
| 20 | 90 | 100 | 125 | 150 | 180 | 250 | 300 | 360 |
| 24 | 75 | 83,3 | 104 | 125 | 150 | 208 | 250 | 300 |
| 28 | 64,3 | 71,4 | 89 | 107 | 128 | 178 | 214 | 257 |
| 32 | — | 62,5 | 78 | 94 | 112,5 | 156 | 188 | 225 |
| 36 | — | — | 69,5 | 83 | 100 | 139 | 166 | 200 |
| 40 | — | — | 62,5 | 75 | 90 | 125 | 150 | 180 |
| 48 | — | — | — | — | 75 | 104 | 125 | 150 |
| 56 | — | — | — | — | — | 64,3 | 89 | 107 |
| 64 | — | — | — | — | — | — | 78 | 94 |
| 72 | — | — | — | — | — | — | 69,5 | 83 |
| 80 | — | — | — | — | — | — | 62,5 | 75 |

кучем перестановки щеток. Далее трехфазный ток дает возможность применять моторы, работающие почти без присмотра.

В Америке нормальной частотой считается 25, 40, 60 (и 120) периодов, хотя встречаются также 30 и 50.

Частота: в Европе принята частота 50 полных периодов (= 100 переменная токи в сек.), хотя в отдельных случаях выполняются установки с 25 периодами (передача энергии для тихоходных моторов). Для осветительных установок частота $f < 25$ неприменима вследствие мерцания лампочек, для контор и внутренних помещений не следует применять $f < 35$; удовлетворительное освещение при частоте $f < 25$, напр. при $f = 15$ может быть достигнуто применением лампы на низкое напряжение и следовательно, с толстой ступью большой теплоемкости (железнодорожные установки).

Выбор напряжения ¹⁾ 3 качества нормальных напряжений приплат:

| | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 125 | 220 | 380 | 500 | 3 000 | 5 000 | 6 000 |
| 10 000 | 15 000 | 25 000 | 35 000 | 50 000 | 60 000 | 100 000 |

10 000 15 000 25 000 35 000 50 000 60 000 100 000 вольт.

В первую очередь должны применяться значения, отмеченные жирным шрифтом. Максимальное напряжение, непосредственно применяемое для моторов, составляет 10 000 V, при чем оно допустимо только при больших мощностях и благоприятных условиях работы. Для очень длинных линий при передаче исключительно больших мощностей, могут применяться напряжения свыше 100 000 V и в этом случае рекомендуемыми являются 150 000 V и 200 000 V.

При передаче на большое расстояние выбор напряжения генератора должно производиться, имея в виду и наибольшую простоту выполнения, и надежность его работы; повышение напряжения до значений принятых для линии производится трансформаторами. Такой способ следует предпочесть непосредственному получению высокого напряжения на клеммах генератора, если даже начальная и эксплуатационная стоимость и окажется несколько выше, так как основным моментом должна являться надежность в работе. Нормальными напряжениями для моторов, или прыжковых обмоток трансформаторов являются 120, 220, 380, 500, 1 000, 2 000, 3 000, 5 000, 6 000 V.

с) Однофазный переменный ток.

Однофазный переменный ток выбирается в первую очередь для электрических железных дорог значительной длины.

Частота и выбор напряжения, как выше, для трехфазного тока. Для электрических железных дорог $f = 16\frac{2}{3}$. Мотивы выбора низкой частоты см. отд. «Железные дороги», т. III.

Смешанная система. Передача энергии на большое расстояние производится трехфазным или переменным током, а на месте потребления ток преобразуется в постоянный, надлежащего напряжения. Применяется, напр. для трамваев в больших городах, при обширной сети, где постоянный ток является наиболее подходящим, а силовые станции в виду экономических соображений часто должны быть сооружены вне района расходования тока, или когда весь район не может быть обслуживаем постоянным током из одного, или нескольких центральных пунктов. Двухфазный ток и моноциклическая система применяются редко.

¹⁾ См. гл. IX—V, E от 2/X 1927.

IX. Способы улучшения коэффициента мощности ¹⁾.

В сетях трехфазного тока с преобладающей моторной нагрузкой (коротко замкнутые моторы и моторы с контактными кольцами) $\cos \varphi$ в зависимости от нагрузки моторов, колеблется в пределах 0,4—0,85. Моторы с большим числом оборотов в минуту (3 000—1 500) работают при полной нагрузке с $\cos \varphi > 0,9$, моторы на 1 000 до 500 оборотов с $\cos \varphi = 0,9—0,8$, ниже 500 оборотов с $\cos \varphi < 0,8$. При неполной нагрузке величина $\cos \varphi$ уменьшается и достигает при холостом ходе значений 0,3 до 0,2. Чрезмерно высокие значения безваттного тока могут быть ограничены в сетях правильным выбором мощности моторов и целесообразным использованием их с возможно полной нагрузкой. Тем не менее, в большинстве случаев безваттные токи достигают таких больших значений, что получившийся коэффициент мощности сети оказывается ниже нормальных величин, принятых при постройке станций, линий передачи, трансформаторов и т. д. Поэтому стремятся улучшить коэффициент мощности помощью особых приспособлений, т.-е. освободить электрические станции от нагрузки безваттным током и перенести выработку его на специальные устройства. Для этого имеются три пути.

а) Централизованное получение безваттного тока от одной большой машины.

б) Групповое улучшение $\cos \varphi$ выработкой безваттного тока в нескольких машинах, руководствуясь при группировке экономическими и производственными условиями.

с) Единоличное улучшение $\cos \varphi$ применением моторов, не потребляющих безваттного тока (компенсированные моторы).

Наиболее экономичным способом, как по начальной стоимости, так и в эксплуатации, оказывается обычно групповое улучшение.

Указанные три способа улучшения $\cos \varphi$ могут быть выполняемы двояко: 1) применением неподвижных генераторов безваттного тока; 2) применением подвижных генераторов.

1. **Неподвижные генераторы безваттного тока, конденсаторы.** Конденсатор является в сети емкостной нагрузкой, т.-е. вызывает опережающий безваттный ток. Преимуществами его являются небольшие потери и потребность в незначительном только уходе; недостатки их следующие: устройства, которые были бы надежны в работе, оказываются дороги и требуют много места; они неприменимы при высоких напряжениях; при процессах включения и выключения возникает опасность толчков тока и появления колебаний; токи короткого замыкания оказываются усиленными.

2. **Подвижные генераторы безваттного тока.** Потребление безваттного тока в электрических машинах обусловлено необходимостью возбуждения магнитных полей. Отдача безваттного тока машинами может иметь место там, где необходимый для нормального возбуждения магнитного поля безваттный ток производится самой машиной или получается от вспомогательной машины (возбудитель). Машины работают в этом случае с $\cos \varphi = 1$; если же дать машинам возбуждение больше, чем необхо-

¹⁾ См. стр. 1268, 1280 и слез.

димо для собственной их работы, то это перевозбуждение вызывает отдачу в сеть избытка безваттного тока (перекompенсированные машины и машины безваттного тока).

Возбуждение магнитного поля производится всегда во вторичных цепях, т. е. в цепях повышенной частоты. Необходимая для возбуждения поля безваттная мощность уменьшается пропорционально частоте. Использование этого обстоятельства приводит к минимальным размерам возбуждителей (2—5% главной машины). Различают:

- возбуждение постоянным током (частота возбуждения = 0),
- возбуждение трехфазным током (с частотой скольжения).

Иногда возбуждители могут быть электрически соединены с главными машинами. Это приводит к типам компенсированных коллекторных машин, напр. Осноса, Гейланда, Шюлера и т. д.

Наиболее экономичное получение безваттного тока мы имеем в тех случаях, когда оно сопряжено с отдачей механической мощности (перекompенсированные моторы; лучший случай с опережением тока на угол, соответствующий $\cos \varphi = 0,7$),

а) Получение безваттного тока путем возбуждения постоянным током. Машины типа синхронных.

1. Синхронные машины. Возбуждение производится большей частью от непосредственно соединенного возбуждителя постоянного тока, питающего якорь главной машины, снабженный выраженными полюсами. Недостатки: затруднены при пуске в ход (пусковой мотор и процесс синхронизации или пуск в ход пусковым трансформатором при помощи демпферной обмотки); специальные типы с особой пусковой обмоткой и большим пусковым моментом; незначительный максимальный крутящий момент, качание и выпадение из фазы при колебании числа периодов или напряжения.

2. Синхронизированный асинхронный мотор. Обмотка ротора асинхронного мотора питается в работе постоянным током и таким образом после нормального асинхронного пуска доводится до синхронного числа оборотов. Возбудитель постоянного тока большей частью непосредственно соединен с главной машиной, якорь которой имеет явно или незначительно выраженные полюса. Эти машины также могут отдавать безваттный ток при перевозбуждении. Особенно приспособлены они для грушевого улучшения $\cos \varphi$. Легкий пуск при высоком крутящем моменте, самостоятельное синхронизирование, зато с другой стороны опасность качания, незначительный максимальный крутящий момент.

3. Мотор системы Шюлера; асинхронный мотор питаемый со стороны ротора. Ротор имеет присоединенную к коммутатору специальную обмотку, которая через щетки после пуска в ход питает постоянным током обмотку статора в двух фазах. Особенности эксплуатации как в п. 2.

б) Получение безваттного тока путем возбуждения трехфазным током.

Машины типа асинхронных.

Новейшее развитие трехфазных возбуждителей дает возможность выполнять асинхронные машины, соединяя преимущества обыкновенных

асинхронных и синхронных машин и избегая недостатков последних. Преимущества: удобный пуск в ход помощью обыкновенного пускового реостата при большом крутящем моменте, отсутствие необходимости в синхронизировании, повышение максимального момента до тройного и четверного значения против нормального, нечувствительность к колебаниям частоты и напряжения, отсутствие какой-либо опасности качания, уменьшение токов короткого замыкания. Безваттный ток, как и в синхронно вращающихся машинах получается при перевозбуждении. В зависимости от того, получается ли возбуждающий трехфазный ток в самой машине, или в особой возбуждательной машине трехфазного тока различают:

- 1) Компенсированные коллекторные моторы трехфазного тока.
- 2) Асинхронные моторы с возбудителем трехфазного тока.

1. Компенсированные коллекторные моторы. а) Мотор Гейланда. (Типы: Bergmann, SSW, Deutsche Werke). Асинхронный мотор, питаемый со стороны статора, имеющий по одной рабочей и по одной возбуждательной обмотке на статоре и на роторе. Обе возбуждательные обмотки соединены друг с другом через щетки и коммутатор. Коэффициент мощности практически равен 1 при всех нагрузках. Большой максимальный момент; при роторе с контактными кольцами, трудности коммутации в период пуска в ход, что может быть избегнуто лишь при особых схемах соединения. Имея в виду условия коммутации, выполняется только для небольших мощностей. Питание со стороны статора делает возможным применение моторов при высоких напряжениях.

б) Мотор Осноса. (Типы: Sachsenwerk, SSW, AEG). Питаемый со стороны ротора асинхронный мотор с выведенной к коммутатору второй роторной обмоткой, дающей трехфазный ток возбуждения в обмотку статора. $\cos \varphi = 1$ при полной нагрузке, при неполной нагрузке ток опережает напряжение; высокий коэффициент полезного действия, хорошее использование материала, небольшой коммутатор, пуск в ход помощью реостата при большом пусковом моменте, значительный максимальный крутящий момент; применимы также при однофазном токе. Питание со стороны ротора делает мотор неприемлемым при напряжениях свыше 500 В. Мощность мотора ограничена, благодаря необходимости пользования контактными кольцами. При выполнении мотора с двойным комплектом щеток число оборотов его может быть регулировано (SSW).

2. Возбудитель трехфазного тока (машины для сдвига фаз). Общего характера всех возбуждителей трехфазного тока является якорь, к которому помощью коммутатора подводится ток с контактных колец главной машины. Появляющееся из щеток возбудителя компенсирующее напряжение вызывает намагничивающийся ток во вторичной цепи главной машины и тем самым вызывает возникновение поля или же отдачу безваттного тока.

Смотря по тому, каким образом получается на щетках возбудителя компенсирующее напряжение, различают: а) самовозбуждающиеся возбудители трехфазного тока, б) также же машины с посторонним возбуждением.

а) Самовозбуждающиеся возбудители трехфазного тока; ток скольжения вызывает в ядре возбудителя поле, вращающееся

со скоростью соответствующей частоте скольжения. Путем вращения этого якоря со скоростью, превышающей скорость вращения поля, выставляется относительная скорость между якорем и полем, благодаря чему на щетках получается компенсирующее напряжение. Компенсирующее напряжение зависит при этом от тока скольжения, и следовательно и от нагрузки. При холостом ходе компенсирующего действия нет, $\cos \varphi$ практически становится равным 1 лишь при нагрузках свыше 30—50%.

Преимущества: свободный выбор числа оборотов, применимость как непосредственного соединения с главной машиной, так и привода помощью специального мотора.

Конструкция: выполнение без статора, пакет железа замыкающий поле якоря посажен на последний и вращается вместе с ним.

Выполнение со статором: якорь окружен железным кольцом или пакетом железа с воздушным промежутком (SSW); статор с коммутирующей обмоткой (AEG).

Выполнение с пристроенным возбудителем (SSW, Pöge, Sachsenwerk). Сюда относится также калповский вибратор (Bergmann), который вызывает повышение компенсирующего напряжения для каждой фазы в особом качающемся взад и вперед якоре. Гибратор требует возбуждения постоянным током. Компенсирование кд.: при самовозбуждающихся возбудителях трехфазного тока.

б) Возбудители трехфазного тока с посторонним возбуждением. Компенсирующее напряжение производится независимо от тока скольжения. В зависимости от того, поступает ли при этом ток скольжения через контактные кольца в сеть, или применяется компенсирующая машина, различают трансформаторы частоты и компенсируемые возбудители трехфазного тока с посторонним возбуждением.

а) Трансформаторы частоты. Якорь вращается в статоре, имеющем соответствующие вырезы, но лишенном обмотки или, в крайнем случае, снабженном обмоткой на дополнительных полюсах. Контактные кольца соединены с сетью через трехфазный трансформатор. Величина компенсирующего напряжения может быть установлена помощью трансформатора. Весь ток ротора идет через контактные кольца возбудителя в сеть (значительные силы тока). Трансформатор частоты должен быть жестко соединен со своим мотором, т. е. непосредственно, или помощью зубчатых колес и зубчатых цепей или должно быть принято соединение, обеспечивающее постоянство взаимного расположения роторов трансформатора частоты и главного мотора (AEG, SSW).

б) Компенсируемые возбудители трехфазного тока с посторонним возбуждением. Машина аналогична трансформатору частоты, но статор снабжен подвой компенсирующей обмоткой, по которой проходит ток скольжения. Через контактные кольца возбудителя идет только ток намагничивания, требуемый возбудителем (незначительные силы токов, преимущественно сравнительно с а). Поле возбудителя, а вместе с ним и компенсирующее напряжение могут устанавливаться помощью трансформатора как в п. а, но трансформаторы имеют меньшие размеры. Привод как в п. а.

е) Получение безвзвешенного тока при трехфазных установках.

Все системы трехфазных установок с регулированием числа оборотов, как напр. серьезные моторы трехфазного тока, трехфазные моторы с пунтовой характеристикой, питаемые со стороны статора и со стороны ротора, регулируемые агрегаты со второй машиной постоянного тока или трехфазной коллекторной машиной, дают обычно возможность довести коэффициент мощности первой машины до 1, или достичь опережения тока. Получение безвзвешенного тока и регулирование числа оборотов дают при этом наиболее благоприятные экономические результаты.

Х. Провода.

А. Общие соображения для определения сечения проводов.

При определении поперечного сечения проводника необходимо руководствоваться каждый раз местными условиями; для этого принимаются в расчет экономические соображения, допустимая потеря на пружения, допустимое нагревание и условия предполагаемого расширения сети.

1. По расчету на экономичность сечение проводника определяется при том условии, чтобы сумма расходов на оплату процентов и погашение стоимости сооружения плюс стоимость годовой потери энергии в проводнике была, по возможности, мала (экономическое сечение). К стоимости электрического тока следует относить не только расходы центральной станции на материал, рабочую силу, погашение сети и т. п., но и приписать во внимание и то обстоятельство, что с увеличением потерь производительность центральной станции должна быть больше. Для временных установок процент погашения принимается соответственно больше.

[Расчет производится таким образом, что для различных сечений (обыкновенно принимают лишь те сечения, которые установлены нормами электротехнических съездов), определяют все ежегодные расходы, вызываемые перемещением электрической энергии, и результаты составляют в форме таблицы или кривой. При этом обыкновенно выясняется, что между отдельными сечениями разница в расходах получается весьма незначительная, и что условиям экономичности удовлетворяют в достаточной мере два или три сечения.]

Вышеприведенный расчет на экономичность имеет значение лишь тогда, когда стоимость энергии, средняя нагрузка проводника и ежегодный эксплуатационный период, принимаемый для определения погашения, более или менее известны наперед, что в большинстве случаев места не имеет. Во многих случаях расчет на экономичные размеры не производится, ибо данные для расчета весьма неточны. Расчет проводника производится тогда по условию, чтобы потеря энергии осталась в техных пределах, при чем необходимо принимать в расчет возможность дальнейшего расширения сети.]

2. По расчету на допустимую потерю на пружения и при выборе сечения провода определяется таким образом, чтобы, даже при наиболь-

шей ожидаемой силе тока, в местах потребления еще имело место требуемое напряжение. (Допустимые потери, стр. 1391).

Выравнивание потери напряжения в отдельных питательных пунктах, а равно и регулирование напряжения на центральной станции соответственно средней потере в питательных проводах, достигается соединением питательных пунктов между собой.

В сетях, имеющих большое протяжение, часто не представляется возможным соединить уравнивательными проводами питательные пункты высокого напряжения. Несмотря на это, часто возможно избежать отдельного регулирования в питательных пунктах, так как, как правило, падение напряжений в проводах высокого напряжения крайне незначительно.

В некоторых случаях отдельным питательным проводам для уменьшения первоначальных расходов придается сечение с расчетом на большую потерю напряжения, и тогда они снабжаются уравнивательными приборами для потери напряжения. Такими приборами служат:

Для установок постоянного тока:

Регулирующие сопротивления, действующие от руки, или автоматически. Реже напряжения сважено добавочной обмоткой главного тока, в зависимости от которого устанавливается то или иное напряжение.

Аккумуляторы с применением одной или нескольких разрядных рукояток, к которым присоединены питательные провода и при помощи которых эти провода могут питаться напряжением, отличным от напряжения на центральной станции.

Дополнительные машины с последовательным возбуждением от самого питательного провода, которыми при надлежащем расчете (при возбуждении в исследовательной обмотке от главного тока и в шунтовой от тока мотора, приводящего в движение дополнительную машину) может быть достигнута автоматическое регулирование.

Для установок переменного или трехфазного тока:

Регулирующие сопротивления и дроссельные катушки для проводов второстепенного значения.

Дополнительные или авто-трансформаторы (со многими вторичными обмотками, которые при умеренном вторичном напряжении включают приборы, подобными элементами переключателям аккумуляторных батарей; вследствие этого между отдельными ступенями нет перерыва и ступени не могут быть короткого замыкания. Указанные элементы переключателями, приводимыми в действие моторчиком, можно также при помощи реле на определенное напряжение достигнуть автоматического регулирования (стр. 1318).

Трансформаторы с подвижной обмоткой предназначенные для более высоких напряжений, выполняются в форме индукционного мотора с закрепленным якорем, который переставляется в зависимости от требуемого дополнительного напряжения, складывающегося последовательно с основным.

Регулирование может производиться также автоматически (стр. 1321).

Если питательные провода в начале и в конце их присоединены к сети, необходимы приспособления, которые позволяют бы при повреждении в питательном проводе выключить одновременно оба его конца, для чего необходимо известное количество добавочных соединений¹⁾.

3. Допускаемое нагревание проводника обуславливает для каждого сечения определенную наивысшую допускаемую еще в нем силу тока; пределы нагревания зависят еще, однако, от продолжительности нагрузки, рода предохранительных аппаратов, изоляции и способа прокладки проводника. Изданные Главэлектро «Правила и нормы для электротехнических установок», Москва 1925 г., дают допустимые силы токов для различных случаев.

В зависимости от рода установки и типа сети расчет ее проводится базирясь на том или ином из указанных соображений.

При чисто силовых установках неизменяемость напряжения в местах потребления тока в расчет не принимается; сечение провода прежде всего определяется в зависимости от экономических соображений, если имеются для этого данные надежны; в противном случае расчет производится по потере напряжения (энергии) и затем проверяется на допускаемое нагревание; в общем допускается потеря до 10%, однако принимается в расчет местные условия.

Для моторов трехфазного тока—пусковой момент, так как вращающий момент уменьшается пропорционально квадрату напряжения. Для шунтовых моторов постоянного тока допустимо $\pm 10\%$, причём мощности и число оборотов меняются в тех же пределах).

При смешанных установках или установках исключительно осветительных, обыкновенно делается различие между питательными и распределительными проводами. Первые проводят ток в отдельные питательные пункты сети, от которых радиально расходится распределительные провода в различные места расходования тока; последние провода снова, по возможности, соединяются в сомкнутые сети. Необходимо соблюдать условие, чтобы вторичное напряжение колебалось лишь в тесных пределах, определяемых в зависимости от рода включаемых в сеть приборов. Распределительные провода почти исключительно следует рассчитывать на возможно одинаковое напряжение и местах расходования тока при наименее выгодной нагрузке. Сечение же питательных проводов всегда определяется по условию устойчивости напряжения. В последних проводах могут быть допущены большие потери напряжения, ибо соответственным изменением первичного и напряжения эти потери могут быть в известных пределах уравниваемы (см. стр. 1389 под цифрой 2).

Для питательных проводов имеет также значение и экономическое сечение, но сечение это в большинстве случаев выходит по расчету настолько малым, что при различном и сильном колебании нагрузок в отдельных питательных пунктах получаются недопустимые разницы в напряжениях. Только в тех случаях, когда напряжение в отдельных питательных пунктах регулируется при помощи особых регулирующих приспособлений (стр. 1389, 2), для питательных проводов можно выбирать экономическое сечение, проверив его на допускаемое нагревание.

¹⁾ В. Betrieb 1914, S. 49.

В осветительных установках сечения распределительных проводов определяются с таким расчетом, чтобы разница между наибольшим и наименьшим напряжением у лампы была не более 2 до 3%; для зал, улиц, площадей допускается даже до 5%, однако это не рекомендуется. При установке исключительно дуговых ламп допускаются большие потери, ибо часть потребляемого условительного сопротивления может быть осуществлена сопротивлением проводов: в питающих проводах может быть допущена потеря напряжения до 10%.

В. Определение сечений проводов.

В нижеследующей таблице q представляет принятые нормальные сечения. При вычислении этой таблицы для сопротивления R принято удельное сопротивление $r = 0,0175 = 1:57$ при температуре $+15^\circ$ и для веса G — удельный вес проволоки красной меди $\gamma = 9,0$.

В нижеследующих формулах означают:

E_1 напряжение в начале и E_2 напряжение в конце провода в В, измеренное между двумя проводами,

N_1 мощность (работа, производимая в 1 сек), измеренную у E_1 в Вт,

N_2 мощность измеренную у E_2 в Вт,

R сопротивление одиночного провода, измеренное на длине от E_1 до E_2 в Ω

I силу тока в А,

q сечение одиночного провода в мм^2 ,

l длину одиночного провода в м,

α потерю мощности во всех проводах вместе в процентах вторичной мощности

φ_1 угол сдвига фаз, измеренный у E_1 ,

φ_2 " " " " " " " E_2 .

Таблица 1. Сопротивление $R = \frac{1}{57} q$ и вес G , провода красной меди, длиной 1000 м.

| q мм^2 | R Ω | G кг | q мм^2 | R Ω | G кг | q мм^2 | R Ω | G кг |
|----------------------|-----------------|--------------------|----------------------|-----------------|--------------------|----------------------|-----------------|--------------------|
| 0,75 | 23,33 | 6,7 | 25 | 0,700 | 225 | 240 | 0,0729 | 2160 |
| 1,0 | 17,50 | 9,0 | 25 | 0,500 | 315 | 300 | 0,0485 | 2700 |
| 1,5 | 11,67 | 13,5 | 30 | 0,350 | 450 | 400 | 0,0439 | 3600 |
| 2,5 | 7,00 | 22,5 | 70 | 0,250 | 630 | 500 | 0,0350 | 4500 |
| 4 | 4,38 | 36 | 95 | 0,184 | 875 | 625 | 0,0290 | 5625 |
| 6 | 2,92 | 54 | 120 | 0,146 | 1080 | 800 | 0,0219 | 7200 |
| 10 | 1,75 | 90 | 150 | 0,117 | 1350 | — | — | — |
| 16 | 1,09 | 144 | 185 | 0,093 | 1665 | 1000 | 0,0175 | 9000 |

Для алюминия сопротивление 1 км проволоки при 1 мм^2 сечения и температуре 15° составляет около 30 Ω .

а) Провода с расходом тона только в конечной точке.

Расходование тона только в конечной точке провода встречается чаще всего при передаче энергии на большие расстояния, где имеет место

у питательных пунктов больших сетей, а также часто в силовых установках, где для каждого мотора по возможности берется отдельный провод либо от станции, либо от распределительного узла. Для различных систем расчет производится следующим образом:

а) Постоянный ток.

Потери напряжения равна: $E_1 - E_2 = 2 I R$.

Потери мощности равна: $N_1 - N_2 = 2 I^2 R$.

Для сечения проводника, если исходить из потери мощности α , введем формулу:

$$q = N_2 \cdot 2 I 100 : (57 \alpha E_2^2).$$

б) Однофазный переменный ток и трехфазный ток.

Для однофазного переменного тока, при безындуктивной нагрузке, имеют место те же формулы, как и для постоянного тока. Для индуктивной нагрузки, если не принимать во внимание емкости сети и потерь на образование короны, получим для меди:

$$q = 2 N_2 I 100 : (57 \alpha E_2^2 \cos^2 \varphi_2).$$

Для трехфазного тока соответственно:

$$q = N_2 I 100 : (57 \alpha E_2^2 \cos^2 \varphi_2).$$

Отсюда следует, что расход меди для трехфазного тока при одинаковой потере мощности составляет $\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$ расхода меди для однофазного переменного тока.

Для мощности введем следующие формулы:

Для однофазного переменного тока: $N = E I \cos \varphi$;

для трехфазного: $N = E I \cos \varphi \sqrt{3}$,

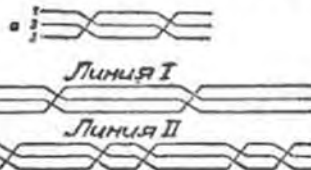
где величина $\cos \varphi$ зависит от рода приемников. Для вполне нагруженных асинхронных моторов, в зависимости от их величины и конструкции, $\cos \varphi = 0,7 - 0,9$ и выше; для слабо нагруженных моторов, в особенности тихоходных, нередко значительно меньше; для ламп накаливания, а также синхронных и компенсированных моторов, дуговых ламп немного менее 1.

Потеря напряжения для переменного и трехфазного тока составляется из омической потери напряжения, потери от самоиндукции и влияния емкости.

Приводимые ниже формулы¹⁾ соответствуют самому простому случаю передачи энергии на большое расстояние трехфазным током — передаче одной линией с симметричным расположением трех проводов соответственно фиг. 1835.

При этом введены следующие обозначения:

$E_{r1}, E_{r2}, \dots, E_{r12}$ — омическое падение напряжения на 1 км длины в проводах 1, 2 и в петле 12,



Фиг. 1835

$\epsilon_{\sigma_1}, \epsilon_{\sigma_2}, \dots, \epsilon_{\sigma_{12}}$ — индуктивное падение напряжения на 1 км длины в проводах 1, 2 и в петле 1, 2,

$r_1, r_2, r_3 = r$ — радиусы проводов 1, 2, 3 в см,

$R_1, R_2, R_3 = R$ — сопротивления проводов 1, 2, 3 в омах на 1 км длины линии,

$C_1, C_2, C_3 = C$ — емкость проводов 1, 2, 3 в фарадах на 1 км,

$I_1, I_2, I_3 = I$ — силы токов в проводах 1, 2, 3 в А,

I_1', I_2', I_3', I_c — зарядные токи в проводах 1, 2, 3 в А,

f — частота,

a_{12}, a_{23} — расстояния между проводами 1 и 2, а также между 2 и 3 в см,

h_1, h_2, h_3 — высоты проводов 1, 2, 3 над поверхностью земли в см,

h_m — средняя высота всей линии над поверхностью земли в см,

l — длина провода в см,

L — полная длина всей линии в км.

а) Омическое падение напряжения:

$$\epsilon_{r_{12}} = IR\sqrt{3},$$

б) Индуктивное падение напряжения: падение напряжения в петле 12 для трехфазного тока при $f = 50$ приблизительно равно

$$\epsilon_{\sigma_{12}} = 0,251 I \lg(a_{12} : 0,78 r).$$

в) Влияние емкости. Если принять емкость сосредоточенной в середине провода, что с достаточной точностью допустимо для напряжений до 100 кВ, то при симметричной трехфазной линии емкость каждой фазы на км длины приблизительно равна:

$$C = 0,0433 \cdot 10^{-6} : 2 \lg(a_{12} : r).$$

Зарядный ток I_c на км при фазовом напряжении E_p равен

$$I_c = 2 \pi f C E_p.$$

Ток этот протекает по половине длины провода и вызывает в петле 12 при частоте равной 50:

$$\text{омическое падение напряжения } \epsilon_{r_{12}} = \sqrt{3} I_c R : 2.$$

Индуктивное падение напряжения (приближенно)

$$\epsilon_{\sigma_{12}} = 0,126 I_c \lg(a_{12} : 0,78 r).$$

Так как индуктивное падение напряжения сдвинуто на 90° по отношению к омическому, то общее падение напряжения лучше всего определить графическим способом. Приведенные выше формулы выведены в предположении систематического изменения расположения проводов по схеме фиг. 1835а.

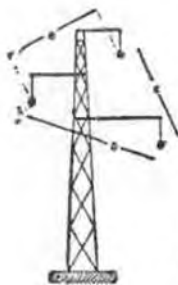
Если взаимные расстояния трех проводов различны, в формулу

должно быть введено среднее значение $A = \sqrt[3]{abc}$ (фиг. 1836).

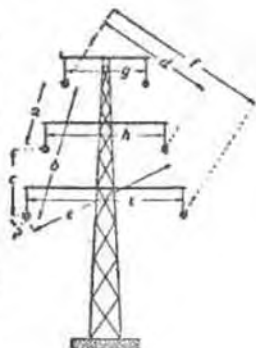
Если на одних и тех же мачтах проложены две параллельно включенные трехфазные линии, то при изменении расположения проводов по схеме фиг. 1835b влияние второй линии сводится к нулю. Если же

одинаковые фазы все время находятся на одной высоте, то, если силы токов в линиях равны, при обозначениях согласно фиг. 1837

$$A = \sqrt{(abcdef) : (ghi)}.$$



Фиг. 1836.



Фиг. 1837.

ше 60—70 км емкость вызывает значительное ухудшение коэффициента полезного действия, так что прокладка кабеля становится невыполнимой и приходится обращаться к воздушной линии.

Пример: требуется рассчитать трехфазную воздушную линию при следующих данных: среднее геометрическое расстояние проводов друг от друга: $A = 360$ см, материал проводов, алюминий $L = 100$ км, $E_2 = 100$ кВ, средняя высота проводов над поверхностью земли, учитывая также их провес, 1950 см, отдаваемая линией мощность $N_2 = 10000$ kW при $\cos \varphi_{23} = 0,8$, сила тока в конечном пункте провода $I_2 = 72,3$ А, поперечное сечение провода 120 мм², радиус провода $r = 0,7$ см, $R_1 = R_2 = R_3 = 0,25 \Omega/\text{км}$.

Для полной длины линии получают следующие значения: Омическое падение напряжения:

$$\epsilon_{r_{12}} = 100 \quad \epsilon_{r_{12}} = 1,732 \cdot 72,3 \cdot 25 = 3130 \text{ В.}$$

Индуктивное падение напряжения:

$$\epsilon_{\sigma_{12}} = 100 \quad \epsilon_{\sigma_{12}} = 100 \cdot 0,251 \cdot 72,23 \cdot \lg \frac{360}{0,78 \cdot 0,7} = 5120 \text{ В.}$$

Омическое падение напряжения от зарядного тока:

$$\epsilon_{r_{12}} = 100^2 \quad \epsilon_{r_{12}} = 10^4 \sqrt{3} I_c R : 2,$$

$$C = 0,0433 \cdot 10^{-6} : 2 \lg(a : r)$$

$$I_c = 2 \pi 50 C \cdot 100000 : \sqrt{3},$$

$$I_c = 0,15 \text{ А}; \quad \epsilon_{r_{12}} = 326 \text{ В.}$$

Индуктивное падение напряжения от зарядного тока:

$$\epsilon_{\sigma_{12}} = 100^2, \quad \epsilon_{\sigma_{12}} = 100^2 \cdot 0,126 I_c \lg(a : 0,78 r) = 533 \text{ В.}$$

[Фиг. 1838 представляет графическое изображение величины относящихся к началу линии, при чем следует заметить еще следующее:

Исходными данными являются $OA = F_2 = 100 \text{ kV}$ и φ_2 , соответствующий $\cos \varphi_2 = 0,8$. Затем надлежит провести: $AB \parallel I_2$ и $BC \perp BA$. При этом OC представляло бы первоначное напряжение, если пренебречь влиянием емкости. Так как последняя вводится в расчет как бы сосредоточенная в середине провода, то CA следует разделить пополам, D соединить с O и провести $I_c \perp OD$, чтобы получить направление зарядного тока. Далее следует провести $CF \parallel DO$ и $FG \parallel I_c$; OG представит тогда напряжение в начале линии 105 kV . Если далее сложить $OH = I_2 = 72,3 \text{ A}$ и $OK = 15 \text{ A}$, то по ним может быть определено $OL = I_1 = 63,9 \text{ A}$ и φ_1 соответственно $\cos \varphi_1 = 0,892$. Таким образом зарядный ток значительно уменьшил полную силу тока].

Фиг. 1838.

Если наданные напряжения при длинных проводах оказываются чрезмерно велики, то, помимо увеличения поперечного сечения проводов, нужно разделить их на две параллельные ветви, благодаря чему уменьшится самоиндукция линии.

К указанным потерям присоединятся еще, при длинных проводах и высоких напряжениях потери на корону и утечку, обусловленную несовершенством изоляции. Потери на корону возникают в тех случаях, когда сила электрического поля на поверхности провода превышает известное критическое значение, зависящее от величины напряжения, расстояния проводов на мачтах и диаметра воздушного кабеля: кроме того оказывает влияние на образование короны высота линии над уровнем моря, погода и температура воздуха. То напряжение, при котором на проводе появляются разряды, называется напряжением тления или разрядным напряжением (E_0); напряжение, при котором наступает пробой изоляции, называется пробивным или критическим напряжением (E_0').

Пик (Реек) дает для этих величин следующие выражения:

$$E_0 = k_a \sqrt{3} \cdot 21,1 [(1 + 0,3 \sqrt{\delta r})]^{0,5} \ln(A:r) \text{ kV};$$

$$E_0' = k_0 \sqrt{3} \cdot 21,1 \delta r \ln(A:r) \text{ kV}.$$

Здесь:

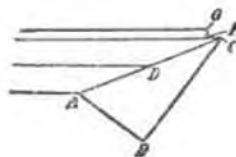
$\delta = 3,92 b: (273 + t)$ = плотности воздуха при давлении в b см и температуре воздуха t ; при $b = 76 \text{ см}$ и $t = 25^\circ$ $\delta = 1$,

r = радиус воздушного кабеля в см,

A = среднее геометрическое расстояние между проводами в см,

$k_a = 0,72$ до $0,82$,

$k_0 = 0,93$ до $0,98$ для провода и от $0,83$ до $0,87$ для кабеля.



В дурную погоду, в особенности при тумале, $E_0' = 0,8 E_0$.

Потери на корону Nko для трехфазной воздушной линии из трех кабелей составляет:

$$N_{k0} = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{A}} (E - E_0)^2 \cdot 10^{-5} \text{ kW/km},$$

где f обозначает частоту.

Потери на утечку должны приниматься во внимание только при очень высоких напряжениях. При этом можно принимать:

| | | |
|------------|----------------|----------|
| при 100 kV | N_{w0} около | 1 kW/km, |
| " 150 " | N_{w0} " | 2 " |
| " 200 " | N_{w0} " | 4 " |

б) Провода с ответвлениями тока во многих местах по длине.

1. Постоянный ток. Если ток расходится в различных точках вдоль сети, то наибольшая потеря напряжения, т.е. потери от точки питания O до конечной точки X (фиг. 1839), будет:

$$E_0 - E_x = 2 [(i_1 + i_2 + i_3) r_1 + (i_2 + i_3) r_2 + i_3 r_3] = 2 (i_1 r_1 + i_2 (r_1 + r_2) + i_3 (r_1 + r_2 + r_3)),$$

где r_1, r_2, \dots — сопротивления отрезков одиночного проводника длиной l_1, l_2, \dots

Формула эта имеет вид уравновешивающих моментов для бруса, закрепленного в O и нагруженного тремя грузами i_1, i_2, i_3 на расстояниях r_1, r_2, r_3 . Отсюда следует, что потерю напряжения можно определять также при помощи силового и веревочного многоугольника (том I, отд.; 2) фиг. 1839 дает соответствующее построение (относительно выбора масштаба см. стр. 1398).

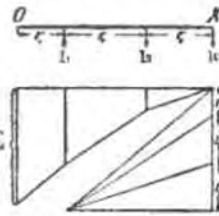
При постоянном сечении проводника и равных расстояниях между отдельными местами расходования тока потеря напряжения до X равна потере, которая имела бы место в середине проводника, если бы в этой средней расходовалась сумма всех отдельных токов. Этим свойством можно пользоваться для предварительных приблизительных расчетов.

2. Однофазный переменный и трехфазный ток. Пользуясь соответственным образом приведенным на стр. 1393 и след. формулами для переменного и трехфазного тока, можно указав, сделанные для постоянного тока, применять также к обоим названным системам. Для $\cos \varphi$ следует при этом принять среднее из значений его в отдельных пунктах расхода тока.

в) Сомкнутые сети проводов.

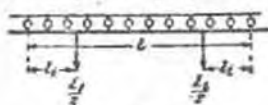
1. Постоянный ток. Одинаковое напряжение во всех питающих пунктах (правило для осветительных сетей).

Питательные провода рассчитываются по данным, приведенным на стр. 1393 и след. Распределительные провода, расположенные между питающими пунктами, рассчитываются следующим образом:



Фиг. 1839.

Если ответвления (лампы и тому подобное) распределены по проводнику равномерно, то наибольшая потеря напряжения Δe (обозначения по фиг. 1840) для прямого и обратного проводов:



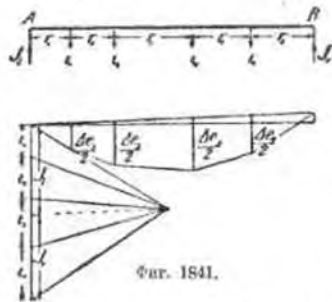
фиг. 1840.

$$\Delta e = 2 \frac{\sum i r}{2 \cdot 4}$$

где $\sum i$, —сумма токов, отсвляемых на длине l , а r —сопротивление провода l .

Если отдача тока распределяется неравномерно, то наибольшую потерю напряжения лучше всего определять графически (фиг. 1841).

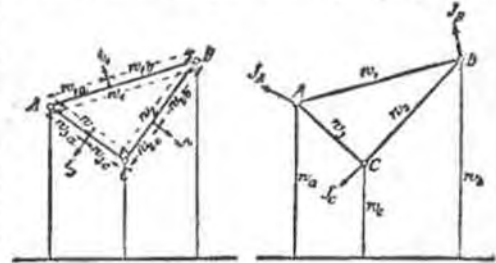
[Имеем для i_1, i_2, \dots , как сил, и для r_1, r_2, \dots , как расстояний между ними, силовой и веревочный многоугольники (см. ч. I, отд. 2, D). Ординаты веревочного многоугольника представляют потери напряжения; их следует измерять от замыкающей стороны многоугольника. За полюсное расстояние принимаем единицу или кратное единицы. Если для r_1, r_2, \dots приняты кривые длины, то потери как для переменного тока, так и для постоянного тока, для прямого и обратного проводов вместе будут в два раза больше. Если, например, отложить: $1 A = 0,5 \text{ вт}$, $1 \Omega = 100 \text{ вт}$, полюсное расстояние = 50 вт, то ординаты веревочного многоугольника дадут для $\frac{100 \cdot 0,5}{50} = 1 \text{ вт} = 1 \text{ V}$; для прямого и обратного проводника, при постоянном и переменном токе = 2 V , при трехфазном токе = $1,732 \text{ V}$. Линия, параллельная замыкающей стороне, дает в силовом многоугольнике силы токов I_i и I_r , которые протекают к A и B .]



фиг. 1841.

питательный пункт. Удобство этого способа заключается в том, что излучается ряд схем для силы тока отдельных пунктов, которые могут быть легко проверены. Накладывая полученные схемы одну на другую, получим окончательное распределение сил тока.

[П р и м е р. Пусть на фиг. 1842 дана сеть проводов для расчета. Ток i_1 можно разложить на ток $i_1 w_a : w_a$ в A и ток $i_1 w_b : w_b$ в B , ток i_2 на ток $i_2 w_c : w_c$ в C и ток i_3 на ток $i_3 w_c : w_c$ в A и ток $i_3 w_b : w_b$ в C ; получаем схему фиг. 1843. Схема первоначально рассчитывается так, как будто существует только ток I_A . Величина I_A распределяется тогда соответственно общим проводимостям путей тока, ведущих от центральной станции до A , т.е. соответственно значениям



фиг. 1842.

фиг. 1843.

$$\frac{1}{w_a}, \frac{1}{w_b + [1 : w_1] + [1 : (w_2 + w_3)]}, \frac{1}{w_c + [1 : w_3] + [1 : (w_1 + w_2)]}$$

по трем питательным проводам в подобном же образом на три распределительные провода.

Таким же образом производится расчет схем для случаев, когда предполагается существующим только I_B и соответственно I_C .

Главным образом необходимо определять проводимость путей, ведущих от центральной станции в отдельные питательные пункты. Когда эти значения, число которых при n питательных пунктах равно n^2 , определены и занесены в таблицу, то дальнейшие расчеты производятся легко.

2. Однофазный переменный и трехфазный ток. Сила относится изложенное на стр. 1397.

С. Выполнение сетей проводов.

а) Воздушные линии.

Для сечения проводов, числа отдельных проволок и их диаметров установлены нормальные величины.

Таблица 2. Максимально допустимое напряжение на разрыв.

| | |
|---|------------------------|
| Медный проводник | 12 кг/мм ² |
| Будий кабель (общие экзе. напряжение 12 и 16 кг/мм ²) | 10 " |
| Алюминиевый кабель (на проволоки крученые 13 кг/мм ²) | 9 " |
| " " " " " " 17 кг/мм ² | 8 " |
| " " " " " " 15-16 кг/мм ² | 6-7 кг/мм ² |

Расчет должен быть произведен дважды: один раз при температуре -20° без дополнительной нагрузки, второй раз при температуре -5° с дополнительной нагрузкой, вызываемой ветром или гололедом. Дополнительная нагрузка принимается действующей в направлении силы тяжести, величина ее принимается $180 \sqrt{d}$ в г на 1 м провода, где d — диаметр провода в мм. В отношении максимального провеса следует учесть его при -5° в дополнительной нагрузке, а также при $+40^\circ$ без дополнительной нагрузки.

Таблица 3. Нормативные свойства материалов для проводов и формулы для вычисления

| Материалы проводов | Собственный вес δ кг/см ² | Тепловой коэффициент удлинения θ для 1° | Механический коэффициент удлинения α см ² /кг |
|---|--|---|--|
| Медь | $8,9 \cdot 10^{-3}$ | $1,7 \cdot 10^{-5}$ | $\frac{1}{1,3 \cdot 10^6}$ |
| Бронза крепостью 7 000 кг/см ² . | $8,65 \cdot 10^{-3}$ | $1,66 \cdot 10^{-5}$ | $\frac{1}{1,3 \cdot 10^6}$ |
| Алюминий | $2,73 \cdot 10^{-3}$ | $2,3 \cdot 10^{-5}$ | $\frac{1}{0,715 \cdot 10^6}$ |
| Сталь | $7,95 \cdot 10^{-3}$ | $1,1 \cdot 10^{-5}$ | $\frac{1}{2,2 \cdot 10^6}$ |
| Железо крепостью 4 000 кг/см ² | $7,79 \cdot 10^{-3}$ | $1,23 \cdot 10^{-5}$ | $\frac{1}{1,9 \cdot 10^6}$ |

Критический пролет.

$$x_p = p_{\max} \sqrt{24 \theta (t_0 - t) : (\rho_{\max}^2 - \rho^2)} \text{ см.}$$

Здесь введены обозначения:

p_{\max} — выбранному максимальному напряжению в кг/см²; $t_0 = -5^\circ$; $t = -20^\circ$; $\rho_{\max} = \rho + \zeta$; $\rho = \delta$; ζ — дополнительной нагрузке в кг/см².

При всех пролетах больших, чем x_p , максимальное напряжение проявляется при -5° и дополнительной нагрузке, при пролетах меньше x_p — при -20° .

Напряжения и провес.

Твердая медь:

$$t = 0,194 \cdot (x^2 : p^2) - 0,0152 p - 2450 x^2 \cdot (\rho_0^2 : p_0^2) + 0,0452 p_0 + t_0;$$

$$f = 11,1 \cdot 10^{-4} \cdot (x^2 : p).$$

Бронза:

$$t = 0,188 \cdot (x^2 : p^2) - 0,0464 p - 2500 x^2 \cdot (\rho_0^2 : p_0^2) + 0,0464 p_0 + t_0;$$

$$f = 10,8 \cdot 10^{-4} \cdot (x^2 : p).$$

Алюминий:

$$t = 0,0137 \cdot (x^2 : p^2) - 0,0610 p - 1815 x^2 \cdot (\rho_0^2 : p_0^2) + 0,0610 p_0 + t_0;$$

$$f = 3,44 \cdot 10^{-4} \cdot (x^2 : p).$$

Сталь:

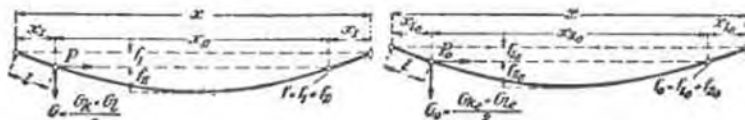
$$t = 0,240 \cdot (x^2 : p^2) - 0,0415 p - 3780 x^2 \cdot (\rho_0^2 : p_0^2) + 0,0415 p_0 + t_0;$$

$$f = 9,95 \cdot 10^{-4} \cdot (x^2 : p).$$

Железо:

$$t = 0,205 \cdot (x^2 : p^2) - 0,0428 p - 3400 x^2 \cdot (\rho_0^2 : p_0^2) + 0,0428 p_0 + t_0;$$

$$f = 9,75 \cdot 10^{-4} \cdot (x^2 : p).$$



Фиг. 1844.

Фиг. 1845.

Определение наиболее низкой точки провода при расположении точек подвеса на различной высоте (фиг. 1846).

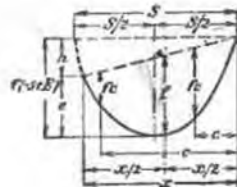
$$s = x + \frac{2 p_{\max} h}{\rho_{\max} \alpha},$$

$$f - s + E = \frac{\rho_{\max} s^2}{8 p_{\max}},$$

$$f = \rho x^2 : 8 p \text{ (при любой температуре)}$$

$$e = (f - h : 4)^2 : f$$

$$f_c = 4 f \cdot c : (x - c)^2.$$



Фиг. 1846.

Определение напряжений и провеса при гирлядах оттяжных изоляторов (ср. Guerdnt, ETZ, 1922, Noft 5).

1. Исходное состояние -5° и дополнительная нагрузка фиг. 1845; состояние при различных температурах (без дополнительной нагрузки) фиг. 1844.

$$t = \left(x - \frac{2 Pl}{\sqrt{I^2 + G^2}} \right) \left(1 + \frac{q^2 \rho^2 x^2 \Pi_0}{24 I^2} \right) : \theta l_{\Pi_0} - \frac{\alpha P}{\theta g} + \frac{\alpha P_0}{\theta g} - \frac{1}{\theta} + t_0.$$

Здесь введены обозначения:

I — содействующая нагрузка P кабеля температура в $^\circ$,

$t_0 = -5^\circ$, x — пролет в см,

ρ — горизонтальное напряжение по покрытому льдом кабеля при любой температуре в кг,

P_0 — горизонтальное напряжение покрытого льдом кабеля при -5° ,

l — длина гирлянды изоляторов в см,

$G = (G_k + G_l) : 2$ в кг.

G_k — вес гирлянд изоляторов в кг,

G_l — вес провода в кг,

q — поперечное сечение кабеля в см²,

ρ — вес кабеля в кг/см³,

$x_{II_0} = x - (\rho P_0 l : \sqrt{P_0^2 + G_0^2})$ — пролет между точками подвеса кабеля к гирляндам при -5° и дополнительной нагрузке в см,

$G_0 = G_k + G_l + 2 \text{ в кг}$,

$G_{l_0} = G_k + 0,05 l$ — вес обледенелой гирлянды в кг, при чем вес льда принят 5 кг на погонный метр двутной гирлянды,

$G_{l_0} = \rho_0 q x$ — вес обледенелого кабеля в кг,

ρ_0 — вес обледенелого кабеля в кг/см³,

$l_{II_0} = x_{II_0} (1 + \rho^2 q^2 x_{II_0}^2) : 24 P_0^2$ — длина кабеля для пролета x_{II_0} в см,

α — температурный коэффициент расширения см²/кг,

β — линейный коэффициент удлинения для 1°.

Стрелы провеса, соответствующие температурам, определенным по заданным различным значениям P , могут быть определены из следующих уравнений:

$f_{II_0} = \rho_0 q x_{II_0}^2 : 8 P_0$ — провес кабеля при -5° и дополнит. нагр., в см,

$f_{II} = \rho_0 q x_{II_0} x_{II} : 8 P$ — провес кабеля при температуре, соответствующей произвольному натяжению P кабеля, в см,

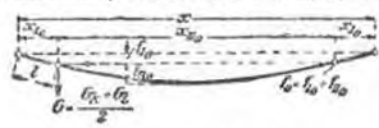
$x_{II} = x - (2Pl : \sqrt{P^2 + G^2})$ — пролет между точками подвеса кабеля к гирляндам при температуре, соответствующей произвольному натяжению P кабеля, в см,

$f_1 = G_0 l : \sqrt{P_0^2 + G_0^2}$ — провес гирлянды при -5° и дополнительной нагрузке, в см,

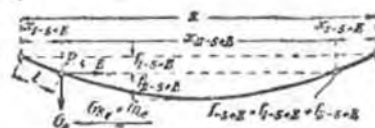
$f_1 = Gl : \sqrt{P^2 + G^2}$ — провес гирлянды при температуре, соответствующей произвольному натяжению P кабеля — в см,

$f_0 = f_{I_0} + f_{II_0}$ — общий провес при -5° и дополнительной нагрузке, в см,

$f = f_1 + f_{II}$ — общий провес при температуре, соответствующей произвольному натяжению P кабеля, в см,



Фиг. 1847.



Фиг. 1848.

2. Исходное состояние -20° без дополнительной нагрузки (Фиг. 1847); состояние при различных температурах (Фиг. 1844); состояние при -5° и дополнительной нагрузке (Фиг. 1848).

Этот расчет необходим, так как определение критической величины пролета слишком затруднительно; когда при расчете по пункту 1 оказывается, что напряжение кабеля при -20° без дополнительной нагрузки выше, чем при -5° и дополнительной нагрузке, тогда расчет должен

быть проделан снова для исходного состояния -20° без дополнительной нагрузки.

Температуры могут быть определены по тому же уравнению, как в пункте 1, но следующие величины принимают иные значения:

$t_0 = -20^\circ$,

P — горизонтальное напряжение необледенелого кабеля при -20° , в кг,

$x_{II_0} = x - (2P_0 l : \sqrt{P_0^2 + G^2})$ — пролет между точками подвеса кабеля к гирляндам при -20° , в см,

$l_{II_0} = x_{II_0} (1 + \rho^2 q^2 x_{II_0}^2) : 24 P_0^2$ — длина кабеля для пролета x_{II_0} в см.

Из уравнений для определения провеса меняются следующие:

$f_{II_0} = \rho p x_{II_0}^2 : 8 P_0$ — провес кабеля при -20° без дополнительной нагрузки, в см,

$f_{I_0} = Gl : \sqrt{P_0^2 + G^2}$ — провес гирлянды при -20° без дополнительной нагрузки, в см.

Так как при применении оттяжных изоляторов наибольший провес получается всегда при -5° и дополнительной нагрузке, ниже даны уравнения для определения напряжения и провеса при -5° и дополнительной нагрузке для случая, когда наибольшее напряжение кабеля получается при -20° без дополнительной нагрузки (Фиг. 1848):

$$t = \frac{\left(x - \frac{2P_{-5+E} l}{\sqrt{P_{-5+E}^2 + G_0^2}} \right) \left(1 + \frac{\rho_0^2 q^2 x_{II_0}^2}{24 P_{-5+E}^2} \right)}{\beta l_{II_0} - \frac{\alpha P_{-5+E}}{\vartheta q} + \frac{\alpha P_0}{\vartheta q} - \frac{1}{\vartheta} + t_0}.$$

Кроме упомянутых уже обозначений здесь введены:

P_{-5+E} — горизонтальное натяжение обледенелого кабеля при -5° в кг.

G_0 } как в п. 1.

Из этого уравнения определяется, лучше всего графическим путем, подставляя различные значения P_{-5+E} , значение, соответствующее температуре -5° . Тогда для провеса кабеля при -5° и дополнительной нагрузки будем иметь:

$$f_{II-5+E} = \frac{q \rho_0 x_{II_0} (x - 2P_{-5+E} l : \sqrt{P_{-5+E}^2 + G_0^2})}{8 P_{-5+E}},$$

Провес гирлянды при -5° и дополнительной нагрузке:

$$f_1 = G_0 l : \sqrt{P_{-5+E}^2 + G_0^2},$$

$$f = f_{I-5+E} + f_{II-5+E}.$$

3. Определение провеса в точке пересечения между линиями электропередач и сетями связи (телеграф, телефон и прочее).

К пункту 1. При максимальном провесе f_0 — провес в расстоянии s см от мачты — составляет:

$$f_0 = f_{10} + \frac{4 f_{10} (c - x_{10}) (x - c - x_{10})}{x_{10}^2}$$

$$x_{10} = P_0 l : \sqrt{P_0^2 + G_0^2}$$

К пункту 2. При максимальном провесе f_{-5+E} провес в расстоянии s см от мачты составляет:

$$f_0 = f_{-5+E} + \frac{4 f_{-5+E} (c - x_{-5+E}) (x - c - x_{-5+E})}{x_{-5+E}^2}$$

$$x_{-5+E} = \frac{P_{-5+E} l}{\sqrt{P_{-5+E}^2 + G_0^2}}$$

Таблица 4. Максимальные провесы в см для медного кабеля.

а) при допустимом напряжении 16 kg/mm².

| Пролет в м | Поперечное сечение мм ² | | | | | | | |
|---------------|------------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 |
| 20 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 40 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 60 | 95,5 | 77 | 66 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| 80 | 170 | 136 | 117 | 106 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 100 | 256 | 213 | 182 | 161 | 149 | 142 | 140 | 140 |
| 120 | 383 | 306 | 261 | 231 | 211 | 199 | 191 | 186 |
| 140 | 521 | 416 | 356 | 311 | 283 | 264 | 254 | 245 |
| 160 | 651 | 546 | 465 | 405 | 366 | 340 | 325 | 313 |
| 180 | 861 | 690 | 580 | 508 | 458 | 423 | 402 | 386 |
| 200 | 1053 | 850 | 721 | 627 | 561 | 518 | 490 | 470 |
| 220 | — | 1025 | 875 | 757 | 674 | 619 | 586 | 560 |
| 240 | — | 1222 | 1040 | 901 | 801 | 732 | 692 | 660 |

б) при допустимом напряжении 12 kg/mm².

| Пролет в м | Поперечное сечение мм ² | | | | | | | |
|---------------|------------------------------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
| | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 |
| 20 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 20,5 |
| 40 | 60,5 | 52 | 49,5 | 49,5 | 49,5 | 49,5 | 49,5 | 49,5 |
| 60 | 123 | 112 | 93,5 | 90 | 83,5 | 83,5 | 83,5 | 83,5 |
| 80 | 233 | 180 | 167 | 150 | 138,5 | 131 | 127,5 | 127,5 |
| 100 | 361 | 292 | 254 | 225 | 205 | 193 | 185 | 179,5 |
| 120 | — | 418 | 361 | 318 | 288 | 267 | 255 | 245,5 |
| 140 | — | 567 | 487 | 425 | 383 | 355 | 337 | 323 |
| 160 | — | 735 | 631 | 550 | 491 | 452 | 429 | 410 |
| 180 | — | 928 | 793 | 690 | 614 | 565 | 533 | 508 |
| 200 | — | 1144 | 977 | 846 | 752 | 690 | 650 | 619 |
| 220 | — | — | — | — | 907 | 827 | 778 | 740 |
| 240 | — | — | — | — | 1075 | 978 | 920 | 874 |

Таблица 5. Максимальные провесы в см для алюминиевого кабеля а) при допустимом напряжении 9 kg/mm².

| Пролет в м | Поперечное сечение мм ² | | | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----|------|------|------|------|-----|
| | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 |
| 20 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 40 | 46,1 | 44 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| 60 | 104 | 85 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 80 | — | 150 | 123 | 106 | 103 | 103 | 103 |
| 100 | — | 236 | 182 | 164 | 148 | 137 | 137 |
| 120 | — | 340 | 276 | 230 | 205 | 188 | 178 |
| 140 | — | 461 | 376 | 312 | 276 | 251 | 234 |
| 160 | — | 605 | 456 | 405 | 355 | 323 | 299 |
| 180 | — | 765 | 617 | 511 | 445 | 403 | 372 |
| 200 | — | 944 | 764 | 630 | 547 | 492 | 454 |
| 220 | — | — | 919 | 760 | 656 | 590 | 541 |
| 240 | — | — | 1055 | 903 | 774 | 700 | 640 |
| 260 | — | — | 1286 | 1058 | 911 | 816 | 745 |
| 280 | — | — | 1437 | 1225 | 1054 | 941 | 867 |
| 300 | — | — | 1709 | 1405 | 1207 | 1076 | 980 |

б) при допустимом напряжении 7 kg/mm².

| Пролет в м | Поперечное сечение мм ² | | | | | | |
|---------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | 25 | 35 | 50 | 70 | 90 | 120 | 150 |
| 20 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 40 | 67 | 59 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| 60 | 141,5 | 121,5 | 104 | 92 | 91 | 91 | 91 |
| 80 | — | 216,5 | 173 | 150 | 137 | 128 | 128 |
| 100 | — | 316,5 | 262 | 222,5 | 200 | 185,5 | 175 |
| 120 | — | 449 | 370,5 | 312 | 276,5 | 254 | 238 |
| 140 | — | 613,5 | 497 | 415,5 | 366 | 334 | 310 |
| 160 | — | — | — | 535 | 468,5 | 425,5 | 393 |
| 180 | — | — | — | 670 | 584,5 | 529 | 496 |
| 200 | — | — | — | 823,5 | 714,5 | 644 | 590 |
| 220 | — | — | — | — | 857 | 769 | 704 |
| 240 | — | — | — | — | 1014 | 909 | 828 |

Таблицы эти, дающие максимальные значения провеса, должны быть положены в основу расчета высоты мачт, но не могут быть применены для расчета проводов, для чего служат приведенные выше формулы или специальные таблицы, названные M. Jäger, Berlin № 31, Bernauer Str. 96.

Соединение (сращивание) проводов. Провода, подверженные механическим напряжениям, должны обладать 90% крепости кабеля. Если они служат в то же время электрическим соединением между проводами, то они должны быть рассчитаны, в особенности при железных и алюминиевых проводах, на максимальную возможную в проводе силу тока. Соединения пайкой хотя и допустимы, но должны быть разгружены от растяжения. Кроме соединения клеммами или заклепками, может быть применено соединение с засечками по фиг. 1849. На подлежащие соеди-