

31.21
K45

В. Е. КИТАЕВ
Ю. А. РУЖИЦКИЙ

☐ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
☐ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ
☐ ОБОРУДОВАНИЕ
☐ КИНОУСТАНОВОК



31,21
845

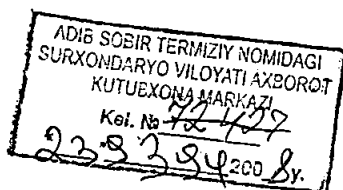
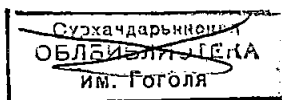
КИТАЕВ В. Е.,

РУЖИЦКИЙ Ю. А.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КИНОУСТАНОВОК

Одобрено Ученым советом Государственного комитета Совета Министров СССР по профессионально-техническому образованию в качестве учебного пособия для профессионально-технических учебных заведений

239394



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1971

Китаев В. Е. и Ружицкий Ю. А.

К45 Электротехника и электротехническое оборудование киноустановок. Учеб. пособие для профес.-технич. учебных заведений. М., «Высш. школа», 1971.

336 с. с илл.

В книге содержатся сведения о законах постоянного тока, источниках света, электромагнетизме, электрическом поле, конденсаторах, переменном однофазном и трехфазном токе, электрических машинах, выпрямителях, стабилизаторах напряжения, электрооборудовании киноустановок.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для подготовки киномехаников второй категории в профессионально-технических учебных заведениях, а также может быть использована широким кругом читателей при самоподготовке.

3—3—8
36—71

6П2.1

Все замечания и предложения просим направлять по адресу:
Москва, К-51, Неглинная, 29/14, издательство «Высшая школа».

Введение

Электротехникой называется наука о производстве, преобразовании, передаче и применении электрической энергии. Вырабатывается электрическая энергия на электростанциях, которые строятся в местах, имеющих природные запасы энергии (горючие ископаемые, падение воды, приливы). Многие электростанции работают также на привозном топливе.

Достоинствами электрической энергии являются возможность передачи ее на большие расстояния и способность легко преобразовываться в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую и т. д.). Применение электрической энергии облегчает условия труда и позволяет совершенствовать процесс производства. Каждый год вводятся в строй новые автоматические линии, цехи и заводы-автоматы, освобождающие людей от тяжелого физического труда.

В дореволюционной России вследствие ее экономической отсталости электротехническая промышленность была слабо развита. В 1913 г. мощность всех электростанций России составляла 1,1 млн. *квт*, а выработка электроэнергии — около 2 млрд. *квт·ч*, тогда как в США в этот год было выработано 25 млрд. *квт·ч* электроэнергии.

В развитие электротехники большой вклад внесли русские ученые и инженеры. В 1802 г. профессор физики Петербургской академии наук В. В. Петров открыл явление электрической дуги и разработал технологию ее применения для плавки металлов. В 1832 г. П. Л. Шиллинг изобрел стрелочный телеграф, на основе которого в 1839 г. академик Б. С. Якоби сконструировал телеграфный аппарат пишущего типа. В 1833 г. академик Э. Х. Ленц открыл один из основных законов электромагнитной индукции, а в 1842 г. точными экспериментами обосновал закон о тепловом действии тока.

В 1834 г. Б. С. Якоби изобрел первый электродвигатель, а в 1838 г. разработал процесс гальванопластики, положивший начало практическому применению химического действия электрического тока.

В 1876 г. П. Н. Яблочков создал электрическую свечу. Работая над совершенствованием электрических источников света, А. Н. Лодыгин в 1873 г. создает лампу накаливания с угольной нитью, а несколько позднее (в 1890 г.) — с металлической нитью. Лампа

накаливания с металлической нитью и в настоящее время является наиболее распространенным электрическим источником света.

Изобретателем первого трехфазного двигателя, генератора и трансформатора был русский инженер М. О. Доливо-Добровольский. В 1895 г. А. С. Попов изобрел радиотелеграф.

Быстрое развитие электротехнической промышленности нашей Родины началось после Великой Октябрьской социалистической революции.

По инициативе В. И. Ленина в 1920 г. был разработан план электрификации России — план ГОЭЛРО (Государственной комиссии по электрификации России). План ГОЭЛРО предусматривал реконструкцию старых и строительство 30 новых районных электростанций. Общую выработку электроэнергии намечалось довести до 8,8 млрд. *квт·ч*. В 1922 г. была пущена Каширская ГРЭС, в 1925 г. — Горьковская и Шатурская электростанции, в 1926 г. — Волховская ГЭС, а в 1927 г. начато строительство Днепровской ГЭС. По основным показателям план ГОЭЛРО, рассчитанный на 15 лет, был выполнен к 1931 г.

Во время Великой Отечественной войны немецко-фашистские войска разрушили свыше 60 крупных электростанций, восстановление которых было начато еще в годы войны, и уже в 1945 г. мощность электростанций достигла довоенного уровня.

В июне 1954 г. была пущена первая в мире атомная электростанция, а в 1958 г. — первая очередь самой крупной атомной электростанции мощностью 600 000 *квт*.

В настоящее время в Советском Союзе построены самые мощные в мире тепловые и гидравлические электростанции, успешно используются установки магнитно-гидродинамического преобразования тепловой энергии в электрическую, а в 1969 г. пущена в строй первая в нашей стране приливная электростанция (ПЭС).

Электрическая энергия в технике кино применяется для питания выпрямительной, силовой и звуковоспроизводящей аппаратуры, приведения в действие различных механизмов и дистанционного управления ими, создания мощного светового потока, необходимо-го для проецирования изображения на экране.

Качество кинопоказа определяется формой и размерами зрительного зала, состоянием аппаратуры и кинотехнического оборудования, качеством электрического монтажа, соблюдением правил эксплуатации аппаратуры и оборудования.

Пособие предназначено для ознакомления учащихся профессионально-технических учебных заведений с основными разделами курса электротехники и с электротехническим оборудованием киноустановок.

Введение и главы I, III — VI, VIII написаны Китаевым В. Е., главы II, VII, IX — XIV — Ружицким Ю. А.

Глава I ПОСТОЯННЫЙ ТОК

§ 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Простейшая электрическая цепь (рис. 1) содержит источник электрической энергии Γ , приемник энергии Π и два линейных провода $\mathcal{L}_1$ и $\mathcal{L}_2$, соединяющих источник с приемником энергии. Провода присоединяются к источнику энергии при помощи двух зажимов, называемых положительным (+) и отрицательным (—) полюсами источника энергии.

Источник электрической энергии преобразует механическую, химическую, тепловую или другую энергию в электрическую. В приемнике происходит преобразование электрической энергии в энергию другого вида — механическую, тепловую, химическую, световую и др.

В качестве источников электрической энергии служат генераторы (электрические машины, приводимые в движение какими-либо механическими двигателями), аккумуляторы, гальванические элементы, с устройством которых мы ознакомимся в дальнейшем, и др. Приемниками электрической энергии являются осветительные лампы, электрические двигатели, электронагревательные приборы и пр.

Генераторы постоянного тока, аккумуляторы и гальванические элементы условно обозначаются так, как показано на рис. 2, а, б.

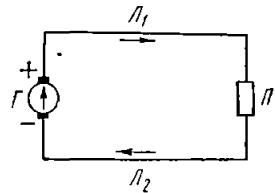


Рис. 1. Простейшая электрическая цепь:

Γ — источник электрической энергии, Π — приемник энергии, $\mathcal{L}_1$ и $\mathcal{L}_2$ — линейные провода

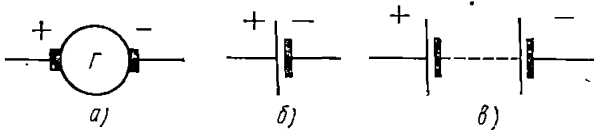


Рис. 2. Условные обозначения:

а — генератор постоянного тока, б — аккумулятор и гальванический элемент, в — батарея аккумуляторов и гальванических элементов

Из гальванических элементов и аккумуляторов составляют соответственно батареи гальванических элементов и батареи аккумуляторов. Батарею, состоящую из нескольких элементов, соединенных последовательно, обозначают так, как показано на рис. 2, в.

Источник электрической энергии, присоединенные к нему линейные провода и приемник энергии образуют замкнутую электрическую цепь, в которой происходит непрерывное движение электрических зарядов, называемое электрическим током.

Постоянный ток в проводниках представляет собой установившееся поступательное движение свободных электронов в замкнутой цепи.

Сила тока, протекающего в двух проводниках, отстоящих друг от друга на определенном расстоянии, вызывает возникновение механических сил, действующих на эти проводники. Единицей-измерения силы тока является ампер (а). В Международной системе единиц (СИ) ампер — сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызвал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ единиц силы Международной системы на каждый метр длины.

Единицей силы в Международной системе единиц является ньютон (н), равный $1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{сек}^2}$, где кг — килограмм массы, м — метр, сек — секунда.

Электрический ток определяет количество электричества, протекающего через поперечное сечение проводника в единицу времени. Если в проводнике протекает ток силой 1 а, то через поперечное сечение этого проводника в течение одной секунды протекает 1 кулон (к) электричества.

При силе тока I в проводнике за время t через поперечное сечение проводника протекает количество электричества

$$Q = It.$$

Отсюда сила тока

$$I = \frac{Q}{t}.$$

Эта зависимость справедлива для случая, когда в течение времени t сила тока остается неизменной.

Таким образом, если через поперечное сечение проводника протекает 40 к электричества за 5 сек, то сила тока в цепи

$$I = \frac{40}{5} = 8 \text{ а}.$$

Линейные провода и приемник энергии в совокупности составляют внешнюю цепь, в которой ток протекает от положительного полюса к отрицательному.

Внутри источника энергии, или, иначе, во внутренней цепи, ток возникает под действием электродвижущей силы и протекает от отрицательного полюса источника энергии к положительному.

§ 2. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА

В замкнутой цепи электрический ток протекает под действием электродвижущей силы (э. д. с.) источника энергии. Таким образом, электродвижущая сила является причиной, вызывающей и поддерживающей электрический ток в замкнутой электрической цепи.

Электродвижущая сила возникает в источнике тока и при отсутствии тока в цепи, т. е. когда цепь разомкнута. При холостом ходе, т. е. при отсутствии тока в цепи, э. д. с. равна напряжению на зажимах источника энергии. Так же как и разность потенциалов, э. д. с. измеряется в вольтах (в).

Как при замкнутой, так и при разомкнутой электрической цепи э. д. с. непрерывно поддерживает напряжение на зажимах источника энергии. Для непрерывного протекания тока в замкнутой цепи необходимо движение зарядов внутри источника тока в направлении, обратном действию сил поля. Такое перемещение зарядов происходит за счет энергии, вырабатываемой источником тока. Поэтому э. д. с. численно равна энергии, сообщаемой источником тока единичному положительному заряду. Если количеству электричества Q (к) источник тока сообщает энергию W (в джоулях — дж), то э. д. с. источника энергии

$$E = \frac{W}{Q} \text{ в.}$$

Так как $W = Pt$ и $Q = It$, где P — мощность, развиваемая источником тока, в ваттах (вт), I — сила тока в амперах, t — время в секундах, то

$$E = \frac{P}{I} \text{ в.}$$

т. е. электродвижущей силой может быть названо отношение мощности, развиваемой источником тока, к силе тока. Если в замкнутой электрической цепи сила тока 5 а, а источник тока развивает мощность 200 вт, то э. д. с.

$$E = \frac{200}{5} = 40 \text{ в.}$$

В наличии э. д. с. можно убедиться путем присоединения к полюсам источника энергии (вместо линейных проводов) прибора, называемого вольтметром. При этом стрелка — указатель вольтметра отклонится на некоторый угол. Отклонение будет тем больше, чем больше э. д. с. источника энергии. Однако вольтметр покажет не величину э. д. с., а напряжение на зажимах источника тока, которое, так же как и э. д. с., измеряется в вольтах.

При измерении высоких напряжений пользуются единицей, называемой киловольт (кв). Киловольт в тысячу раз больше вольта, т. е. $1 \text{ кв} = 1000 \text{ в}$. Для выражения малых величин э. д. с. применяют милливольт (мв), который в тысячу раз меньше вольта, т. е. $1 \text{ мв} = 0,001 \text{ в}$.

§ 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Направленному движению электрических зарядов в любом проводнике препятствуют встречающиеся на пути молекулы и атомы проводников. Поэтому как внешняя цепь, так и сам источник энергии оказывают препятствие прохождению тока. Величина, характеризующая сопротивляемость электрической цепи прохождению электрического тока, называется электрическим сопротивлением (или, короче, сопротивлением).

Источник электрической энергии, включенный в замкнутую электрическую цепь, расходует энергию на преодоление сопротивления внешней и внутренней цепей.

Электрическое сопротивление обозначается буквой r и на схемах изображается так, как показано на рис. 3, а.

Единицей измерения сопротивления является ом. Ом — электрическое сопротивление такого линейного проводника, в котором при неизменяющемся напряжении в 1 в протекает ток в 1 а, т. е.

$$1 \text{ ом} = 1 \text{ в} / 1 \text{ а}.$$

При измерении больших сопротивлений применяют единицы в тысячу и в миллион раз больше ома. Они называются килоомом (ком) и мегомом (Мом). Таким образом, $1 \text{ ком} = 1000 \text{ ом}$, а $1 \text{ Мом} = 1\,000\,000 \text{ ом}$.

В различных веществах содержится различное количество электронов, а атомы, между которыми электроны должны продвигаться, имеют различное расположение. Поэтому сопротивление проводников электрическому току зависит от материала, из которого они изготовлены. Кроме того, сопротивление зависит от длины и площади поперечного сечения проводника. Если два проводника изготовлены из одного и того же материала, то при одинаковых поперечных сечениях более длинный проводник имеет большее сопротивление, а при равных длинах проводник с большим поперечным сечением имеет меньшее сопротивление.

Для оценки электрических свойств металлов введено понятие об их удельном сопротивлении. Удельное сопротивление обозначается буквой ρ и представляет собой сопротивление проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2 , выраженное в $\text{ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$.

Если проводник, изготовленный из материала с удельным сопротивлением ρ , имеет длину l (м) и площадь поперечного сечения q (мм²), то его сопротивление

$$r = \rho \frac{l}{q} \text{ ом.}$$

Эта формула указывает на то, что сопротивление проводника прямо пропорционально удельному сопротивлению материала, из которого он изготовлен, а также его длине и обратно пропорционально площади поперечного сечения.

Сопротивление проводников зависит и от температуры, причем сопротивление металлических проводников с повышением температуры увеличивается. Для каждого металла существует определенный, так называемый температурный коэффициент сопротивления α , который выражает прирост сопротивления проводника Δr при изменении температуры на один градус Цельсия, отнесенный к одному ому начального сопротивления r , т. е.

$$\alpha = \frac{\Delta r}{r \Delta t} = \frac{r_1 - r}{r \Delta t},$$

где $r_1 = r(1 + \alpha \Delta t)$;

Δt — приращение температуры, °С.

Регулируемые сопротивления называются реостатами. Реостаты изготовляют из проволоки с большим удельным сопротивлением, например никелина. На схемах реостаты условно обозначаются так, как показано на рис. 3, б. Устройство реостатов будет рассмотрено ниже.

Способность проводника проводить электрический ток характеризуется проводимостью, которая представляет собой величину, обратную сопротивлению, и обозначается буквой g . Единицей измерения проводимости является $\frac{1}{\text{ом}}$.

Таким образом, соотношения между сопротивлением и проводимостью проводника следующие:

$$g = \frac{1}{r} \text{ и } r = \frac{1}{g}.$$

Величина, обратная удельному сопротивлению материала проводника, называется удельной проводимостью и обозначается буквой γ :

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \text{ и } \rho = \frac{1}{\gamma}.$$

Пример. Определить сопротивление и проводимость алюминиевого провода длиной 1 км с поперечным сечением 5 мм², если известно, что удельное сопротивление алюминия 0,028 ом·мм²/м.

Решение:

$$r = \rho \cdot \frac{l}{q} = 0,028 \cdot \frac{1000}{5} = 5,6 \text{ ом; } g = \frac{1}{r} = \frac{1}{5,6} = 0,18 \frac{1}{\text{ом}}.$$

§ 4. ЗАКОН ОМА

Соотношение между э. д. с., сопротивлением и силой тока в замкнутой цепи выражается законом Ома, который может быть сформулирован так: сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению всей цепи.

Ток в цепи протекает под действием э. д. с., а отсюда вытекает прямая пропорциональность между ними: чем больше э. д. с. источника энергии, тем больше и сила тока в замкнутой цепи. Сопротивление цепи препятствует прохождению тока, следовательно, чем больше сопротивление цепи, тем меньше сила тока — обратная пропорциональность.

Закон Ома можно выразить следующей формулой:

$$I = \frac{E}{r + r_0}, \text{ откуда } E = I(r + r_0),$$

где r и r_0 — сопротивления соответственно внешней и внутренней цепей.

В этих формулах сила тока выражена в амперах, э. д. с. — в вольтах, сопротивление — в омах.

Для измерения малых токов вместо ампера применяют единицу в тысячу раз меньшую — миллиампер (ma). Таким образом, $1 a = 1000 ma$.

Сопротивление всей цепи $r + r_0 = \frac{E}{I}$. Если под действием э. д. с. в $1 v$ в замкнутой цепи протекает ток в $1 a$, то сопротивление такой цепи равно одному ому, т. е. $1 om = \frac{1 a}{1 a}$.

Закон Ома справедлив не только для всей цепи, но и для любого ее участка.

Если участок цепи не содержит источника энергии, то положительные заряды на нем перемещаются из точек более высокого потенциала к точкам более низкого потенциала. Потенциал — величина, характеризующая электрическое поле в данной точке и численно равная работе, затрачиваемой на перемещение единицы положительного заряда из данной точки за пределы поля. Источник энергии затрачивает известную энергию, поддерживая разность потенциалов между началом и концом данного участка. Эта разность потенциалов называется напряжением между началом и концом рассматриваемого участка.

Таким образом, применяя закон Ома для пассивного участка цепи, получим

$$I = \frac{U}{r}.$$

Закон Ома можно сформулировать так: *сила тока на участке электрической цепи равна напряжению на зажимах этого участка, деленному на его сопротивление.*

Напряжение на участке цепи равно произведению силы тока на сопротивление этого участка, т. е. $U = Ir$.

Из выражения закона Ома для замкнутой цепи получим

$$E = Ir + Ir_0 = U + Ir_0,$$

где Ir — падение напряжения на сопротивлении r , т. е. во внешней цепи, или, иначе, напряжение U на зажимах источника энергии (генератора).

Произведение Ir_0 является падением напряжения на сопротивлении r_0 , т. е. внутри источника энергии (генератора). Оно определяет часть э. д. с., которая расходуется на преодоление внутреннего сопротивления источника энергии.

Для измерения силы тока в цепи используется прибор, называемый амперметром (миллиамперметром). Напряжение, как указывалось выше, измеряется вольтметром. Условные обозначения амперметра и вольтметра показаны на рис. 4, а. Для включения амперметра цепь тока разрывают и в месте разрыва концы проводов присоединяют к зажимам амперметра, как это показано на рис. 4, б. Такое включение

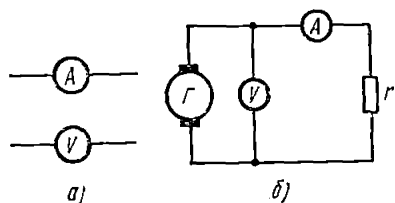


Рис. 4. Условное обозначение (а) и схема включения (б) амперметра и вольтметра

называется последовательным в отличие от включения вольтметра, которое называется параллельным. Вольтметр, подключенный к началу и концу участка цепи, показывает падение напряжения на данном участке. Если вольтметр подключить к началу внешней цепи, являющемуся в то же время положительным полюсом источника энергии, и к концу этой цепи, т. е. к отрицательному полюсу источника энергии, то вольтметр покажет падение напряжения во всей внешней цепи, которое является в то же время напряжением на зажимах источника энергии.

Напряжение на зажимах источника энергии (генератора) равно разности между э. д. с. и падением напряжения на внутреннем сопротивлении этого источника, т. е. $U = E - Ir_0$.

Если уменьшать сопротивление внешней цепи r , то сопротивление всей цепи $r + r_0$ также будет уменьшаться, а сила тока увеличиваться. С увеличением силы тока падение напряжения внутри источника энергии (Ir_0) возрастает, так как сопротивление r_0 остается неизменным. Следовательно, с уменьшением сопротивления внешней цепи напряжение на зажимах источника энергии также уменьшается. Если зажимы источника энергии соединить проводником с сопротивлением, практически равным нулю (короткое замыкание), ток в цепи будет равен

$$I_{к.з.} = \frac{E}{r_0}.$$

Это выражение определяет наибольший ток, который может быть получен в цепи данного источника.

Для источников энергии с малым внутренним сопротивлением, например для электрических генераторов (электромашин) и кислотных аккумуляторов, короткое замыкание весьма опасно — оно может вызвать порчу этих источников и сделать их непригодными для дальнейшей работы.

Короткое замыкание возникает очень часто, например, вследствие порчи изоляции проводов, соединяющих приемник с источником энергии. Лишенные изолирующего покрова металлические, обычно медные, линейные провода при взаимном соприкосновении представляют весьма малое сопротивление, которое по сравнению с сопротивлением приемника может быть принято равным нулю.

Для защиты электротехнической аппаратуры от токов коротких замыканий применяют различные предохранительные устройства, которые будут рассмотрены в § 13.

Пример. Аккумуляторная батарея с э. д. с. 42 в и внутренним сопротивлением 0,2 ома замкнута на приемник энергии с сопротивлением 4 ома. Определить силу тока в цепи и напряжение на зажимах батареи.

Решение:

$$I = \frac{E}{r_0 + r} = \frac{42}{4,2} = 10 \text{ а};$$

$$U = Ir = 10 \cdot 4 = 40 \text{ в или } E - Ir_0 = 42 - 10 \cdot 0,2 = 40 \text{ в.}$$

§ 5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Рассматривая электрическую цепь, мы предполагаем, что источник энергии замкнут на один приемник энергии. В общем случае электрическая цепь может содержать несколько приемников энергии, имеющих различные сопротивления.

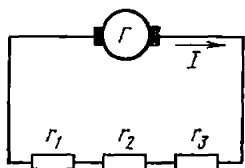


Рис. 5. Последовательное
соединение сопротивлений

Положим, что внешняя цепь генератора (рис. 5) состоит из трех приемников энергии с сопротивлениями соответственно r_1 , r_2 и r_3 . Такое соединение приемников, когда каждый из них включен в одну и ту же замкнутую электрическую цепь, называется последовательным. Очевидно, что ток при этом во всех приемниках одинаков, а сопротивление внешней цепи равно сумме сопротивлений проводников. Сопротивление прямо пропорционально длине проводника, и включение нескольких проводников увеличивает длину

пути для тока, а значит, и сопротивление.

Для нашего случая формула закона Ома имеет следующий вид:

$$I = \frac{E}{r_0 + r_1 + r_2 + r_3}.$$

Таким образом, при наличии трех последовательно соединенных проводников общее сопротивление цепи

$$r = r_0 + r_1 + r_2 + r_3,$$

а сопротивление внешней цепи

$$r_{\text{в}} = r_1 + r_2 + r_3 + \dots$$

Напряжение на зажимах источника энергии равно напряжению, приложенному к внешней цепи, т. е.

$$U = E - Ir_0 = I(r_1 + r_2 + r_3),$$

где Ir_0 — падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника энергии.

Напряжение на зажимах приемника энергии равно произведению силы тока на сопротивление этого приемника, т. е.

$$U_1 = Ir_1; \quad U_2 = Ir_2; \quad U_3 = Ir_3;$$

$$U_1 + U_2 + U_3 = I(r_1 + r_2 + r_3) = U.$$

Таким образом, сумма напряжений на последовательно включенных приемниках равна напряжению на зажимах источника энергии.

Положим, что три приемника с сопротивлениями $r_1 = 8 \text{ ом}$, $r_2 = 10 \text{ ом}$ и $r_3 = 12 \text{ ом}$ соединены последовательно и включены в сеть постоянного тока с напряжением $U = 120 \text{ в}$. Сила тока в такой цепи

$$I = \frac{U}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{120}{8 + 10 + 12} = 4 \text{ а}$$

и напряжения на зажимах приемников энергии следующие:

$$U_1 = Ir_1 = 4 \times 8 = 32 \text{ в}; \quad U_2 = Ir_2 = 4 \times 10 = 40 \text{ в};$$

$$U_3 = Ir_3 = 4 \times 12 = 48 \text{ в}; \quad U_1 + U_2 + U_3 = 32 + 40 + 48 = 120 \text{ в}.$$

Так как на всех участках цепи, состоящей из последовательно соединенных приемников, сила тока одинакова, то напряжения на зажимах приемников пропорциональны их сопротивлениям или обратно пропорциональны проводимостям, т. е.

$$U_1 : U_2 : U_3 = r_1 : r_2 : r_3 = \frac{1}{g_1} : \frac{1}{g_2} : \frac{1}{g_3}.$$

При неизменном напряжении сила тока зависит от сопротивления цепи. Изменение сопротивления одного из последовательно включенных приемников влечет за собой изменение общего сопротивления цепи и силы тока в ней. При этом изменяется напряжение как на данном приемнике, так и на всех остальных. Если в приведенном примере увеличить сопротивление одного из приемников, например первого, до $r_1 = 18 \text{ ом}$ (вместо 8 ом), то сила тока в цепи будет

$$I = \frac{U}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{120}{18 + 10 + 12} = 3 \text{ а}$$

и напряжения на зажимах приемников следующие:

$$U_1 = Ir_1 = 3 \times 18 = 54 \text{ в}; \quad U_2 = Ir_2 = 3 \times 10 = 30 \text{ в};$$

$$U_3 = Ir_3 = 3 \times 12 = 36 \text{ в}.$$

С увеличением сопротивления внешней цепи уменьшается сила тока и, следовательно, падение напряжения на всех ее участках. Положим, что приемник с сопротивлением $r = 6 \text{ ом}$ подключен к источнику электрической энергии с напряжением $U = 24 \text{ в}$.

В этом случае сила тока в приемнике

$$I = \frac{U}{r} = \frac{24}{6} = 4 \text{ а.}$$

Если последовательно с первым приемником включить второй с сопротивлением $r' = 2 \text{ ом}$, то сила тока в цепи будет

$$I' = \frac{U}{r+r'} = \frac{24}{6+2} = 3 \text{ а}$$

и напряжение на зажимах первого приемника

$$U' = I'r = 3 \times 6 = 18 \text{ в}.$$

Последовательное включение добавочных сопротивлений используется на практике для понижения напряжения (пусковые и регулировочные реостаты). Добавочные сопротивления применяются также для расширения пределов измерения измерительных приборов, например вольтметров.

Пример. К зажимам генератора постоянного тока с внутренним сопротивлением $0,5 \text{ ома}$ подключены последовательно соединенные приемники энергии с сопротивлениями соответственно 3 ; 2 и $1,5 \text{ ома}$. Определить сопротивление всей цепи и внешней.

Решение. Сопротивление всей цепи

$$r = r_0 + r_B = 0,5 + 3 + 2 + 1,5 = 7 \text{ ом}.$$

Сопротивление внешней цепи

$$r_B = 3 + 2 + 1,5 = 6,5 \text{ ом}.$$

§ 6. ПЕРВЫЙ ЗАКОН КИРХГОФА

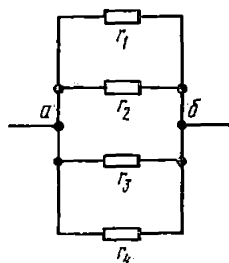


Рис. 6. Разветвленная цепь

Для цепей, состоящих из последовательно соединенных источника и приемника энергии, соотношение между током, э. д. с. и сопротивлением всей цепи или между током, напряжением и сопротивлением на каком-либо участке цепи определяется законом Ома. Однако на практике преимущественно приходится иметь дело с такими цепями, в которых токи от какого-либо пункта могут идти по разным путям и в которых, следовательно, есть параллельные цепи. Места соединения этих цепей называются узлами (узловыми точками), а участки цепи,

соединяющие два соседних узла, — ветвями цепи.

Положим, что в узле *a* (рис. 6) цепь разветвляется на четыре ветви, которые вновь соединяются в узле *b*. Обозначим силу тока в неразветвленной цепи через *I*, а в ветвях соответственно: *I*₁, *I*₂, *I*₃ и *I*₄. Между этими токами в цепи будет следующее соотношение:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4.$$

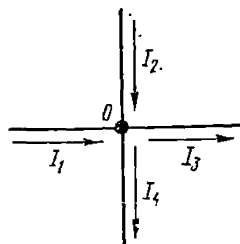


Рис. 7. Узловая точка

Если в узле соединяются несколько проводов (рис. 7), то для токов такого узла будет следующее равенство:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4.$$

Это выражение представляет собой первый закон Кирхгофа, который можно сформулировать так: *сумма сил токов, подходящих к узлу (узловой точке) электрической цепи, равна сумме сил токов, уходящих от этого узла*, или алгебраическая сумма сил токов в узловой точке электрической цепи равна нулю, причем притекающие к узлу токи считаются положительными, а утекающие — отрицательными.

Пример: В сеть с напряжением 120 в включены параллельно сопротивления 20, 40, 60 и 30 ом. Определить силу тока, протекающего в неразветвленной части цепи.

Решение. Сила тока в отдельных ветвях равна:

$$I_1 = \frac{U}{r_1} = \frac{120}{20} = 6 \text{ а}; \quad I_2 = \frac{U}{r_2} = \frac{120}{40} = 3 \text{ а};$$

$$I_3 = \frac{U}{r_3} = \frac{120}{60} = 2 \text{ а}; \quad I_4 = \frac{U}{r_4} = \frac{120}{30} = 4 \text{ а}.$$

Сила тока в неразветвленной цепи

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 6 + 3 + 2 + 4 = 15 \text{ а}.$$

§ 7. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Схема параллельного соединения четырех сопротивлений изображена на рис. 6. При таком соединении сопротивления, включенные под одно и то же напряжение, создадут для тока четыре пути; что уменьшит общее сопротивление или увеличит общую проводимость цепи, которая равна сумме проводимостей отдельных ветвей.

В этом можно легко убедиться, если представить увеличение числа параллельно соединенных проводников как увеличение площади поперечного сечения проводника, по которому протекает ток. Как известно, общее сопротивление обратно пропорционально, а проводимость прямо пропорциональна площади поперечного сечения проводника. Таким образом, обозначив проводимость всех

проводников в совокупности буквой g , а проводимость каждого в отдельности проводника g_1 , g_2 , g_3 и g_4 , получим для рассматриваемого случая следующее равенство:

$$g = g_1 + g_2 + g_3 + g_4.$$

Так как проводимость есть величина, обратная сопротивлению, то данное выражение может быть записано в следующем виде:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}.$$

В этом выражении r представляет собой эквивалентное сопротивление параллельно соединенных проводников, которое меньше любого из четырех включенных сопротивлений.

Обозначив силу тока в неразветвленной цепи буквой I , силу тока в отдельных ветвях — соответственно I_1 , I_2 , I_3 и I_4 , напряжение между точками a и b буквой U и общее сопротивление между этими точками буквой r , на основании закона Ома получим следующие равенства:

$$I = \frac{U}{r}; \quad I_1 = \frac{U}{r_1}; \quad I_2 = \frac{U}{r_2}; \quad I_3 = \frac{U}{r_3}; \quad I_4 = \frac{U}{r_4}.$$

Согласно первому закону Кирхгофа,

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

или

$$\frac{U}{r} = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} + \frac{U}{r_3} + \frac{U}{r_4}.$$

Сократив обе части выражения на U , окончательно будем иметь:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}.$$

Полученное соотношение можно сформулировать следующим образом: *общая проводимость параллельно соединенных приемников энергии равна сумме проводимостей этих приемников.*

Мы рассмотрели параллельное соединение четырех приемников. Однако установленное нами соотношение справедливо для любого числа параллельно соединенных приемников. Так, если в электрической цепи содержатся два параллельно соединенных приемника с сопротивлениями r_1 и r_2 , то общее сопротивление

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}.$$

Решив это равенство как уравнение относительно искомого эквивалентного сопротивления r , которым можно заменить два параллельно соединенных сопротивления, получим:

$$r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}.$$

Это выражение имеет большое практическое применение; его можно сформулировать так: *общее сопротивление двух параллельно соединенных приемников энергии равно произведению сопротивлений этих приемников, деленному на сумму тех же сопротивлений.*

Если параллельно соединено какое-либо число n приемников с одинаковыми сопротивлениями r , то общее сопротивление такой цепи будет в n раз меньше сопротивления одного проводника, т. е.

$$r_{\text{общ}} = \frac{r}{n}.$$

Возвращаясь к рис. 6, напомним следующие соотношения:

$$I_1 r_1 = U; \quad I_2 r_2 = U; \quad I_3 r_3 = U; \quad I_4 r_4 = U.$$

Так как правые части этих выражений равны между собой, то левые также равны:

$$I_1 r_1 = I_2 r_2 = I_3 r_3 = I_4 r_4.$$

Из этих равенств получим соотношения

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2}{r_1}; \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{r_3}{r_2}; \quad \frac{I_3}{I_4} = \frac{r_4}{r_3}; \quad \frac{I_4}{I_1} = \frac{r_1}{r_4},$$

которые указывают на то, что *в цепях с параллельно включенными сопротивлениями токи распределяются обратно пропорционально этим сопротивлениям.* Таким образом, чем больше величина параллельно включенного сопротивления, тем меньше сила тока в этом сопротивлении и наоборот.

Так как сопротивление является величиной, обратной проводимости, то можно написать следующие равенства:

$$I_1 g_2 = I_2 g_1; \quad I_2 g_3 = I_3 g_2; \quad I_3 g_4 = I_4 g_3; \quad I_4 g_1 = I_1 g_4,$$

откуда

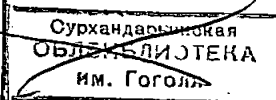
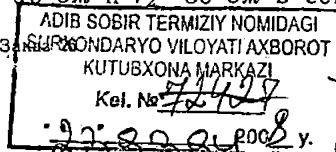
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{g_1}{g_2}; \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{g_2}{g_3}; \quad \frac{I_3}{I_4} = \frac{g_3}{g_4}; \quad \frac{I_4}{I_1} = \frac{g_4}{g_1},$$

т. е. *в цепях с параллельно соединенными проводниками токи распределяются прямо пропорционально проводимостям этих проводников.*

Если напряжение между узлами не изменяется, токи в приемниках энергии, включенных между этими узлами параллельно, в отличие от последовательного их включения, независимы один от другого. Выключение одного или нескольких приемников из цепи не отражается на работе остальных. Поэтому осветительные лампы, электродвигатели и другие приемники электрической энергии преимущественно включают параллельно.

Параллельное включение на участке электрической цепи ведет к изменению тока как во всей цепи, так и на рассматриваемом участке. Например, при последовательном включении сопротивлений $r_1 = 10 \text{ ом}$ и $r_2 = 30 \text{ ом}$ в сеть с напряжением $U = 120 \text{ в}$ сила тока

2 3



в цепи

$$I = \frac{U}{r_1 + r_2} = \frac{120}{10 + 30} = 3 \text{ а.}$$

Если параллельно сопротивлению r_2 включить сопротивление $r_3 = 60 \text{ ом}$, то изменится сила тока как в неразветвленной цепи, так и в сопротивлении r_2 . Сопротивление двух параллельных ветвей

$$r_{23} = \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3} = \frac{30 \times 60}{30 + 60} = 20 \text{ ом.}$$

Ток в неразветвленной цепи станет равным:

$$I' = \frac{U}{r_1 + r_{23}} = \frac{120}{10 + 20} = 4 \text{ а.}$$

Ток в сопротивлении r_2 будет:

$$I_2 = \frac{U - I' r_1}{r_2} = \frac{120 - (4 \times 10)}{30} = 2,67 \text{ а.}$$

Параллельное включение сопротивления на участке электрической цепи на практике применяется для уменьшения силы тока на данном участке. В частности, такое параллельно включаемое сопротивление, называемое шунтом, используется для расширения пределов измерения токов амперметрами. Благодаря шунту в прибор отзвливается лишь часть измеряемого тока.

Пример. Параллельно включено четыре приемника энергии с сопротивлениями соответственно 10; 15; 25 и 30 ом. Требуется определить: общее сопротивление четырех приемников энергии; силу тока в параллельных ветвях и в неразветвленной цепи, если приемники энергии включены на зажимах генератора, э. д. с. которого равна 170 в и внутреннее сопротивление 0,55 ом.

Решение. Сопротивление четырех параллельных ветвей

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15} + \frac{1}{25} + \frac{1}{30} = \frac{12}{50} \left(\frac{1}{\text{ом}} \right),$$

откуда

$$r = 4,15 \text{ ом.}$$

Сопротивление замкнутой цепи

$$r_0 + r = 0,55 + 4,15 = 4,7 \text{ ом;}$$

сила тока в неразветвленной цепи

$$I = \frac{E}{r_0 + r} = \frac{170}{4,7} = 36 \text{ а;}$$

напряжение на зажимах генератора

$$U = E - I r_0 = 170 - 36 \cdot 0,55 \approx 150 \text{ в;}$$

сила тока в отдельных ветвях равна:

$$I_1 = \frac{U}{r_1} = \frac{150}{10} = 15 \text{ а; } I_2 = \frac{U}{r_2} = \frac{150}{15} = 10 \text{ а;}$$
$$I_3 = \frac{U}{r_3} = \frac{150}{25} = 6 \text{ а; } I_4 = \frac{U}{r_4} = \frac{150}{30} = 5 \text{ а.}$$

На основании закона Кирхгофа имеем следующее равенство:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 15 + 10 + 6 + 5 = 36 \text{ а,}$$

§ 8. СМЕШАННОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Совокупность последовательного и параллельного включения называется смешанным соединением. Для определения общего сопротивления нескольких приемников, соединенных смешанно, сначала находят общее сопротивление параллельно или последовательно соединенных приемников, а затем заменяют их одним приемником с сопротивлением, равным найденному. Таким образом, упрощают схему, приводя ее к одному приемнику с сопротивлением, равным общему сопротивлению сложной цепи проводников. Например, чтобы определить сопротивление между точками a и b (рис. 8), сначала находят сопротивление между точками b и c :

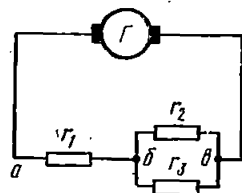


Рис. 8. Смешанное соединение сопротивлений

$$r' = \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3},$$

а затем складывают полученное значение с сопротивлением r_1 :

$$r = r_1 + \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3}.$$

Пример. Значения сопротивлений (см. рис. 8) таковы:

$$r_1 = 5 \text{ ом}, \quad r_2 = 10 \text{ ом}, \quad r_3 = 15 \text{ ом}.$$

Определить общее сопротивление внешней цепи.

Решение. Сопротивление между точками b и c

$$r' = \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 6 \text{ ом}.$$

Сопротивление внешней цепи

$$r = r_1 + r' = 5 + 6 = 11 \text{ ом}.$$

§ 9. ВТОРОЙ ЗАКОН КИРХГОФА

Второй закон Кирхгофа может быть сформулирован следующим образом: во всяком замкнутом электрическом контуре алгебраическая сумма э. д. с. равна алгебраической сумме падений напряжения в сопротивлениях, включенных в этот контур, т. е.

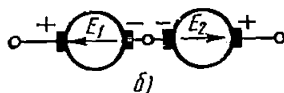
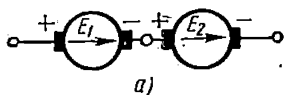


Рис. 9. Соединение источников электрической энергии:

а — согласное, б — встречное

$$E_1 + E_2 + E_3 + \text{и т. д.} = I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3 + \text{и т. д.}$$

Алгебраическая сумма учитывает знак. Если в электрическую цепь включены согласно два источника энергии, э. д. с. которых совпадают по направлению

(рис. 9, а), то э. д. с. всей цепи равна сумме э. д. с. этих источников, т. е.

$$E = E_1 + E_2.$$

Если же в цепь включены встречно два источника, э. д. с. которых имеют противоположные направления (рис. 9, б), то общая э. д. с. цепи равна разности э. д. с. этих источников, т. е.

$$E = E_1 - E_2.$$

В случае последовательного включения в электрическую цепь нескольких источников энергии с различным направлением э. д. с. общая э. д. с. равна алгебраической сумме э. д. с. всех источников. При суммировании э. д. с. одного направления берут со знаком

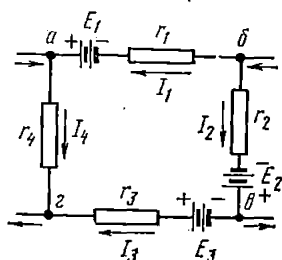


Рис. 10. Замкнутая электрическая цепь

плюс, а э. д. с. противоположного направления — со знаком минус. Составляя уравнения, выбирают направление обхода цепи и произвольно задаются направлениями токов.

Обычно замкнутая цепь является частью сложной цепи, как показано, например, на рис. 10. Замкнутая цепь обозначена буквами а, б, в, г. Ввиду наличия ответвлений в точках а, б, в, г токи I_1 , I_2 , I_3 и I_4 , различаясь по силе, могут иметь и различные направления.

Для такой цепи в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно написать:

$$E_1 - E_2 - E_3 = I_1(r_{01} + r_1) - I_2(r_{02} + r_2) - I_3(r_{03} + r_3) + I_4 r_4,$$

где r_{01} , r_{02} , r_{03} — внутренние сопротивления источников энергии;

r_1 , r_2 , r_3 , r_4 — сопротивления приемников энергии.

В частном случае при отсутствии ответвлений и последовательном соединении проводников общее сопротивление равно сумме всех сопротивлений.

Если внешняя цепь источника энергии с внутренним сопротивлением r_0 состоит, например, из трех последовательно соединенных проводников с сопротивлениями соответственно r_1 , r_2 , r_3 , то на основании второго закона Кирхгофа можно написать следующее равенство:

$$E = Ir_0 + Ir_1 + Ir_2 + Ir_3 \dots$$

При нескольких источниках тока в левой части равенства была бы алгебраическая сумма э. д. с. этих источников.

В случае параллельного включения двух или нескольких источников энергии токи, протекающие в них, могут быть неодинаковы.

Если два параллельно соединенных источника энергии (рис. 11), имеющих э. д. с. E_1 и E_2 и внут-

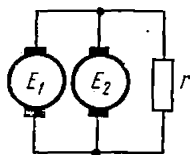


Рис. 11. Параллельное соединение источников электрической энергии

ренные сопротивления r_1 и r_2 , замкнуть на какое-либо внешнее сопротивление r , то силу тока во внешней цепи I и в источниках I_1 и I_2 можно определить из следующих выражений:

$$I = I_1 + I_2; \quad I = \frac{U}{r};$$

$$I_1 = \frac{E_1 - U}{r_1}; \quad I_2 = \frac{E_2 - U}{r_2}.$$

Отсюда сила тока во внешней цепи

$$I = \frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 r_2 + r r_1 + r r_2}.$$

Сила тока, протекающего через первый и второй источники энергии, равна:

$$I_1 = \frac{E_1 - I r}{r_1}; \quad I_2 = \frac{E_2 - I r}{r_2}.$$

Пример. В схеме, изображенной на рис. 10, э. д. с. источников энергии и сопротивления приемников энергии имеют следующие значения: $E_1=6$ в, $E_2=12$ в, $E_3=9$ в, $r_1=8$ ом, $r_2=5$ ом, $r_3=4$ ом и $r_4=10$ ом. Определить силу тока в замкнутой цепи и напряжение между точками a и z , если внутренние сопротивления всех источников энергии одинаковы и равны $r_0=1$ ом.

Решение. Алгебраическая сумма э. д. с. в контуре

$$-E_1 + E_2 + E_3 = -6 + 12 + 9 = 15 \text{ в.}$$

В этом выражении э. д. с. E_1 взята со знаком минус потому, что первый источник энергии включен встречно второму и третьему.

Общее сопротивление цепи

$$3r_0 + r_1 + r_2 + r_3 + r_4 = 3 + 8 + 5 + 4 + 10 = 30 \text{ ом.}$$

Сила тока в цепи

$$I = \frac{-E_1 + E_2 + E_3}{3r_0 + r_1 + r_2 + r_3 + r_4} = \frac{15}{30} = 0,5 \text{ а.}$$

Напряжение между точками a и z

$$U_{az} = I r_4 = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ в.}$$

§ 10. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Способность тела производить работу называется энергией этого тела. Например, поднятый на высоту какой-либо груз обладает некоторым запасом энергии и при падении производит работу. Энергия тела тем больше, чем большую работу может произвести это тело при своем движении. Энергия не исчезает, а переходит из одной формы в другую. Например, электрическая энергия может быть превращена в механическую, тепловую, химическую, механическая — в электрическую и т. д.

В замкнутой электрической цепи протекает ток, который представляет собой направленное поступательное движение электриче-

ских зарядов. Для переноса зарядов в замкнутой цепи источник электрической энергии затрачивает известную энергию, равную произведению э. д. с. источника на количество электричества, перенесенного через эту цепь, т. е. $E Q$.

Однако не вся энергия источника сообщается приемнику энергии, так как часть ее расходуется на преодоление внутреннего сопротивления источника и проводов. Таким образом, источник энергии производит полезную работу

$$A = UQ,$$

где U — напряжение на зажимах приемника.

Так как количество электричества равно произведению силы тока в цепи на время его прохождения, т. е.

$$Q = It,$$

формулу работы можно представить в следующем виде:

$$A = UIt.$$

Эта формула показывает, что *электрическая энергия или работа есть произведение напряжения, силы тока в цепи и времени его прохождения.*

Если же напряжение на зажимах участка цепи выразить как произведение силы тока на сопротивление этого участка, т. е.

$$U = Ir,$$

то формулу работы можно записать и так:

$$A = I^2 r t.$$

Однако ни одна из указанных формул не определяет размеров генератора электрической энергии, от которого получена эта работа, так как и большой и малый генераторы за различные промежутки времени могут дать одинаковую работу. Размеры генератора определяются не выполненной работой, а его мощностью. Это относится к любому электротехническому аппарату и машине, как представляющим, так и потребляющим электрическую энергию (например, электродвигатели, электрические лампы, нагревательные приборы и т. д.).

Мощностью называется работа, производимая (или потребляемая) в одну секунду. Мощность выражается следующими формулами:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UQ}{t} = UI = I^2 r.$$

Если в формулах работы и мощности напряжение выражено в вольтах, сила тока — в амперах, сопротивление — в омах и время — в секундах, то работа получается в ньютон-метрах или в ватт-секундах (*вт·сек*), т. е. в джоулях, а мощность — в ваттах. Для измерения малых мощностей применяют милливатт (*мвт*), который в тысячу раз меньше одного ватта, т. е. $1 \text{ вт} = 1000 \text{ мвт}$. Для выра-

жения больших мощностей применяют единицу в тысячу раз больше ватта, называемую киловаттом (*квт*), т. е. $1 \text{ квт} = 1000 \text{ вт}$.

Так как ватт-секунда (джоуль) является малой единицей, то работа обычно выражается в ватт-часах (*вт·ч*) и киловатт-часах (*квт·ч*). Соотношение между этими единицами и джоулем следующее: $1 \text{ вт·ч} = 3600 \text{ дж}$; $1 \text{ квт·ч} = 1000 \text{ вт·ч}$.

Мощность, выделяемая током I во внешней цепи при напряжении U на зажимах генератора, выражается произведением напряжения на силу тока, т. е. $P = UI$.

При очень малом внешнем сопротивлении r сила тока в цепи велика, а напряжение на зажимах генератора мало. Если сопротивление внешней цепи равно нулю, напряжение на зажимах генератора U также равно нулю. Следовательно, и мощность P , отдаваемая во внешнюю цепь, равна нулю: $P = 0 \cdot I = 0$.

При очень большом внешнем сопротивлении (когда внешняя цепь разомкнута, сопротивление ее составляет бесконечно большую величину) сила тока в цепи равна нулю, а значит, и мощность, отдаваемая во внешнюю цепь, равна нулю: $P = U \cdot 0 = 0$. Таким образом, с увеличением сопротивления внешней цепи мощность сначала возрастает от нуля до какой-то наибольшей (максимальной) величины, а затем убывает до нуля.

Определим сопротивление внешней цепи r , при котором источник энергии отдает в нагрузку наибольшую мощность

$$P = UI = EI - I^2 r_0, \text{ так как } U = E - Ir_0,$$

где E — э. д. с. источника энергии;

r_0 — внутреннее сопротивление источника;

U — напряжение на зажимах источника при нагрузке.

Разделив обе части выражения мощности на r_0 , получим

$$\frac{P}{r_0} = \frac{EI}{r_0} - I^2.$$

Прибавляя к правой части этого равенства величину

$$\frac{E^2}{4r_0^2} \text{ и вычитая ее, получим}$$

$$\begin{aligned} \frac{P}{r_0} &= \frac{EI}{r_0} - I^2 + \frac{E^2}{4r_0^2} - \frac{E^2}{4r_0^2} = \frac{E^2}{4r_0^2} - \left(I^2 - \frac{EI}{r_0} + \frac{E^2}{4r_0^2} \right) = \\ &= \frac{E^2}{4r_0^2} - \left(I - \frac{E}{2r_0} \right)^2. \end{aligned}$$

Очевидно, что наибольшей величина $\frac{P}{r_0}$ (или мощность P , так как r_0 постоянно) будет в том случае, когда вычитаемое правой части равенства равно нулю, т. е.

$$I - \frac{E}{2r_0} = 0, \text{ откуда } I = \frac{E}{2r_0}.$$

Если это выражение сравнить с формулой $I = \frac{\mathcal{E}}{r_0 + r}$, то окажется, что для получения наибольшей мощности во внешней цепи необходимо, чтобы $2r_0 = r_0 + r$ или $r = r_0$.

Таким образом, для получения наибольшей мощности во внешней цепи сопротивление последней должно быть равно внутреннему сопротивлению генератора.

Однако надо иметь в виду, что при равенстве внутреннего сопротивления генератора сопротивлению внешней цепи полезное действие генератора чрезвычайно невысоко и работа его в таких условиях неэкономична, так как половина всей мощности, развиваемой генератором, отдается на преодоление его внутреннего сопротивления, т. е. затрачивается бесполезно.

Пример. В квартире имеется шесть ламп мощностью 50 вт каждая и следующие бытовые приборы: стиральная машина, потребляющая ток силой 2 а, электрический пылесос, потребляющий ток силой 1 а, и электрический утюг, потребляющий мощность 500 вт. Определить среднюю за месяц стоимость электрической энергии, если лампы горят 5 ч в день, стиральная машина работает 3 ч в неделю, пылесос — 6 ч в неделю, электрический утюг — 3 ч в неделю. Стоимость 1 квт энергии 4 коп, напряжение сети 220 в.

Решение. Продолжительность горения ламп в месяц (30 дней) $5 \times 30 = 150$ ч. Бытовые приборы работают в месяц (4 недели): стиральная машина $3 \times 4 = 12$ ч; пылесос $6 \times 4 = 24$ ч; электрический утюг $3 \times 4 = 12$ ч.

За месяц лампы потребляют $6 \times 50 \times 150 = 45\,000$ вт·ч = 45 квт·ч; стиральная машина $2 \times 220 \times 12 = 5280$ вт·ч = 5,28 квт·ч; пылесос $1 \times 220 \times 24 = 5280$ вт·ч = 5,28 квт·ч; электрический утюг $500 \times 12 = 6000$ вт·ч = 6 квт·ч.

Энергия, потребляемая всеми лампами и приборами за месяц:

$$45 + 5,28 + 5,28 + 6 = 61,56 \text{ квт·ч.}$$

Стоимость электрической энергии:

$$61,56 \times 4 = 246 \text{ коп.} = 2 \text{ руб. } 46 \text{ коп.}$$

§ 11. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ, ИЛИ ОТДАЧА

Источник электрической энергии преобразует энергию механическую, химическую, тепловую и т. д. в энергию электрическую. Мощность, отдаваемая источником энергии во внешнюю цепь, является полезной мощностью P_2 , а мощность, потребляемая им извне (от источника энергии механической, химической и т. д.), — потребляемой P_1 . Приемник электрической энергии, потребляя энергию из сети источника электрической энергии, преобразует ее в энергию другого вида — механическую, тепловую и т. д.

В соответствии с законом сохранения энергии полезная мощность источника или приемника электрической энергии P_2 меньше потребляемой им мощности P_1 , так как в процессе работы источника или приемника в них теряется часть преобразуемой ими энергии. В электромашинных преобразователях энергии (в генераторах и двигателях), например, потеря энергии происходит из-за нагре-

вания проводов их обмоток протекающими в них токами, из-за перемагничивания стали, из-за вихревых токов и т. д.

Для оценки свойств преобразователя энергии (источника или приемника электрической энергии) служит коэффициент полезного действия (или отдача), равный отношению полезной мощности источника или приемника энергии P_2 к потребляемой им мощности P_1 , т. е.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P},$$

где ΔP — мощность, расходуемая на преодоление потерь в источнике или приемнике энергии.

Это выражение показывает, что коэффициент полезного действия (к. п. д.) источника или приемника электрической энергии тем выше, чем меньше потери энергии в нем.

Мощность, отдаваемая источником электрической энергии во внешнюю цепь (полезная мощность), равна произведению напряжения на его зажимах на силу тока в цепи, т. е. $P_2 = UI$ и к. п. д. источника энергии

$$\eta = \frac{UI}{P_1} = \frac{UI}{UI + \Delta P}.$$

Мощность, потребляемая приемником электрической энергии, может быть представлена произведением напряжения, приложенного к нему, на силу тока или произведением квадрата силы тока на его сопротивление r , т. е. $P_1 = UI = I^2 r$, и к. п. д. приемника электрической энергии

$$\eta = \frac{P_2}{UI} = \frac{P_2}{I^2 r} = \frac{UI - \Delta P}{UI} = \frac{I^2 r - \Delta P}{I^2 r}.$$

Пример 1. Генератор постоянного тока с э. д. с. $E = 230$ в и внутренним сопротивлением $r_0 = 0,5$ ома замкнут на приемник энергии. Сила тока в цепи $I = 20$ а, к. п. д. генератора $\eta = 0,8$. Определить полезную мощность генератора, мощность, потребляемую им, и мощность, расходуемую на преодоление потерь в генераторе.

Решение. Напряжение на зажимах генератора

$$U = E - Ir_0 = 230 - 20 \cdot 0,5 = 220 \text{ в.}$$

Полезная мощность генератора

$$P_2 = UI = 220 \cdot 20 = 4400 \text{ вт} = 4,4 \text{ квт.}$$

Мощность, потребляемая генератором,

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{4,4}{0,8} = 5,5 \text{ квт.}$$

Мощность, расходуемая на преодоление потерь в генераторе,

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 5,5 - 4,4 = 1,1 \text{ квт.}$$

Пример 2. Двигатель постоянного тока при напряжении $U = 220$ в потребляет ток силой $I = 30$ а. Определить к. п. д. и полезную мощность двигателя, если мощность, расходуемая на преодоление потерь в двигателе $\Delta P = 1320$ вт = 1,32 квт.

Решение. Мощность, потребляемая двигателем

$$P_1 = UI = 220 \cdot 30 = 6600 \text{ вт} = 6,6 \text{ квт.}$$

Коэффициент полезного действия двигателя

$$\eta = \frac{UI - \Delta P}{UI} = \frac{6,6 - 1,32}{6,6} = 0,8.$$

Полезная мощность, развиваемая на валу двигателя

$$P_2 = P_1 - \Delta P = 6,6 - 1,32 = 5,28 \text{ квт.}$$

§ 12. ЗАКОН ЛЕНЦА — ДЖОУЛЯ

При прохождении электрического тока через металлический проводник электроны сталкиваются с молекулами, в результате чего затрачивается энергия, которая превращается в тепло. Любое движение, при котором преодолевается сопротивление, требует затраты определенной энергии. Так, например, для перемещения какого-либо тела преодолевается сопротивление трения и работа, затраченная на это, превращается в тепло. Электрическое сопротивление проводника играет ту же роль, что и сопротивление трения. Таким образом, для проведения тока через проводник источник тока затрачивает некоторую энергию, превращающуюся в тепло. Переход электрической энергии в тепловую отражает закон Ленца — Джоуля, или закон теплового действия тока.

Русский ученый Ленц и английский физик Джоуль одновременно и независимо один от другого установили, что *при прохождении электрического тока по проводнику количество теплоты, выделяемое проводником, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени, в течение которого электрический ток протекал по проводнику.* Это положение называется законом Ленца — Джоуля.

Если обозначить количество теплоты, развиваемое током, буквой Q , силу тока, протекающего по проводнику, буквой I , сопротивление проводника буквой r и время, в течение которого ток протекал по проводнику, буквой t , то закону Ленца — Джоуля можно придать следующее выражение:

$$Q = I^2 r t \text{ дж,}$$

где сила тока выражена в амперах, сопротивление — в омах и время — в секундах.

Так как по закону Ома

$$I = \frac{U}{r},$$

то

$$r = \frac{U}{I}, \text{ откуда}$$

$$Q = \frac{U^2}{r} t = U I t.$$

П р и м е р. Определить количество теплоты, выделенное в нагревательном приборе в течение 0,5 ч, если он включен в сеть с напряжением 110 в и имеет сопротивление 24 ома.

Решение. Время прохождения в секундах:

$$t=0,5 \text{ ч}=30 \text{ мин}=30 \cdot 60=1800 \text{ сек.}$$

Количество теплоты, выделенное в приборе:

$$Q=\frac{U^2}{r} t=\frac{110^2}{24} \times 1800=907\,500 \text{ дж.}$$

Нагревание проводников электрическим током имеет большое практическое применение. На этом основано устройство электрического освещения, электронагревательных приборов, электрических печей, многих типов измерительной и медицинской аппаратуры и т. д.

Однако электрическое нагревание проводников не всегда приносит пользу. Так, в проводах линий электропередачи нагревание связано с бесполезной затратой электрической энергии, а при больших токах может создавать опасность возникновения пожаров.

Во избежание чрезмерного нагрева линейных проводов, а также различных обмоток из изолированной проволоки в электрической аппаратуре установлены нормы максимальных значений токов, пропускаемых по данному проводу или обмотке. Обычно допустимую силу тока для того или иного электрического устройства нормируют путем вычисления допустимой плотности тока. Плотностью тока называется сила тока, приходящаяся на один квадратный миллиметр площади поперечного сечения провода.

Например, если по проводу в 6 мм² протекает ток силой 30 а, то плотность тока в этом проводе равна $30 : 6 = 5 \text{ а/мм}^2$.

§ 13. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Для защиты аппаратов и приборов от прохождения по ним слишком больших токов применяют предохранительные устройства, которые автоматически прерывают цепь тока, как только величина последнего превзойдет допустимую норму.

Наиболее распространенным защитным устройством является плавкий предохранитель. Такие предохранители включают между источником и приемником энергии (последовательно). Если сила тока, протекающего через предохранитель, превышает допустимую (при коротком замыкании или перегрузке), то плавкая вставка предохранителя нагревается до расплавления и размыкает цепь раньше, чем разрушается изоляция проводов и защищаемая аппаратура. Каждый предохранитель должен неограниченное время выдерживать указанную на нем силу тока, а при превышении этой силы тока плавкая вставка плавится тем быстрее, чем больше перегрузка.

Плавкий предохранитель содержит медную, свинцовую или цинковую калиброванную проволочку или пластинку, рассчитанную на определенную силу тока. Эта проволочка или пластинка

обладает большим сопротивлением, так как при коротком замыкании или перегрузке ток в цепи резко увеличивается и нагрев плавкой вставки будет тем большим, чем больше ее сопротивление.

При эксплуатации электротехнической аппаратуры и оборудования категорически запрещается применять вместо плавких вставок заводского изготовления всевозможные заменители («жучки») в виде витков голой медной проволоки и других металлических предметов, которыми замыкают контакты предохранителя, так как при коротком замыкании или перегрузке такой «предохранитель» не сработает, что может привести к аварии. Для быстрого гашения дуги, возникающей при перегорании плавкой вставки, калиброванную проволочку размещают в кварцевом песке или внутри патрона из фибры, пары которой обладают хорошими искрогасящими свойствами.

На корпусе плавкой вставки указывается номинальная сила тока и максимальное напряжение сети, в которую можно включать предохранитель данного типа.

В пробковых предохранителях проволочку помещают в изгибающийся канале керамической пробки. При перегорании плавкой вставки между ее концами создается перемычка из керамики, устраняющая возможность возникновения дуги.

Плавкие предохранители устанавливают в каждый токонесущий провод однофазной сети и при каждом ответвлении линии.

Электрические сети, перегрев которых не представляет пожарной опасности, защищают от токов короткого замыкания, например, электрические сети, проложенные открытым способом голыми проводами.

В зрелищных предприятиях электрические линии, выполненные открытым и скрытым способом изолированными и неизолированными проводами, защищают от токов перегрузки.

Предохранители на напряжение до 1 кВ изготавливают пробковыми (с резьбой) и трубчатыми.

Пробковый предохранитель (рис. 12) состоит из колодки 1 и пробки 2. Колодка является постоянной, а пробка — сменной частью предохранителя. На колодке, изготовленной из керамики или пластмассы, размещены полый металлический цилиндр 4 с резьбой и контактный винт 5.

Цилиндр и контактный винт соединены со шпильками 6, являющимися токоподводящими контактами. Между контактами пробки находится проволочка 3, через которую замыкается электрическая цепь, а при коротком за-

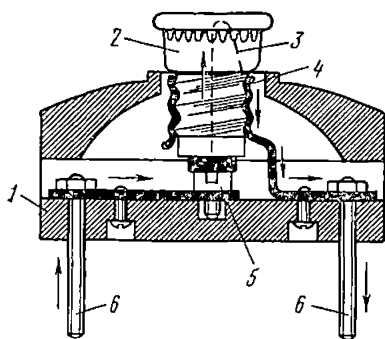


Рис. 12. Пробковый предохранитель: 1 — колодка, 2 — пробка, 3 — калиброванная проволочка, 4 — металлический цилиндр с резьбой, 5 — контактный винт, 6 — токоподводящие шпильки

мыкании или перегрузке линии эта проволочка перегорает и цепь разрывается.

Колодки пробковых предохранителей изготавливают с резьбой двух диаметров: 27 и 33 мм — соответственно на два значения номинального тока: 20 и 60 а. В зависимости от диаметра резьбы пробковые предохранители имеют шифр Ц27 или Ц33.

Плавкие вставки (пробки) выпускают на следующие номинальные значения токов: для предохранителей Ц27 — на 6, 10, 15 и 20 а; для предохранителей Ц33 — на 25, 40 и 60 а.

Наряду с пробковыми предохранителями в сетях с напряжением до 1 кв применяют трубчатые предохранители

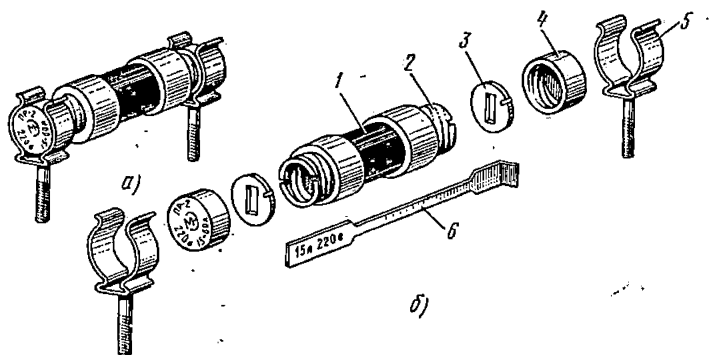


Рис. 13. Предохранитель ПР-2 в собранном (а) и разобранном (б) виде:

1 — фибровая втулка, 2 — металлические обоймы с резьбой, 3 — шайба, 4 — колпачок с резьбой, 5 — пружинные контакты, 6 — плавкая вставка

Трубчатые предохранители ПР-2 (рис. 13) изготавливают с фибровыми разборными патронами без наполнителя. Патрон предохранителя выполняют из фибровой втулки 1 с концевыми металлическими обоймами 2. Цинковую плавкую вставку 6 помещают в патрон и через прорезы в шайбах зажимают колпачками 4. Патрон вставляют в пружинные контакты 5, обеспечивающие хорошее качество электрических контактов.

При перегорании плавкой вставки под действием высокой температуры небольшое количество фибры разлагается и переходит в газообразное состояние, создавая внутри патрона некоторое давление. Продукты разложения фибры обладают дугогасящими свойствами, что ускоряет разрыв цепи при аварийных режимах.

Предохранители ПР-2 выпускаются двух габаритов: I и II. Предохранители малого габарита (I) маркируют на напряжение 220 в и устанавливают в цепях с напряжением 220 и 380 в при токе до 15 а. Предохранители большого габарита (II) маркируют на напряжение 500 в и устанавливают в цепях с напряжением 380 и 500 в при токе до 1000 а.

Предохранитель НПН (рис. 14) имеет стеклянный неразборный патрон 1, заполненный сухим кварцевым песком. Плавкая вставка на номинальный ток от 6 до 60 а изготавливается в виде медной проволоочки с оловянным шариком 2 посредине, что снижает температуру перегорания плавкой вставки и, следовательно, повышает точность срабатывания предохранителя.

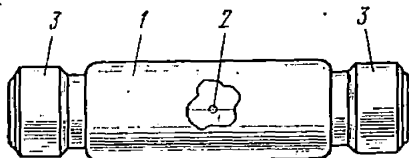


Рис. 14. Предохранитель типа НПН:

1 — стеклянный патрон, 2 — оловянный шарик, 3 — контакты

Предохранители НПР имеют фарфоровый патрон, на концах которого находятся металлические колпачки с контактными ножами. Патрон предохранителя разборный, что позволяет заменить перегоревшую плавкую вставку новой. Промышленность выпускает плавкие вставки к предохранителям НПР на номинальные

токи 60, 80, 100, 125, 160 и 200 а.

Предохранители НПР по конструкции почти аналогичны предохранителям НПН, но плавкие вставки к ним изготавливаются на номинальные токи от 30 до 400 а.

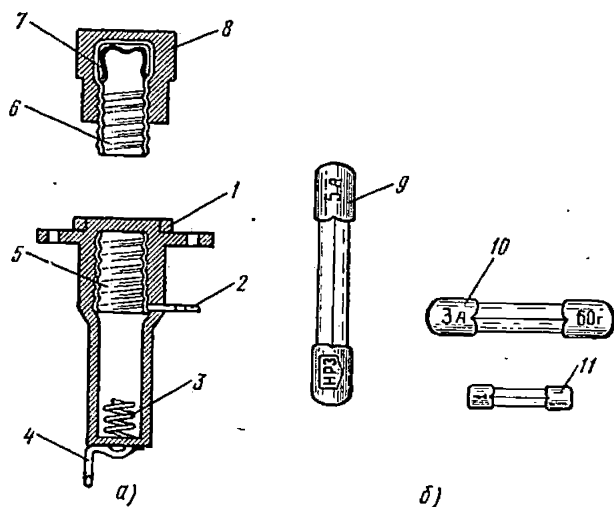


Рис. 15. Предохранитель типа ПК:

а — держатель, б — плавкие вставки; 1 — пластмассовый корпус, 2 и 4 — выводные шинки, 3 и 7 — пружины, 5 и 6 — металлические цилиндры с резьбой, 8 — пластмассовая головка, 9 — плавкая вставка ПК-45, 10 — плавкая вставка ПК-35, 11 — плавкая вставка ПК-20

Малогабаритные трубчатые предохранители типа ПК применяются в радиоприемниках, телевизорах, усилителях и т. д.

Предохранитель ПК состоит из держателя (рис. 15, а) и

плавкой вставки (рис. 15, б). Плавкая вставка представляет собой стеклянную трубку, армированную по концам металлическими наконечниками. Между наконечниками припаяна медная проволока, рассчитанная на ток от 1 до 6 а. Плавкую вставку устанавливают в корпус держателя, закрепляют головкой 8 и с помощью выводных шин 2 и 4 включают в электрическую цепь. Надежность электрических контактов обеспечивается пружинами 3 и 7, с которыми соприкасаются металлические наконечники плавкой вставки.

Плавкие вставки предохранителей ПК выпускаются длиной 20, 35 и 45 мм. Иногда плавкие вставки предохранителей ПК устанавливают в пружинных держателях упрощенного типа, аналогичных держателям предохранителей ПР-2 или НПН.

В плавком предохранителе при коротком замыкании или перегрузке линии перегорает плавкая вставка и после устранения причины аварийного режима плавкую вставку необходимо заменить новой, т. е. плавкий предохранитель — прибор разового применения.

Автоматические предохранители (автоматы), или выключатели-предохранители, являются приборами многократного действия.

По принципу действия автоматы подразделяются на максимальные, минимальные, электромагнитные и тепловые: максимальный автомат разрывает цепь при токе, превышающем допустимую величину, минимальный — при понижении напряжения питающей сети; электромагнитный автомат срабатывает от действия механической силы, создаваемой электромагнитом, тепловой — от деформации биметаллической пластины при нагревании.

Биметаллической называется пластина, состоящая из двух пластин металлов с разными коэффициентами линейного расширения при нагревании, например: медь — сталь, никель — сталь, инвар — латунь и т. д. При нагревании биметаллическая пластина изгибается в сторону пластины из металла с меньшим коэффициентом линейного расширения, а при остывании — выпрямляется (рис. 16).

Биметаллические пластины применяют в автоматических предохранителях, термореле, а также в качестве терморегуляторов в термостатах и различных электронагревательных приборах.

В цепях защиты электротехнического оборудования киноустановок преимущественно применяют однофазные и трехфазные автоматы с тепловыми расцепителями.

Однофазный автомат (рис. 17) состоит из пластмассового корпуса 1 с двумя токоподводящими контактами 2, подвижной части 6, фиксатора 5, биметаллической пластины 3 и замыкателя 10. Как видно из рисунка, контакты 2 соединяются через биметаллическую

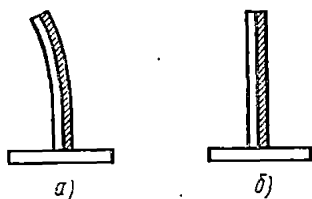


Рис. 16. Биметаллическая пластина при нагревании (а) и охлаждении (б)

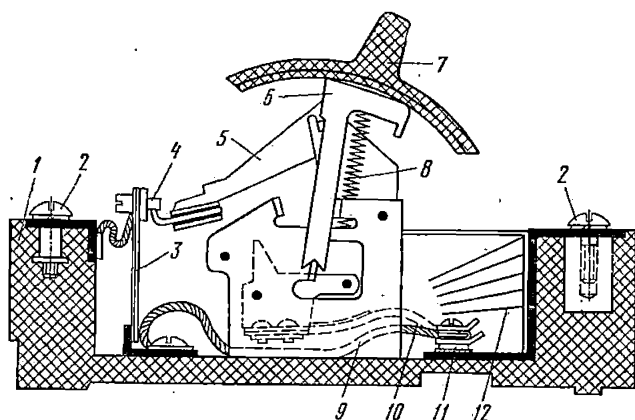


Рис. 17. Устройство однофазного автомата:

1 — пластмассовый корпус, 2 — токоподводящие контакты, 3 — биметаллическая пластина, 4 — винт упора на биметаллической пластине, 5 — фиксатор, 6 — подвижная часть автомата, 7 — ручка, 8 — цилиндрическая пружина, 9 — соединительный проводник, 10 — замыкатель, 11 — неподвижный контакт, 12 — пластины искрогасителя

пластину 3, проводник 9 и замыкатель 10. В случае короткого замыкания или перегрузки линии ток в цепи возрастает, биметаллическая пластина нагревается и изгибается в левую сторону. При этом фиксатор 5 соскакивает с упора на биметаллической пластине, подвижная часть автомата перемещается влево, механическое равновесие в системе нарушается и пружина 8 перебрасывает замыкатель в верхнее положение, разрывая электрическую цепь.

Если причина короткого замыкания или перегрузки линии устранена, автомат через 30—50 сек (т. е. после остывания биметаллической пластины) можно вернуть в исходное положение. С этой целью подвижную часть автомата перемещают сначала влево (фиксатор входит в зацепление с упором на биметаллической пластине), а затем вправо (замыкатель опускается и восстанавливает электрическую цепь).

Пластинки искрогасителя предохраняют контакты от обгорания под действием дуги, возникающей при разрыве цепей, содержащих катушки со стальными сердечниками.

Трехфазный автомат содержит три биметаллические пластины, механически связанные с тремя замыкателями. Это обеспечивает срабатывание автомата при ко-

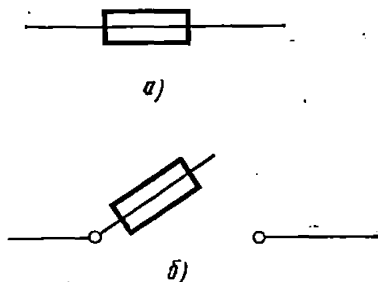


Рис. 18. Условное обозначение предохранителей в схемах:

а — плавкого, б — автоматического

ротком замыкании или перегрузке в цепи любой фазы трехфазной сети.

Условные обозначения предохранителей в схемах показаны на рис. 18.

§ 14. ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Растворы солей, щелочей и кислот в воде или в каком-либо другом растворителе проводят электрический ток и называются электролитами или проводниками второго рода в отличие от металлических проводников, называемых проводниками первого рода.

Электрический ток может проходить через среды с электрически заряженными частицами, обладающими способностью перемещаться.

При растворении солей и кислот в воде или в каком-либо ином растворителе (этиловом спирте, бензине, бензоле и др.) часть молекул распадается на две части, называемые ионами, причем одна часть имеет положительный заряд, другая — отрицательный.

Таким образом, в отличие от металлических проводников, где переносчиками электричества являются электроны, в электролитах ими служат ионы. Ионы могут быть простыми и сложными. Простой ион образован одним атомом вещества, сложные ионы состоят из нескольких атомов.

Распад химических соединений на ионы под действием растворителя называется электрической диссоциацией и выражается обычными химическими уравнениями, в левой части которых помещаются химические символы распадающихся веществ, а в правой — образующиеся из этих веществ ионы. Например, уравнение диссоциации поваренной соли (хлористого натрия) записывается так:



Для более сложных соединений процесс диссоциации может протекать в несколько стадий.

При перемещении ионов в определенных направлениях в электролите возникает электрический ток. Прохождение тока через электролит сопровождается химическими процессами, носящими общее название электролиза.

Положим, что в сосуд с электролитом погружены две металлические пластины, называемые электродами, которые с помощью проволочных проводников присоединены к источнику энергии постоянного тока.

При наличии разности потенциалов между электродами через электролит будет протекать ток, т. е. будет происходить направленное движение заряженных частиц. Находящиеся в электролите ионы, притягиваясь к электродам, двигаются в противоположных направлениях: положительные ионы (катионы) — к катоду, а отрицательные ионы (анионы) — к аноду. Подойдя к катоду, катионы

получают от него недостающие им электроны и образуют электрически нейтральные атомы. На аноде происходит обратный процесс — анионы отдают аноду свои избыточные электроны. Например, при электролизе раствора поваренной соли на катоде отлагаются катионы натрия, а на аноде — анионы хлора.

Благодаря непрерывному переходу электронов с катода на анод поддерживается движение электронов в проводах, соединяющих источник электрической энергии с электродами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких элементов состоит простейшая электрическая цепь?
2. В каких единицах измеряются э. д. с. и напряжение?
3. Что такое сопротивление проводника и в каких единицах оно измеряется?
4. Как выражается закон Ома для замкнутой цепи и для ее участка?
5. Чему равно общее сопротивление последовательно включенных приемников?
6. Сформулируйте первый закон Кирхгофа.
7. Чему равно общее сопротивление при параллельном включении приемников энергии?
8. Какое соединение сопротивлений называется смешанным?
9. Сформулируйте второй закон Кирхгофа.
10. Какими соотношениями определяются работа и мощность?
11. Как определяется к. п. д., или отдача, источника и приемника электрической энергии?
12. Почему при прохождении тока через металлический проводник происходит его нагрев?
13. Поясните назначение и принцип действия плавкого предохранителя?
14. Что называется электролизом?

Глава II ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

§ 15. ОСНОВНЫЕ СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

По принципу излучения электрические источники света подразделяют на тепловые (лампы накаливания), люминесцентные (лампы дневного света) и источники смешанного излучения (дуговые и ксеноновые лампы).

В тепловых источниках излучение является следствием частичного превращения тепловой энергии раскаленного тела в энергию видимого излучения.

В люминесцентных источниках в энергию видимого излучения превращаются какие-либо виды энергии, исключая тепловую. Поэтому излучение световой энергии в таких источниках может происходить при низких температурах.

Источники смешанного излучения сочетают в себе свойства и особенности источников теплового и люминесцентного излучения.

Качество кинопоказа находится в прямой зависимости от светотехнических и эксплуатационных характеристик электрических источников света. К этим характеристикам относятся: величины полезного светового потока, силы света, яркости, светоотдачи, а также спектральный состав света, срок службы, удобство и безопасность в эксплуатации.

Световым потоком называется лучистая энергия, которая воспринимается глазом человека и оценивается по вызываемому световому ощущению. Световой поток обозначается буквой Φ и измеряется в люменах (лм) и килолюменах (клм):

$$1 \text{ клм} = 1000 \text{ лм.}$$

Люмен — световой поток, излучаемый точечным источником света силой в одну свечу (св) внутри телесного угла в один стерadian (стер).

Световой поток равен произведению силы света источника на телесный угол, в который посылается световой поток:

$$1 \text{ лм} = 1 \text{ св} \times 1 \text{ стер.}$$

Большинство источников света обладают направленностью излучения, т. е. создают в разных направлениях световой поток различной плотности. Плотность светового потока характеризуется силой света I .

Если источник света разместить в центре шара и построить конус с вершиной в центре, то часть пространства, ограниченная конусом, образует телесный, или пространственный, угол. Единица телесного угла называется стерadianом.

Стерadian — телесный угол, конус которого, совпадая вершиной с центром шара, вырезает на его поверхности площадь, численно равную квадрату радиуса шара.

Силой света называется световой поток, заключенный внутри единицы телесного угла. За единицу силы света принята одна свеча.

Свеча — сила света точечного источника, который излучает внутри телесного угла в один стерадиан световой поток в один люмен:

$$1 \text{ св} = \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ стер}}$$

О силе света в одну свечу можно приблизительно судить по горению стеариновой свечи.

Освещенностью называется световой поток, приходящийся на единицу освещаемой поверхности. Освещенность обозначается буквой E и измеряется в люксах ($1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$):

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Из приведенного соотношения видно, что с увеличением светового потока освещенность возрастает, а с увеличением освещаемой поверхности S — уменьшается.

Яркостью светящейся поверхности называется отношение силы света, создаваемой поверхностью излучения, к площади этой поверхности в нормальном направлении. Яркость измеряется в нитах (нт), килонитах (кнт) и меганитах (Мнт):

$$1 \text{ Мнт} = 1000 \text{ кнт} = 1\,000\,000 \text{ нт.}$$

Нит — яркость равномерно светящейся поверхности, дающей в перпендикулярном к ней направлении силу света в одну свечу с площади в один квадратный метр.

В кинотехнике электрические источники света применяют для освещения помещений и фасадов кинотеатров, а также создания световых потоков, необходимых для просвечивания фонограммы фильма или изображения в кадровом окне кинопроектора.

В настоящее время обычные лампы накаливания и электрическая дуга заменяются более совершенными и экономичными люминесцентными, кварцево-йодными и ксеноновыми лампами.

§ 16. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Лампа накаливания изобретена русским ученым А. Н. Лодыгиным в 1873 г.

Осветительная лампа накаливания (рис. 19) состоит из стеклянного баллона 1, внутри которого на специальных держателях укреплена нить накала 3, изготовленная из тугоплавкого металла — вольфрама.

Для быстрого включения лампы в электрическую цепь к баллону приклеивают цоколь. Концы нити накала с помощью соединительных проводников 4 подключают к контактам цоколя. Под действием тока вольфрамовая нить нагревается до температуры $1800\text{--}2200^\circ\text{C}$, излучая световую энергию. При такой высокой температуре вольфрамовая нить быстро окисляется и перегорает. Для увеличения срока службы лампы воздух из баллона откачивают.

В процессе работы вольфрамовая нить постепенно испаряется. Частицы испаряющегося вольфрама оседают на внутренней поверхности баллона, уменьшая полезный световой поток лампы. Процесс распыления вольфрама замедляется, если в колбе лампы создавать некоторое давление. С этой целью в колбу накачивают инертный газ (азот, аргон или криптон). Такие лампы получили название газополных, а лампы, не заполненные газом, — вакуумных.

Согласно ГОСТу вакуумным лампам присваивается шифр НВ (нормальные вакуумные), а газополным — НГ (нормальные газополные).

Все лампы специального назначения — газополные независимо от их мощности. В газополных лампах температура нити повышена до 2800°C , что увеличило их экономичность и светотдачу при сохранении среднего срока службы.

При работе лампы стеклянный баллон и соединительные проводники нагреваются и расширяются. Во избежание нарушения герметичности баллона лампы соединительные проводники, проходящие через слой стекла, изготавливают из специального сплава (платинита), который имеет одинаковый со стеклом коэффициент линейного расширения при нагревании.

Лампы накаливания характеризуются светотдачей, сроком службы, мощностью и номинальным напряжением.

Светотдачей называется отношение светового потока к электрической мощности лампы. Светотдача измеряется в лм/вт и в осветительных лампах накаливания колеблется от 7 до 20 лм/вт .

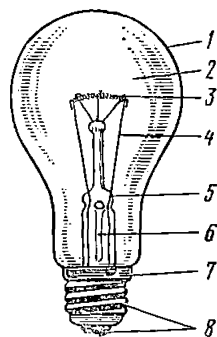


Рис. 19. Устройство осветительной лампы накаливания:

1 — стеклянный баллон, 2 — безвоздушное пространство, 3 — вольфрамовая нить накала, 4 — соединительный проводник, 5 — проводник из платинита, 6 — штенгель, 7 — цоколь, 8 — контакты цоколя

Светоотдача электрических источников света зависит от температуры светящегося тела. С повышением температуры светящегося тела светоотдача ламп увеличивается и наоборот.

Осветительные лампы накаливания изготовляют на рабочее напряжение 127 и 220 в мощностью от 15 до 1500 вт. Выпускают также более экономичные лампы с биспиральной нитью накала мощностью от 55 до 109 вт.

Средний срок службы осветительных ламп при номинальном напряжении питания не менее 1000 рабочих часов.

Лампы накаливания с баллонами, наполненными инертным газом, и биспиральной нитью накала являются наиболее совершенными источниками температурного излучения, имеющими по сравнению с вакуумными меньшие габариты и повышенную светоотдачу.

Лампы могут быть в прозрачных, матированных или окрашенных в молочный цвет баллонах.

Изменения напряжения, подводимого к лампе накаливания, вызывают соответствующие изменения температуры нити лампы. С повышением напряжения питания увеличивается световой поток, светоотдача (из-за увеличения доли лучистой энергии в общем объеме излучения) и потребляемая электрическая мощность. Кроме того, более интенсивно распыляется вольфрам и резко сокращается срок службы лампы.

Увеличение напряжения питания на 5% сокращает срок службы лампы примерно на 45%, т. е. почти в два раза. Отсюда следует, что нельзя превышать номинальное рабочее напряжение ламп. С уменьшением напряжения питания увеличивается срок службы лампы, но резко уменьшаются светоотдача и световой поток. Следовательно, использовать лампы в режиме недокала также невыгодно.

Осветительные лампы накаливания имеют резьбовые цоколи диаметром 27 и 40 мм. Таким цоколям присвоены шифры Р27 и Р40. В лампах специального назначения, а также в некоторых вариантах осветительных ламп применяют резьбовые цоколи диаметром 10 и 14 мм (Р10 и Р14). Соответственно резьбовые патроны диаметром 10, 14, 27 и 40 мм имеют шифры Ц10, Ц14, Ц27 и Ц40.

Осветительные лампы накаливания с цоколями типа Р применяют в неподвижных устройствах. На транспорте и в специальной аппаратуре, которая при работе подвергается вибрации, такие цоколи не могут обеспечить хорошее качество электрических контактов, так как способны самоотвинчиваться. В этих случаях лампы снабжают цоколями типа Ш с направляющими штифтами, а специальные лампы направленного излучения — цоколями типа Ф с фиксирующим фланцем.

Применение цоколей типа Ф позволяет заменять лампы направленного излучения без дополнительного центрирования, что облегчает эксплуатацию специальной аппаратуры.

Внешний вид цоколей и патронов к ним приведен на рис. 20.

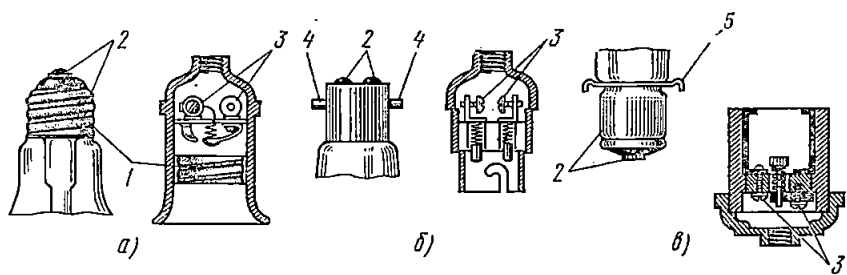


Рис. 20. Цоколи и патроны к ним:

а — цоколь типа Р и патрон типа Ц, б — цоколь и патрон типа Ш, в — цоколь и патрон типа Ф; 1 — металлический цилиндр с резьбой, 2 — контакты цоколя, 3 — токоподводящие контакты патрона, 4 — направляющие штифты, 5 — фиксирующий фланец

Согласно ГОСТ 4019—64 кинолампам присваивается шифр, состоящий из буквы К и цифр, указывающих соответственно напряжение накала и мощность лампы. Например: К17-170; К30-400 и т. д.

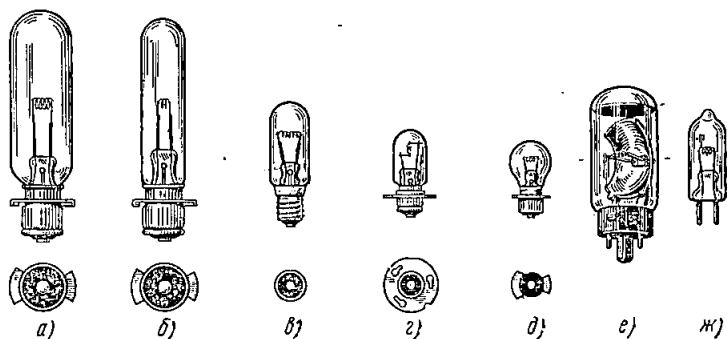


Рис. 21. Проекционные и читающие лампы:

а — К30-400, б — К17-170, в — К10-50, г — К6-30, д — К-29, е — К21-150, ж — КИМ10-90

Проекционные лампы (рис. 21, а и б) имеют мощность 170—750 вт. Наибольшее распространение в киноаппаратуре получили лампы К17-170 и К30-400 с нитью в виде плоской спирали, по форме напоминающей кадровое окно кинопроектора. Такая конструкция нити накала позволяет получить высокую направленность излучения и уменьшить потери светового потока.

Читающие лампы (рис. 21, в, г, д) выпускаются на мощность 3—50 вт. Они должны иметь строго постоянную температуру нити накала. Поэтому в большинстве случаев читающие лампы питают постоянным током от выпрямительных устройств.

В случае питания читающей лампы переменным током промышленной частоты температура нити накала и ее световой поток будут

меняться с двойной частотой тока. Это приведет к появлению в громкоговорителе фона переменного тока с частотой 100 гц.

На цоколи читающих ламп наносят следующие обозначения: товарный знак предприятия-поставщика, номинальное напряжение в вольтах, номинальную мощность в ваттах, дату выпуска (квартал и год).

Зеркальные лампы. Применение нового типа проекционных ламп (рис. 21, е) позволяет повысить полезный световой поток и упростить конструкцию осветительной части кинопроектора. Зеркальные проекционные лампы изготавливают как со сферической зеркальной поверхностью колбы, так и с вмонтированным внутрь колбы отражателем. Пробная эксплуатация подобной лампы мощностью 150 вт в 16-миллиметровом кинопроекторе доказала возможность увеличения полезного светового потока в полтора раза по сравнению с потоком от лампы КЗ0-400.

Кварцевые лампы. Особую группу проекционных ламп составляют галогенные лампы накаливания в кварцевых колбах, обладающие малыми размерами, высокой яркостью и относительно большим сроком службы (до 200 ч).

Кварцевая лампа (рис. 21, ж) представляет собой малогабаритный кварцевый баллон, наполненный инертным газом аргоном с добавлением небольшого количества галогена (йода или брома).

Тело накала лампы выполняют в виде обычной спирали из вольфрама. Особенность такой лампы заключается в том, что при высокой температуре пары йода, вступая в реакцию с вольфрамом, оседающим на стенках колбы, образуют бесцветный йодистый вольфрам. Поэтому световой поток и яркость кварцевых ламп практически постоянны. Кроме того, пары йодистого вольфрама, попадая в зону с высокой температурой (около тела накала), снова разлагаются на вольфрам и йод. Образующиеся при этом частицы вольфрама или оседают на нить накала или, оставаясь в непосредственной близости от нее, замедляют процесс испарения вольфрама, благодаря чему увеличивается срок службы лампы. Для осуществления замкнутого йодного цикла требуется высокая температура стенок колбы. Очевидно, что данное условие выполнимо лишь при значительном уменьшении размеров колбы. Высокая температура стенок колбы вынуждает применять кварцевое стекло, что несколько увеличивает стоимость лампы. Уменьшение интенсивности распыления вольфрама позволяет повысить рабочую температуру тела накала и добиться яркости 35—38 Мнт.

Промышленность выпускает два типа кварцевых ламп: КИМ30-300 и КИМ10-90. Марка лампы расшифровывается так: кварцево-йодная малогабаритная; последующие цифры указывают рабочее напряжение и мощность лампы.

Кварцевые лампы накаливания являются весьма перспективными источниками света температурного излучения для кинопроекции.

Основные данные киноламп приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Основные характеристики киноламп

Тип лампы	Номинальные величины				Средняя продолжительность горения, ч	Типы цоколей	Назначение
	напряжение, в	мощность, вт	световой поток, лм	световая отдача, лм/вт			
K40-750	40	750	21 800	29	10	1Ф-С34-1	Проекционная
K30-400	30	400	11 000	29	30	1Ф-С34-1	»
K17-170	17	170	4420	26	20	1Ф-С34-1	»
K10-50	10	50	850	17	100	P14/25-2	Читающая
K6-30	6	30	500	18	100	1Ф-Д30	»
K-29	4	3	24	18,5	100	1Ф-С15-1	»
КИМ30-300	30	300	—	31	50	—	Проекционная
КИМ10-90	10	90	—	22	200	—	»

§ 17. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА

Электрическая дуга была впервые обнаружена русским электротехником В. В. Петровым в 1802 г.

Электрической дугой называется мощный электрический разряд, возникающий между двумя угольными (или металлическими) электродами. Электрическая дуга возникает в результате термоэлектронной эмиссии, являющейся процессом выхода электронов из раскаленных металлов.

В каждом проводнике имеется большое количество свободных электронов, находящихся в беспорядочном (хаотическом) движении. Скорость движения электронов определяется температурой проводника. При обычных температурах скорость движения и кинетическая энергия электронов недостаточны для преодоления сил притяжения положительно заряженных ядер атомов. В процессе нагревания скорость и кинетическая энергия электронов увеличиваются и при некоторой температуре достигают величин, достаточных для преодоления тормозящего действия ядер атомов и вылета в окружающее пространство.

Дуга, являющаяся мощным источником света, используется в современных кинопроекторах стационарного типа.

В зависимости от рода тока и применяемых углей кинопроекционные дуги бывают: постоянного тока, переменного тока, а также низкой интенсивности, пламенные и высокой интенсивности.

В кинопроекторах последних выпусков пламенные дуги (а тем более низкой интенсивности) не применяются.

Высокое световое излучение угольной дуги объясняется особыми физическими свойствами углерода, из которого изготовляют угольные электроды. Эти свойства заключаются в малой теплопроводности, хорошей электропроводности и способности углерода испаряться при высокой температуре, минуя жидкое состояние.

Цепь электрической дуги (рис. 22) состоит из стабилизированного источника постоянного тока и угольных электродов. Для зажигания дуги необходимо сблизить электроды до соприкосновения. В точке соприкосновения углей образуется плохой контакт, с большим переходным сопротивлением. В результате этого концы углей раскаляются и возникает термоэлектронная эмиссия.

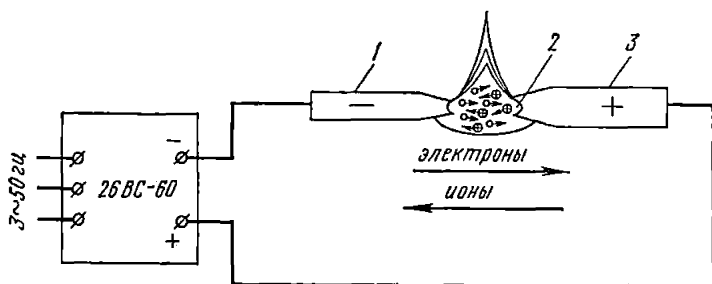


Рис. 22. Схема электрической дуги:
1 — отрицательный уголь (катод), 2 — кратер, 3 — положительный уголь (анод)

Если угольные электроды раздвинуть, то между ними возникает электрическое поле, под действием которого электроны вылетают из раскаленного отрицательного угля (катода) и, бомбардируя положительный уголь (анод), образуют на его конце небольшое углубление (кратер) с высокой температурой (до 4000°C). Вылетевшие электроны ионизируют атомы газов, выделяющихся из угольных электродов.

Положительные ионы, образовавшиеся в результате ионизации, бомбардируют конец отрицательного угля, поддерживая его в раскаленном состоянии. Под действием ионной бомбардировки на отрицательном угле образуется катодное пятно, являющееся основным источником электронов. В результате этого дуговой разряд приобретает необходимую устойчивость и дуга не гаснет.

Воздушный промежуток, через который проходит электрический ток при дуговом разряде, называется дуговым промежутком, а его длина — длиной дуги. Роль стабилизированного источника постоянного тока сводится к поддержанию постоянства силы тока при изменении длины дуги.

Положительный электрод нагревается до более высокой температуры и, следовательно, сгорает значительно быстрее. Это создает определенные трудности при эксплуатации проекторов с дуговыми лампами. Чтобы скорость сгорания углей была примерно одинаковой, положительный электрод должен иметь больший диаметр, чем отрицательный. По мере сгорания углей их сводят вручную или автоматически с помощью специального механизма.

Механизм автоматической подачи углей позволяет регулировать скорость подачи как отрицательного, так и положительного

электродов. Работу дуги можно контролировать через темные защитные стекла, вмонтированные в корпус фонаря дуговой лампы, или с помощью контрольного экранчика, на который через простейшую оптическую систему (визир) проецируются концы раскаленных углей (рис. 23). На экранчике имеются две вертикальные линии, облегчающие контроль за скоростью сгорания и положением углей.

Дуговой разряд может происходить и на переменном токе, но в этом случае вследствие поочередного образования кратера на обоих электродах световой поток дуги будет примерно в два раза меньше.

Существуют три разновидности углей: низкоинтенсивные (чистые — бесфитильные), пламенные и высокоинтенсивные. Пламенные и высокоинтенсивные угли отличаются от низкоинтенсивных наличием фитиля (рис. 24). Тело угля прессуется из графита с добавлением сажи, кокса и связующих веществ. В центре угля делают отверстие, которое заполняют угольным порошком с добавлением фтористых соединений кальция, стронция, бария и редкоземельных металлов (пламенные угли), а также фтористых соединений церия и лантана (высокоинтенсивные угли).

Центральная часть угля, называемая фитилем, повышает светоотдачу, устойчивость горения и обеспечивает необходимый спектральный состав (цвет) пламени, что особенно важно для безыскаженной цветопередачи цветных фильмокопий.

Фитиль положительного угля имеет несколько больший диаметр, чем отрицательного. Снаружи уголь омедняют, т. е. покрывают тонким слоем меди, что позволяет увеличить плотность тока

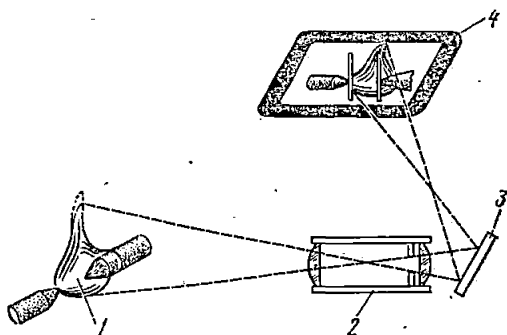


Рис. 23. Схема оптического визира дуговой лампы КИТ:

1 — дуга, 2 — оптическая система, 3 — отражающее зеркало, 4 — контрольный экранчик

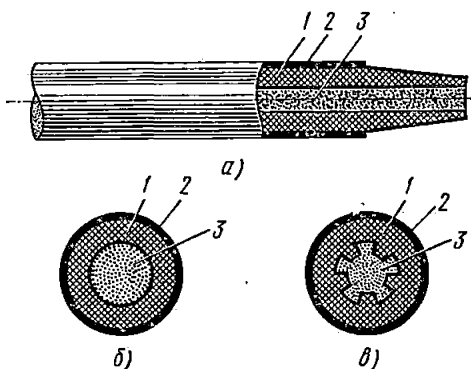


Рис. 24. Конструкция фитильного угля:

а — продольное сечение, б — уголь с фитилем круглого сечения, в — уголь с фитилем звездчатого сечения; 1 — тело угля, 2 — омеднение, 3 — фитиль

в углях, предохраняет угли от нагрева по всей длине и улучшает качество их контактов с угледержателями.

Пламенные угли выпускают диаметром 7—10 мм, длиной 200 и 250 мм следующих марок: КП7, КП8, КП9, КП10 (киноугли пламенные диаметром от 7 до 10 мм).

Угли высокой интенсивности отличаются от пламенных большей длиной, большим диаметром фитиля и его составом. Им присвоен комбинированный буквенно-цифровой шифр. Например: КП8-60, КП9-90, КП14-180 и т. д. Первая цифра указывает диаметр угля в миллиметрах, а вторая — ток в амперах. Основные данные кинопроекторных углей приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Основные характеристики кинопроекторных углей

Марки углей		Длина углей, мм		Режим горения		Максимальная скорость сгорания углей, мм/ч		Омеднение углей		Средняя яркость центральной зоны кратера, Мит	Длина дуги, мм	Применяются в кинопроекторах
положительного	отрицательного	положительного	отрицательного	сила тока, а	напряжение, в	положительного	отрицательного	положительного	отрицательного			

Пламенные угли (постоянный ток)

КП10	КП7	250 200	45	45	250 100	Есть	Есть	250	6	КПТ-1

Пламенные угли (переменный ток)

КП10	КП10	250 250	50	30	100 100	Есть	Есть	120	5	КПТ-1

Угли высокой интенсивности

КП8-60	КП7-60	350 250	60±2	45±2	350 120	Есть	Есть	600	7	КПТ-1, КПТ-2
КП9-90	КП8-90	390 250	90±5	55±3	800 120	»	»	820	12	КПТ-3
КП10-90	КП8-90	400 250	90±5	60±5	500 120	»	»	620	12	КПП-2
КП11-120	КП10-120	400 250	120±5	65±5	800 150	Нет	»	750	20	КП15-А, КПП-3
КП12-180	КП14-180	800 300	180±5	80±5	1850 250	»	»	1050	20	КП30-А

При эксплуатации дуговых ламп кинопроекторов необходимо правильно регулировать взаимное положение углей (рис. 25) и устанавливать номинальную для данного типа углей силу тока. В этом случае катодное пятно и кратер приобретают необходимые размеры (рис. 25, а) и располагаются на вершинах конусов углей. Во всех остальных случаях неизбежны большие световые потери и уменьшение электрического к. п. д. дуги.

Для киноуглей КП8-60 оптимальная длина дуги 5—7 мм. При короткой дуге (рис. 25, *е*) в пламени дуги могут появляться хлопья сажи и образуется грибовидный нарост на отрицательном угле. В случае превышения номинального тока (рис. 25, *е*) концы углей приобретают форму острых конусов, что характеризуют термином «обсасывание углей».

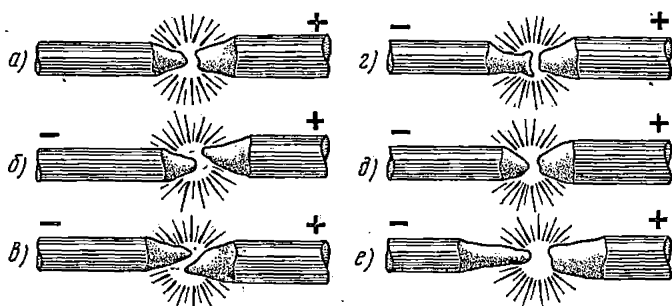


Рис. 25. Установка углей:

а — правильная установка углей при номинальной силе тока, *б* — отрицательный уголь расположен слишком низко, *в* — отрицательный уголь расположен слишком высоко, *г* — угли сведены слишком близко, *д* — сила тока мала (короткий конус), *е* — сила тока велика (обсасывание углей)

Введение в состав фтилей пламенных углей солей редкоземельных металлов, обладающих малым потенциалом ионизации, увеличивает электропроводность дугового разряда и уменьшает напряжение, необходимое для устойчивого горения дуги. Для дуги низкой интенсивности это напряжение составляет 50—55 в, а для пламенной 37—45 в.

Яркость пламенной дуги достигает 300 Мнт, причем основным источником света является газовое облачко, расположенное перед кратером положительного угля.

В дуге высокой интенсивности дуговой разряд имеет характерные особенности, благодаря которым яркость центральной зоны мощных дуг при токе 250 а достигает 1200—1400 Мнт, что соизмеримо с яркостью поверхности солнца. Высокая яркость такой дуги возможна только при наличии хорошо развитого эффекта высокой интенсивности, под которым понимают такое состояние дугового разряда (рис. 26), когда большая часть тока в виде концентрированного луча проходит через центр кратера положительного угля.

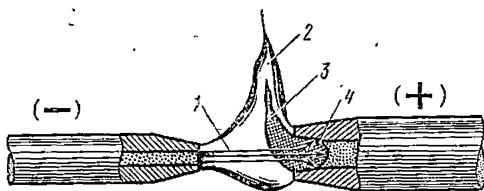


Рис. 26. Дуга высокой интенсивности:

1 — катодный луч, направленный в кратер, 2 — газовое облачко дугового разряда, 3 — яркосветящийся язычок при развитом эффекте высокой интенсивности, 4 — глубокий кратер

Электрическая энергия, рассеиваемая на небольшой площади кратера, вызывает резкое повышение температуры (до 6000°C), при которой происходит интенсивное испарение фитиля и свечение паров редкоземельных металлов.

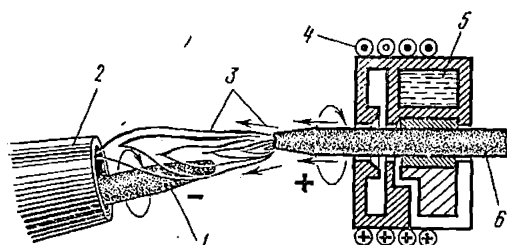


Рис. 27. Дуга с воздушным дутьем:

1 — отрицательный уголь, 2 — всасывающее сопло, 3 — воздушная струя, 4 — электромагнит, 5 — водяное охлаждение головки держателя положительного угля, 6 — положительный уголь

В высокоинтенсивной дуге основным источником света является газовое облачко, расположенное в глубоком кратере положительного угля. Внешним признаком эффекта высокой интенсивности может быть яркосветящийся язычок 3, хорошо различимый в общей структуре дугового разряда.

В некоторых случаях в дуговых лампах высокой интенсивности применяют вращение положительного

электрода и водяное охлаждение угледержателей. При вращении положительного электрода кратер приобретает необходимую глубину и форму. Это обеспечивает удержание раскаленных газов в глубоком кратере, что является основным условием повышения эффективности дуги. Водяное охлаждение угледержателей дает возможность увеличить плотность тока и уменьшить скорость сгорания углей.

Однако дальнейшее увеличение световых потоков кинопроекторов связано с большими технологическими трудностями. Поэтому современная техника идет по пути создания новой формы дуги высокой интенсивности — дуги с воздушным дутьем (рис. 27), которая имеет ряд характерных особенностей.

Если в обычной дуге повышенной интенсивности пламя поднимается вверх, то в дуге с воздушным дутьем оно направляется от положительного электрода к отрицательному. При этом тело свечения приобретает форму цилиндра, вытянутого вдоль оси лампы. Такая форма разряда обеспечивается струей воздуха, создаваемой вентилятором и воздушной головкой положительного угля. Через специальное сопло 2, укрепленное около отрицательного угля, происходит отсасывание воздушной струи, которая вместе с продуктами сгорания направляется в вентиляционный канал киноаппаратной.

Цилиндрическая форма разряда позволяет применить оптическую систему с большим углом охвата, увеличить яркость дуги и на 30—50% повысить световой поток кинопроектора.

Эффективность дуги с воздушным дутьем позволила создать сверхмощный кинопроектор КПЗ0-А с полезным световым потоком в 40000 лм, дуговая лампа которого работает при токе 180 а и напряжении 80 в.

В комплект углей КП12/14-180 входит положительный уголь диаметром 12 и длиной 800 мм, а также отрицательный уголь диаметром 14 и длиной 300 мм. Яркость центра кратера положительного угля 1200 Мнт. Скорость сгорания положительного угля 1500 мм/ч, а отрицательного 200 мм/ч. Оба угля вращаются, а их держатели имеют водяное охлаждение. Управление дуговой лампой полностью автоматизировано.

Дуговой разряд на переменном токе может происходить как между бесфитильными, так и между пламенными и высокоинтенсивными углями.

Высокоинтенсивные угли переменного тока отличаются от аналогичных углей постоянного тока большей плотностью тока и повышенным содержанием примесей в фитиле.

Ввиду практической нерентабельности высокоинтенсивные угли переменного тока и специальные источники питания для них в Советском Союзе не выпускаются.

В дуге переменного тока основным источником света является газовое облачко небольших размеров, расположенное в междугульном пространстве.

Дуга переменного тока создает пульсации светового потока с частотой 100 гц. Осветительные системы кинопроекторов позволяют использовать световой поток, создаваемый только одним кратером, что равносильно пульсациям светового потока с частотой 50 гц. Так как обтюратор кинопроектора перекрывает световой поток 48 раз в секунду, возникает дополнительная пульсация светового потока разностной частоты (2 гц), которая, вызывая периодические изменения освещенности экрана, резко снижает общее качество кинопоказа.

В пламени дугового разряда на переменном токе преобладают лучи коротковолнового участка спектра (голубые), искажающие передачу тонов при демонстрации цветных фильмокопий.

Световой поток, создаваемый дугой переменного тока, находится в большой зависимости от расположения дуги по отношению к отражателю, силы тока в цепи и расстояния между углями. Для питания дуги переменного тока применяют стабилизированный источник тока (ТРД-50), а работу производят на пламенных углях КП10.

На большинстве киноустановок дугу питают постоянным током от стабилизированных выпрямителей, а на переменный ток переходят только в аварийных случаях.

Скорость сгорания углей зависит от номинального тока, типа углей, их установки, а также от толщины и качества омеднения.

Скорость сгорания положительных низкоинтенсивных углей не превышает 45—60 мм/ч при скорости сгорания отрицательных углей около 30 мм/ч.

Пламенные положительные угли КП10 при токе 45—50 а сгорают со скоростью около 100 мм/ч. Приблизительно такую же скорость сгорания имеют отрицательные угли.

Наибольшую скорость сгорания имеют высокоинтенсивные угли. Так, например, положительный уголь марки КП8-60 сгорает со скоростью около 320 мм/ч, а отрицательный уголь диаметром 7 мм — со скоростью примерно 110 мм/ч.

Превышение номинального тока для высокоинтенсивных углей КП8-60 на 10% увеличивает скорость сгорания на 30%. При этом нарушается устойчивость горения дуги, происходит «обсасывание» углей, а возрастающий факел пламени дуги может привести к повреждению отражателя.

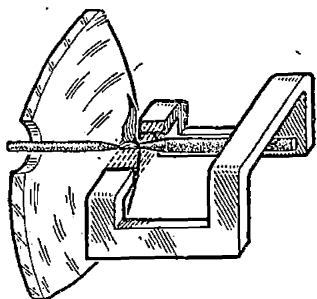


Рис. 28. Расположение скобы магнитного стабилизатора пламени дуги

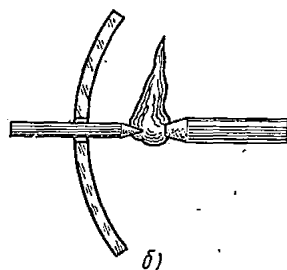
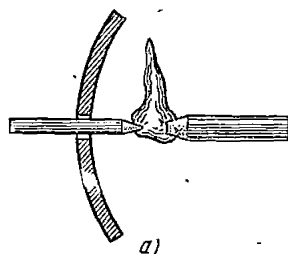


Рис. 29. Действие магнитного стабилизатора:

а — положение пламени дуги при отсутствии магнитного дутья, *б* — положение пламени дуги при магнитном дутье

Для придания дуговому разряду формы, обеспечивающей максимальную устойчивость, в дуговых лампах стационарных проекторов применяют направленное магнитное дутье, а отрицательный уголь устанавливают на 1—1,5 мм ниже положительного.

Под магнитным дутьем понимают отклонение дугового разряда в определенном направлении под воздействием магнитного поля, создаваемого электромагнитом. Например, в кинопроекторах КПТ применен магнитный стабилизатор дуги (рис. 28), скоба которого крепится на опоре положительного угля. При прохождении тока по положительному углю скоба намагничивается и образующееся магнитное поле удерживает газовое облачко в глубоком кратере положительного угля. Кроме того, возникающее магнитное поле отклоняет пламя дуги вправо, тем самым облегчая температурный режим отражателя (рис. 29).

При эксплуатации дуговых ламп в кинопроекторных, имеющих принудительную вентиляцию, необходимо учитывать, что сильная тяга оказывает отрицательное влияние на дуговой разряд, снижая устойчивость горения дуги.

§ 18. КСЕНОНОВЫЕ ЛАМПЫ

Газоразрядные ксеноновые лампы сверхвысокого давления с короткой дугой являются новыми, наиболее перспективными источниками света. В таких лампах используется дуговой разряд между вольфрамовыми электродами в среде, заполненной инертным газом ксеноном. Промышленность выпускает ксеноновые лампы, рассчитанные на питание как постоянным, так и переменным током.

В лампе переменного тока (рис. 30, а) оба электрода одинаковы, а в лампе постоянного тока (рис. 30, б) положительный электрод (анод) значительно толще и массивнее, чем отрицательный (катод). Это объясняется тем, что на аноде по сравнению с катодом выделяется большая энергия. Вольфрамовые электроды с помощью молибденовых цилиндров подключены к стальным вводам, являющимся токоподводящими контактами. Давление инертного газа в колбе в холодном (нерабочем) состоянии 8—9 ат, а во время работы повышается до 20—25 ат.

При работе лампы между вольфрамовыми электродами происходит дуговой разряд, сопровождающийся ярким свечением. Яркость дугового разряда в лампе мощностью 1 кВт достигает 200 Мнт, а световая отдача составляет 26—28 лм/вт, т. е. превышает отдачу дуги постоянного тока.

Для возникновения дугового разряда в ксеноновой лампе необходимо ионизировать инертный газ в разрядном промежутке. С этой целью при пуске к электродам лампы подводят импульс напряжения 25—30 кВ. В дальнейшем лампа питается от специального источника постоянного или переменного тока низкого напряжения, рассчитанного на номинальный ток 50 а.

Отечественная промышленность выпускает ксеноновые лампы мощностью 0,5; 1; 3 и 5 кВт.

На базе созданных ламп сконструированы и выпускаются кинопроекторы «Ксенон-1», «Ксенон-3» и «Ксенон-5» с лампами мощностью 1, 3 и 5 кВт. Одновременно продолжается выпуск ксеноновых осветителей для замены угольных дуг в проекторах типа КПТ.

Световые характеристики ксеноновых ламп улучшаются с повышением рабочего давления ксенона в лампе. Поэтому давление ксенона выбирается настолько большим, насколько позволяет меха-

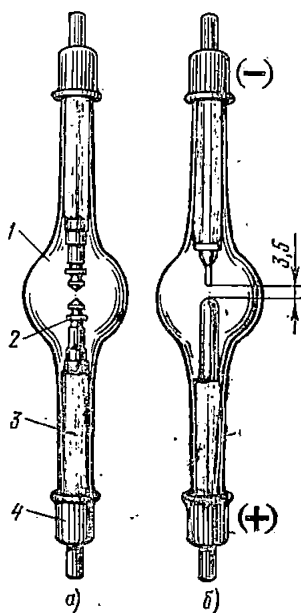


Рис. 30. Ксеноновые лампы: а — переменного тока, б — постоянного тока; 1 — кварцевая колба, 2 — вольфрамовый электрод, 3 — молибденовый цилиндр, 4 — стальной ввод

ническая прочность колбы. При работе ксеноновой лампы на ее электродах выделяется около 50% всей подводимой мощности. Эта мощность в лампах с шаровыми колбами (тип ДКсШ) отводится естественным способом, а в более мощных — разборных лампах (тип ДКсР) — с помощью водяного охлаждения.

Лампы ДКсШ и ДКсР требуют принудительного воздушного охлаждения кварцевой колбы. Необходимая интенсивность обдува обеспечивается вентилятором осевого типа для маломощных ламп и центробежного — для ламп большой мощности.

Водяное охлаждение электродов дает возможность уменьшить габариты колбы лампы, а следовательно, и осветительной системы кинопроектора. Кроме того, уменьшение температуры колбы повышает ее механическую прочность, что, в свою очередь, позволяет повысить давление и улучшить световые характеристики лампы.

Ксеноновые лампы обладают длительным постоянством светового потока, в то время как у проекционных ламп накаливания полезный световой поток уменьшается уже после 5—10 ч работы.

Обладая высокой яркостью, ксеноновые лампы по своей спектральной характеристике приближаются к угольной дуге высокой интенсивности. Применение ксеноновых ламп позволяет в широких пределах регулировать их электрическую мощность и, следовательно, световой поток кинопроектора. Простота обслуживания ксеноновых осветителей дает возможность осуществить полную автоматизацию кинопоказа и значительно сократить эксплуатационные расходы.

Высокое давление ксенона в колбе делает лампу взрывоопасной, особенно в рабочем состоянии, когда давление повышается до 25—30 ат. Поэтому ксеноновые лампы хранят, транспортируют и устанавливают в кинопроекторы в защитных футлярах из пластмассы или металла. Перед тем как снять футляр, а также при всех работах с открытой лампой необходимо защищать лицо специальным щитком из оргстекла.

Световой поток, излучаемый ксеноновой лампой, содержит большое количество ультрафиолетовых лучей, которые при длительном воздействии на кожу и особенно на слизистые оболочки глаз и губ могут вызвать сильные ожоги.

Ксеноновые осветители, как и угольные дуги, требуют применения вытяжной вентиляции, так как образующиеся при работе лампы окислы азота и озона вредны для человека.

При необходимости быстрого охлаждения и последующей замены неисправной лампы сначала выключают электропитание, а затем, через 2—3 мин, систему водяного и воздушного охлаждения.

Ксеноновая лампа считается неисправной при чрезмерном потемнении колбы, резком снижении светового потока, нестабильности дугового разряда или потере герметичности колбы. Разряд в ксеноновой лампе чувствителен к посторонним магнитным полям. Поэтому питание к лампе подводят с помощью симметричного кольцевого проводника.

Применение ксеноновых ламп переменного тока позволяет осуществить безобтюраторную проекцию, благодаря которой уменьшаются потери света при смене кадров. В этом случае лампы питают переменным током искаженной формы (с заостренными импульсами) от специальных источников, которые обеспечивают работу лампы в «пульсирующем» режиме. Смена кадров происходит в интервалах между импульсами.

Лампы постоянного тока питают от специальных выпрямителей или выпрямителей питания угольных дуг через сглаживающие фильтры ФСК-1000 и ФСК-3000, выпускаемые нашей промышленностью. Не рекомендуется брать руками за колбу лампы или класть ее на стеклянные или металлические предметы.

Протирать загрязненную колбу следует ватно-марлевым тампоном, слегка смоченным в этиловом спирте, этиловом эфире или других летучих растворителях.

§ 19. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ЛАМПЫ И ГАЗОСВЕТНЫЕ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Люминесцентными лампами называются электрические источники света, в которых преобразование электрической энергии в световую осуществляется с помощью люминофоров*. Люминесцентная лампа (рис. 31) представляет собой стеклянную трубку 1, наполненную аргоном и парами ртути. Внутренняя поверхность трубки покрывается тонким слоем люминофора 2. По

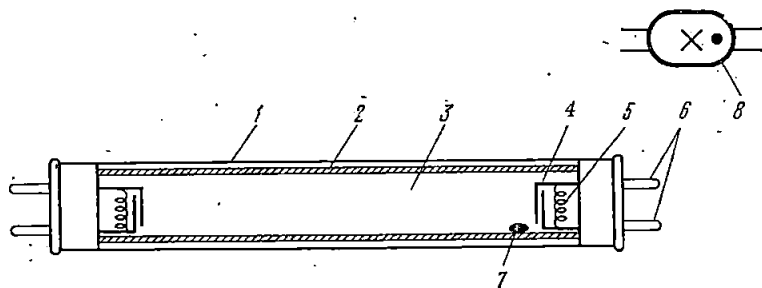


Рис. 31. Люминесцентная лампа:

1 — стеклянная трубка, 2 — люминофор, 3 — пространство, заполненное инертным газом и парами ртути, 4 — разрядник, 5 — запальный электрод, 6 — токоподводящие контакты, 7 — капля ртути, 8 — условное обозначение люминесцентных ламп

концам трубки размещены два вольфрамовых (запальных) электрода 5, подключенных к токоподводящим контактам 6 цоколя. Для увеличения срока службы лампы к запальным электродам приваривают провололочные разрядники 4, между которыми протекает основной ток разряда лампы при ее работе.

* Люминофором называется вещество, способное к люминесценции (свечению нетеплового происхождения) под действием света и других излучений.

Люминесцентная лампа является электрическим источником света с двойным преобразованием энергии: сначала электрическая энергия преобразуется в энергию ультрафиолетового (невидимого) излучения паров ртути, а затем под действием ультрафиолетовых лучей начинает светиться люминофор.

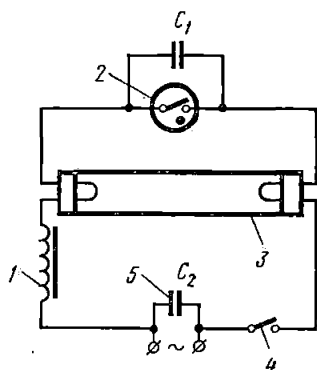


Рис. 32. Схема включения люминесцентной лампы:

1 — дроссель, низкой частоты, 2 — стартер, 3 — люминесцентная лампа, 4 — выключатель, 5 — помехозащитный конденсатор

Электрическая схема включения люминесцентной лампы (рис. 32) состоит из дросселя низкой частоты 1, стартера (пускателя) 2 и выключателя 4.

Дроссель, обладающий индуктивным сопротивлением, ограничивает ток разряда лампы и стабилизирует ее работу. Стартер сначала замыкает, а затем размыкает цепь запальных электродов, что необходимо при пуске лампы. Конденсатор C_2 уменьшает помехи радиоприему, а конденсатор C_1 повышает четкость срабатывания стартера.

Люминесцентные лампы, дроссели и стартеры изготавливают на рабочие напряжения 127 и 220 в. Стартеры и дроссели на 127 в применяют с лампами мощностью до 20 вт. Стартеры и дрос-

сели на 220 в изготавливают двух типов: для ламп мощностью 30—40 вт и 40—80 вт.

При замыкании цепи выключателем 4 к стартеру через запальные электроды подводится полное напряжение сети. Стартер срабатывает, замыкая цепь запальных электродов. Запальные электроды раскаляются, вызывая повышение давления инертного газа и паров ртути в колбе лампы.

Когда стартер разрывает цепь, в лампе возникает электрический разряд, сопровождающийся излучением ультрафиолетовых лучей. Под действием ультрафиолетового излучения возбуждаются атомы люминофора и он начинает светиться. Время зажигания лампы — около 2—3 сек.

При работе люминесцентной лампы на дросселе происходит некоторое падение напряжения. Это вызывает уменьшение напряжения на стартере и предупреждает возможность его повторного срабатывания.

Люминесцентные лампы по сравнению с лампами накаливания обладают следующими преимуществами: они намного экономичнее, дают свет, близкий по спектру к дневному, имеют значительно большую светотдачу и больший срок службы. Средняя продолжительность работы всех типов ламп 5000 рабочих часов, а их светотдача колеблется в пределах 30—70 лм/вт.

В зависимости от типа люминофора и, следовательно, спектрального состава излучаемого света лампы маркируют, придержи-

ваясь следующего принципа: первая буква Л указывает на принадлежность лампы к классу люминесцентных. Последующие буквы характеризуют цветность ламп: Д — дневная, Б — белая, ХБ — холодно-белая, ТБ — тепло-белая, Ц — с правильной цветопередачей. Цифры после буквенных обозначений указывают мощность лампы в ваттах. Например: ЛД15 — люминесцентная, дневного света, мощностью 15 *вт*; ЛТБ40 — люминесцентная, тепло-белого света, мощностью 40 *вт*; ЛДЦ30 — люминесцентная, дневного света с правильной цветопередачей, мощностью 30 *вт*.

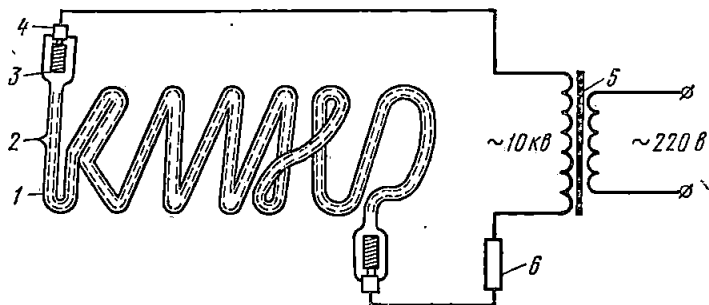


Рис. 33. Газосветная лампа высокого напряжения:

1 — стеклянная трубка, 2 — штенгель, 3 — железный цилиндр, 4 — токоподводящий контакт, 5 — повышающий трансформатор, 6 — балластный резистор

Газосветные лампы высокого напряжения (рис. 33) весьма просты по устройству. Такая лампа представляет собой стеклянную трубку диаметром около 20 мм, заполненную разреженным инертным газом. В концы трубки вмонтированы электроды в виде пустотелых железных цилиндров.

Стеклянной трубке может быть придана самая различная форма, что широко используется при выполнении иллюминационного, рекламного и сигнального освещений.

Газосветные лампы имеют отрицательную (падающую) характеристику, т. е. с уменьшением тока внутреннее сопротивление лампы увеличивается. Вследствие этого разряд в лампе становится неустойчивым. Случайное уменьшение тока вызывает увеличение внутреннего сопротивления лампы и последующее уменьшение тока в цепи, в результате чего лампа может погаснуть.

Для повышения устойчивости горения газосветной лампы последовательно с ней включают резистор или дроссель. При уменьшении тока в цепи лампы падение напряжения на резисторе (или дросселе) уменьшается, а напряжение на лампе увеличивается. Происходит автоматическое перераспределение напряжения сети, что способствует повышению устойчивости горения лампы вследствие стабилизации тока в цепи.

Газосветные лампы потребляют очень небольшую мощность, но для их зажигания и работы требуется высокое напряжение

(примерно 1000 в на 1 м длины трубки). Питаются газосветные лампы от сети переменного тока через повышающий трансформатор. Под действием напряжения, приложенного к электродам лампы, возникает электрический разряд, вызывающий ионизацию и свечение инертного газа. В зависимости от инертного газа трубка светится красным (если применен неон), голубым (аргон) или зеленым (криптон) цветом.

Светоотдача газосветных ламп высокого напряжения — около 15 лм/вт, а срок их службы достигает 5000 рабочих часов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как разграничивают источники света по принципу излучения?
2. Поясните устройство осветительной лампы накаливания.
3. Что называется электрической дугой?
4. Поясните назначение и перечислите типы ксеноновых ламп.
5. Как устроена люминесцентная лампа?

Глава III

МАГНЕТИЗМ И ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

§ 20. МАГНИТЫ И ИХ СВОЙСТВА

Магнетизм — это особое проявление движения электрических зарядов внутри атомов и молекул. Одним из свойств магнетизма является способность некоторых тел притягивать к себе и удерживать частицы железа. Эти тела называются магнитами.

Магнитная стрелка компаса является магнитом, один конец которого указывает направление на север и называется северным полюсом (N), а противоположный конец — южным полюсом (S).

В зависимости от назначения магнитам придают различную форму: прямоугольную, ромбическую, круглую и т. д. Магнит любой формы имеет два полюса — северный и южный.

Если намагниченный стержень погрузить в железные опилки и затем вынуть, то наибольшее количество опилок окажется притянутым к концам магнита, а в средней части, называемой нейтральной линией, опилок не будет. Если длинный намагниченный стержень разделить на две части, то образуются два магнита с двумя разноименными полюсами на концах. При дальнейшем дроблении на части намагниченного стержня будут получаться отдельные магниты с северным и южным полюсами на концах. Таким образом, получить магнит с каким-либо одним полюсом (N или S) невозможно.

Если недалеко от северного N (или южного S) полюса какого-либо магнита поместить стальной брусок, он приобретет свойство притягивать железные предметы, причем ближайший к полюсу N магнита конец бруска будет южным полюсом S , а противоположный — северным N .

При расположении двух магнитов на некотором расстоянии один от другого между их полюсами возникает сила взаимодействия, направленная так, что одноименные полюсы взаимно отталкиваются, а разноименные — притягиваются.

Вокруг всякого намагниченного тела возникает магнитное поле, являющееся материальной средой, в которой обнаруживается действие магнитных сил. На рисунках магнитное поле изображается

в виде магнитных линий, направленных от северного полюса к южному (рис. 34). Магнитные линии стремятся замкнуться от одного полюса к другому кратчайшим путем и испытывают боковое

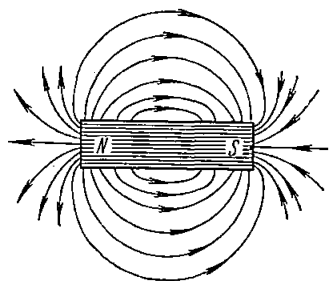


Рис. 34. Магнитное поле постоянного магнита

давление со стороны соседних линий, благодаря чему магнитные линии одинакового направления взаимно отталкиваются, а противоположного направления взаимно притягиваются.

Любая магнитная линия не имеет ни конца, ни начала и представляет собой замкнутую кривую, так как северный и южный полюсы магнита неотделимы один от другого.

При внесении в магнитное поле какого-либо тела оно пронизывается магнитными линиями и определенным образом воздействует на поле. Материалы, ослабляющие магнитное поле, называются диамагнитными, а малоусиливающие — парамагнитными. Исключение составляют ферромагнитные материалы, значительно усиливающие магнитное поле. К таким материалам относятся железо, сталь, чугун, никель, кобальт, гадолиний и их сплавы.

§ 21. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Вокруг проводника с током образуется магнитное поле, так что свободно вращающаяся магнитная стрелка, помещенная вблизи проводника, будет стремиться занять положение, перпендикулярное плоскости, проходящей вдоль проводника. В этом легко убедиться, проделав следующий опыт. Вставив прямолинейный проводник в отверстие горизонтально положенного листа картона, пропустим ток через этот проводник. Насыпав на картон железные опилки, заметим, что они расположатся концентрическими окружностями, имеющими общий центр в точке пересечения проводником картонного листа (рис. 35). Магнитная стрелка, подвешенная на нити вблизи этого проводника, займет положение, указанное на рисунке. При изменении направления тока в проводнике магнитная стрелка повернется на угол 180° , оставаясь в положении, перпендикулярном плоскости, проходящей вдоль проводника. В зависимости от направления тока в проводнике направление магнитных линий образуемого им магнитного поля определяется правилом буравчика, которое формулируется следующим образом: если поступательное движение буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то вращательное движение его рукоятки указывает направление магнитных линий поля, образуемого вокруг этого проводника.

Если по проволоке, согнутой в виде кольца, пропустить ток, то под действием его также возникнет магнитное поле. Проволока, согнутая спирально и состоящая из нескольких витков, расположенных так, что оси их совпадают (рис. 36), называется соленоидом. При прохождении тока через обмотку соленоида или один виток проволоки возбуждается магнитное поле. Направление этого поля также определяется правилом буравчика, которое может

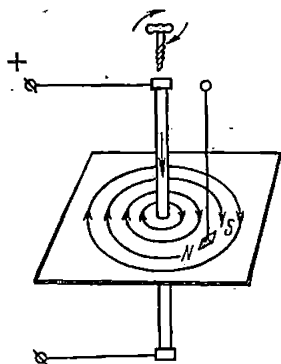


Рис. 35. Магнитное поле прямого проводника с током

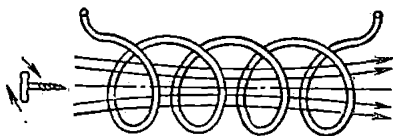


Рис. 36. Магнитное поле соленоида

быть сформулировано следующим образом: *если расположить ось буравчика перпендикулярно плоскости кольцевого проводника или вдоль оси соленоида и вращать его рукоятку по направлению тока, то поступательное движение этого буравчика укажет направление магнитных линий поля кольца или соленоида.*

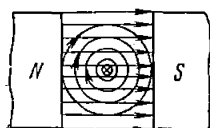
Магнитное поле, возбужденное током обмотки соленоида, подобно магнитному полю постоянного магнита, т. е. конец соленоида, из которого выходят магнитные линии, является его северным полюсом, а противоположный конец — южным. Если посмотреть на концы соленоида вдоль оси, то при взгляде на северный полюс ток в витках обмотки будет направлен против часовой стрелки, а при взгляде на южный — по часовой стрелке.

Электрические и магнитные явления взаимосвязаны. Магнитное поле в намагниченных телах возбуждается электронами, вращающимися вокруг собственной оси и вокруг ядра атома. Направленное движение электронов является электрическим током, возбуждающим магнитное поле.

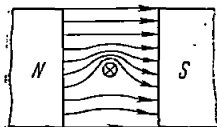
§ 22. ПРОВОДНИК С ТОКОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Если проводник, по которому протекает электрический ток, внести в магнитное поле магнита, то в результате взаимодействия между магнитными линиями этого поля и магнитными линиями поля, возникающего вокруг проводника с током, проводник будет перемещаться в ту или иную сторону. Направление перемещения проводника зависит от направления тока в проводнике и от направления магнитных линий поля магнита.

Допустим, что в магнитном поле магнита NS (рис. 37) находится проводник, расположенный перпендикулярно плоскости рисунка; по проводнику протекает ток в направлении от нас за плоскость рисунка. Ток, идущий от плоскости рисунка к наблюдателю, обозначается условно точкой, а ток, направленный за плоскость рисунка от наблюдателя, — крестом. Под действием тока вокруг проводника образуется свое магнитное поле. По правилу буравчика легко убедиться, что в рассматриваемом нами случае направление магнитных линий этого поля совпадает с направлением движения часовой стрелки.



а)



б)

Рис. 37. Движение проводника с током в магнитном поле:

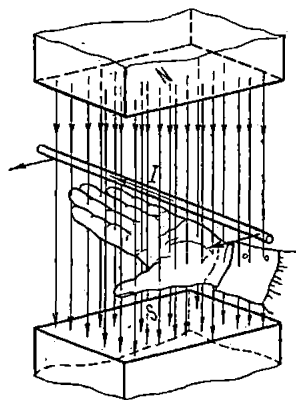
а — магнитные поля полюсов и тока проводника, б — результирующее магнитное поле

В результате взаимодействия магнитных линий поля магнита и поля, созданного током, образуется результирующее магнитное поле, изображенное на рис. 37, б. Густота магнитных линий результирующего поля с обеих сторон проводника различна. В верхней части рисунка магнитные линии обоих полей, имея одинаковое направление, расположены гуще, а в нижней части, будучи направленными встречно, частично взаимно уничтожаются. Следовательно, на проводник сверху вниз будет действовать сила большая, чем снизу вверх. Под действием

бóльшей силы проводник будет перемещаться вниз.

Перемена направления тока в проводнике изменит направление магнитных линий вокруг него, вследствие чего изменится и направление перемещения проводника.

Для определения направления движения проводника в магнитном поле можно пользоваться правилом левой руки, которое формулируется следующим образом: если расположить левую руку так, чтобы магнитные линии пронизывали ладонь, а вытянутые четыре пальца указывали направление тока в проводнике, то отогнутый большой палец укажет направление движения проводника (рис. 38).



§ 23. МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. МАГНИТНЫЙ ПОТОК

Сила, которая действует на проводник с током в магнитном поле, зависит от силы тока в проводнике, его длины и интенсивности магнитного поля — от магнитной индукции.

Рис. 38. Правило левой руки

Опытным путем установлено, что сила F , действующая на прямолинейный проводник длиной l , обтекаемый током I в магнитном поле с магнитной индукцией B , равна

$$F = BIl.$$

Указанная формула верна лишь в том случае, когда проводник, обтекаемый током, расположен под прямым углом к направлению магнитных линий. С уменьшением этого угла сила F уменьшается, и если проводник расположить вдоль магнитных линий, то сила, действующая на проводник, станет равной нулю.

Магнитная индукция является направленной величиной, т. е. вектором, перпендикулярным силе, действующей на проводник с током.

О магнитной индукции можно судить по силе действия магнитного поля на проводник с током, помещенный в это поле. Если на проводник длиной 1 м с током в 1 а , расположенный перпендикулярно магнитным линиям в равномерном магнитном поле, действует сила в 1 н (ньютон), то магнитная индукция такого поля равна 1 тл (тесла).

Магнитная индукция зависит от свойств среды, в которой возникает магнитное поле. Чем больше магнитная проницаемость μ среды, в которой возникает магнитное поле, тем больше магнитная индукция B этого поля. Между магнитной индукцией поля и магнитной проницаемостью среды существует прямая пропорциональность:

$$B = \mu H,$$

где H — напряженность магнитного поля.

Магнитное поле, во всех точках которого магнитная индукция как по величине, так и по направлению одинакова, называется однородным магнитным полем.

Произведение магнитной индукции на величину какой-либо поверхности в магнитном поле, расположенной перпендикулярно направлению магнитных линий, называется магнитным потоком, пронизывающим эту поверхность. Таким образом, обозначив магнитный поток буквой Φ , получим

$$\Phi = BS,$$

где S — площадь поверхности, пронизываемой магнитным потоком.

Если магнитная индукция B выражена в теслах, а площадь поверхности S — в квадратных метрах, то магнитный поток выражается в веберах (вб), т. е. $1\text{ вб} = 1\text{ тл} \cdot 1\text{ м}^2$.

Например, если перпендикулярную магнитным линиям площадку в $0,5\text{ м}^2$ пронизывает магнитный поток $\Phi = 1\text{ вб}$, то магнитная индукция

$$B = \frac{1}{0,5} = 2\text{ тл}.$$

В настоящее время при расчетах магнитных цепей используют магнитные единицы двух систем: СИ и СГСМ.

В системе СИ основные единицы магнитных величин определяются через электрические и механические единицы этой же системы (метр, килограмм, секунда, ампер). Так, например, в качестве единицы напряженности магнитного поля принят ампер на метр (a/m). Такая напряженность магнитного поля создается на расстоянии 2 м от оси бесконечно длинного проводника при прохождении через него тока 12,556 а. В практике также часто применяют единицу, кратную основной: $a/cm=100 a/m$.

Вебер — магнитный поток, при убывании которого до нуля за одну секунду в контуре, сцепленном с этим потоком, индуцируется э. д. с., равная одному вольту, т. е. $вб=в \cdot сек$.

Тесла — индукция равномерного магнитного поля, в котором через площадь в один квадратный метр в перпендикулярном направлении проходит магнитный поток в один вебер, т. е. $тл=вб/м^2$.

В системе СГСМ (сантиметр, грамм, секунда, магнитная постоянная) в качестве единицы напряженности магнитного поля принят эрстед (э), магнитного потока — максвелл (мкс), магнитной индукции — гаусс (гс).

Между основными единицами систем СИ и СГСМ существуют следующие соотношения: $a/m=4 \cdot 10^{-3} э$; $вб=10^8 мкс$, $тл=10^4 гс$.

Как видно из приведенных соотношений, при электротехнических расчетах с применением единиц системы СГСМ приходится вводить соответствующие коэффициенты. Кроме того, основные единицы этой системы не сопоставлены с практическими единицами электрических величин (ампером, вольтom и т. д.).

Несмотря на перечисленные недостатки, единицы системы СГСМ еще широко применяются в практике.

§ 24. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОВОДНИКОВ С ТОКАМИ

Если два или несколько проводников, по которым протекают электрические токи, расположить параллельно, то эти проводники в зависимости от направлений токов в них будут взаимно притягиваться или отталкиваться. Такое взаимодействие между проводниками происходит в результате возникновения магнитного поля вокруг каждого из проводников с током.

Представим себе два проводника ab и $вг$ (рис. 39, а), по которым протекают токи противоположных направлений. Вокруг проводников имеются круговые магнитные поля. Применяя правило буравчика, найдем, что магнитные линии этих полей направлены так, как указано в нижней части рисунка. Если смотреть сверху вдоль проводников, то вокруг проводника ab магнитные линии направлены по часовой стрелке, а вокруг проводника $вг$ — против часовой стрелки. Таким образом, эти линии в пространстве между проводниками имеют одинаковые направления и проводники будут

взаимно отталкиваться подобно тому, как взаимно отталкиваются одноименные полюсы магнитов.

Если через те же проводники пропустить токи одинаковых направлений, как это изображено на рис. 39, б, то линии магнитных полей, возникающих вокруг проводников, в пространстве между проводниками получают направление в противоположные стороны, поэтому проводники будут взаимно притягиваться.

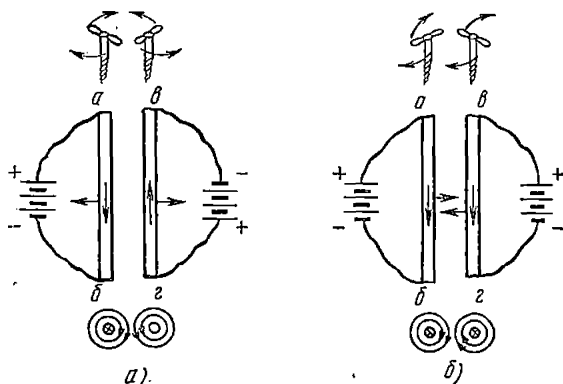


Рис. 39. Взаимодействие проводников с токами:
а — различных направлений, б — одинаковых направлений

Сила взаимодействия между проводниками, по которым протекают токи, прямо пропорциональна произведению этих токов I_1 и I_2 , а также длине (длине сближения), на протяжении которой проводники идут параллельно, и обратно пропорциональна расстоянию между проводниками.

§ 25. НАПРЯЖЕННОСТЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ. МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Магнитное поле в любой его точке можно характеризовать величиной магнитной индукции, которая зависит от свойств среды. В наибольшей степени эта зависимость проявляется в ферромагнитных телах. При расчетах и исследовании явлений в электротехнической аппаратуре приходится иметь дело с магнитными потоками, замыкающимися через воздушные пространства и через ферромагнитные части аппаратов. Поэтому при рассмотрении сложных магнитных полей введение величины, не зависящей от свойств среды, значительно облегчает расчеты, связанные с конструированием аппаратуры. Такой величиной является **напряженность**

магнитного поля. Как мы уже отмечали, между магнитной индукцией B и напряженностью поля H следующее соотношение:

$$B = \mu_a H \quad \text{или} \quad \mu_a = \frac{B}{H},$$

где μ_a — абсолютная магнитная проницаемость.

Абсолютная магнитная проницаемость, равная отношению магнитной индукции к напряженности магнитного поля, имеет размерность генри/метр $\left(\frac{\text{гн} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \frac{\text{в} \cdot \text{сек}}{\text{а} \cdot \text{м}} \right)$ и для вакуума равна $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ гн} \cdot \text{м}$.

Эта величина называется магнитной постоянной μ_0 .

Число, показывающее, во сколько раз абсолютная магнитная проницаемость μ_a данной среды больше магнитной постоянной μ_0 , называется относительной магнитной проницаемостью μ или сокращенно магнитной проницаемостью, т. е.

$$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0}.$$

Для воздуха магнитная проницаемость μ принимается равной единице. Ее можно считать примерно равной единице и для всех тел, кроме ферромагнитных.

Что же касается ферромагнитных тел, то для них магнитная проницаемость значительно больше единицы и является для одного и того же материала величиной не постоянной, а зависящей от магнитного состояния этого материала, т. е. от магнитной индукции ферромагнитного тела, подвергнутого намагничиванию.

Для характеристики магнитных свойств ферромагнитных материалов прибегают к зависимости между B и H , изображая ее графически в виде кривой, называемой кривой намагничивания.

Для получения кривой намагничивания какого-либо материала строят график, по горизонтальной оси которого откладывают величины напряженности поля, а по вертикальной — величины магнитной индукции испытуемого материала.

С увеличением магнитной индукции B (в определенных пределах) магнитная проницаемость железа уменьшается и наоборот.

В технике связи большое значение имеет характер изменения магнитной проницаемости при слабых напряженностях магнитных полей, или, иначе говоря, начальная магнитная проницаемость.

Главной задачей при конструировании приборов, в особенности телефонной и радиотелефонной аппаратуры, является подбор материалов по возможности с большим и неизменным значением начальной магнитной проницаемости. К таким материалам относятся специальные сплавы железа с никелем. Широко применяют сплав пермаллой, содержащий 78,5% никеля, 17,7% железа и 3,8% молибдена. Этот сплав обладает начальной магнитной проницаемостью $\mu_{д.} = 20\,000$ и максимальной $\mu_{\text{макс.}} = 75\,000$.

Кривая намагничивания определяет соотношения между B и H лишь для ферромагнитного материала, который не подвергался намагничиванию; в противном случае эти соотношения неверны.

Составим цепь (рис. 40, а), содержащую источник тока B (например, аккумуляторную батарею), переключатель Π на два положения (1—2 и 3—4), реостат P и соленоид $\mathcal{E}$ с железным сердечником. Так как соленоид, содержащий железный сердечник, называется электромагнитом, то мы и в дальнейшем будем применять это название.

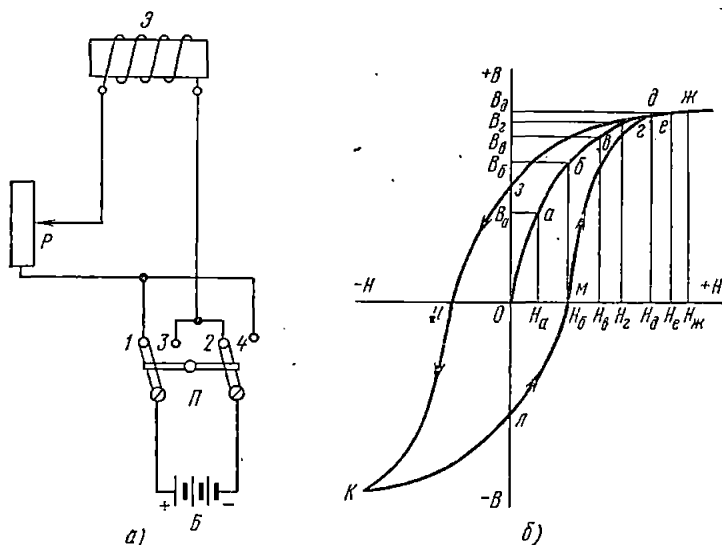


Рис. 40. Схема намагничивания стального сердечника (а) и петля гистерезиса (б)

Если цепь разомкнута, тока в обмотке электромагнита $\mathcal{E}$ нет. Установим переключатель Π на контакты 1—2 и введем полностью сопротивление реостата. При этом в цепи появится ток небольшой силы и протекать он будет в следующем направлении: плюс батареи B , контакт 1, реостат P , обмотка электромагнита $\mathcal{E}$, контакт 2, минус батареи B .

В соответствии с величиной этого тока вокруг электромагнита возникнет магнитное поле с некоторой напряженностью H_a и в сердечнике электромагнита возбуждётся магнитный поток с магнитной индукцией B_a . Применив правило буравчика, найдем, что магнитный поток в сердечнике электромагнита направлен справа налево, т. е. левый конец сердечника является северным, а правый — южным полюсом электромагнита $\mathcal{E}$.

Отложим на горизонтальной оси рис. 40, б в масштабе значение напряженности поля H_a , а на вертикальной — значение B_a . Восставив перпендикуляры из точек отложенных значений на горизонтальной и вертикальной осях, получим точку пересечения a , которая определит нам первую точку кривой первоначального намагничивания сердечника электромагнита.

Перемещая движок реостата P вниз, будем уменьшать его сопротивление, вследствие чего увеличится как ток в обмотке электромагнита, так и напряженность магнитного поля. Построив указанным выше способом точки b , $в$, $г$ и $д$ и соединив их между собой, получим кривую первоначального намагничивания сердечника *Оабгде*.

Эта кривая показывает, что магнитная индукция в начале намагничивания увеличивается пропорционально напряженности поля (участок *Оа*), затем рост ее замедляется, кривая делает перегиб (точка b) и снова приближается к прямолинейности, но уже с небольшим наклоном к горизонтальной оси. На данном последнем участке увеличение напряженности поля вызывает малый рост магнитной индукции, и дальнейший перевод движка реостата P практически не дает повышения магнитной индукции в сердечнике электромагнита. В этом случае говорят, что сердечник достиг магнитного насыщения.

Ферромагнитные материалы имеют большую магнитную проницаемость и обладают свойством намагничиваться, что объясняется следующим. Непрерывное движение электронов в любом веществе можно рассматривать как внутримолекулярные токи, возбуждающие магнитное поле. Поскольку электроны не только движутся вокруг ядра, но и вращаются вокруг собственной оси, возникает также магнитное поле, вызванное вращением электронов, причем это магнитное поле значительно сильнее поля, вызванного движением электронов вокруг ядра. В неферромагнитных веществах магнитные поля, вызванные вращением электронов вокруг собственной оси, в каждом атоме взаимно уравновешиваются и тело не обладает свойством намагничиваться.

В ферромагнитных материалах магнитные поля, вызванные вращательным движением электронов, не уравновешены благодаря особому строению атомов. Под действием этих полей в теле образуются намагниченные области, подобные мельчайшим магнетикам. При отсутствии внешнего магнитного поля магнетики расположены беспорядочно (рис. 41, а) и ферромагнитное тело не проявляет магнитных свойств.

При намагничивании железного сердечника некоторые магнетики под действием напряженности намагничивающего поля начинают поворачиваться так, что северные полюсы их постепенно обращаются в одну сторону, а южные — в другую (рис. 41, б), затем с увеличением напряженности намагничивающего поля поворачиваются и остальные молекулярные магнетики. В железном сердечни-

ке, доведенном до магнитного насыщения, молекулярные магнитики расположены так, как это схематически показано на рис. 41, в.

С уменьшением напряженности намагничивающего поля электромагнита магнитная индукция железного сердечника также начинает уменьшаться, но остается несколько большей, чем в процессе намагничивания, при одних и тех же значениях напряженности. При размыкании цепи ток в электромагните прекратится, а индукция все же будет иметь некоторое значение, определяемое отрезком Oz (см. рис. 40, б). Это указывает на то, что в сердечнике сохранился некоторый остаточный магнетизм. Если дальнейшее размагничивание прекратить, то железный сердечник останется искусственным (постоянным) магнитом и будет обладать остаточной магнитной индукцией.

Рассмотренное нами отставание уменьшения магнитной индукции от уменьшения напряженности магнитного поля называется гистерезисом.

Чтобы железный сердечник не имел остаточного магнетизма, необходимо подвергнуть его перемагничиванию, т. е. намагничиванию в обратном направлении. Для этого нужно переключатель Π (см. рис. 40, а) перевести на контакты 3—4. При таком положении переключателя в обмотке электромагнита возникнет ток противоположного направления, а именно: плюс батареи B , контакт 3, обмотка электромагнита $\mathcal{E}$, реостат P , контакт 4, минус батареи B .

Согласно правилу буравчика под действием этого тока вокруг электромагнита образуется магнитное поле с направлением магнитных линий слева направо. Возникшее поле, магнитные линии которого направлены противоположно магнитному потоку остаточного магнетизма, будет размагничивать сердечник. Постепенно, передвигая движок реостата, достигнем положения, при котором напряженность магнитного поля электромагнита представит собой величину, определяемую отрезком $Oи$ (рис. 40, б). Такому значению напряженности будет соответствовать магнитная индукция в сердечнике электромагнита, равная нулю, т. е. сердечник перестанет быть магнитом.

Значение напряженности поля, при котором сердечник размагничивается, называется коэрцитивной (задерживающей) силой.

Если провести, как говорят, полный цикл перемагничивания, т. е. уменьшить ток в обмотке электромагнита от какого-то наибольшего значения до нуля, затем, изменив направление тока, увеличить его до начальной наибольшей величины, после этого опять уменьшить до нуля, затем вторично, переменяя направление, до-

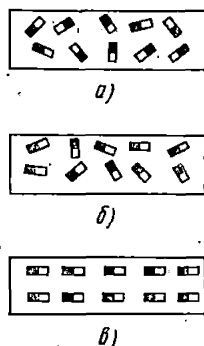


Рис. 41. Схема ферромагнитного тела вне магнитного поля (а), в магнитном поле (б) и при насыщении (в)

вести его до начальной величины, то значения магнитной индукции будут изменяться по кривой, называемой петлей гистерезиса.

При перемагничивании на преодоление трения между молекулярными магнетиками расходуется некоторое количество энергии, носящее название потерь на гистерезис. Эта энергия, превращаясь в тепло, нагревает перемагничиваемые ферромагнитные материалы (части аппаратов).

§ 27. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

Свойство электрического тока создавать магнитное поле широко используется на практике.

Железный или стальной стержень, помещенный внутрь соленоида, при пропускании тока по соленоиду приобретает магнитные свойства. Если взять стержень магнитотвердой стали, то вследствие большой величины остаточной магнитной индукции, свойственной этому материалу, стержень в значительной мере сохраняет магнитные свойства и после исчезновения магнитного поля. Таким способом обычно изготовляют искусственные магниты. Если же взять стержень из чистого железа, то после размыкания цепи тока, питающего его обмотку, стержень почти совершенно теряет приобретенные магнитные свойства. Для электромагнитов обычно применяют магнитомягкие сорта стали.

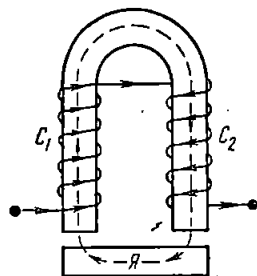


Рис. 42. Электромагнит с якорем (C_1 и C_2 — сердечники электромагнита)

Полярность электромагнита можно определить по правилу буравчика. Кроме того, полярность электромагнита может быть определена при помощи того правила, которое мы применяли для определения полярности соленоида с током, а также при посредстве

следующего правила: *северный полюс электромагнита находится с той его стороны, где ток для наблюдателя, смотрящего на конец электромагнита, идет против часовой стрелки, а южный — где направление тока совпадает с направлением движения часовой стрелки.*

Подвижный железный брусок Я (рис. 42), притягиваемый сердечником электромагнита, называется **якорем**.

В устройствах электроники и связи часто применяют **поляризованные электромагниты**, у которых сердечник либо якорь или оба вместе представляют собой магниты.

Неполяризованный электромагнит притягивает свой якорь независимо от направления посылаемого в его обмотку тока. Работа же поляризованного электромагнита зависит от направления тока в его обмотке. Так, например, в прямом поляризованном электромагните ток одного направления усиливает магнетизм его сердечника, а другого — ослабляет.

На рис. 43 показан принцип устройства магнитной системы поляризованного звонка.

Постоянный магнит M намагничивает сердечники C_1 и C_2 и якорь $Я$. Полярность этих частей обозначена на рисунке. Когда ток по обмотке сердечников не проходит, якорь $Я$, качающийся на оси O , одним из концов притянут к какому-либо сердечнику. Если же по обмотке пропустить ток по направлению, указанному на рисунке стрелками, то магнитный поток сердечника C_1 усилится, а сердечника C_2 , наоборот, ослабится, вследствие чего левое плечо якоря $Я$ окажется притянутым к сердечнику C_1 .

Так как для приведения в действие поляризованного звонка посылается ток, периодически меняющий свое направление (переменный), то якорь $Я$ попеременно притягивается то одним, то другим сердечником и приводит в колебание молоточек K , который ударяет по звонковым чашечкам $З_1$ и $З_2$.

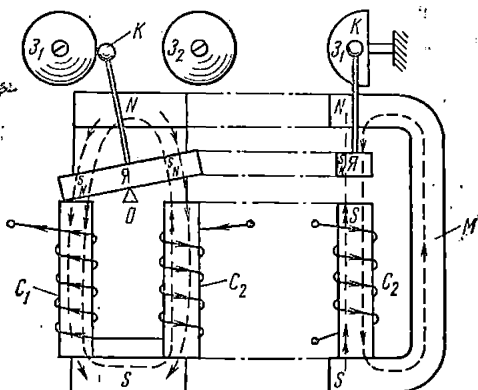


Рис. 43. Магнитная система поляризованного звонка

§ 28. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Представим себе два параллельных проводника ab и $вг$ (рис. 44), расположенных на близком расстоянии один от другого. Проводник ab подключен к зажимам гальванической батареи B ; цепь включается ключом K , при замыкании которого по проводнику протекает ток в направлении от a к b . К концам же проводника $вг$ присоединен чувствительный амперметр A , по отклонению стрелки которого судят о наличии тока в этом проводнике.

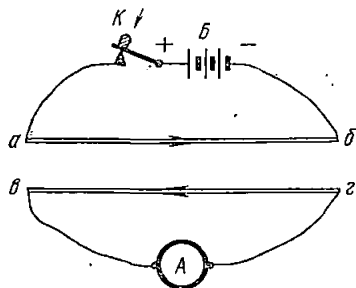


Рис. 44. Возникновение индукционного тока при изменении тока в одном из параллельных проводников

Если в собранной таким образом схеме замкнуть ключ K , то в момент замыкания цепи стрелка амперметра отклонится, свидетельствуя о наличии тока в проводнике $вг$; по прошествии же небольшого промежутка времени (долей секунды) стрелка амперметра придет в исходное (нулевое) положение. Размыкание ключа K опять вызовет кратковременное отклонение стрелки амперметра, но уже в другую

сторону, что будет указывать на возникновение тока противоположного направления.

Подобное отклонение стрелки амперметра A можно наблюдать и в том случае, если, замкнув ключ K , приближать проводник ab к проводнику $вг$ или удалять от него. Приближение проводника ab к проводнику $вг$ вызовет отклонение стрелки амперметра в ту же сторону, что и при замыкании ключа K , удаление проводника ab от проводника $вг$ повлечет за собой отклонение стрелки амперметра, аналогичное отклонению при размыкании ключа K .

При неподвижности обоих проводников и замкнутом ключе K ток в проводнике $вг$ можно вызвать изменением величины тока в проводнике ab . Аналогичные явления происходят и в том случае, если проводник, питаемый током, заменить магнитом или электромагнитом.

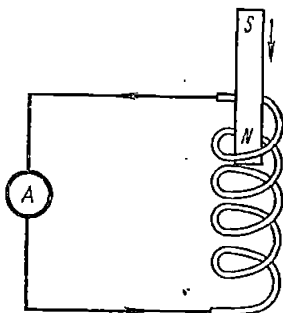


Рис. 45. Возникновение индукционного тока в соленоиде

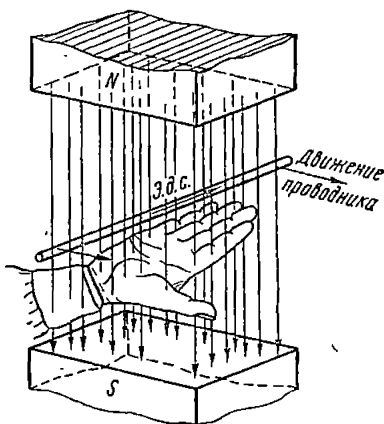


Рис. 46. Правило правой руки

Так, например, на рис. 45 схематически изображена катушка (соленоид) из изолированной проволоки, к концам которой подключен амперметр A . Если внутрь обмотки быстро ввести постоянный магнит NS (или электромагнит), то в момент его введения стрелка амперметра A отклонится; при выведении магнита будет также наблюдаться отклонение стрелки амперметра, но в другую сторону. Электрические токи, возникающие при подобных обстоятельствах, называются индукционными, а причина, вызывающая появление индукционных токов, — электродвижущей силой индукции, возникающей в проводниках под действием изменяющихся магнитных полей, в которых находятся эти проводники.

Направление э. д. с. индукции в проводнике, перемещающемся в магнитном поле, может быть определено по правилу правой руки

(рис. 46), которое формулируется так: *если правую руку расположить ладонью к северному полюсу так, чтобы большой отогнутый палец показывал направление движения проводника, то четыре пальца будут указывать направление э. д. с. индукции.*

Чтобы определить направление э. д. с. индукции в неподвижном замкнутом проводнике, контур которого пронизывается изменяющимся по величине магнитным потоком, можно применить правило Максвелла, формулируемое так: *если замкнутый контур проводника пронизывается уменьшающимся магнитным потоком, то э. д. с. индукции направлена в ту сторону, в которую приходится вращать рукоятку буравчика, завинчиваемого поступательно по направлению магнитных линий.* Если же магнитный поток, пронизывающий контур проводника, увеличивается, то направление э. д. с. индукции обратно направлению вращения рукоятки буравчика, завинчиваемого поступательно по направлению магнитных линий.

Наконец, направление индукционного тока, а следовательно, и э. д. с. индукции определяют по правилу Ленца, которое формулируется следующим образом: *э. д. с. индукции имеет всегда такое направление, что созданный ею индукционный ток препятствует причине, ее вызывающей.*

Величина э. д. с. индукции, возникающей в замкнутом проводнике, пропорциональна изменению в одну секунду магнитного потока, пронизывающего контур этого проводника. Таким образом, если магнитный поток, пронизывающий контур замкнутого проводника, изменился на величину $\Delta\Phi$ в течение Δt секунд, то в одну секунду изменение магнитного потока равно $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Это отношение и представляет собой величину э. д. с. индукции E . Если в данном отношении магнитный поток выражен в максвеллах, то величина электродвижущей силы, выраженная в вольтах,

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \cdot 10^{-8}.$$

Когда контур замкнутого проводника охватывается лишь частью магнитного потока, величина э. д. с. индукции зависит от скорости изменения не всего потока, а лишь части его.

Положим, что прямоугольный замкнутый контур проводника $abga$ (рис. 47), стороны которого равны l (см) и h (см), находится в магнитном поле, магнитная индукция которого, во всех точках равна B (гс) и направлена за плоскость рисунка. Пусть контур, оставаясь в плоскости рисунка,

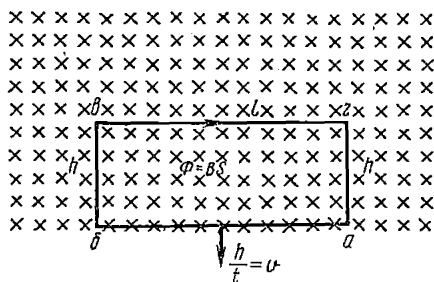


Рис. 47. Перемещение замкнутого контура в магнитном поле

перемещается с равномерной скоростью сверху вниз и в течение t секунд выходит за пределы магнитного поля.

Так как контур проводника *abga* перемещается вниз, то магнитный поток, пронизывающий контур, уменьшается. Следовательно, направление э. д. с. индукции совпадает с вращательным движением рукоятки буравчика, ввинчиваемого вдоль магнитных линий, т. е. по часовой стрелке. Величина этой э. д. с. индукции определится из следующих соображений. Площадь, ограниченная контуром проводника, $S = lh$ (см^2). Магнитный поток, пронизывающий контур проводника, $\Phi = BS$ (мкс). Чтобы уйти за пределы магнитного поля, т. е. чтобы изменить магнитный поток от Φ до нуля или на величину $\Delta\Phi = \Phi$, требуется, чтобы $\Delta t = t$ сек.

Следовательно,

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi}{t} \quad \text{или} \quad E = \frac{Blh}{t}.$$

Частное от деления пути h , пройденного проводником, на время t представляет собой скорость движения этого проводника. Обозначив ее буквой v , получим

$$E = Blv.$$

Если в этой формуле магнитная индукция B выражена в гаусах, длина l — в сантиметрах и скорость v — в сантиметрах на секунду (см/сек), то э. д. с. индукции, выраженная в вольтах,

$$E = Blv \cdot 10^{-8}.$$

Эта формула справедлива лишь в том случае, если проводник перемещается в магнитном поле в направлении, перпендикулярном магнитным силовым линиям этого поля.

Если проводник пересекает магнитные линии под каким-либо углом, отличным от 90° , то

$$E = Blv \sin \alpha,$$

где α — угол между направлением движения проводника и направлением магнитной индукции (магнитных линий).

Пример. Определить э. д. с., индуцированную в проводнике длиной 20 см при его движении со скоростью 2 м/сек перпендикулярно магнитным линиям поля, имеющего магнитную индукцию 10 000 гс.

Решение:

$$E = Blv \cdot 10^{-8} = 10\,000 \cdot 20 \cdot 200 \cdot 10^{-8} = 0,4 \text{ в.}$$

§ 29. ВИХРЕВЫЕ ТОКИ

Индукционные токи возникают не только в изолированных проводниках и обмотках, но и в сплошных металлических массах. Эти токи, названные вихревыми, индуцируются в стальных массах генераторов, электромагнитных аппаратов и механизмов, которые подвергаются действию изменяющихся магнитных полей.

Вихревые токи вызывают дополнительные затраты энергии, идущей на преодоление их тормозящего действия и превращающейся в тепло, нагревающее части приборов. Очевидно, что в таких случаях работа этих токов является не только бесполезной, но и вредной.

Борьбу с вредным влиянием вихревых токов осуществляют специальной сборкой сердечников и применением для их изготовления магнитомягких сортов стали. Сердечники электромагнитных устройств (трансформаторов, дросселей, электродвигателей и т. д.) собирают из тонких листов стали, покрытых бумагой, окалиной или изолирующим лаком. Однако полностью избежать нагревания, обусловленного вихревыми токами, невозможно, и в тех случаях, когда нагревание может достичь высоких степеней, прибегают к искусственному охлаждению приборов. Например, мощные трансформаторы помещают в бак с маслом, которое хорошо отводит тепло.

Потери энергии от вихревых токов зависят не только от свойств материала, в котором они возникают, и толщины стальных пластин, из которых собран магнитопровод аппарата или машины. Эти потери зависят также от магнитной индукции и скорости ее изменения.

В некоторых случаях возникновение вихревых токов оказывается желательным. Так, например, на использовании вихревых токов основана работа индукционных электродвигателей, индукционных электропечей для плавки металлов, индукционных электроизмерительных приборов (счетчики электроэнергии), сушка древесины, закалка металлов и др.

§ 30. САМОИНДУКЦИЯ

Как известно, при изменении магнитного потока, пронизывающего виток проволоки, в этом витке возникает э. д. с. индукции. Подобное явление наблюдается и в том случае, когда протекающий по витку ток изменяется по величине или направлению. Такой процесс возникновения электродвижущей силы индукции называется самоиндукцией. Самоиндукцию можно наблюдать, например, при размыкании и замыкании цепи тока. В момент размыкания вследствие исчезновения магнитного потока в цепи индуктируется э. д. с. самоиндукции, которая стремится поддерживать неизменное значение тока. В момент замыкания магнитный поток, создаваемый протекающим по цепи током, увеличивается, а появляющаяся э. д. с. самоиндукции препятствует нарастанию тока.

Таким образом, при замыкании цепи вследствие противодействия э. д. с. самоиндукции ток не может мгновенно достигнуть полной величины, а при размыкании также вследствие противодействия э. д. с. самоиндукции исчезновение тока в цепи наступает не мгновенно, а постепенно.

На рис. 48 графически показано нарастание тока при замыкании и падение его при размыкании цепи с самоиндукцией.

В некоторых случаях, например в измерительных приборах и при изготовлении реостатов, необходимо устранить самоиндукцию. Чтобы устранить самоиндукцию, проволоку, применяемую для изготовления реостата, сгибают вдвое и в таком виде навивают на каркас (рис. 49). При этом магнитное действие одного витка уничтожается действием соседнего и результирующий магнитный поток,

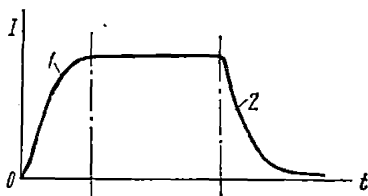


Рис. 48. Нарастание (1) и исчезновение (2) тока при замыкании и размыкании электрической цепи



Рис. 49. Бифилярная обмотка

образуемый ток, протекающим по обмотке, будет равен нулю. Следовательно, в такой обмотке не будет самоиндукции. Безындукционная обмотка называется бифилярной.

Явление самоиндукции присуще не только обмоткам, но и прямолинейным проводникам. В этом случае э. д. с. самоиндукции вызывается магнитным потоком, возникающим в контуре, ограниченном двумя проводниками или проводником и землей, если последняя составляет элемент цепи.

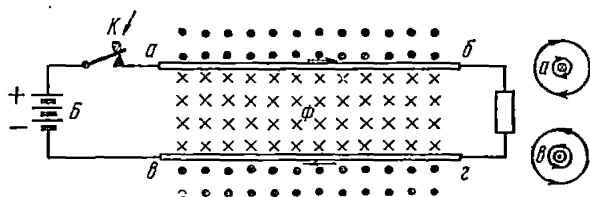


Рис. 50. Явление самоиндукции в цепи прямолинейных проводников

Положим, что два прямолинейных проводника ab и vg (рис. 50) включены в цепь батареи $Б$ с помощью ключа $К$. При замыкании ключа в цепи возникает ток. В первые моменты после замыкания ключа $К$ контур, составленный проводниками ab и vg , будет пронизываться увеличивающимся магнитным потоком Φ , магнитные линии которого (по правилу буравчика) окажутся направленными в пределах контура — за плоскость рисунка, а вне контура — из-за плоскости рисунка.

Под действием нарастающего магнитного потока Φ в замкнутой цепи возникает э. д. с. самоиндукции, которая будет направле-

на против вращательного движения рукоятки буравчика, т. е. навстречу току батареи B .

Если замкнутый проводник состоит из одного витка проволоки, то магнитный поток Φ , пронизывающий контур этого проводника, пропорционален току I , протекающему по проводнику. Обозначив коэффициент пропорциональности буквой L , можем написать следующее равенство:

$$\Phi = LI$$

или

$$L = \frac{\Phi}{I}.$$

Величина L называется индуктивностью данного проводника. Если рассматриваемый нами замкнутый проводник состоит не из одного витка, а представляет собой обмотку, содержащую w витков изолированной проволоки, охватывающих один и тот же магнитный поток Φ , то индуктивность такой обмотки $L = w \frac{\Phi}{I}$.

Единицей индуктивности является генри ($гн$). Один генри — это индуктивность такой цепи, в которой при равномерном изменении тока на один ампер в одну секунду индуктируется э. д. с. самоиндукции в один вольт. Одна тысячная доля генри называется миллигенри ($мгн$): $1 гн = 1000 мгн$.

Если в цепи, обладающей индуктивностью L ($гн$), ток в течение Δt ($сек$) изменяется на величину ΔI ($а$), то в такой цепи возникает э. д. с. самоиндукции

$$E_L = - L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Знак минус в этой формуле указывает на то, что при уменьшении тока (приращение ΔI — отрицательная величина) э. д. с. самоиндукции положительна и наоборот.

Пример. В обмотке из изолированной проволоки, обладающей индуктивностью $5 мгн$, ток в течение $0,01 сек$ увеличивается от 0 до $40 ма$. Чему равна э. д. с. самоиндукции, возникающая в этой обмотке?

Решение. Так как $5 мгн = 0,005 гн$ и $40 ма = 0,04 а$, то, подставляя эти значения в формулу для E_L , находим:

$$E = -0,005 \frac{0,04}{0,01} = -0,02 в = -20 мв.$$

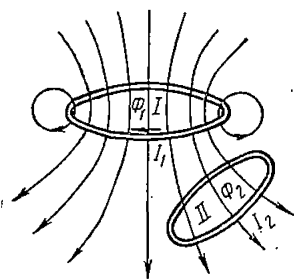
§ 31. ВЗАИМОИНДУКЦИЯ

Рассмотренное нами явление возникновения индукционных токов в параллельных проводниках, схематически изображенных на рис. 44, называется **взаимной индукцией**.

Взаимоиндукция наблюдается не только в моменты возникновения и исчезновения тока, но и при всяком его изменении. Возникающая в подобных случаях э. д. с. в цепях, непосредственно не содержащих источников тока, называется э. д. с. **взаимной индукции**.

Появление э.д.с. взаимной индукции объясняется тем, что контур замкнутого проводника пронизывается изменяющимся магнитным потоком, который создается током, протекающим по соседнему проводнику.

Положим, мы имеем две цепи *I* и *II* (рис. 51), состоящие каждая из одного замкнутого витка проволоки. При протекании тока



I_1 по цепи *I* от какого-либо источника (не показанного на рисунке) возбуждается магнитный поток Φ_1 , который частично пронизывает и контур цепи *II*. Очевидно, что величины как всего магнитного потока Φ_1 , так и его части Φ_2 , пронизывающей контур цепи *II*, пропорциональны току I_1 . Таким образом, соотношение между потоком Φ_2 и током I_1 можно представить в виде следующего равенства:

$$\Phi_2 = M I_1,$$

Рис. 51. Явление взаимной индукции в замкнутых витках

где M — некоторый коэффициент, зависящий от геометрических размеров контуров и их взаимного расположения.

Этот коэффициент называется *взаимной индуктивностью*. Взаимная индуктивность, так же как и индуктивность, измеряется в генри, миллигенри и микрогенри. *Взаимной индуктивностью в один генри обладают две цепи в том случае, если в одной из них возникает э.д.с. взаимной индукции в один вольт при равномерном изменении тока на один ампер в одну секунду в другой цепи.*

Величина взаимной индуктивности M между двумя цепями может быть выражена через индуктивности этих цепей. Если индуктивность одной цепи L_1 , а индуктивность второй — L_2 , то в том случае, когда магнитный поток, возникающий в контуре первой цепи (влияющей), полностью пронизывает контур второй цепи (подвергнутой влиянию),

$$M = \sqrt{L_1 L_2}.$$

Поскольку практически всегда часть магнитных линий первой цепи замыкается помимо контура второй цепи или, как говорят, всегда происходит рассеяние магнитного потока, то практически

$$M < \sqrt{L_1 L_2}.$$

Таким образом, в предыдущее равенство должен быть введен некоторый множитель k , меньший, чем единица:

$$M = k \sqrt{L_1 L_2}.$$

Множитель k называется коэффициентом связи.

Взаимоиндукция используется в трансформаторах. В ряде случаев с явлением взаимной индукции приходится вести борьбу. Напри-

мер, при сближении проводов высоковольтных цепей с линиями связи. взаимоиנדукция может явиться не только источником помех, но и опасных перенапряжений в линиях связи.

Пример. Чему равен коэффициент связи между двумя обмотками, обладающими соответственно индуктивностями 36 и 9 *гн* и взаимной индуктивностью 16,2 *гн*?

Решение:

$$16,2 = k \sqrt{36 \cdot 9},$$

откуда

$$k = \frac{16,2}{\sqrt{36 \cdot 9}} = 0,9.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется естественным и искусственным магнитом?
2. Как определить направление магнитных линий поля, возбужденного во-
круг проводника с током?
3. Что происходит с проводником, обтекаемым током и помещенным в маг-
нитное поле?
4. Что называется магнитной индукцией, магнитным потоком и напряжен-
ностью магнитного поля?
5. Объясните взаимодействие проводников с токами.
6. Что называется абсолютной и относительной магнитной проницаемостью?
7. Поясните процессы, возникающие при переманичивании стали.
8. Что такое электромагнит?
9. Объясните правило правой руки.
10. Какие токи называются вихревыми?
11. Объясните явление самоиндукции.
12. Объясните явление взаимоиנדукции.

Глава IV ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМНОСТЬ

§ 32. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Электрическим полем называется материальная среда, в которой обнаруживается действие электрических сил. На рисунке электрическое поле изображают в виде электрических силовых линий, направление которых совпадает с направлением сил, действующих в электрическом поле.

Так как всякое электрически заряженное тело, находящееся в электрическом поле, перемещается под действием сил этого поля, то силовую линию можно рассматривать как путь, по которому движется тело, обладающее положительным зарядом.

В зависимости от свойств среды силовые линии электрического поля могут быть расположены гуще или реже; следовательно, та или иная среда более или менее пронизываема для электрических силовых линий. С этой точки зрения среду принято характеризовать особой величиной, называемой диэлектрической проницаемостью.

Абсолютная диэлектрическая проницаемость среды

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \cdot \epsilon,$$

где ϵ_0 — электрическая постоянная, равная абсолютной диэлектрической проницаемости вакуума ($8,86 \cdot 10^{-12}$ а·сек/в·м);

ϵ — величина, показывающая, во сколько раз в данной среде электрические заряды взаимодействуют между собой слабее, чем в вакууме, и называемая диэлектрической проницаемостью.

Значение диэлектрической проницаемости некоторых материалов приведено в табл. 3.

В случае наэлектризованного шара силовые линии совпадают

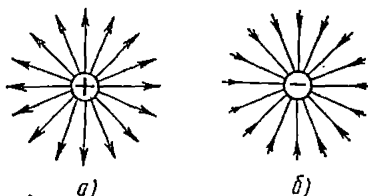


Рис. 52. Электрическое поле положительно (а) и отрицательно (б) наэлектризованного проводника

Диэлектрическая проницаемость и электрическая прочность некоторых материалов

Изолирующие материалы (диэлектрики)	Диэлектрическая проницаемость ϵ	Электрическая прочность, в/см
Воздух	1	30 000
Кабельная бумага	2,3—3,5	60 000—90 000
Трансформаторное масло	2,0—2,5	50 000—180 000
Мрамор	8,3	20 000—30 000
Парафин	2,0—2,2	150 000—500 000
Резина	3,5	100 000—150 000
Слюда	6,0—7,5	1200 000—2 000 000
Стекло	5,5—10,0	100 000—400 000
Фарфор	3,0—7,5	60 000—100 000
Эбонит	2,0—3,5	80 000—100 000

с направлением радиусов этого шара, как изображено на рис. 52. При положительном заряде силовые линии направлены от наэлектризованного тела, при отрицательном — к наэлектризованному телу.

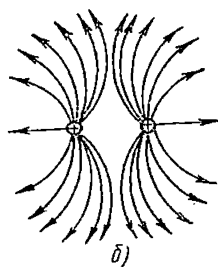
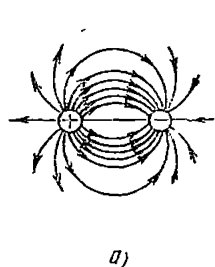


Рис. 53. Электрическое поле двух шаровых проводников, наэлектризованных разноименными (а) и одноименными (б) зарядами

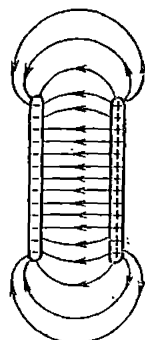


Рис. 54. Электрическое поле между двумя параллельными пластинами, наэлектризованными разноименно

На рис. 53 представлены силовые линии в электрическом поле, созданном двумя наэлектризованными шарами, заряды которых равны, но в одном случае противоположны по знаку, в другом — одинаковы. На рис. 54 показано электрическое поле между двумя параллельными пластинами, наэлектризованными разноименно.

§ 33. ЕМКОСТЬ

Система, состоящая из двух проводников, разделенных диэлектриком, называется конденсатором, а проводники — обкладками конденсатора. Если два таких проводника соединить

с полюсами источника тока, то между ними (в разделяющем их диэлектрике) создается электрическое поле.

Положим, что конденсатор, состоящий из двух металлических пластин A и B (рис. 55), являющихся его обкладками, приключен к полюсам генератора G . Если напряжение этого генератора U (в), то, очевидно, что обкладки конденсатора находятся под таким же напряжением U (в). Электрическое поле, возникшее в диэлектрике конденсатора, характеризуется напряженностью. Пусть расстояние между обкладками конденсатора l (см). Очевидно, что и длина электрических силовых линий в диэлектрике этого конденсатора также l (см). Напряженность электрического поля в данном случае представляет собой напряжение на обкладках, отнесенное к единице длины силовых линий. Таким образом, напряженность поля

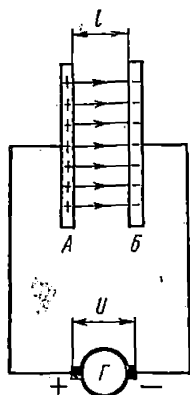


Рис. 55. Схема конденсатора

$$E = \frac{U}{l}.$$

Если напряжение на обкладках конденсатора выражено в вольтах, а расстояние между параллельно расположенными обкладками — в метрах, то напряженность электрического поля в диэлектрике конденсатора выражается в вольтах на метр (в/м). Чем больше напряжение на обкладках конденсатора, тем больше напряженность поля в его диэлектрике.

Обкладки конденсатора, соединенные с полюсами источника тока, имеют некоторые положительный и отрицательный заряды. Величины зарядов, равные между собой по абсолютной величине, пропорциональны напряжению U на обкладках конденсатора. Таким образом, если величину заряда на одной из обкладок обозначить буквой Q , то можно написать следующее равенство:

$$Q = CU.$$

В этом равенстве величина C является так называемой емкостью конденсатора. Если заряд Q выражен в кулонах, а напряжение U в вольтах, то емкость выражается в фарадах (ф). Конденсатор обладает емкостью в 1 ф, если при заряде в 1 к на каждой из обкладок напряжение между ними равно 1 в. Фарада имеет размерность а-с к/в.

Более мелкими единицами измерения емкости являются микрофарада (мкф), равная одной миллионной части фарады, и микромикрофарада (мкмкф), равная одной миллионной части микрофарады, т. е. $1 \text{ ф} = 1\,000\,000 \text{ мкф} = 10^{12} \text{ пф}$ (пикофарад).

Емкость конденсатора зависит от площади его обкладок, расстояния между ними и диэлектрической проницаемости среды, разделяющей обкладки. Емкость конденсатора тем больше, чем

больше площадь его обкладок и диэлектрическая проницаемость среды; разделяющей их, а также чем меньше расстояние между обкладками.

Если напряженность электрического поля в диэлектрике между обкладками конденсатора превзойдет известную предельную величину, то электрический заряд с одной обкладки будет переходить на другую через массу диэлектрика. Такой переход вызывает повреждение изолирующего слоя конденсатора и, следовательно, его порчу.

В табл. 3 приведены величины предельных напряженностей изолирующих материалов, характеризующие электрическую прочность.

Рассмотренное нами свойство находящихся под напряжением конденсаторов накапливать на обкладках электрические заряды, определяющие емкость этих конденсаторов, присуще также линейным проводам и кабелям.

Например, провод, подвешенный на изоляторах, можно рассматривать как одну из обкладок конденсатора, другой обкладкой которого является поверхность земли. Следовательно, такой провод обладает известной емкостью относительно земли. Аналогично два провода одной и той же цепи можно рассматривать как обкладки конденсатора, разделенные воздухом, являющимся диэлектрической прослойкой.

Пример 1. Чему равна напряженность электрического поля в пространстве между двумя параллельными плоскими металлическими поверхностями, соединенными к полюсам генератора с напряжением 300 в, если расстояние между этими поверхностями 2 мм?

Решение:

$$E = \frac{300}{0,2} = 1500.$$

Пример 2. Конденсатор емкостью 2 мкф приключен к источнику тока с напряжением 100 в. Какой заряд сообщен каждой из обкладок конденсатора?

Решение:

$$2 \text{ мкф} = 0,000\,002 \text{ ф} = \frac{Q}{100}, \text{ откуда } Q = 0,0002 \text{ к.}$$

§ 34. ЗАРЯД И РАЗРЯД КОНДЕНСАТОРА

При подключении конденсатора к источнику тока (см. рис. 55) происходит заряд конденсатора до напряжения между обкладками, равного э. д. с. источника тока, т. е. $U=E$. Обкладка, соединенная с положительным полюсом источника тока, получит положительный заряд $+Q$, а вторая обкладка — равный по величине отрицательный заряд $-Q$, причем $Q=CU$. Для заряда обкладок конденсатора необходимо, чтобы одна из них потеряла, а другая приобрела некоторое количество свободных электронов. Переход

электронов с одной обкладки конденсатора на другую происходит под действием э. д. с. источника тока и является током заряда конденсатора, протекающим в течение небольшого отрезка времени, необходимого для заряда конденсатора до напряжения, равного э. д. с. источника тока.

В момент включения конденсатора зарядов на его обкладках нет и напряжение на нем равно нулю ($u_c=0$). Поэтому зарядный ток, ограничиваемый внутренним сопротивлением источника тока r_B , имеет наибольшую величину:

$$I_{3 \text{ макс}} = \frac{E}{r_B}.$$

По мере накопления зарядов на обкладках конденсатора напряжение на нем увеличивается и падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника будет равно разности э. д. с. источника и напряжения на конденсаторе ($E - u_c$). Следовательно, зарядный ток

$$i_3 = \frac{E - u_c}{r_B}.$$

Таким образом, с повышением напряжения на конденсаторе ток заряда уменьшается и при $u_c = E$ становится равным нулю. Процесс изменения напряжения на конденсаторе и тока заряда

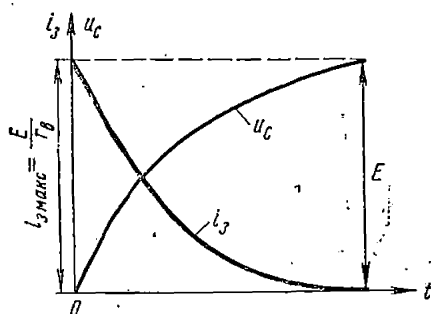


Рис. 56. Процесс изменения напряжения на конденсаторе и зарядного тока

во времени изображен на рис. 56. В начальный момент заряда конденсатора напряжение на нем быстро возрастает, так как ток заряда имеет большую величину и накопление зарядов на обкладках конденсатора происходит интенсивно. По мере повышения напряжения на конденсаторе зарядный ток уменьшается и накопление зарядов на обкладках замедляется. Продолжительность заряда конденсатора зависит от его емкости и сопротивления

цепи, возрастание которых приводит к увеличению продолжительности заряда. С повышением емкости конденсатора возрастает количество электронов, переносимых с одной обкладки на другую, а с увеличением сопротивления цепи уменьшается зарядный ток, что замедляет процесс накопления зарядов на обкладках конденсатора.

Если заряженный конденсатор замкнуть на какое-либо сопротивление r , то под действием напряжения на конденсаторе будет протекать ток разряда конденсатора. Разряд конденсатора сопровождается переносом электронов с одной пластины (где их избыток) на другую (где их недостаток) и протекает до тех пор, пока

потенциалы обкладок не станут одинаковы, т. е. напряжение на конденсаторе не уменьшится до нуля. Изменение напряжения в процессе разряда конденсатора изображено на рис. 57. Ток разряда конденсатора пропорционален напряжению на конденсаторе ($i_p = \frac{u_c}{r}$), и его изменение во времени протекает подобно изменению напряжения.

В начальный момент разряда напряжение на конденсаторе наибольшее ($u_c = E$) и разрядный ток максимальный ($I_{p \text{ макс}} = \frac{E}{r}$), так что разряд протекает быстро. По мере понижения напряжения разрядный ток уменьшается и процесс переноса зарядов с одной обкладки на другую замедляется.

Продолжительность процесса разряда конденсатора зависит от сопротивления цепи и емкости конденсатора, причем возрастание как сопротивления, так и емкости увеличивает продолжительность разряда. С повышением сопротивления разрядный ток уменьшается, замедляя процесс переноса зарядов с одной обкладки на другую; с возрастанием емкости конденсатора увеличивается заряд на обкладках.

Таким образом, в цепи, содержащей конденсатор, ток протекает только в процессе его заряда и разряда, т. е. когда напряжение на обкладках претерпевает изменение во времени. При постоянстве напряжения ток через конденсатор не протекает, т. е. конденсатор не пропускает постоянный ток, так как благодаря диэлектрику между обкладками конденсатора цепь разомкнута.

При заряде конденсатор накапливает электрическую энергию, потребляя ее от источника тока. Накопленная энергия сохраняется определенное время. При разряде конденсатора эта энергия переходит к разрядному сопротивлению, нагревая его, т. е. энергия электрического поля превращается в тепловую. Чем больше емкость конденсатора и напряжение между его обкладками, тем больше энергия, запасенная в нем. Энергия электрического поля конденсатора определяется следующим выражением:

$$W = \frac{CU^2}{2}.$$

Если конденсатор емкостью 100 мкф заряжен до напряжения 200 в, то энергия, полученная при разряде конденсатора,

$$W = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 200^2}{2} = 2 \text{ дж.}$$

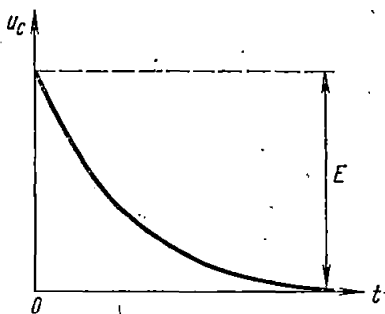


Рис. 57. Процесс изменения напряжения при разряде конденсатора

§ 35. УСТРОЙСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

В зависимости от типа диэлектрика, разделяющего обкладки, конденсаторы бывают бумажные, слюдяные, керамические, электролитические и воздушные.

В бумажных конденсаторах обкладками являются полосы алюминиевой или свинцовой фольги; а диэлектриком служит специальная (конденсаторная) тонкая бумага, пропитанная парафином или минеральным маслом. Полосы фольги вместе с разделяющей их бумагой сворачивают в рулон и после пропитки устанавливают в металлический герметизированный корпус.

В слюдяных конденсаторах между полосами металлической фольги, являющимися обкладками, помещают тонкие пластины слюды. Полосы фольги соединяют через одну, образуя несколько плоских конденсаторов, и в собранном виде запрессовывают в пластмассу, что делает конденсатор не подверженным влиянию окружающей среды.

В керамических конденсаторах диэлектриком служит керамика, на которую наносят металлические обкладки.

В электролитических конденсаторах между обкладками из алюминиевой фольги помещают фильтровальную бумагу или материю, пропитанную электролитом. Обкладки вместе с изолирующими прокладками сворачивают в плотный рулон и помещают в алюминиевый корпус, который после сборки конденсатора заливают смолой и закрывают изоляционной крышкой. В процессе изготовления конденсатора через него пропускают постоянный ток, подключая обкладки к источнику тока. В результате электролиза полоса фольги, соединенная с положительным полюсом источника, окисляется и покрывается тонким слоем окиси алюминия, служащей диэлектриком. Положительным полюсом конденсатора является вывод от фольги, покрытый пленкой окиси алюминия. Этот вывод делают через верхнюю изоляционную крышку и обозначают знаком «плюс». Отрицательным полюсом («минус») служит корпус, соединенный внутри с фольгой, не покрытой слоем окиси алюминия.

При использовании электролитических конденсаторов в схемах включение их должно быть выполнено со строгим соблюдением полярности. Если электролитический конденсатор окажется включенным неправильно и на корпусе его будет положительный потенциал, то вновь начнется электролиз, вследствие которого фольга, соединенная с корпусом, будет окисляться, а первоначальная пленка окиси — разрушаться, что приведет к пробое конденсатора и короткому замыканию цепи. Таким образом, электролитический конденсатор не может быть использован в цепи переменного тока. Область его применения ограничена цепями, где протекает неизменный по направлению ток — постоянный или пульсирующий, с небольшим отклонением от постоянной составляющей (до 10—15%).

Достоинством электролитических конденсаторов является большая емкость при малых габаритах, что объясняется малой толщиной пленки окиси алюминия, служащей диэлектриком. Однако емкость электролитического конденсатора в сильной степени зависит от напряжения и температуры: уменьшается при повышении напряжения и понижении температуры. Повышение напряжения приводит к увеличению толщины слоя окиси, а понижение температуры — к увеличению вязкости и сопротивления электролита. При очень низких температурах электролит замерзает и конденсатор может выйти из строя. В процессе работы конденсатора электролит со временем высыхает и емкость конденсатора также уменьшается.

В радиотехнике часто требуется изменение емкости конденсатора, для чего применяют воздушные конденсаторы переменной емкости (рис. 58, а). Обкладками такого конденсатора служат две системы алюминиевых пластин, одна из которых неподвижная (статор), а другая — подвижная (ротор) и может поворачиваться вокруг оси, заходя в промежутки между неподвижными пластинами. При повороте ротора изменяется площадь пластин, перекрывающих друг друга, что вызывает изменение емкости.

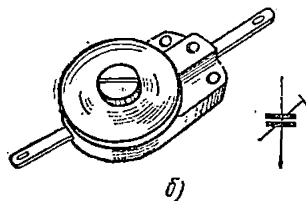
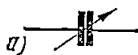
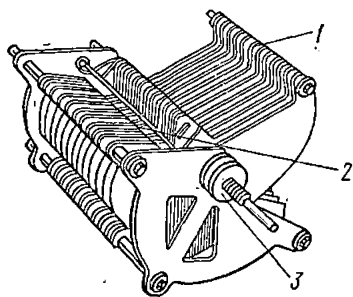


Рис. 58. Конденсаторы переменной (а) и полупеременной (б) емкости и их условные обозначения:

1 — ротор, 2 — статор, 3 — гайка крепления

Конденсатор полупеременной емкости (рис. 58, б) также имеет неподвижную (статор) и подвижную (ротор) системы пластин. Основание пластин изготовлено из керамики, а на него нанесен слой серебра. Поворотом винта перемещают ротор, изменяя емкость конденсатора.

После заряда конденсатор определенное время сохраняет запасенную энергию и напряжение на нем остается почти неизменным. Однако при длительном хранении конденсатор окажется полностью разряженным. Это явление, называемое саморазрядом конденсатора, объясняется тем, что любой диэлектрик — не идеальный изолятор и содержит небольшое количество свободных электронов. Поэтому под действием разности потенциалов на обкладках конденсатора возникает перенос зарядов с одной обкладки на другую при разомкнутых зажимах конденсатора, т. е. появляется ток через диэлектрик, называемый током утечки. Ток утечки обычно очень мал и зависит от напряжения, температуры и

влажности, увеличение которых приводит к возрастанию тока утечки.

Если напряжение на обкладках конденсатора непрерывно повышать, то ток утечки будет возрастать и при определенной величине напряжения диэлектрик разрушится, т. е. произойдет пробой конденсатора. Такое напряжение называется напряжением пробоя $U_{пр}$ и определяет электрическую прочность конденсатора.

На каждом конденсаторе указывается его рабочее и испытательное напряжение. Рабочим называется такое наибольшее напряжение, при котором конденсатор может работать длительное время, не подвергаясь опасности пробоя. Испытательное напряжение в 2—3 раза больше рабочего и представляет собой наибольшее напряжение, которое выдерживает конденсатор в течение 1 мин при испытании на заводе.

§ 36. СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

Соединение отдельных конденсаторов между собой может быть параллельным и последовательным.

На рис. 59, а приведен пример параллельного включения двух конденсаторов, а на рис. 59, б — последовательного соединения тех же конденсаторов.

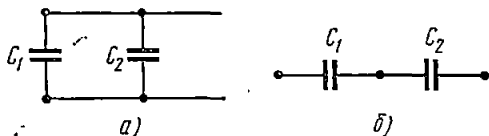


Рис. 59. Схема параллельного (а) и последовательного (б) соединения конденсаторов

При параллельном соединении нескольких конденсаторов емкость их равна сумме емкостей отдельных конденсаторов, входящих в состав соединения, так как параллельное соединение конденсаторов подобно увеличению поверхности обкладок. Например, если конденсаторы с емкостями C_1 и C_2 включены параллельно, то емкость

$$C = C_1 + C_2.$$

При последовательном включении нескольких конденсаторов емкость их определяется на основании следующего положения: обратная величина емкости последовательно соединенных конденсаторов равна сумме обратных величин емкостей конденсаторов, входящих в состав соединения. Например, если три конденсатора с емкостями соответственно C_1 , C_2 и C_3 включены последовательно, то емкость C такого магазина конденсаторов определится из следующего соотношения:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

Таким образом, последовательное соединение конденсаторов уменьшает общую емкость системы, которая будет меньше емкости

любого из последовательно включенных конденсаторов, так как последовательное включение подобно увеличению толщины диэлектрика.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется электрическим полем?
2. Что называется напряженностью электрического поля?
3. Каким образом изменяется напряжение на обкладках конденсатора при его заряде и разряде?
4. Перечислите основные виды конденсаторов постоянной емкости и объясните их устройство.
5. Как определяется суммарная емкость нескольких конденсаторов, соединенных параллельно?

Глава V ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

§ 37. ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ

Постоянный ток, как известно, в металлах представляет собой установившееся поступательное движение свободных электронов. Если же эти электроны вместо поступательного совершают колебательное движение, то ток периодически, через равные промежутки времени, изменяется как по величине, так и по направлению и называется переменным.

Переменный ток обладает способностью трансформироваться (изменять напряжение с помощью трансформаторов), что обеспечивает экономичную передачу электрической энергии на большие расстояния. Ценным свойством переменного тока является также простота устройства и малые габариты двигателей переменного тока. Поэтому переменный ток применяется очень широко и почти вся электрическая энергия вырабатывается генераторами переменного тока.

Схема устройства простейшего генератора переменного тока изображена на рис. 60. В магнитном поле электромагнита NS , возбуждаемом постоянным током в его обмотке, помещен виток из проводников a и b . Концы витка соединены с металлическими кольцами, изолированными друг от друга и от корпуса и вращающимися вместе с витком. На кольцах помещены неподвижные щетки θ , посредством которых виток может быть замкнут на сопротивление внешней нагрузки.

Рис. 60. Схема устройства простейшего генератора переменного тока:
 a и b — проводники, θ — щетка

Предположим, что магнитное поле между полюсами N и S равномерно, т. е. число магнитных линий, проходящих через квад-

ратный сантиметр поперечного сечения поля, всюду одинаково. За время одного оборота плоскость витка описывает угол в 360° . Разобьем этот угол на восемь равных частей по 45° и рассмотрим, как будет изменяться магнитный поток, пронизывающий контур витка, при его переходе из одного положения в другое в процессе вращения. Отдельные положения витка относительно магнитного поля показаны в верхней части рис. 61.

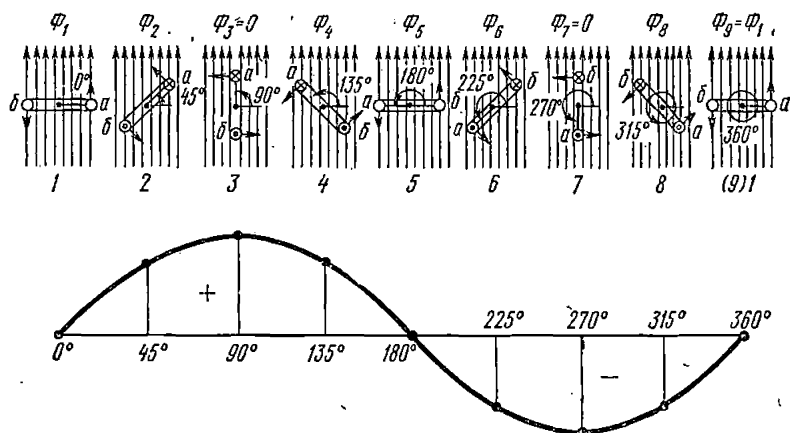


Рис. 61. Волновая диаграмма

Начнем рассмотрение с момента, когда плоскость витка расположена перпендикулярно направлению магнитных линий (положение 1). В этот момент контур витка пронизывается наибольшим магнитным потоком, величину которого обозначим Φ_1 ; движение проводников витка происходит в вертикальном направлении, совпадающем с направлением магнитных силовых линий, следовательно, проводники не пересекают магнитных линий, а потому магнитный поток, пронизывающий контур витка, не изменяется и э. д. с. равна нулю.

Начиная с этого положения проводники a и b витка, двигаясь по окружности, перемещаются под углом к направлению магнитных линий, пересекая их. Пересеченные магнитные линии оказываются вне витка и, следовательно, магнитный поток, пронизывающий контур витка, уменьшается. Так как величина этого магнитного потока изменяется, то на основании закона электромагнитной индукции в витке возникает э. д. с. индукции. При переходе плоскости витка из положения 1 в положение 2, т. е. при повороте на угол 45° , э. д. с. индукции возрастает до некоторой величины, определяемой отношением изменения магнитного потока от Φ_1 до Φ_2 , т. е. $\Phi_1 - \Phi_2$, к времени Δt , в течение которого происходит изменение. Э. д. с. в витке имеет следующее направление (положение 2):

в проводе *а* — за плоскость рисунка, а в проводе *б* — из-за плоскости рисунка. Условимся считать это направление э. д. с. положительным. В таком случае величину э. д. с., действующей в замкнутой цепи витка в момент прохода его через положение 2, мы должны отложить в виде некоторого отрезка, как это показано на диаграмме в нижней части рис. 61.

При переходе плоскости витка из положения 2 в положение 3, т. е. при повороте еще на угол 45° , магнитный поток, пронизывающий контур витка, уменьшившись до нуля, изменится на величину $\Phi_2 - 0 = \Phi_2$. Так как в данном случае магнитный поток изменится больше, чем при переходе витка из положения 1 в положение 2, то э. д. с. в витке, когда он находится в положении 3, больше э. д. с., соответствующей положению 2. Поэтому э. д. с., соответствующую положению 3 витка, когда плоскость его находится под углом 90° к направлению исходного положения, мы должны отложить в виде отрезка большей величины, чем предыдущий. Этот отрезок, как и предыдущий, отложен на диаграмме выше горизонтальной оси потому, что в обоих проводах *а* и *б* электродвижущая сила имеет положительное направление, т. е. в проводе *а* — за плоскость рисунка, а в проводе *б* — из-за плоскости рисунка, в чем нетрудно убедиться, применив правило правой руки.

Во время дальнейшего вращения плоскости витка э. д. с. в нем будет уменьшаться, оставаясь положительной. Когда плоскость витка повернется на 180° от начального положения и займет положение 5, э. д. с. в нем уменьшится до нуля, несмотря на то что магнитный поток, пронизывающий контур витка, так же как и при положении 1, имеет наибольшую величину.

После перехода плоскости витка через положение 5 направление э. д. с. индукции в нем изменяется: в проводе *а* — из-за плоскости рисунка, а в проводе *б* — за плоскость рисунка. По мере поворота витка э. д. с. в нем по абсолютной величине увеличивается. В момент прохода витка через положение 7 э. д. с. имеет наибольшее значение, равное по абсолютной величине, но противоположное по знаку э. д. с. в витке при положении 3. При дальнейшем вращении витка э. д. с. в нем по абсолютной величине уменьшается и, наконец, при повороте плоскости витка на 360° от начального положения становится равной нулю. С этого момента процесс изменения э. д. с. повторяется аналогично описанному выше.

Соединив вершины отрезков, выражающих величины э. д. с. для отдельных положений плоскости витка, плавной линией, получим так называемую волновую диаграмму, представляющую собой синусоиду. Переменная э. д. с. и ток, изменяющиеся согласно указанной кривой, называются синусоидальными.

Таким образом, величина э. д. с., индуктируемой в проводнике, перемещающемся с равномерной скоростью в однородном магнитном поле, зависит от угла между направлением магнитных линий и направлением движения этого проводника.

§ 38. СИНУСОИДАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА

Переменный синусоидальный ток возникает в цепи под действием синусоидальной электродвижущей силы.

Электродвижущая сила индукции, возникающей в прямолинейном проводнике, пересекающем магнитные линии в направлении, перпендикулярном этим линиям, выражается следующей формулой:

$$E = BLv10^{-8} \text{ в.}$$

Если проводник перемещается не перпендикулярно магнитным линиям, а под некоторым углом α (рис. 62), э. д. с. индукции, возникающая в нем, будет меньше:

$$E = Blv \sin \alpha 10^{-8} \text{ в.}$$

Пример. Определить э. д. с. в проводнике длиной 0,2 м, если его перемещают в магнитном поле с магнитной индукцией 10 000 гс со скоростью 1 м/сек под углом 30° к направлению магнитных линий.

Решение. Метры выразим в сантиметрах: 0,2 м = 20 см и 1 м = 100 см. Находим э. д. с. индукции:

$$E = \frac{10\,000 \cdot 20 \cdot 100 \cdot 0,5}{10^8} = 0,1 \text{ в.}$$

При вращении замкнутого проводника в магнитном поле легко подсчитать величину э. д. с., индуцируемой в этом проводнике, зная, на какой угол α повернулась плоскость проводника от исходного положения перпендикулярно направлению магнитных линий. Максимального значения, или, как говорят, амплитуды, э. д. с. достигает в тот момент, когда угол $\alpha = 90^\circ$. Обозначив амплитуду э. д. с. через E_m , найдем:

$$E_m = Blv10^{-8} \text{ в.}$$

Через амплитуду можно выразить мгновенное значение э. д. с. в произвольный момент, когда стороны замкнутого проводника пересекают магнитные линии под некоторым углом α , а именно:

$$e = E_m \sin \alpha.$$

Угол α в данном случае называется фазовым углом э. д. с. или фазой.

Электродвижущая сила генератора переменного тока, так же как в цепях постоянного тока, расходуется на преодоление внутреннего сопротивления генератора и сопротивления внешней цепи. Ту часть э. д. с., которая поглощается во внешней цепи, называют напряжением генератора и обозначают его мгновенное значение буквой u , а максимальное (амплитуду) — буквой U_m .

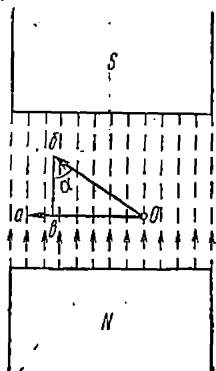


Рис. 62. Перемещение проводника под углом к направлению магнитных линий

Для определения мгновенного значения электродвижущей силы e амплитуду E_m надо умножить на синус фазового угла (фазы) α . Следовательно, если мы построим отрезок Oa (рис. 63), равный (в масштабе для вольт) величине амплитуды E_m и будем вращать его против часовой стрелки (это направление вращения принято считать положительным), то конец отрезка опишет некоторую окружность с радиусом E_m .

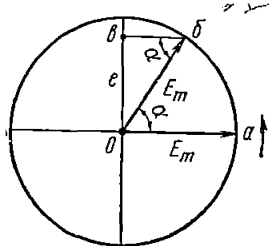


Рис. 63. Мгновенное значение э. д. с.

Положим, что по прошествии некоторого времени t (сек) отрезок повернулся на угол α и занял направление Ob . Опустив перпендикуляр из конца отрезка Ob на вертикальный диаметр, получим прямоугольный треугольник Oab . Из этого треугольника находим:

$$Ob = E_m \sin \alpha.$$

Сопоставляя полученное равенство с уравнением $e = E_m \sin \alpha$, убеждаемся, что отрезок Ob представляет собой мгновенное значение э. д. с., соответствующее фазовому углу α .

Способ изображения э. д. с. токов и напряжений в виде прямых линий определенной длины и определенного направления или так называемых векторов в широко применяется в теории переменных токов. Зависимость между отдельными электрическими величинами, выраженная графически в форме векторов, называется векторной диаграммой.

Промежуток времени, необходимый для совершения переменной э. д. с. полного цикла (круга) своих изменений, называется периодом колебаний или сокращенно периодом. Период обозначается T и измеряется в секундах.

Число периодов в одну секунду называется частотой колебаний или сокращенно частотой. Частота обозначается f и измеряется в герцах (гц). Так как в рассмотренной нами диаграмме радиус $Oa = E_m$, который мы будем называть радиус-вектором, в течение одного периода T описывает угол $\alpha = 2\pi = 360^\circ$, то отношение $\frac{2\pi}{T}$ является углом, описываемым тем же радиус-вектором в одну секунду. Следовательно, отношение $\frac{2\pi}{T}$ выражает собой угловую скорость вращения радиус-вектора, которую в электротехнике принято называть угловой частотой. Угловая частота обозначается греческой буквой ω (омега) и равна:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Если ω представляет собой угол, описываемый радиус-вектором в одну секунду, то за время t угол α , описываемый тем же радиус-

вектором и называемый, как мы уже знаем, фазой, будет равен

$$\alpha = \omega t = \frac{2\pi}{T} t.$$

Так как один полный оборот совершается радиус-вектором в течение T сек, то между частотой и периодом существует соотношение

$$f = \frac{1}{T}$$

или

$$T = \frac{1}{f}.$$

Подставляя вместо T его значение в формулу для ω , получим

$$\omega = 2\pi f.$$

§ 39. АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Рассмотрим явления, происходящие во внешней цепи с некоторым омическим сопротивлением, не обладающей индуктивностью или емкостью. Если омическое сопротивление, т. е. сопротивление постоянному току, цепи равно r , то при протекании по этой цепи переменного тока сопротивление ее возрастет и станет равным некоторой величине R . Опыт показывает, что с увеличением частоты переменного тока сопротивление R возрастает. Поэтому в отличие от сопротивления проводника постоянному току, которое называется омическим, сопротивление того же проводника (не обладающего ни индуктивностью, ни емкостью) переменному току называется активным сопротивлением. Поскольку активное сопротивление проводника возрастает с увеличением частоты, то это явление, возникающее в основном вследствие поверхностного эффекта, имеет существенное значение при высоких частотах.

Для пояснения поверхностного эффекта разделим мысленно прямолинейный провод по всей его длине на ряд concentрических цилиндров с равновеликими кольцевыми поперечными сечениями (рис. 64).

Если по такому проводу протекает постоянный ток, то, очевидно, что плотность тока, т. е. число ампер на один квадратный сантиметр сечения, во всех кольцах будет одинакова и вокруг каждого из них возникнет постоянное магнитное поле. Таким образом, воображаемые нами concentрические проводники окажутся окруженными замкнутыми магнитными потоками, причем по мере приближения к оси провода потоки, охватывающие эти проводники, складываясь, будут увеличиваться.

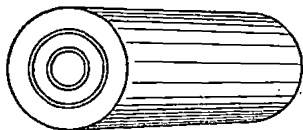


Рис. 64. Проводник, разделенный на concentрические цилиндры

Положим теперь, что по тому же проводнику протекает переменный ток. В этом случае возникающие вокруг воображаемых нами цилиндрических проводников магнитные потоки будут также переменными. Следовательно, на основании закона электромагнитной индукции в каждом из цилиндрических проводников будут появляться э. д. с. самоиндукции, увеличивающиеся по мере приближения рассматриваемых проводников к оси провода.

Таким образом, при переменном токе возникающие переменные магнитные потоки в самом проводе наводят э. д. с., противодействующие основному напряжению, приложенному к концам провода. Это противодействие будет тем больше, чем ближе рассматриваемое сечение к оси провода, в результате чего ток в сечении провода распределяется не с одинаковой плотностью, а с увеличивающейся от оси к поверхности провода.

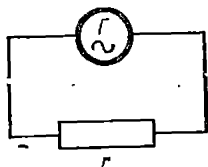


Рис. 65. Цепь переменного тока с активной нагрузкой

Явление поверхностного эффекта как бы уменьшает полезное сечение провода и, следовательно, увеличивает сопротивление R .

При частоте тока 50 гц, применяющейся в промышленности электротехнике, и небольшом поперечном сечении проводника поверхностный эффект незначительно увеличивает сопротивление, а потому практически активное сопротивление проводников можно считать равным их омическому сопротивлению. При токах же повышенных и высоких частот разница между указанными сопротивлениями становится значительной.

Положим, что к зажимам цепи (рис. 65) подается от генератора Γ переменного тока изменяющееся по синусоидальному закону напряжение

$$u = U_m \sin \alpha = U_m \sin \omega t,$$

где u — мгновенное значение напряжения;

U_m — амплитуда (максимальная величина) напряжения.

Ток, протекающий в любой момент, определится по закону Ома как частное от деления мгновенного значения напряжения u на активное сопротивление R , т. е.

$$i = \frac{u}{R}.$$

Подставляя вместо u его значение из предыдущего выражения, получим

$$i = \frac{U_m}{R} \sin \omega t.$$

Это равенство указывает на то, что ток может быть графически изображен как в виде вектора, так и в виде синусоиды.

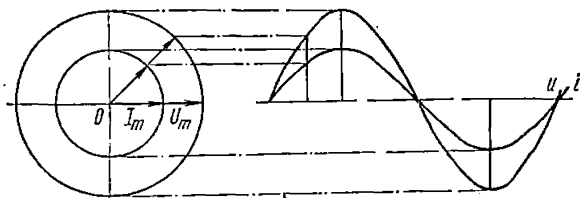


Рис. 66. Векторная и волновая диаграммы для напряжения и тока в цепи с активным сопротивлением

Амплитуда синусоиды и величина вектора (рис. 66) определяются множителем $\frac{U_m}{R}$. Так как U_m выражается в вольтах, а R в омах, то $\frac{U_m}{R}$ выразится в амперах. Обозначив амплитуду тока I_m , т. е.

$$I_m = \frac{U_m}{R},$$

получим для мгновенного значения тока i следующее выражение:

$$i = I_m \sin \omega t.$$

Для начального момента (начала периода), когда $t = 0$, фаза $\omega t = 0$ и $\sin \omega t \equiv \sin 0^\circ = 0$. Следовательно,

$$u = U_m \sin \omega t = U_m 0 = 0$$

$$\text{и} \quad i = I_m \sin \omega t = I_m 0 = 0.$$

Таким образом, начала синусоид, изображающих напряжение и ток, совпадают с началом периода. Вектор напряжения U_m и вектор тока I_m должны быть начерчены горизонтально, вправо от точки O , причем вектор U_m — в масштабе для вольт, а вектор I_m — в масштабе для ампер.

Как видно из волновых диаграмм, ток и напряжение одновременно равны нулю, одновременно достигают своих максимальных значений (амплитуд) и одновременно меняют знак при переходе через нулевые значения. Такие одновременные изменения напряжения и тока указывают на то, что они совпадают по фазе. Следовательно, если внешняя цепь содержит лишь активное сопротивление и не обладает ни индуктивностью, ни емкостью, то напряжение, приложенное к этой цепи, и ток, протекающий в ней, совпадают по фазе.

Как мы уже знаем, величины $u = U_m \sin \omega t$ и $i = I_m \sin \omega t$, представляя собой мгновенные значения напряжения и тока, относящиеся к отдельным моментам, не определяют значения тока за некоторый промежуток времени. Поэтому для суждения о величине переменного тока его приравнивают к величине такого эквивалентного постоянного тока, который, протекая по такому же сопротивлению, что и переменный ток, производит одинаковое с ним тепловое действие, т. е. за один и тот же промежуток времени (за время одного или нескольких периодов T), выделяет одинаковое количество тепла. Такая величина переменного тока называется действующей.

Очевидно, что действующая величина тока меньше тех максимальных мгновенных значений, которых достигает переменный ток в процессе синусоидального изменения.

Отношение между максимальным значением I_m переменного тока и его действующим значением I , равняется $\sqrt{2} = 1,414$, т. е.

$$\frac{I_m}{I} = \sqrt{2} \quad \text{или} \quad I_m = I \cdot \sqrt{2} = 1,414 I \quad \text{и}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m.$$

Подобные соотношения относятся к действующим значениям напряжения U и э. д. с. E , т. е.

$$U_m = U \cdot \sqrt{2} = 1,414 U \quad \text{и} \quad E_m = E \cdot \sqrt{2} = 1,414 E$$

или

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 U_m \quad \text{и} \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 E_m.$$

Приборы, предназначенные для измерения напряжения и тока, а именно: вольтметры и амперметры, дают показания действующих значений соответственно напряжения и тока. Например, если вольтметр показывает напряжение переменного тока 110 в, то максимальное значение этого напряжения равно $110 \cdot \sqrt{2} = 155,54$ в.

Пример. Какие показания дадут вольтметр, подсоединенный к зажимам цепи с активным сопротивлением 440 ом, и амперметр, включенный последовательно в эту же цепь, если амплитуда напряжения переменного тока, питающего цепь, равна 311 в?

Решение. Действующие значения напряжения и тока следующие:

$$U = \frac{311}{1,414} \approx 220 \text{ в}; \quad I = \frac{220}{440} = 0,5 \text{ а.}$$

§ 41. ИНДУКТИВНОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Положим, что переменное напряжение с амплитудой U_m действует на зажимах соленоида с индуктивностью L (гн) и настолько малым активным сопротивлением R , что им можно пренебречь (рис. 67). Если бы вместо переменного напряжения мы приложили

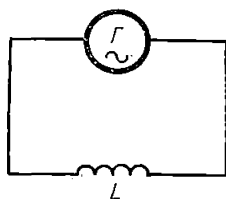


Рис. 67. Индуктивность в цепи переменного тока

к тому же соленоиду постоянное напряжение, то ввиду ничтожности активного сопротивления ток в этом соленоиде достиг бы очень большой величины. При переменном напряжении ток в соленоиде будет иметь меньшую величину. Это объясняется тем, что при переменном напряжении в соленоиде возникает также переменная э. д. с. самоиндукции, которая складывается геометрически с приложенным напряжением и в результате оказывает влияние на силу тока.

Как известно, э. д. с. самоиндукции выражается формулой

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}.$$

Положим, что ток в соленоиде изменяется периодически по синусоидальному закону:

$$i = I_m \sin \omega t.$$

Вектор I_m на векторной диаграмме (рис. 68) расположен горизонтально. Как видно из формулы для e_L , э. д. с. самоиндукции зависит не от величины тока, а от изменения его (Δi) за известный промежуток времени (Δt).

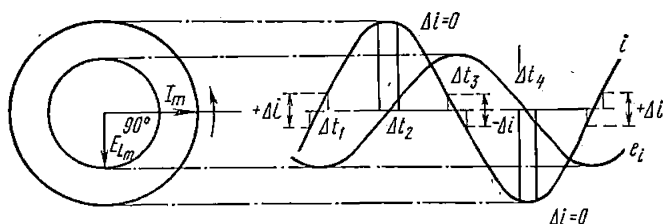


Рис. 68. Векторная и волновая диаграммы для тока и э. д. с. самоиндукции в цепи с индуктивностью

Таким образом, для определения мгновенных значений e_L , соответствующих отдельным промежуткам времени, мы должны знать приращения величин тока за эти промежутки времени.

В правой части рис. 68 изображена синусоида, представляющая собой волновую диаграмму изменения тока. Рассмотрим наиболее характерные промежутки времени Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 и Δt_4 , равные

между собой и соответствующие фазам вектора тока $\alpha_1=0^\circ$, $\alpha_2=90^\circ$, $\alpha_3=180^\circ$ и $\alpha_4=270^\circ$.

В течение времени Δt_1 ток возрос на величину Δi , т. е. приращение тока за указанный промежуток времени положительно и равно $+\Delta i$. Подставив это значение в формулу для e_L , получим

$$e_{L_1} = -L \frac{+\Delta i}{\Delta t_1} = -L \frac{\Delta i}{\Delta t_1}.$$

В течение времени Δt_2 величина тока не изменилась; следовательно, приращение тока за данный промежуток времени равно нулю. Поэтому мгновенное значение э. д. с. самоиндукции, соответствующее времени Δt_2 , равно

$$e_{L_2} = -L \frac{0}{\Delta t_2} = 0.$$

В течение времени Δt_3 ток уменьшился на величину Δi , т. е. приращение тока за этот промежуток времени отрицательно и равно $-\Delta i$. Мгновенное значение э. д. с. самоиндукции, соответствующее времени Δt_3 , равно

$$e_{L_3} = -L \frac{-\Delta i}{\Delta t_3} = +L \frac{\Delta i}{\Delta t_3}.$$

Легко заметить, что мгновенное значение э. д. с. самоиндукции, соответствующее времени Δt_4 , опять становится равным нулю:

$$e_{L_4} = -L \frac{0}{\Delta t_4} = 0.$$

Итак, в моменты Δt_2 и Δt_4 э. д. с. самоиндукции равна нулю, а в моменты Δt_1 и Δt_3 она имеет максимальные значения, причем в момент Δt_1 — отрицательное, а в момент Δt_3 — положительное. На основании этого на волновой диаграмме построена синусоида э. д. с. самоиндукции e_L , а на векторной диаграмме — радиус-вектор, равный ее амплитуде E_{Lm} .

Векторная диаграмма показывает, что между током и э. д. с. самоиндукции существует разность фаз (сдвиг фаз). Фаза тока опережает фазу э. д. с. самоиндукции на угол $\varphi = 90^\circ$.

Амплитуда э. д. с. самоиндукции E_{Lm} в зависимости от угловой частоты ω и амплитуды переменного тока I_m выражается формулой

$$E_{Lm} = I_m \omega L.$$

Из этой формулы видно, что при неизменной индуктивности L э. д. с. самоиндукции увеличивается с возрастанием угловой частоты ω , т. е. с увеличением частоты переменного тока f .

Действующее значение э. д. с. самоиндукции

$$E_L = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \omega L = I \omega L,$$

где I — действующее значение тока.

Поскольку э. д. с. самоиндукции отстает по фазе от тока на угол 90° и напряжение, приложенное к зажимам соленоида, преодолевает действие э. д. с., т. е. направлено к ней противоположно, это напряжение опережает ток по фазе на угол 90° , что изображено на векторной диаграмме (рис. 69).

Векторная диаграмма показывает, что в цепи с индуктивностью без активного сопротивления напряжение, приложенное к концам цепи, опережает ток по фазе на угол $\varphi_1 = 90^\circ$, причем ток также опережает э. д. с. самоиндукции по фазе на угол $\varphi_2 = 90^\circ$.

Действующее значение напряжения, приложенного к концам цепи с индуктивностью,

$$U = I\omega L,$$

откуда ток в цепи

$$I = \frac{U}{\omega L}.$$

Полученная формула представляет собой выражение закона Ома для цепи переменного тока, обладающей индуктивностью. Величина ωL называется индуктивным сопротивлением, обозначается X_L и измеряется в омах. Итак,

$$X_L = \omega L.$$

Пример. Чему равно индуктивное сопротивление катушки, обладающей индуктивностью $L = 0,01$ гн, если она приключена к зажимам генератора переменного тока с частотой $f = 800$ гц?

Решение. Угловая частота переменного тока генератора

$$\omega = 2\pi \cdot 800 = 5024 \text{ рад/сек.}$$

Следовательно, индуктивное сопротивление

$$X_L = 5024 \cdot 0,01 = 50,24 \text{ ом.}$$

§ 42. ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, СОДЕРЖАЩАЯ АКТИВНОЕ И ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Цепь переменного тока с одним лишь индуктивным сопротивлением в действительности невозможна, так как всякая обмотка, помимо индуктивного сопротивления, обладает также активным сопротивлением. Поэтому рассмотрим случай, когда приемник, включенный в цепь переменного тока, имеет активное сопротивление R (рис. 70) и индуктивность L , т. е. индуктивное сопротивление X_L .

Положим, что по цепи протекает переменный ток I с частотой, соответствующей угловой частоте $\omega = 2\pi f$, и с действующим

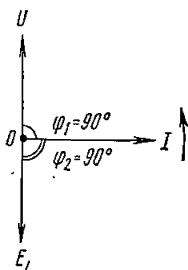


Рис. 69. Векторная диаграмма тока, напряжения и э. д. с. самоиндукции для цепи с индуктивностью

значением. Для простоты предположим, что начальная фаза тока равна нулю и ток изображается вектором I (рис. 71), расположенным горизонтально.

Для того чтобы ток I проходил по активному сопротивлению R , требуется некоторое напряжение $U_a = IR$. Данное напряжение как действующее в цепи с активным сопротивлением совпадает по фазе с током. Поэтому вектор напряжения U_a на диаграмме построен по направлению вектора тока I . Напряжение U_a называется активным падением напряжения. Так как рассматри-

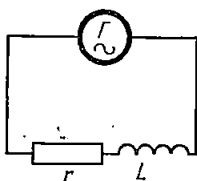


Рис. 70. Активное сопротивление и индуктивность в цепи переменного тока

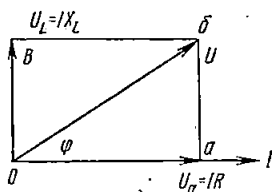


Рис. 71. Векторная диаграмма к рис. 70 с активным сопротивлением и индуктивностью

ваемая нами цепь обладает и индуктивностью, то для преодоления э. д. с. самоиндукции потребуется напряжение $U_L = IX_L$. Напряжение U_L называется индуктивным падением напряжения. Как мы уже знаем, напряжение, расходуемое на преодоление э. д. с. самоиндукции, опережает по фазе ток на угол 90° . Поэтому вектор напряжения U_L построен под углом 90° в сторону опережения (против часовой стрелки).

Следовательно, напряжение на зажимах цепи равно геометрической сумме векторов $U_a = IR$ и $U_L = IX_L$. Сложив эти векторы геометрически (по правилу параллелограмма), получим вектор напряжения U , определяющий своей величиной и направлением действующее значение напряжения генератора в цепи.

Вектор напряжения U не совпадает по фазе с вектором тока I : вектор I отстает от вектора U на некоторый угол, обозначенный нами ϕ . Кроме того, вектор U является гипотенузой прямоугольного треугольника Oab , называемого треугольником напряжений. Катет треугольника Oa равен $U_a = IR$, а катет $ab = Ob$ равен $U_L = IX_L$. Поэтому мы можем написать

$$U^2 = U_a^2 + U_L^2,$$

или

$$U^2 = (IR)^2 + (IX_L)^2 = I^2 (R^2 + X_L^2).$$

Извлекая квадратный корень из обеих частей последнего равенства, находим

$$U = I \sqrt{R^2 + X_L^2},$$

откуда

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}.$$

Эта формула представляет собой выражение закона Ома для цепи переменного тока, содержащей активное и индуктивное сопротивление. Знаменатель в данном выражении обозначается Z и называется полным сопротивлением цепи:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}.$$

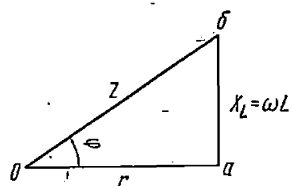


Рис. 72. Треугольник сопротивлений

Основываясь на этом равенстве, мы можем построить прямоугольный треугольник (рис. 72) с катетами R и $X_L = \omega L$ и гипотенузой Z , называемый треугольником сопротивлений цепи, содержащей активное и индуктивное сопротивление. Из треугольника сопротивлений мы можем определить угол сдвига фаз ϕ между напряжением, приложенным к цепи, и током в ней:

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}.$$

Зная R и Z , нетрудно по $\cos \phi$ определить угол ϕ .

Пример. Катушка с активным сопротивлением 20 ом и индуктивностью 0,05 гн, подключена к зажимам генератора с напряжением 120 в при частоте 50 гц. Требуется узнать: полное сопротивление катушки, угол сдвига фаз между напряжением и током, ток в катушке и э. д. с. самоиндукции катушки.

Решение. Полное сопротивление катушки

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} = \sqrt{20^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 0,05)^2} \approx 25,42 \text{ ом}.$$

Сдвиг фаз

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{20}{25,42} \approx 0,788; \quad \phi = 38^\circ.$$

Ток в катушке

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} = \frac{U}{Z} = \frac{120}{25,42} \approx 4,72 \text{ а}.$$

Э. д. с. самоиндукции

$$E_L = I \omega L = 4,72 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,05 \approx 74,1 \text{ в}.$$

§ 43. ЕМКОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

При включении конденсатора емкостью C (рис. 73, а) под постоянное напряжение U он заряжается и на его обкладках сосредотачиваются равные, но противоположные по знаку количества

электричества:

$$Q = CU.$$

Если заряженный конденсатор отключить от источника тока, то он, сохраняя заряд, будет обладать некоторой разностью потенциалов E_C (действующее значение). Соединив обкладки заряженного конденсатора между собой через какое-либо сопротивление R (рис. 73, б), мы можем убедиться (при посредстве измерительного

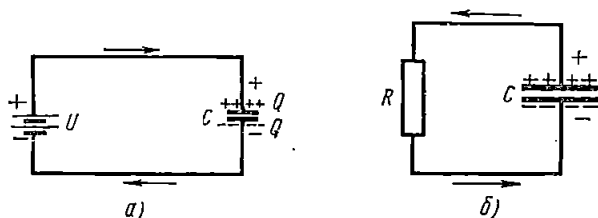


Рис. 73. Заряд (а) и разряд (б) конденсатора

прибора) в том, что конденсатор, разряжаясь, дает кратковременный ток через сопротивление R . Направление тока в цепи при разряде конденсатора противоположно направлению тока при заряде.

Если рассматривать процессы, происходящие в цепи, содержащей конденсатор и приключенной к зажимам источника переменного тока с синусоидальным напряжением $u = U_m \sin \omega t$, то нетрудно заметить, что эти процессы сводятся к периодическому заряду и разряду конденсатора.

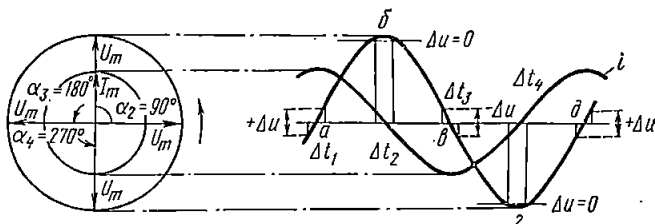


Рис. 74. Векторная и волновая диаграммы напряжения и тока для цепи с емкостью

Положим, что генератор переменного тока замкнут на конденсатор. Представим изменение напряжения на зажимах генератора на волновой диаграмме (рис. 74) в виде синусоидальной кривой $abvcd$, а вектор напряжения U_m на векторной диаграмме расположим горизонтально.

Обратимся к формуле $Q = CU$ и применим ее к рассматриваемому нами случаю заряда конденсатора переменным током. Очевидно, что за очень малый промежуток времени Δt напряжение на зажимах генератора изменится также на малую величину, ко-

торуую мы обозначим Δu . Вместе с тем за тот же промежуток времени Δt генератор сообщит конденсатору количество электричества, равное ΔQ . Таким образом, наша формула для очень малого промежутка времени Δt может быть написана в виде

$$\Delta Q = C \Delta u.$$

Деля обе части равенства на Δt , получим

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \frac{\Delta u}{\Delta t}.$$

Левая часть равенства представляет собой отношение количества электричества ΔQ , перешедшего от генератора к конденсатору за время Δt , к этому времени. Следовательно, если ΔQ выразить в кулонах, а Δt — в секундах, то отношение $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ представит собой количество электричества, перенесенное в одну секунду и выраженное в кулонах, т. е. будет мгновенной величиной тока i , выраженной в амперах.

Таким образом, последнее равенство можем написать в виде

$$i = C \frac{\Delta u}{\Delta t}.$$

Применяя эту формулу, рассмотрим наиболее характерные промежутки времени Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 и Δt_4 , равные между собой и соответствующие фазам вектора напряжения U_m генератора $\alpha_1 = 0^\circ$, $\alpha_2 = 90^\circ$, $\alpha_3 = 180^\circ$ и $\alpha_4 = 270^\circ$.

Как видно из последней формулы, ток в цепи конденсатора зависит не от величины напряжения u , а от изменения его Δu за известный промежуток времени Δt . Таким образом, для определения мгновенных значений тока i , соответствующих отдельным промежуткам времени, мы должны знать приращение напряжения Δu за эти промежутки времени.

В течение времени Δt_1 напряжение увеличилось на величину Δu , т. е. приращение напряжения за указанный промежуток времени положительно и равно $+\Delta u$. Подставив это значение в формулу для i , получим

$$i_1 = C \frac{+\Delta u}{\Delta t_1} = + C \frac{\Delta u}{\Delta t_1}.$$

В течение времени Δt_2 напряжение не изменилось, следовательно, приращение его за данный промежуток времени равно нулю. Поэтому мгновенное значение тока в цепи, соответствующее времени Δt_2 , равно нулю:

$$i_2 = C \frac{0}{\Delta t_2} = 0.$$

В течение времени Δt_3 напряжение уменьшилось на величину Δu , т. е. приращение его за данный промежуток времени

отрицательно и равно $-\Delta u$. Мгновенное значение тока, соответствующее этому промежутку времени,

$$i_3 = C \frac{-\Delta u}{\Delta t_3} = -C \frac{\Delta u}{\Delta t_3}.$$

Нетрудно заметить, что мгновенное значение тока, соответствующее промежутку времени Δt_4 , опять становится равным нулю, т. е.

$$i_4 = C \frac{0}{\Delta t_4} = 0.$$

Итак, в моменты Δt_2 и Δt_4 ток в цепи равен нулю, а в моменты Δt_1 и Δt_3 он имеет максимальные значения, причем в момент Δt_1 — положительное, а в момент Δt_3 — отрицательное. На основании этого на волновой диаграмме построена синусоида тока в цепи i , а на векторной диаграмме — радиус-вектор, равный амплитуде тока I_m .

Из векторной диаграммы видим, что между током и напряжением, приложенным к зажимам конденсатора, существует разность фаз (сдвиг фаз). Фаза тока опережает фазу напряжения на угол $\varphi = 90^\circ$.

Амплитуда разности потенциалов на обкладках конденсатора E_{Cm} в зависимости от угловой частоты ω и амплитуды переменного тока I_m выражается формулой

$$E_{Cm} = I_m \frac{1}{\omega C}.$$

Из этой формулы видно, что при неизменной емкости C разность потенциалов на обкладках конденсатора уменьшается с увеличением угловой частоты ω , т. е. с повышением частоты переменного тока f .

Действующее значение разности потенциалов на обкладках конденсатора

$$E_C = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\omega C} = I \frac{1}{\omega C}.$$

Разность потенциалов на обкладках конденсатора опережает ток по фазе на угол 90° , и напряжение, приложенное к зажимам конденсатора, преодолевает действие этой разности потенциалов, т. е. равно ей, но противоположно. Таким образом, напряжение, приложенное к зажимам конденсатора, отстает по фазе от тока на угол 90° .

Действующее значение тока в цепи, содержащей конденсатор,

$$I = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \omega C = U \omega C = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}}.$$

Полученная формула представляет собой выражение закона Ома для цепи переменного тока, обладающей емкостью. Здесь ве-

личина $\frac{1}{\omega C}$ называется емкостным сопротивлением, обозначается X_C и измеряется в омах, т. е.

$$X_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Пример. Чему равно емкостное сопротивление конденсатора емкостью $C = 2 \text{ мкф}$, если конденсатор приключен к зажимам генератора переменного тока с частотой $f = 800 \text{ гц}$?

Решение. Угловая частота переменного тока генератора $\omega = 2\pi \cdot 800 = 5024$. Емкость конденсатора $2 \text{ мкф} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ф}$.

По формуле для X_C находим

$$X_C = \frac{1}{5024 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 100 \text{ ом}.$$

§ 44. ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, СОДЕРЖАЩАЯ АКТИВНОЕ И ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Положим, что по цепи (рис. 75), содержащей активное сопротивление R и конденсатор емкостью C , протекает переменный ток с частотой f , соответствующей угловой частоте $\omega = 2\pi f$, и действующим значением I . Для простоты будем считать, что начальная фаза тока равна нулю и ток изображается вектором I (рис. 76), расположенным горизонтально.

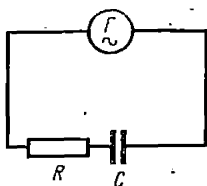


Рис. 75. Активное сопротивление и емкость в цепи переменного тока

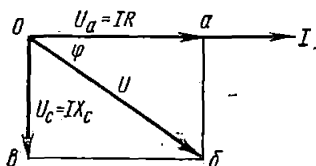


Рис. 76. Векторная диаграмма напряжения и тока к рис. 75

Чтобы ток I проходил по активному сопротивлению R , требуется некоторое напряжение $U_a = IR$. Это напряжение как действующее в цепи с активным сопротивлением совпадает по фазе с током. Вектор напряжения U_a , как мы уже знаем, называется активным падением напряжения.

Поскольку рассматриваемая нами цепь помимо активного сопротивления обладает также и емкостным сопротивлением $X_C = \frac{1}{\omega C}$, то для получения тока I в цепи конденсатора с указанным емкостным сопротивлением X_C требуется еще напряжение $U_C = IX_C$. Напряжение U_C называется емкостным падением

напряжения. Как мы уже знаем, напряжение, необходимое для создания тока в цепи конденсатора, отстает по фазе от тока на угол 90° . Поэтому на векторной диаграмме вектор напряжения U_C построен под углом 90° в сторону отставания (по часовой стрелке).

Следовательно, напряжение на зажимах цепи должно быть равно геометрической сумме векторов U_a и U_C . Сложив эти векторы геометрически (по правилу параллелограмма), получим вектор U , определяющий своей величиной и направлением действующее значение напряжения.

Вектор U не совпадает по фазе с вектором тока I : вектор I опережает вектор U на некоторый угол, обозначенный нами φ . Кроме того, вектор U является гипотенузой прямоугольного треугольника Oab , называемого треугольником напряжений. Катет треугольника Oa равен $U_a = IR$, а катет ab равен $U_C = IX_C$, т. е.

$$U^2 = U_a^2 + U_C^2,$$

или

$$U^2 = (IR)^2 + (IX_C)^2 = I^2 (R^2 + X_C^2).$$

Извлекая квадратный корень из обеих частей последнего равенства, находим

$$U = I \sqrt{R^2 + X_C^2},$$

откуда

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

Последняя формула представляет собой выражение закона Ома для цепи переменного тока, содержащей активное и емкостное сопротивление. Знаменатель в данном выражении, обозначаемый Z , называется полным сопротивлением цепи.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Основываясь на этом равенстве, мы можем построить прямоугольный треугольник (рис. 77) с катетами R и $X_C = \frac{1}{\omega C}$ и гипотенузой Z , называемый треугольником сопротивлений цепи, содержащей активное и емкостное сопротивления. Из треугольника сопротивлений можем определить угол сдвига фаз φ между током в цепи и напряжением, приложенным к ней:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

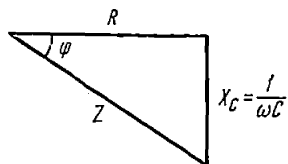


Рис. 77. Треугольник сопротивлений

Пример. Конденсатор емкостью $C=5$ мкф подключен последовательно с активным сопротивлением $R=1100$ ом к зажимам генератора с напряжением $U=120$ в при частоте $f=50$ гц. Требуется узнать: полное сопротивление цепи, ток в цепи, сдвиг фаз между током и напряжением, активное падение напряжения и емкостное падение напряжения.

Решение. Частоте переменного тока $f=50$ гц соответствует угловая частота $\omega=2\pi f=2\pi 50=314$. Емкость конденсатора 5 мкф $=5 \cdot 10^{-6}$ ф.

Полное сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{1100^2 + \left(\frac{1}{314 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}\right)^2} \approx 1271 \text{ ом.}$$

Ток в цепи

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{120}{1271} \approx 0,094 \text{ а.}$$

Сдвиг фаз между током и напряжением определяется по формуле

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{1100}{1271} \approx 0,866; \quad \varphi = 30^\circ.$$

Активное падение напряжения

$$U_a = IR = 0,094 \cdot 1100 = 103,4 \text{ в.}$$

Емкостное падение напряжения

$$U_c = IX_c = 0,094 \frac{1}{314 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} \approx 60 \text{ в.}$$

§ 45. ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, СОДЕРЖАЩАЯ АКТИВНОЕ, ИНДУКТИВНОЕ И ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

Рассмотрим цепь переменного тока, состоящую из включенных последовательно активного сопротивления R (рис. 78), индуктивности L и конденсатора емкостью C . Под действием приложенного напряжения U протекает ток I . Напряжение U должно по-

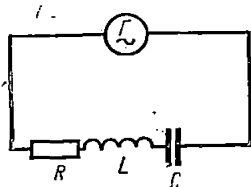


Рис. 78. Активное сопротивление, индуктивность и емкость в цепи переменного тока

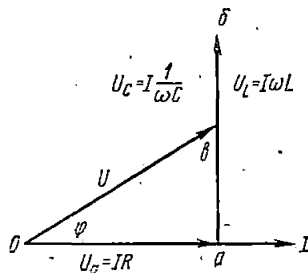


Рис. 79. Векторная диаграмма к рис. 78

крыть (компенсировать) падение напряжения на активном сопротивлении $U_a = IR$, на индуктивном сопротивлении $U_L = I\omega L$ и на емкостном сопротивлении $U_C = I\frac{1}{\omega C}$.

Построим векторную диаграмму для этих напряжений (рис. 79). Отложим ток I в виде горизонтального отрезка и по его направлению отложим активную составляющую напряжения $U_a = IR$, имея в виду, что она совпадает по фазе с током. Так как индуктивная составляющая напряжения U_L опережает ток I по фазе на угол 90° , восстановим к направлению тока перпендикуляр и на нем отложим индуктивное падение напряжения $U_L = I\omega L$ в виде отрезка ab . Емкостное падение напряжения U_C отстает от тока I по фазе на угол 90° , поэтому из конца отрезка ab (из точки b) опустим к направлению тока перпендикуляр и на нем отложим $U_C = I\frac{1}{\omega C}$ в виде отрезка $бв$. Соединив теперь точки O и $в$, получим вектор $Oв$, который своей величиной и направлением определит напряжение U , приложенное к концам рассматриваемой нами цепи.

Прямоугольный треугольник $Oав$ называется треугольником напряжений для цепи, содержащей активное, индуктивное и емкостное сопротивления, соединенные последовательно. Катет $ав$ представляет собой разность индуктивного U_L и емкостного U_C падения напряжения. Следовательно, можем написать такое равенство:

$$U^2 = U_a^2 + (U_L - U_C)^2,$$

или

$$U^2 = I^2 R^2 + \left(I\omega L - I\frac{1}{\omega C} \right)^2 = I^2 \left[R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 \right],$$

откуда

$$U = I \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

или

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}.$$

Последняя формула представляет собой выражение закона Ома для цепи переменного тока, содержащей активное, индуктивное и емкостное сопротивления. Знаменатель в этом выражении обозначается Z и называется полным сопротивлением цепи

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}.$$

Основываясь на данном равенстве, построим прямоугольный треугольник Oab (рис. 80) с катетами R и $\omega L - \frac{1}{\omega C}$ и гипотенузой Z , называемый треугольником сопротивлений цепи, содержащей активное, индуктивное и емкостное сопротивления.

Из треугольника сопротивлений можно определить угол сдвига фаз φ (разность фаз) между напряжением и током в цепи

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

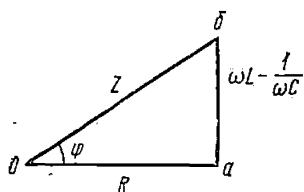


Рис. 80. Треугольник сопротивлений

Рассмотрим частный случай последовательного включения активного, индуктивного и емкостного сопротивлений, когда разность сопротивлений $X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ равна нулю, т. е.

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0,$$

или

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

Решая уравнение относительно угловой частоты ω , величину которой для этого случая обозначим ω_0 , найдем

$$\omega_0^2 LC = 1,$$

или

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Угловая частота ω_0 в данном случае называется собственной угловой частотой. При этой частоте ток I в цепи определяется одним лишь активным сопротивлением R , т. е.

$$I = \frac{U}{R}.$$

Угол сдвига фаз между напряжением и током при резонансе становится равным нулю, так как $\cos \varphi = 1$, а именно:

$$\cos \varphi = \frac{R}{R} = 1.$$

Рассмотренный нами частный случай называется резонансом напряжений, так как при этом напряжения на зажимах конденсатора и индуктивного сопротивления могут значительно превышать напряжение, приложенное к цепи. Сила тока при резонансе напряжений может достигать также очень большой величины.

Пример. Катушка с активным сопротивлением $R=4,6$ ом и индуктивностью $L=0,0525$ гн приключена к сети переменного тока с напряжением $U=110$ в при частоте $f=50$ гц. Требуется определить: силу тока, протекающего в цепи; емкость конденсатора, который нужно включить последовательно в цепь катушки для получения резонанса напряжений; ток, который установится в цепи при резонансе напряжений; напряжение, которое покажет вольтметр, приключенный к зажимам катушки при резонансе напряжений; напряжение, которое покажет вольтметр, приключенный к зажимам конденсатора.

Решение. Ток в цепи катушки

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{110}{\sqrt{4,6^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 0,0525)^2}} \approx 6,43 \text{ а.}$$

Искомую емкость конденсатора находим из равенства

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \text{ т. е.}$$

$$2\pi \cdot 50 \cdot 0,0525 = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot C},$$

откуда

$$C = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 50^2 \cdot 0,0525} \approx 192 \cdot 10^{-6} \text{ ф} = 192 \text{ мкф.}$$

Ток при резонансе напряжений

$$i = \frac{U}{R} = \frac{110}{4,6} \approx 24 \text{ а.}$$

Напряжение на зажимах катушки

$$U_L = I \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = 24 \sqrt{4,6^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 0,0525)^2} \approx 408 \text{ в.}$$

Напряжение на зажимах конденсатора

$$U_C = I \frac{1}{\omega C} = 24 \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 192 \cdot 10^{-6}} \approx 400 \text{ в.}$$

Из приведенного примера видим, что напряжения на отдельных участках цепи могут значительно повышаться. В этом заключается опасность резонанса напряжений как для аппаратуры, так и для обслуживающего персонала. Резонанс напряжений широко используется в технике связи.

§ 46. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ИНДУКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ. РЕЗОНАНС ТОКОВ

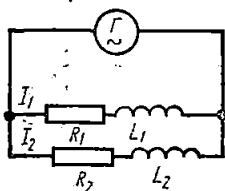


Рис. 81. Параллельное соединение сопротивлений

Положим, что две параллельные ветви приключены к зажимам генератора переменного тока Γ (рис. 81) с напряжением U . Одна ветвь обладает активным сопротивлением R_1 и индуктивностью L_1 , а другая — соответственно R_2 и L_2 .

Если угловая частота генератора $\omega = 2\pi f$, то полные сопротивления Z_1 и Z_2 первой и второй ветви равны:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}; \quad Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2}.$$

Токи I_1 и I_2 на основании закона Ома представляют собой следующие величины:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}}; \quad I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{U}{\sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2}}.$$

Так как в каждой ветви помимо активных сопротивлений содержатся индуктивные сопротивления, то токи в ветвях отстают по фазе от напряжения U на углы φ_1 и φ_2 , определяемые по их косинусам из равенства

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2}}.$$

В соответствии с этим на рис. 82 построена векторная диаграмма, на которой напряжение U показано в виде отрезка Oa , а токи I_1 и I_2 — в виде отрезков Ob и $Oв$.

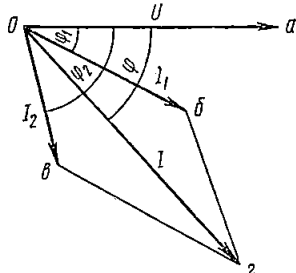


Рис. 82. Векторная диаграмма к рис. 81

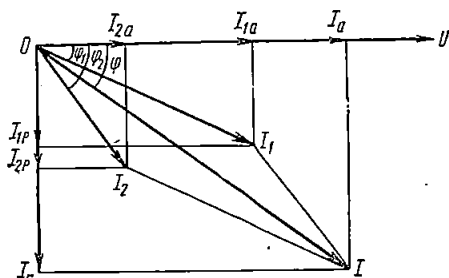


Рис. 83. Активные и реактивные составляющие токов

Ток I в неразветвленной части цепи представляет собой геометрическую сумму токов I_1 и I_2 . Поэтому для определения тока I на диаграмме токи I_1 и I_2 сложены геометрически (по правилу параллелограмма). В результате указанного сложения получен вектор тока I в виде отрезка Oz , который своей величиной и направлением определяет величину и направление тока I в неразветвленной части цепи. Угол φ является углом сдвига фаз между напряжением U и током I .

Величину тока I и угла сдвига фаз φ можно найти вычислением. Для этого разложим каждый из токов I_1 и I_2 на два слагаемых, из которых одно будет направлено по вектору напряжения U (рис. 83), а другое — перпендикулярно ему. Первое из указанных слагаемых называют активной составляющей тока, а

второе — реактивной составляющей тока. Обозначив составляющие тока I_1 — активную I_{1a} и реактивную I_{1p} , а составляющие тока I_2 — активную I_{2a} и реактивную I_{2p} , запишем

$$\begin{aligned} I_{1a} &= I_1 \cos \varphi_1, & I_{1p} &= I_1 \sin \varphi_1; \\ I_{2a} &= I_2 \cos \varphi_2, & I_{2p} &= I_2 \sin \varphi_2. \end{aligned}$$

Ток в неразветвленной части цепи

$$I = \sqrt{(I_{1a} + I_{2a})^2 + (I_{1p} + I_{2p})^2} = \sqrt{I_a^2 + I_p^2},$$

где

$$I_a = I_{1a} + I_{2a} \quad \text{и} \quad I_p = I_{1p} + I_{2p}.$$

Величины I_a , I_p представляют собой соответственно активную и реактивную составляющие тока I в неразветвленной части цепи.

Косинус угла сдвига фаз φ между напряжением U и током I определится из равенства

$$\cos \varphi = \frac{I_a}{I}.$$

Рассмотрим очень важный случай параллельного соединения двух ветвей, когда одна из них содержит активное сопротивление R и индуктивность L , а другая — конденсатор емкостью C (рис. 84).

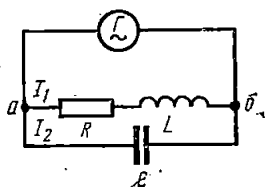


Рис. 84. Параллельное соединение индуктивности и емкости

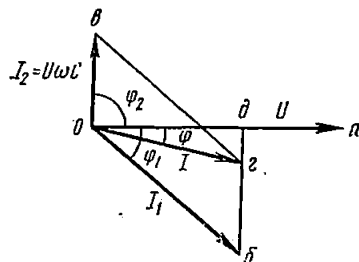


Рис. 85. Векторная диаграмма к рис. 84

Напряжение генератора $\mathcal{E}$, приложенное к точкам a и b , равно U при угловой частоте ω . Очевидно, что в ветви с индуктивностью ток

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

и отстает по фазе от напряжения U на угол φ_1 .

В ветви с конденсатором ток

$$I_2 = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = U\omega C.$$

Так как в ветви с конденсатором не содержится активного сопротивления, то ток I_2 опережает напряжение U по фазе на угол 90° , т. е. $\varphi_2 = 90^\circ$, что показано на векторной диаграмме (рис. 85). По горизонтальной оси отложено напряжение в виде отрезка Oa . Под углом φ_1 в сторону отставания (по часовой стрелке от напряжения U) построен отрезок Ob , на котором отложен ток I_1 . Затем под углом $\varphi_2 = 90^\circ$ в сторону опережения (против часовой стрелки) от напряжения U построен отрезок $Oв$ и на нем отложен ток I_2 . Сложив геометрически векторы токов I_1 и I_2 , получим вектор тока I в неразветвленной части цепи в виде диагонали $Oг$ параллелограмма $Oвгб$. Диагональ $Oг$ определяет величину тока I , а угол φ — угол сдвига фаз между напряжением U и током I в неразветвленной части цепи.

Из этой диаграммы видно, что если бы не было ветви с конденсатором C , подключенной параллельно ветви с активным сопротивлением R и индуктивностью L , то ток в цепи равнялся бы I_1 . Наличие же конденсатора C снизило ток в неразветвленной части цепи до величины $I < I_1$.

Если мы подберем емкость C так, чтобы $Oв = бд$, т. е. чтобы

$$U\omega C = I_1 \sin \varphi_1,$$

то ток I в неразветвленной части цепи достигнет минимальной величины, а угол φ станет равным нулю. Такой случай называется резонансом токов.

Так как при резонансе токов в неразветвленной части цепи ток имеет минимальную величину, то и потери в соединительных проводах минимальны. Для генератора переменного тока, питающего сеть, создаются хорошие условия работы при $\varphi = 0$ или $\cos \varphi = 1$. Приключенные конденсаторы параллельно цепи, обладающей активным и индуктивным сопротивлениями, повышает $\cos \varphi$.

Пример. В сеть переменного тока с напряжением $U = 500$ в и частотой $f = 50$ гц включен электродвигатель, потребляющий ток $I = 15$ а при сдвиге фаз $\varphi = 36^\circ$. Какой емкостью должна обладать батарея конденсаторов, приключенная к зажимам электродвигателя, чтобы угол сдвига фаз между напряжением и током снизился до нуля?

Решение. Для определения емкости батареи конденсаторов воспользуемся формулой

$$U\omega C = I \sin \varphi,$$

$$\text{где } \omega = 2\pi \cdot 50 = 314, \text{ а } \sin 36^\circ = 0,588.$$

Находим емкость

$$C = \frac{I \sin \varphi}{U \omega} = \frac{15 \cdot 0,588}{500 \cdot 314} \approx 0,0000562 \text{ ф} = 56,2 \text{ мкф}.$$

При параллельном соединении конденсатора емкостью C и индуктивности L с настолько малым активным сопротивлением, что им можно пренебречь ($R = 0$), напряжение U генератора полностью подается на ветви с индуктивностью L и емкостью C .

В ветви с индуктивностью ток

$$I_L = \frac{U}{\omega L}.$$

В ветви с емкостью ток

$$I_C = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = U\omega C.$$

Подберем индуктивность L и емкость C так, чтобы токи I_L и I_C были равны, т. е. чтобы

$$\frac{U}{\omega L} = U\omega C.$$

Отсюда определяем

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{и} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Эти частоты называются собственными или резонансными.

В цепи с емкостью ток I_C опережает напряжение U по фазе на угол 90° , а в цепи с индуктивностью ток I_L отстает от напряжения U по фазе на такой же угол 90° . Ток I в неразветвленной части цепи равен нулю, так как токи I_C и I_L , одинаковые по величине, направлены противоположно. Из формулы $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ видим, что условие резонанса токов аналогично условию резонанса напряжений. Так как ток в неразветвленной части цепи при полном резонансе равен нулю, то полное сопротивление совокупности параллельно соединенных индуктивности и емкости равно бесконечно большой величине.

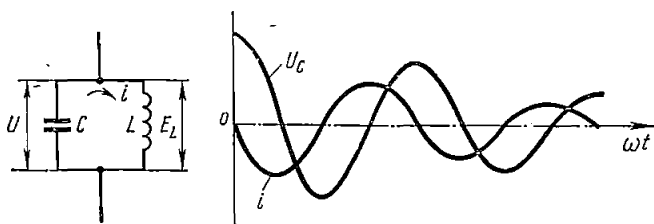


Рис. 86. Колебательный контур и изменение во времени тока и напряжения

Если конденсатор зарядить до некоторого напряжения U и замкнуть на индуктивную катушку (рис. 86), то в замкнутом контуре потечет ток и конденсатор будет разряжаться через катушку. При этом энергия, запасенная в конденсаторе, будет переходить в энергию магнитного поля катушки. В начальный момент, когда напряжение на конденсаторе велико, ток и магнитное поле катушки возрастают быстро. В индуктивности возникает э. д. с. самоиндукции E_L , уравновешивающая напряжение U на конденсаторе. В процес-

се разряда конденсатора напряжение на нем понижается и в момент, когда оно уменьшится до нуля, ток в контуре достигнет максимального значения, т. е. магнитное поле катушки станет наибольшим. Затем ток в цепи начнет уменьшаться и э. д. с. самоиндукции, изменив направление, будет заряжать конденсатор (с противоположной полярностью) до некоторого наибольшего значения э. д. с. самоиндукции, соответствующего моменту, когда ток уменьшится до нуля. При этом энергия магнитного поля катушки вновь возвращается конденсатору. Затем опять начнется разряд конденсатора, но направление тока разряда будет противоположно начальному, так как напряжение на конденсаторе изменило полярность.

Таким образом, в цепи происходит процесс периодического изменения тока и напряжения с резонансной частотой $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. Такая цепь называется колебательным контуром.

Ток в контуре и напряжение на нем с течением времени уменьшаются, так как помимо реактивных сопротивлений в цепи имеется активное сопротивление провода, которым намотана обмотка индуктивной катушки. В активном сопротивлении провода выделяется энергия, преобразуемая в тепло и нагревающая провод. Поэтому энергия, запасенная в конденсаторе и переходящая в энергию магнитного поля индуктивной катушки, а затем обратно в конденсатор, с каждым периодом постепенно убывает, что приводит к затуханию колебаний.

§ 47. МОЩНОСТЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Как известно, мощность постоянного тока определяется произведением напряжения и тока. При переменном токе как напряжение, так и ток периодически изменяются во времени. Следовательно, в любой момент времени мощность, равная произведению мгновенных значений напряжения и тока ($p=ui$), является также переменной величиной.

При активной нагрузке, когда сдвиг фаз между напряжением и током отсутствует ($\varphi=0$ или $\cos \varphi=1$), мощность представляет собой произведение действующих значений напряжения и тока и выражается в ваттах (или киловаттах, мегаваттах и т. д.), т. е.

$$P=UI \text{ вт.}$$

В цепи, содержащей активное сопротивление и индуктивность, ток отстает по фазе от

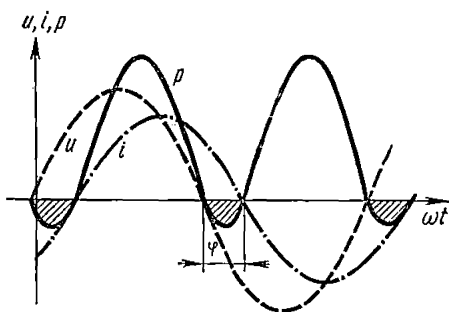


Рис. 87. График мгновенных значений напряжения, тока и мощности

напряжения на угол φ (рис. 87) и мгновенное значение мощности оказывается как положительным, так и отрицательным, т. е. нагрузка потребляет энергию в одну часть периода и возвращает ее в сеть в другую часть.

Мгновенную мощность переменного тока можно представить в виде активной и реактивной мощностей. Активная мощность выделяется в активном сопротивлении, в котором происходит процесс преобразования энергии электрической в энергию другого вида (механическую, световую, тепловую и т. д.). Реактивная мощность потребляется индуктивностью при возрастании тока в цепи для накопления энергии магнитного поля индуктивной катушки. При уменьшении тока в цепи накопленная магнитная энергия преобразуется в электрическую и возвращается источнику энергии.

Активная мощность

$$P = I^2 \cdot r.$$

Имея в виду, что $I r = U_a = U \cos \varphi$, получим

$$P = UI \cos \varphi,$$

где U и I — действующие значения напряжения и тока;

U_a — падение напряжения на активном сопротивлении.

Произведение действующих значений напряжения и тока называется полной мощностью S , измеряемой в вольт-амперах или киловольт-амперах (*ва* или *ква*), т. е.

$$S = UI \text{ ва.}$$

Габариты электрических аппаратов и машин определяются полной мощностью, так как сечения обмоточных проводов зависят от тока, протекающего через них, а изоляция токоведущих частей — от напряжения, под которым они находятся.

Отношение активной мощности к полной

$$\frac{P}{S} = \frac{UI \cos \varphi}{UI} = \cos \varphi.$$

Оно показывает, какая доля полной мощности потребляется цепью, и называется коэффициентом мощности, равным косинусу угла сдвига фаз между напряжением и током. При активной нагрузке $\cos \varphi = 1$ и $S = P$, т. е. электрический аппарат или машина имеет наибольшую активную мощность.

Реактивная мощность

$$Q = UI \sin \varphi = U_L I = I^2 X_L$$

и измеряется в вольт-амперах (или киловольт-амперах) реактивных (*вар* или *квар*).

Реактивная мощность не потребляется приемником энергии и не участвует в процессе преобразования электрической энергии в энергию иного вида. Эта мощность циркулирует между источником и приемником энергии, нагружая провода их обмоток и линий,

соединяющих приемник энергии с источником, а также увеличивая потери энергии в них.

Полная мощность

$$S=UI=\sqrt{P^2+Q^2}.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково устройство простейшего генератора переменного тока?
2. Какое значение э. д. с. называется мгновенным и амплитудным?
3. Объясните явление поверхностного эффекта.
4. Что называется действующим значением тока?
5. Каково соотношение между током и напряжением при индуктивной нагрузке?
6. Чему равно полное сопротивление цепи, содержащей активное сопротивление и индуктивность?
7. Каково соотношение между напряжением и током в цепи, содержащей емкость?
8. Как определяется полное сопротивление цепи, содержащей активное сопротивление и емкость?
9. Как определяется полное сопротивление цепи, содержащей R , L , C ?
10. Как определяются токи в параллельно соединенных приемниках энергии?
11. Что называется активной, реактивной и полной мощностью и в каких единицах они измеряются?

Глава VI ТРЕХФАЗНАЯ СИСТЕМА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

§ 48. ТРЕХФАЗНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Выше рассмотрены свойства однофазного переменного тока. Однако однофазная система неэкономична вследствие несовершенства однофазных электрических машин. Так, например, при одинаковых габаритах, весе активных материалов (стали и меди) и потерях энергии мощность однофазной машины в 1,5 раза меньше мощности трехфазной машины. Поэтому для электрификации используется трехфазная система переменного тока.

Трехфазной системой переменного тока или просто трехфазной системой называется цепь или сеть переменного тока, в которой действуют три э. д. с. одинаковой частоты, но взаимно смещенные по фазе на одну треть периода. Отдельные цепи, составляющие трехфазную систему, называются фазами

Если э. д. с. во всех трех фазах имеют одинаковую амплитуду, то такая трехфазная система называется симметричной.

Впервые в мире передача трехфазного тока была осуществлена русским ученым М. О. Доливо-Добровольским в 1891 г.

На рис. 88 показана схема устройства простейшего двухполюсного трехфазного генератора. В пазах статора (неподвижная часть машины) расположены катушки $A-X$, $B-U$ и $C-Z$, сдвинутые в пространстве на одну треть окружности (120°).

Внутри статора помещается ротор (вращающаяся часть машины), представляющий собой двухполюсный электромагнит, питаемый постоянным током, возбуждающим магнитное поле. Ротор приводится во вращение каким-либо двигателем.

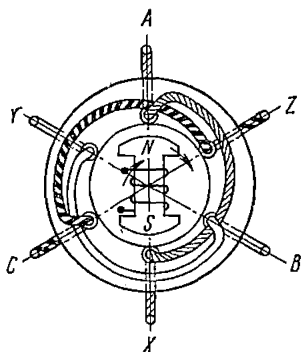


Рис. 88. Схема устройства простейшего трехфазного генератора

Магнитные линии, вращаясь вместе с ротором, пересекают проводники катушек, заложенных в пазах статора, и индуцируют в этих катушках э. д. с., изменяющиеся синусоидально. Однако синусоиды э. д. с. фаз e_A , e_B и e_C будут сдвинуты одна по отношению к другой на $1/3$ периода (рис. 89).

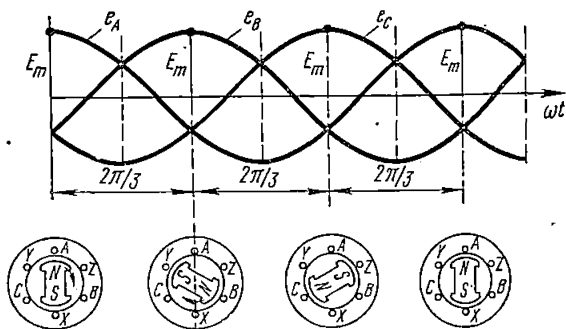


Рис. 89. Кривые изменения э. д. с. в трехфазной обмотке генератора при вращении ротора

Действительно, пусть положительный максимум э. д. с. E_m в катушке $A-X$ наступает в момент, когда сторона A окажется против центра северного полюса, а сторона X — против центра южного полюса. Положительный максимум э. д. с. E_m в катушке $B-Y$ наступит в тот момент, когда центр северного полюса окажется под проводником B , а центр южного полюса — под проводником Y . Для этого ротор должен повернуться на $1/3$ окружности (120°), что соответствует промежутку времени, равному $1/3$ периода. Положительный максимум э. д. с. E_m в катушке $C-Z$ наступит через $1/3$ периода после такого же максимума в катушке $B-Y$, что соответствует дальнейшему повороту ротора на $1/3$ окружности.

На рис. 89 показаны кривые изменения э. д. с. в катушках $A-X$, $B-Y$ и $C-Z$ и положения ротора, соответствующие положительному максимуму э. д. с. E_m в этих катушках.

При нагрузке генератора на зажимах катушек $A-X$, $B-Y$ и $C-Z$ устанавливаются напряжения, называемые фазными. Если нагрузка отсутствует (холостой ход), фазные напряжения равны э. д. с., индуцируемому в катушках статора.

§ 49. СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК ГЕНЕРАТОРА

На рис. 88 показана схема генератора, у которого имеются три независимые однофазные цепи. Электродвижущие силы в этих цепях одинаковы, имеют одинаковые амплитуды и сдвинуты по фазе на $1/3$ периода. К каждой паре зажимов обмотки статора генератора можно приключить провода, подводящие ток к нагрузке.

и получить несвязанную трехфазную систему (рис. 90). Однако все три фазы выгоднее объединить в одну общую трехфазную систему. Для этого обмотки генератора соединяют между собой в звезду или в треугольник.

При соединении обмоток генератора звездой (рис. 91) концы всех трех фаз соединяют в общую точку O , а к началам подсоединяют провода, отводящие энергию в сеть. Полученные таким образом три провода называются линейными, а напряжение между

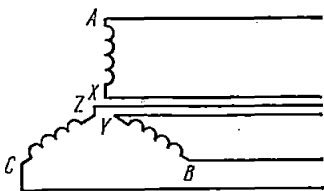


Рис. 90. Схема несвязанной трехфазной системы

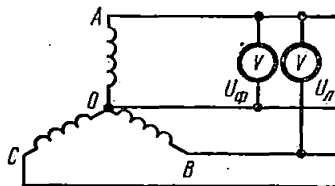


Рис. 91. Схема соединения обмоток генератора звездой

любыми двумя линейными проводами — линейным напряжением $U_{\text{л}}$. От общей точки соединения концов (или начал) трех фаз (от нулевой точки звезды) может быть отведен четвертый провод, называемый нулевым. Напряжение между любым из трех линейных проводов и нулевым проводом равно фазному напряжению между началом и концом одной фазы, т. е. фазному напряжению U_{ϕ} .

Обычно все фазы обмотки генератора выполняются одинаковыми так, что действующие значения э. д. с. в фазах равны, т. е. $E_A = E_B = E_C$. Если в цепь каждой фазы генератора включить нагрузку, то по этим цепям будут протекать токи. В случае одинакового по величине и характеру сопротивления всех трех фаз приемника, т. е. при равномерной нагрузке, токи в фазах будут равны по силе и сдвинуты по фазе относительно своих напряжений на один

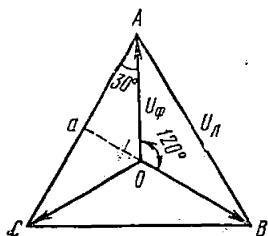


Рис. 92. Векторная диаграмма напряжений при соединении обмоток генератора звездой

и тот же угол ϕ . Как максимальные, так и действующие значения фазных напряжений при равномерной нагрузке равны, т. е. $U_A = U_B = U_C$. Эти напряжения сдвинуты по фазе на 120° , как показано на векторной диаграмме (рис. 92). Напряжения между любыми точками схемы (см. рис. 91) соответствуют векторам (см. рис. 92) между теми же точками. Так, например, напряжение между точками A и O схемы (фазное напряжение U_A) соответствует вектору $A-O$ диаграммы, а напряжение между линейными проводами A и B схемы — вектору линейного напряже-

ния $A-B$ диаграммы. По векторной диаграмме легко установить соотношение между линейным и фазным напряжением. Из треугольника AOa можно записать следующее соотношение:

$$\frac{1}{2} U_{\text{л}} = U_{\text{ф}} \cdot \cos 30^\circ = U_{\text{ф}} \frac{\sqrt{3}}{2},$$

откуда

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}} \quad \text{или} \quad U_{\text{ф}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}},$$

т. е. при соединении обмоток генератора звездой линейное напряжение в $\sqrt{3}=1,73$ раза больше фазного (при равномерной нагрузке).

Из схемы (см. рис. 91) видно, что при соединении обмоток генератора звездой ток в линейном проводе равен току в фазах генератора, т. е. $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$.

На основании первого закона Кирхгофа можем записать, что ток в нулевом проводе равен геометрической сумме токов в фазах генератора, т. е.

$$I_0 = I_A + I_B + I_C.$$

При равномерной нагрузке токи в фазах генератора равны между собой и сдвинуты по фазе на $1/3$ периода. Геометрическая сумма токов трех фаз в таком случае равна нулю, т. е. в нулевом проводе тока не будет.

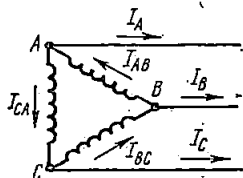


Рис. 93. Схема соединения обмоток генератора треугольником

Поэтому при симметричной нагрузке нулевой провод может отсутствовать. При несимметричной нагрузке ток в нулевом проводе не равен нулю. Обычно нулевой провод имеет меньшее поперечное сечение, чем линейные.

При соединении обмоток генератора треугольником (рис. 93) начало (или конец) каждой фазы соединяется с концом (или началом) другой фазы. Таким образом, три фазы генератора образуют замкнутый контур, в котором действует э. д. с., равная геометрической сум-

ме э. д. с., индуцированных в фазах генератора, т. е. $\vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C$. Так как э. д. с. в фазах генератора равны и сдвинуты на $1/3$ периода по фазе, то геометрическая сумма их равна нулю и, следовательно, в замкнутом контуре трехфазной системы, соединенной треугольником, никакого тока при отсутствии внешней нагрузки не будет.

Линейные провода при соединении треугольником приключаются к точкам соединения начала одной фазы и конца другой. Напряжение между линейными проводами равно напряжению между началом и концом одной фазы. Таким образом, при соединении обмоток генератора треугольником линейное напряжение равно фазному, т. е. $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$.

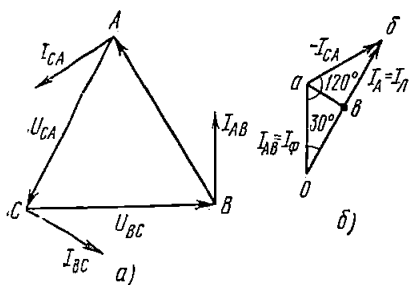


Рис. 94. Векторные диаграммы:
 а — напряжений и токов в фазах генератора при соединении обмоток треугольником, б — фазных и линейного токов

При равномерной нагрузке в фазах обмоток генератора протекают равные токи, сдвинутые относительно фазных напряжений на одинаковые углы φ , т. е. $I_{AB} = I_{BC} = I_{CA}$.

На рис. 94, а изображена векторная диаграмма, на которой показаны векторы фазных напряжений и токов. Из схемы видно, что линейные токи не равны фазным. Приняв за положительное направление фазных и линейных токов, указанное на рис. 93, на основании первого закона Кирхгофа для мгновенных значений токов можно написать следующие выражения:

$$i_A = i_{AB} - i_{CA}; \quad i_B = i_{BC} - i_{AB}; \quad i_C = i_{CA} - i_{BC}.$$

Так как токи синусоидальны, заменим алгебраическое вычитание мгновенных значений токов геометрическим вычитанием векторов, изображающих действующие значения токов:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}.$$

Ток $\dot{I}_A$ линейного провода А определится геометрической разностью векторов фазных токов $\dot{I}_{AB}$ и $\dot{I}_{CA}$.

Для построения вектора линейного тока $\dot{I}_A$ изобразим вектор фазного тока $\dot{I}_{AB}$ (рис. 94, б), из конца которого построим вектор $-\dot{I}_{CA}$, равный и противоположно направленный вектору $\dot{I}_{CA}$. Вектор, соединяющий начало вектора $\dot{I}_{AB}$ с концом вектора $-\dot{I}_{CA}$, является вектором линейного тока $\dot{I}_A$.

Аналогично могут быть построены векторы линейных токов $\dot{I}_B$ и $\dot{I}_C$.

Из векторной диаграммы, показанной на рис. 94, б, легко вывести соотношение между линейными и фазными токами при соединении обмоток генератора в треугольник. Из треугольника oav можно записать

$$\frac{1}{2} I_L = I_\phi \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} I_\phi,$$

откуда

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi = 1,73 I_\phi,$$

т. е. при соединении обмоток генератора в треугольник линейный ток в $\sqrt{3}$ раз больше фазного (при равномерной нагрузке).

Пример. Трехфазный генератор переменного тока, обмотки статора которого соединены в звезду, при полной нагрузке имеет линейное напряжение 220 в при

линейном токе 10 а. Определить линейное напряжение и ток при полной нагрузке генератора, если обмотки статора его будут соединены в треугольник.

Решение. Фазное напряжение генератора

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ в,}$$

фазный ток $I_{\phi} = I_{\text{л}} = 10 \text{ а}$. При соединении обмоток генератора в треугольник линейное напряжение равно фазному, т. е. $U_{\text{л}} = U_{\phi} = 127 \text{ в}$,

а линейный ток в $\sqrt{3}$ раз больше фазного, т. е.

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 10 = 17,3 \text{ а.}$$

§ 50. ВКЛЮЧЕНИЕ НАГРУЗКИ В СЕТЬ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

В предыдущем параграфе было отмечено, что трехфазный ток передается четырех- или трехпроводной системой. Как при четырех-, так и при трехпроводной системе потребители энергии могут быть включены в сеть по схеме «звезда» и по схеме «треугольник».

На рис. 95 показана четырехпроводная система с включением приемников энергии в звезду. Приемники подключаются одним проводом к линейному проводу, а другим — к нулевому. Выше мы установили, что при соединении обмоток в звезду в случае равномерной нагрузки соотношения между линейными и фазными значениями напряжений и токов таковы:

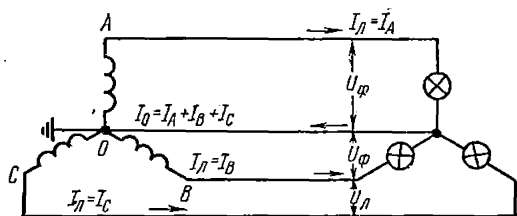


Рис. 95. Схема четырехпроводной системы с включением приемников энергии в звезду

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\phi} \text{ и } I_{\text{л}} = I_{\phi}.$$

Ток нулевого провода, равный геометрической сумме токов трех фаз, т. е. $I_0 = I_A + I_B + I_C$, при равномерной нагрузке равен нулю. Следовательно, в данном случае в нулевом проводе ток протекать не будет и необходимость в этом проводе отпадает. Так, например, трехфазные двигатели переменного тока включаются в сеть звездой без нулевого провода.

При неравномерной нагрузке ток в нулевом проводе не равен нулю, и этот провод приходится сохранять, хотя его и выполняют обычно с меньшим, чем линейные провода, поперечным сечением. В случае отсутствия

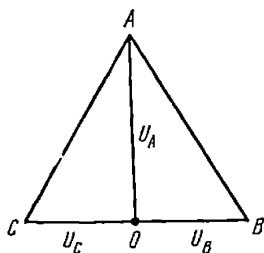


Рис. 96. Векторная диаграмма напряжений для случая, когда нулевого провода нет и нагрузка фаз неравномерна

нулевого провода или его обрыва при неравномерной нагрузке возникает резкое искажение напряжения. Так, если в фазе *A* нагрузки нет, а в фазах *B* и *C* нагрузки одинаковы, то при отсутствии нулевого провода нагрузки в фазах *B* и *C* окажутся включенными последовательно на линейное напряжение, которое равномерно распределится между ними (из условия равенства нагрузки). Следовательно, сопротивления нагрузок в фазах *B* и *C* окажутся под напряжением, равным половине линейного напряжения (рис. 96), т. е.

$$U_B = U_C = \frac{U_{\text{л}}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_{\text{ф}} = 0,86 U_{\text{ф}}.$$

Нейтральная точка звезды сместится в точку *O* так, что напряжение фазы *A* окажется равным $U_A = 1,5 U_{\text{ф}}$.

Таким образом, отключение нулевого провода при неравномерной нагрузке недопустимо. Поэтому нулевой провод выполняется

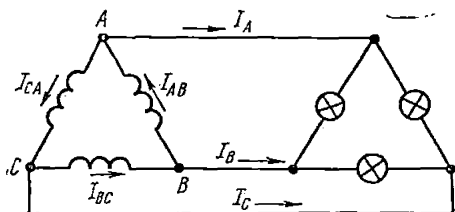


Рис. 97. Схема включения обмоток генератора и приемников энергии в треугольник

всегда «глухим», т. е. в цепь его не устанавливают предохранителей, выключателей и т. д.

При включении нагрузок в сеть трехфазного тока по схеме треугольник каждая группа нагрузки включается между двумя линейными проводами (рис. 97). Как выше было установлено, со-

отношения между линейными и фазными значениями напряжений и токов при соединении приемников энергии в треугольник таковы: $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$ и $I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}$ (при равномерной нагрузке).

Очень ценным свойством четырехпроводной системы является возможность получения двух различных напряжений. Включив приемники энергии между линейными проводами и нулевым проводом, мы соединим их в звезду (рис. 98). Эти приемники окажутся включенными на фазное напряжение. Другую группу приемников соединим в треугольник так, что они будут включены только между линейными проводами и окажутся под линейным напряжением, большим в $\sqrt{3}$ раз фазного.

Четырехпроводная система широко используется для электроснабжения смешанных осветительно-силовых нагрузок. Осветительные нагрузки включаются на фазное напряжение, а силовые нагрузки (электродвигатели) — на линейное.

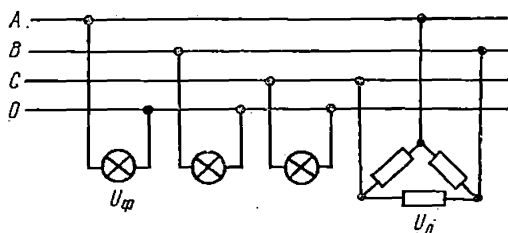


Рис. 98. Схема включения приемников энергии в четырехпроводную сеть на фазное и линейное напряжения

Для трехфазных систем справедливы соотношения, выведенные для однофазного переменного тока,

$$I_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{Z_{\Phi}}; \quad \cos \varphi = \frac{r_{\Phi}}{Z_{\Phi}},$$

где U_{Φ} , Z_{Φ} , r_{Φ} — соответственно напряжение, полное и активное сопротивления рассматриваемой фазы.

Пример 1. Имеется четырехпроводная система с фазным напряжением 127 в. В фазе *A* включено две лампы, в фазе *B* — восемь ламп, фаза *C* отключена. Определить напряжение на лампах в фазах *A* и *B* при отключении нулевого провода.

Решение. Так как фаза *C* отключена, то при обрыве нулевого провода фазы *A* и *B* окажутся включенными последовательно на линейное напряжение $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\Phi} = \sqrt{3} \cdot 127 = 220$ в.

Сопротивление фазы *A* в $\frac{8}{2} = 4$ раза больше сопротивления фазы *B*. Поэтому на лампы фазы *A* приходится $\frac{4}{5}$, а на лампы фазы *B* — только $\frac{1}{5}$ линейного напряжения, т. е.

$$U_A = \frac{4}{5} \cdot 220 = 176 \text{ в и } U_B = \frac{1}{5} \cdot 220 = 44 \text{ в.}$$

Следовательно, лампы фазы *A*, рассчитанные на 127 в, окажутся под повышенным напряжением и перегорят.

Пример 2. В сеть трехфазного тока с линейным напряжением 220 в включили звездой три сопротивления по 10 ом каждое. Затем эти сопротивления включили в ту же сеть треугольником. Определить, как изменились линейные и фазные токи после переключения сопротивлений со звезды на треугольник.

Решение. При соединении сопротивлений звездой

$$U_{\Phi} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ в,}$$

$$I_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{Z_{\Phi}} = \frac{127}{10} = 12,7 \text{ а,}$$

$$I_{\text{л}} = I_{\Phi} = 12,7 \text{ а.}$$

При соединении сопротивлений треугольником

$$U_{\Phi} = 220 \text{ в,}$$

$$I_{\Phi} = \frac{220}{10} = 22 \text{ а,}$$

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\Phi} = \sqrt{3} \cdot 22 = 38,1 \text{ а.}$$

Таким образом, при переключении сопротивлений со звезды на треугольник линейный ток увеличился в $\frac{38,1}{12,7} = 3$ раза, а фазный ток в $\frac{22}{12,7} = \sqrt{3} = 1,73$ раза.

§ 51. ЗАЩИТА ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ

Защита трехфазной сети от токов короткого замыкания и перегрузки осуществляется плавкими предохранителями, включенными в линейные провода (рис. 99, а). В нулевой провод предохранители не включаются.

Если от трехфазной сети выполняют ответвление в виде однофазной двухпроводной линии, предохранители устанавливают в каждый токонесящий провод.

Проверку исправности и обнаружение поврежденного предохранителя производят контрольной лампой или неоновым индикатором. В первом случае один конец контрольной лампы подключают к нулевому проводу и щупом дотрагиваются до контактов

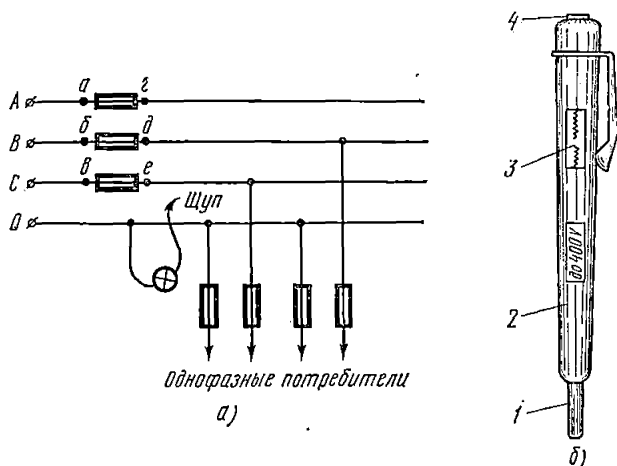


Рис. 99. Защита трехфазной сети и проверка исправности предохранителей контрольной лампой (а); неоновый индикатор (б):

1 — щуп, 2 — корпус, 3 — неоновая лампа, 4 — контактный лепесток

а, б и в. Если лампа каждый раз будет загораться, то напряжение есть во всех фазах. Дотрагиваясь щупом до контактов г, д, е, проверяют предохранители в фазах А, В, С. Если при подключении щупа к какому-либо контакту лампа не загорается, значит неисправен предохранитель в этой фазе. Такой предохранитель необходимо заменить.

Проверку предохранителей с помощью неоновых индикаторов производят аналогичным образом. Неоновый индикатор (рис. 99, б) представляет собой малогабаритную неоновую лампу, смонтированную в пластмассовый корпус, изготовленный в виде пишущей ручки. Неоновая лампа 3 одним концом подключена к контактному лепестку 4, а другим через резистор 1,2 Мом — к щупу 1. Для проверки предохранителей индикатор берут в руки так, чтобы один из пальцев касался контактного лепестка 4 (это необходимо для создания цепи через емкость, образованную между человеческим телом и землей). Щупом дотрагиваются сначала до контактов а, б, в, а затем до контактов г, д, е предохранителей. Если

лампа индикатора не загорается при касании щупом какого-либо контакта, то предохранитель в данной фазе неисправен и должен быть заменен.

Если приемники энергии включены на фазные напряжения (между линейным и нулевым проводами), то перегорание линейного предохранителя приведет к отключению нагрузки в одной фазе, тогда как в двух других фазах нагрузки будут оставаться под фазным напряжением и работать нормально. При включении потребителей на линейное напряжение (между линейными проводами) в трех- или четырехпроводную трехфазную сеть перегорание линейного предохранителя приведет к последовательному включению двух приемников на линейное напряжение (рис. 100) и напряжение на каждом приемнике окажется меньше номинальной величины.

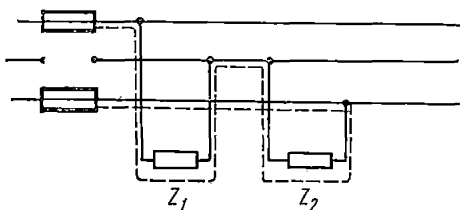


Рис. 100. Схема прохождения тока в двух приемниках энергии Z_1 — Z_2 при перегорании линейного предохранителя

Линейные напряжения в трехфазных сетях отличаются от фазных в $\sqrt{3}=1,73$ раза и определять фазные и линейные напряжения можно без вольтметра с помощью контрольной лампы небольшой мощности (15—25 вт). Такие лампы выдерживают значительные кратковременные перенапряжения и взрывобезопасны. Обычно контрольные лампы выбирают на номинальное напряжение 220 в.

Если контрольная лампа, подключенная к любым двум проводам трехфазной сети, будет гореть с недокалом — напряжение 127 в, при нормальном накале 220 в, а при перекале 380 в.

Часто на практике работникам, занимающимся эксплуатацией электроустановок, приходится обнаруживать нулевой провод трехфазной сети. Наиболее просто нулевой провод можно определить с помощью неоновой лампы, лампа которой будет светиться только при подключении к линейным проводам. При отсутствии индикатора найти нулевой провод можно с помощью контрольной лампы. Предположим, что лампа, подключенная к первому и второму проводам сети, горит нормальным накалом (напряжение между проводами 220 в). Затем лампу подключают к двум другим проводам и, допустим, она горит с перекалом (напряжение 380 в). Отсюда можно сделать вывод, что фазное напряжение сети 220 в, линейное 380 в и третий и четвертый провода — линейные.

После этого производят третье подключение: между известным линейным проводом и одним из двух нижних. Если лампа, подключенная ко второму и третьему проводам, будет гореть нормально, значит напряжение 220 в. Известно, что третий провод линейный, следовательно, второй провод — нулевой.

Мощность, потребляемая нагрузкой от сети трехфазного тока, равна сумме мощностей в отдельных фазах, т. е.

$$P = P_A + P_B + P_C.$$

При равномерной нагрузке мощность, потребляемая каждой фазой,

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi,$$

где U_{ϕ} — фазное напряжение;

I_{ϕ} — фазный ток;

$\cos \varphi$ — коэффициент мощности нагрузки.

Мощность, потребляемая всеми тремя фазами,

$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi.$$

При соединении приемников энергии в звезду соотношения между линейными и фазными значениями напряжений и токов таковы:

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\phi} \quad \text{и} \quad I_{\text{л}} = I_{\phi}.$$

Следовательно, мощность, потребляемая нагрузкой от трехфазной сети,

$$P = 3 \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot I_{\text{л}} \cos \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi.$$

При соединении приемников энергии в треугольник соотношения между линейными и фазными значениями напряжений и токов таковы:

$$U_{\text{л}} = U_{\phi} \quad \text{и} \quad I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\phi}.$$

Следовательно, мощность, потребляемая нагрузкой,

$$P = 3 U_{\text{л}} \cdot \frac{I_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi.$$

Таким образом, при равномерной нагрузке мощность, потребляемая от трехфазной сети, независимо от способа включения нагрузки, выражается следующей формулой:

$$P = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi = 1,73 U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi.$$

Пример. Линейное напряжение трехфазной осветительной установки 220 в, линейный ток 9,9 а. Определить, сколько ламп включено параллельно в каждую фазу нагрузки при соединении этих фаз треугольником и какова мощность всей установки, если каждая лампа потребляет ток 0,52 а.

Решение. Фазное напряжение равно линейному, т. е.

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} = 220 \text{ в},$$

фазный ток

$$I_{\phi} = \frac{I_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{9,9}{\sqrt{3}} = 5,72 \text{ а}.$$

Число ламп, включенных параллельно в каждой фазе,

$$\frac{5,72}{0,52}=11,$$

т. е. всего включено $3 \times 11 = 33$ лампы.

Мощность всей установки, имея в виду, что при осветительной нагрузке $\cos \varphi = 1$, находим по следующей формуле:

$$P = \sqrt{3} U_{\Delta} I_{\Delta} \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 9,1 = 3768 \text{ вт.}$$

При неравномерной нагрузке мощности в фазах различны ($P_A \neq P_B \neq P_C$) и суммарная мощность, потребляемая нагрузкой, $P = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$.

Для измерения мощности применяют специальные измерительные приборы, называемые ваттметрами. При симметричной нагрузке мощность, потребляемая от трехфазной системы, может быть определена одним однофазным ваттметром. В четырехпроводной системе (с нулевым проводом) токовая обмотка ваттметра включается последовательно в один из линейных проводов, а цепь напряжения — между тем же линейным и нулевым проводами (рис. 101, а). При таком включении показание ваттметра определит мощность в одной фазе P_{Φ} , а так как при равномерной нагрузке мощности всех фаз одинаковы, то суммарная мощность трехфазной системы $P = 3P_{\Phi}$.

В трехпроводной системе цепь напряжения ваттметра включена на линейное напряжение сети (рис. 101, б), а по его токовой обмотке протекает линейный ток. Поэтому мощность трехфазной системы в $\sqrt{3}$ раз больше показания ваттметра P_W , т. е. $P = \sqrt{3} P_W$.

При несимметричной нагрузке одного ваттметра для определения мощности трехфазной системы недостаточно. В четырехпроводной системе необходимо применение трех ваттметров, цепи напряжений которых включаются между нулевым и соответствующим линейным проводами. Каждый ваттметр измеряет мощность одной фазы и суммарная мощность трехфазной системы равна сумме показаний трех ваттметров, т. е. $P = P_1 + P_2 + P_3$.

В трехпроводной системе при несимметричной нагрузке наиболее часто используют схему двух ваттметров (рис. 101, в), которая

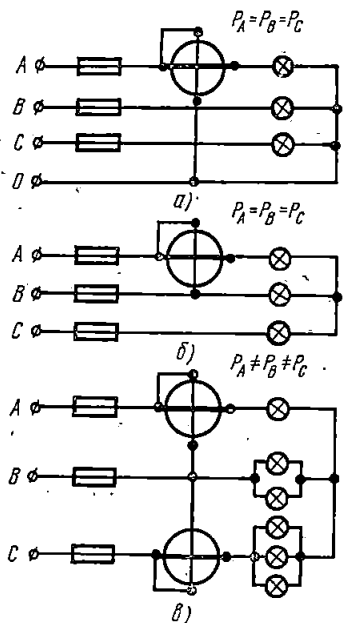


Рис. 101. Измерение мощности в трехфазной системе:

а — в четырехпроводной системе при равномерной нагрузке, б — в трехпроводной системе при равномерной нагрузке, в — в трехпроводной системе при неравномерной нагрузке

не может быть использована в четырехпроводной системе. В схеме двух ваттметров цепи напряжений каждого ваттметра соединены с входным зажимом обмотки тока и линейным проводом, оставшимся свободным. Полная мощность трехфазной системы равна сумме показаний ваттметров, т. е. $P = P_1 + P_2$.

В лабораторной практике для этой схемы измерения мощности применяют один ваттметр и специальный переключатель, который без разрыва цепи тока дает возможность включать ваттметр как в один, так и в другой линейный провод.

При больших углах сдвига фаз между напряжением и током показания одного из ваттметров могут оказаться отрицательными и для измерения мощности необходимо будет изменить направление тока в обмотке тока, переключив ее. В этом случае суммарная мощность будет равна разности показаний ваттметров, т. е. $P = P_1 - P_2$.

Измерение энергии в трехфазной системе производится как однофазными, так и трехфазными счетчиками электрической энергии. Включение однофазных счетчиков в трехфазную сеть подобно включению ваттметров, описанному выше.

Трехфазные счетчики состояются из двух или трех однофазных, размещенных в одном корпусе и имеющих общий счетный механизм, и называются соответственно двухэлементными или трехэлементными. В трехпроводной системе (без нулевого провода) применяются двухэлементные, а в четырехпроводной системе (с нулевым проводом) — трехэлементные счетчики. Схема включения счетчика электрической энергии указывается на съемной крышке, которой закрывается панель зажимов.

§ 53. ВРАЩАЮЩЕЕСЯ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Действие многофазной машины переменного тока основано на использовании вращающегося магнитного поля. Вращающееся

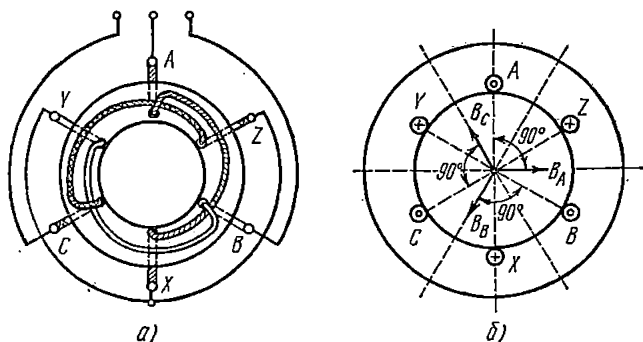


Рис. 102. Простейшая трехфазная обмотка:
а — схема, б — разрез

магнитное поле создает любая многофазная система переменного тока, т. е. система с числом фаз две, три и т. д.

Выше было отмечено, что наибольшее распространение получил трехфазный переменный ток. Поэтому мы рассмотрим вращающееся магнитное поле трехфазной обмотки машины переменного тока.

На рис. 102, *а* показана простейшая трехфазная обмотка, включенная в сеть трехфазного тока. В статоре, собранном из листовой стали, как это делается во всех машинах переменного тока, расположены три катушки, оси которых сдвинуты взаимно на угол 120° . Каждая катушка для наглядности изображена состоящей из одного витка, находящегося в двух пазах (впадинах) статора. В действительности катушки имеют большое число витков. Буквами *A, B, C* обозначены начала катушек, а буквами *X, Y, Z* — концы их. При схеме соединения катушек звездой концы *X, Y, Z* соединяют друг с другом так, что образуется общая нейтраль, а начала *A, B, C* приключают к трем фазам сети. Катушки можно соединять и в треугольник. На рис. 102, *б* показана та же обмотка в разрезе.

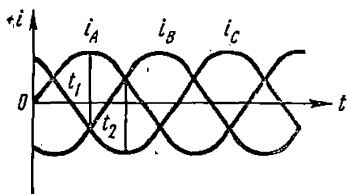


Рис. 103. Кривые изменения токов трехфазной обмотки во времени

По катушкам протекают синусоидальные токи с одинаковыми амплитудами (I_m) и одинаковой частотой ($\omega = 2\pi f$), фазы которых смещены на $1/3$ периода (рис. 103). Токи, протекающие в катушках, возбуждают переменные магнитные поля, магнитные линии которых будут пронизывать катушки в направлении, перпендикулярном их плоскостям. Следовательно, средняя магнитная линия или ось магнитного поля, создаваемого катушкой $A=X$, будет направлена под углом 90° к плоскости этой катушки (см. рис. 102, *б*). Направления магнитных полей всех трех катушек показаны векторами B_A, B_B и B_C , сдвинутыми относительно друг друга также на 120° .

Условимся считать положительными направления токов в ка-

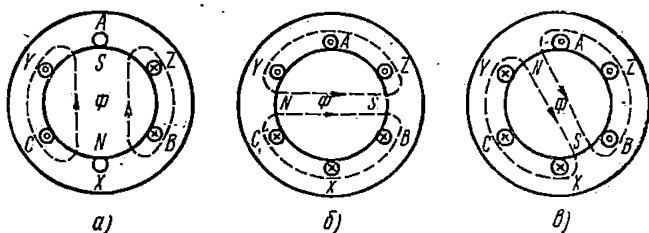


Рис. 104. Магнитное поле трехфазной обмотки в различные моменты времени:

а) $t=0$, *б)* $t=t_1$, *в)* $t=t_2$

тушках от начала к концу обмотки каждой фазы. При этом в проводниках статора, подключенных к начальным точкам A , B и C , токи будут направлены на зрителя, а в проводниках, подключенных к конечным точкам X , Y и Z , — от зрителя.

Положительным направлениям токов будут соответствовать положительные направления магнитных полей, показанные на том же рис. 102, б и определяемые по правилу буравчика.

Не касаясь количественной стороны явления, определим сначала направления магнитного поля, созданного трехфазной обмоткой, для различных моментов времени.

В момент $t=0$ ток в катушке $A-X$ равен нулю, в катушке $B-Y$ — отрицателен, в катушке $C-Z$ — положителен. Следовательно, в этот момент тока в проводниках A и X нет, в проводниках C и Z он имеет положительное направление, а в проводниках B и Y — отрицательное направление (рис. 104, а). Таким образом, в выбранный нами момент $t=0$ в проводниках C и Y ток направлен на зрителя, а в проводниках B и Z — от зрителя.

При таком направлении тока согласно правилу буравчика магнитные линии созданного магнитного поля направлены снизу вверх, т. е. в нижней части внутренней окружности статора находится северный полюс, а в верхней части — южный.

В момент t_1 в фазе A ток положителен, в фазах B и C — отрицателен. Следовательно, в проводниках Y , A и Z ток направлен на зрителя, а в проводниках C , X и B — от зрителя (рис. 104, б) и магнитные линии магнитного поля повернуты на 90° по часовой стрелке относительно своего начального направления.

В момент t_2 ток в фазах A и B положителен, а в фазе C — отрицателен. Следовательно, в проводниках A , Z и B ток направлен на зрителя, а в проводниках Y , C и X — от зрителя и магнитные линии магнитного поля повернуты еще на больший угол относительно своего начального направления (рис. 104, в).

Таким образом, во времени происходит непрерывное и равномерное изменение направления магнитных линий магнитного поля, созданного трехфазной обмоткой, т. е. магнитное поле вращается с постоянной скоростью.

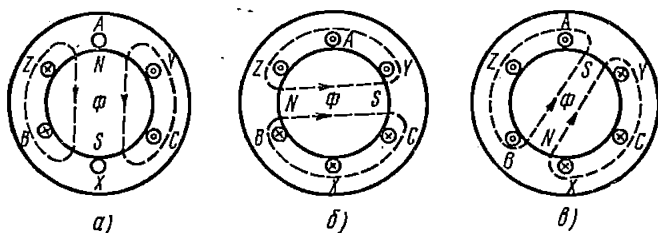


Рис. 105. Магнитное поле трехфазной обмотки в различные моменты времени при изменении чередования фаз:

а) $t=0$, б) $t=t_1$, в) $t=t_2$

В нашем случае вращение магнитного поля происходит по часовой стрелке.

Если изменить чередование фаз трехфазной обмотки, т. е. изменить подключение к сети любых двух из трех катушек, то изменится и направление вращения магнитного поля. На рис. 105 показана трехфазная обмотка, у которой изменено подключение катушек B и C к сети. Из направления магнитных линий магнитного поля для ранее выбранных моментов времени $t=0$, $t=t_1$ и $t=t_2$ видно, что вращение магнитного поля происходит теперь против часовой стрелки.

Магнитный поток, создаваемый трехфазной системой переменного тока в вышеописанной симметричной системе катушек, является величиной постоянной и в любой момент времени равен полуторному значению максимального потока одной фазы, т. е.

$$\Phi = \frac{3}{2} \cdot \Phi_m.$$

Это можно доказать, определив результирующий магнитный поток Φ_r для любого момента времени.

Например, для момента t_1 , когда $\omega t_1 = 90^\circ$, токи в катушках имеют такие значения:

$$i_A = I_m \sin 90^\circ = I_m;$$

$$i_B = I_m \sin (90 - 120^\circ) = -\frac{1}{2} I_m;$$

$$i_C = I_m \sin (90 - 240^\circ) = -\frac{1}{2} I_m.$$

Следовательно, магнитный поток Φ_A катушки A в выбранный момент имеет наибольшее значение и направлен по оси этой катушки в положительном направлении (рис. 106). Магнитные потоки катушек B и C вдвое меньше максимального и отрицательны, т. е. направлены отрицательно вдоль осей этих катушек.

Геометрическую сумму потоков Φ_A , Φ_B и Φ_C можно найти, построив их последовательно в принятом масштабе в виде отрезков. Соединив начало первого отрезка с концом последнего, получим отрезок результирующего магнитного потока Φ_r . Численно этот поток будет в полтора раза больше максимального потока одной фазы.

Например, для момента времени t_1 результирующий магнитный поток

$$\Phi_r = \Phi_A + \Phi_B \cos 60^\circ + \Phi_C \cos 60^\circ,$$

так как в этот момент результирующий поток совпадает с потоком Φ_A и сдвинут относительно потоков Φ_B и Φ_C на 60° .

Имея в виду, что в момент t_1 магнитные потоки катушек прини-

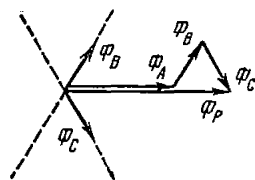


Рис. 106. Результирующий магнитный поток трехфазной обмотки

мают значения $\Phi_A = \Phi_m$, $\Phi_B = \Phi_C = \frac{1}{2} \Phi_m$. результирующий магнитный поток можно выразить так:

$$\Phi_p = \Phi_m + \frac{1}{2} \Phi_m \cos 60^\circ + \frac{1}{2} \Phi_m \cos 60^\circ = \Phi_m (1 + \cos 60^\circ) = \frac{3}{2} \Phi_m.$$

В момент $t=0$ результирующее магнитное поле было направлено по вертикальной оси (см. рис. 104, а). За время, равное одному периоду изменения тока в катушках, магнитный поток повернется на один полный оборот в пространстве и будет вновь направлен по вертикальной оси, так же как и в момент $t=0$.

Если частота тока f , т. е. ток претерпевает f изменений в одну секунду, то магнитный поток трехфазной обмотки совершит f оборотов в секунду или $60 f$ оборотов в минуту, т. е.

$$n = 60 f,$$

где n — число оборотов вращающегося магнитного поля в минуту.

Мы рассмотрели простейший случай, когда обмотка имеет одну пару полюсов.

Если обмотку статора выполнить так, что провода каждой фазы будут разбиты на 2, 3, 4 и т. д. одинаковые группы, симметрично расположенные по окружности статора, то число пар полюсов будет соответственно 2, 3, 4 и т. д.

На рис. 107 показана обмотка одной фазы, состоящая из трех симметрично расположенных по окружности статора катушек и образующая шесть полюсов или три пары полюсов.

Рис. 107. Схема обмотки статора многополюсной машины

В многополюсных обмотках магнитное поле за один период изменения тока поворачивается на угол, соответствующий расстоянию между двумя одноименными полюсами. Таким образом, если обмотка имеет 2, 3, 4 и т. д. пары полюсов, то магнитное поле за один период изменения тока поворачивается на $1/2$, $1/3$, $1/4$ и т. д. часть окружности статора. Обозначив буквой p число пар полюсов, найдем путь, пройденный магнитным полем за один период изменения тока. Этот путь будет равен $1/p$ части окружности статора. Следовательно, число оборотов в минуту магнитного поля обратно пропорционально числу пар полюсов, т. е.

$$n = \frac{60f}{p}.$$

Итак, число оборотов в минуту вращающегося магнитного поля постоянно и равно частоте тока, умноженной на 60 и деленной на число пар полюсов.

Пример 1. Определить число оборотов магнитного поля машин с числом пар полюсов $p=1, 2, 3$ и 4, работающих от сети с частотой тока $f=50$ гц.

Решение. Число оборотов магнитного поля

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{p} = \frac{3000}{p}.$$

$$\text{При } p=1 \quad n = \frac{3000}{1} = 3000 \text{ об/мин.}$$

$$\text{При } p=2 \quad n = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ об/мин.}$$

$$\text{При } p=3 \quad n = \frac{3000}{3} = 1000 \text{ об/мин.}$$

$$\text{При } p=4 \quad n = \frac{3000}{4} = 750 \text{ об/мин.}$$

Пример 2. Магнитное поле машины, включенной в сеть с частотой тока 50 гц, делает 1500 об/мин. Определить число оборотов магнитного поля этой машины, если она будет включена в сеть с частотой тока 60 гц.

Решение. Число пар полюсов машины находим так:

$$n_1 = \frac{60f}{p}, \text{ откуда } p = \frac{60f}{n_1} = \frac{3000}{1500} = 2.$$

Число оборотов магнитного поля при новой частоте

$$n_2 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 60}{2} = 1800 \text{ об/мин.}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расскажите об устройстве трехфазного генератора.
2. Объясните схемы соединения обмоток генератора.
3. К чему поведет обрыв нулевого провода при несимметричной нагрузке?
4. Как обнаружить неисправный предохранитель в трехфазной сети?
5. Чему равна мощность, потребляемая нагрузкой от трехфазной сети при симметричной и несимметричной нагрузках?
6. Как измеряют мощность и энергию трехфазной системы при симметричной и несимметричной нагрузках?
7. Как определяется скорость вращения магнитного поля, возбуждаемого трехфазной симметричной системой катушек?

Глава VII ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

§ 54. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБОРОВ

При эксплуатации электросиловой, электропитающей, кинопроекционной и звуковоспроизводящей аппаратуры обслуживающему персоналу киноустановок приходится измерять силу тока, напряжение, сопротивление, мощность, частоту и расход электрической энергии. Для этой цели применяют различные электроизмерительные приборы.

Измерение — это сравнение измеряемой величины с величиной того же рода, условно принятой за единицу.

В большинстве электроизмерительных приборов имеется подвижная и неподвижная части. Подвижная часть, включающая в себя катушку или стальной якорь, механически объединена со стрелочным указателем и возвратными пружинами из фосфористой бронзы.

Принцип действия измерительных приборов независимо от их

назначения сводится к следующему: электрический ток, проходя через прибор, вызывает появление вращающего момента, благодаря которому преодолевается противодействие спиральных пружин и подвижная часть поворачивается на определенный угол α (рис. 108). При этом стрелка, переместившись по шкале, укажет измеряемую величину. Когда прибор отключается, вращающий момент исчезает и подвижная часть вследствие упругости пружин возвращается в исходное положение.

При изменении температуры окружающей среды упругость воз-

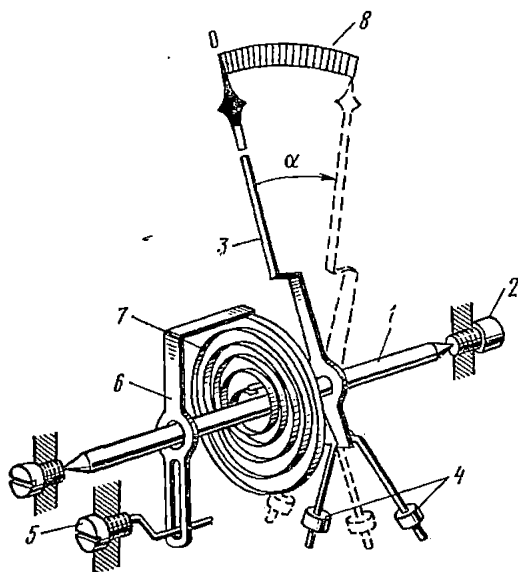


Рис. 108. Устройство подвижной части электроизмерительного прибора:

1 — ось, 2 — подпятник, 3 — стрелка, 4 — противовесы, 5 — корректор, 6 — поводок корректора, 7 — возвратная пружина, 8 — шкала

вратных пружин меняется, что приводит к некоторому повороту подвижной части. Однако перед началом измерений стрелка прибора должна располагаться против исходного (нулевого) деления шкалы. Такую установку стрелки производят с помощью корректора 5.

Для облегчения эксплуатации подвижная система прибора должна быстро успокаиваться, что обеспечивается применением воздушного или магнитного успокоителя. В воздушном успокоителе (рис. 109, а) используется торможение подвижной системы вследствие сжатия или разрежения воздуха в камере успокоителя, а в магнитном (рис. 109, б) — применен принцип магнитного торможения (благодаря вихревым токам i_n). Для уменьшения трения и повышения точности ось подвижной системы в некоторых приборах крепится на кернах в подпятниках из камней высокой твердости (рубина, сапфира, агата).

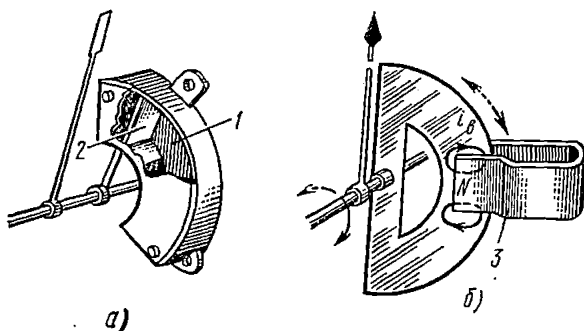


Рис. 109. Устройство успокоителей:

а — воздушного, б — магнитного; 1 — камера воздушного успокоителя, 2 — поршень, 3 — постоянный магнит

Измерительные приборы различают по назначению, роду измеряемого тока, принципу действия, классу точности, а также форме корпуса, положению при измерениях и характеру применения.

По назначению приборы подразделяют на амперметры, вольтметры, омметры, ваттметры, счетчики, частотомеры и др.

Измерительные приборы можно применять в цепях переменного или постоянного тока. Однако существуют приборы, предназначенные для включения в цепь и переменного, и постоянного тока.

По принципу действия электроизмерительные приборы относят к следующим наиболее распространенным системам: электромагнитной, магнитоэлектрической, электродинамической, индукционной и вибрационной.

В связи с тем что абсолютно точных приборов нет, показания приборов несколько отличаются от действительного значения измеряемой величины. Разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины называется абсолютной погрешностью.

Так, например, если напряжение источника 100 в, а вольтметр со шкалой 250 в, включенный в данную цепь, показывает 105 в, то абсолютная погрешность

$$\Delta A = U_{\text{приб}} - U_{\text{ист}} = 105 - 100 = 5 \text{ в.}$$

Отношение абсолютной погрешности прибора ΔA к максимальному пределу измерения данного прибора $A_{\text{макс}}$ называется приведенной погрешностью

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta A}{A_{\text{макс}}} \cdot 100 \%$$

Приведенная погрешность, определенная при нормальных эксплуатационных условиях (температуре 20° С, правильной установке, отсутствии внешних магнитных полей и больших ферромагнитных масс), называется основной погрешностью прибора.

В нашем примере приведенная (основная) погрешность прибора

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta A}{A_{\text{макс}}} \cdot 100 \% = \frac{5}{250} \cdot 100 = 2 \%$$

По степени точности приборы делят на 8 классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4. Цифры указывают основную погрешность в процентах.

Отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины называется относительной погрешностью прибора.

Если абсолютная погрешность 5 в, а измеряемая величина 50 и 100 в, то относительная погрешность составит:

$$\text{для первого измерения } \frac{5}{50} \cdot 100 = 10 \%;$$

$$\text{для второго измерения } \frac{5}{100} \cdot 100 = 5 \%$$

Отсюда следует, что относительная погрешность в начале шкалы прибора больше, чем в конце. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе предела измерений в универсальных измерительных приборах (авометрах). Наименьшая погрешность в измерениях будет при использовании последней трети шкалы прибора.

Приборы классов точности 0,05 и 0,1 считаются контрольными; 0,2 и 0,5 — лабораторными; 1; 1,5 и 2,5 — техническими; 4 — учебными. Контрольные приборы имеют зеркальную шкалу и ножевидную стрелку. У лабораторных приборов есть ножевидная стрелка, но может не быть зеркальной шкалы. Технические и учебные приборы имеют копьевидную стрелку, но у них нет зеркальной шкалы.

Зеркальная шкала, представляющая собой пластинку посеребренного стекла, расположенную под дугообразным вырезом шкалы, обеспечивает высокую точность снятия показаний прибора. При снятии показаний с приборов, имеющих зеркальную шкалу, глаз наблюдателя должен быть расположен так, чтобы стрелка закрывала свое изображение в зеркальной шкале.

По форме корпуса приборы бывают круглые, квадратные, прямоугольные и секторообразные; по характеру применения — стационарные (жестко укрепленные на месте установки) и переносные, а по положению при измерении — вертикальные, горизонтальные или устанавливаемые под некоторым углом.

Промышленность выпускает электроизмерительные приборы трех эксплуатационных групп: А, Б и В (табл. 4), характеризующих допустимую температуру окружающей среды, при которой можно эксплуатировать данный прибор. Принадлежность прибора к эксплуатационным группам Б и В (с повышенной надежностью) указывается на шкале. Для остальных приборов рабочий интервал температуры окружающей среды должен находиться в пределах от 0 до 35° С.

На шкале измерительных приборов условными значками и цифрами указываются следующие данные: род тока, в который можно включать прибор, система прибора, напряжение изоляции, положение при измерениях, класс точности, а также год выпуска, номер прибора и его принадлежность к эксплуатационной группе. Так, например, измерительному прибору, шкала которого изображена на рис. 110, можно дать следующую

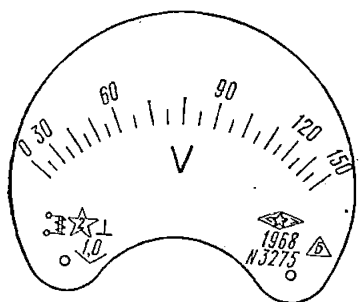


Рис. 110. Шкала вольтметра

техническую характеристику: вольтметр (V) для измерения переменного напряжения ($\sim$) в пределах от 0 до 150 в, электромагнитной системы (⏏), вертикального положения ($\perp$), пятого класса точности (1,0). Изоляция прибора испытана на напряжение 2 кв ($\star$), год выпуска 1968, заводской номер 3275, эксплуатационная группа Б ($\triangle$).

При эксплуатации приборов необходимо соблюдать следующие основные правила: перед включением прибора стрелку при помощи корректора надо установить на нулевое деление шкалы; прибор включать только в тот род тока, для которого он предназначен, а при измерениях корпус прибора должен занимать положение, соответствующее его нормальной установке.

Условные обозначения электроизмерительных приборов
По роду измеряемой величины

Название прибора	Измеряемая величина	Условное обозначение
Амперметр	Сила тока	
Вольтметр	Напряжение	
Омметр	Электрическое сопротивление	
Ваттметр	Электрическая мощность	
Частотомер	Частота тока	

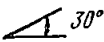
По роду измеряемого тока

Род тока	Условное обозначение
Переменный	
Постоянный	
Переменный и постоянный	
Трёхфазный	

По принципу действия прибора

Система прибора	Условное обозначение
Электромагнитная	
Магнитоэлектрическая	
Электродинамическая	
Индукционная	
Вибрационная	
Выпрямительная	

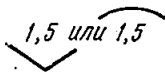
По положению прибора при измерениях

Положение прибора	Условное обозначение
Вертикальное	
Горизонтальное	
Под углом 30°	

Группы приборов

Группа	Температура окружающего воздуха, °С
А	От 0 до +35
Б	От -30 до +40
В {	В ₁ От -40 до +50
	В ₂ От -50 до +60

Прочие обозначения

Наименование	- Условное обозначение
Класс точности, например 1,5	
Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением, например 2000 В	
Осторожно! Соблюдать дополнительные правила эксплуатации, предусмотренные инструкцией	
Корректор	
Общий зажим	
Год выпуска, например	1968
Заводской номер, например	3275
Эксплуатационная группа, например	

Электромагнитные измерительные приборы применяют для измерения силы тока или напряжения в цепях переменного или постоянного тока.

Промышленность выпускает приборы данного типа в двух конструктивных вариантах: с плоской и круглой катушкой. Действие электромагнитного прибора с плоской катушкой основано на принципе втягивания ферромагнитного сердечника в катушку с током. Такой прибор представляет собой катушку 1 (рис. 111), намотанную на каркас, имеющий щелевидное отверстие. Подвижная часть прибора содержит ось со стрелкой, несимметрично укрепленный сердечник 2 и возвратную пружину 3. Для быстрого успокоения стрелки, относительно положения равновесия, служит успокоитель с воздушным или магнитным торможением.

При включении прибора в сеть по катушке проходит ток и возникающее магнитное поле втягивает сердечник внутрь катушки. Так как сердечник укреплен на оси несимметрично, происходит поворот подвижной части прибора на некоторый угол. Подвижная часть будет поворачиваться до тех пор, пока вращающий момент, созданный током, не будет уравновешен противодействующим моментом спиральной пружины.

Угол поворота подвижной части зависит от силы, с которой сердечник втягивается внутрь катушки. Эта сила пропорциональна силе тока I и величине магнитной индукции B поля катушки:

$$F = kBI,$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Если допустить, что магнитная индукция пропорциональна току, то угол поворота подвижной системы будет пропорционален квадрату силы тока. В этом случае шкала прибора должна быть квадратичной. Однако наличие в приборе ферромагнитного сердеч-

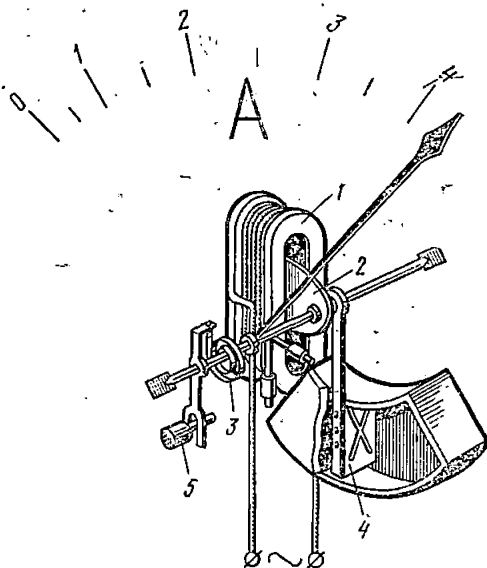


Рис. 111. Устройство прибора электромагнитной системы:

1 — плоская катушка, 2 — ферромагнитный сердечник, 3 — пружина, 4 — успокоитель, 5 — корректор

ника усложняет приводимую зависимость, вследствие чего шкала электромагнитных измерительных приборов становится неравномерной (рис. 112).

Придавая сердечнику специальную форму и изменяя его расположение относительно катушки, можно добиться некоторого уменьшения неравномерности шкалы.

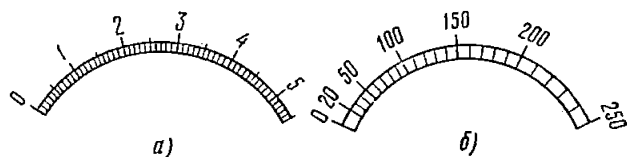


Рис. 112. Шкала электроизмерительных приборов:
а — равномерная, б — неравномерная

В электромагнитных вольтметрах катушки выполняют из большого числа витков (2000—10 000) провода диаметром 0,08—0,1 мм. Катушка амперметров содержит небольшое число витков толстого медного провода круглого или ленточного сечения. Внешние магнитные поля оказывают значительное влияние на работу электромагнитного прибора, но благодаря ферромагнитному кожуху это влияние значительно ослабляется.

Способность прибора работать в цепях переменного и постоянного тока объясняется тем, что изменение направления тока в катушке приводит к перемагничиванию сердечника, вследствие чего направление вращающего момента не меняется. При переменном токе прибор показывает действующие значения тока или напряжения. Мощность, потребляемая электромагнитными приборами от сети, колеблется от 2 до 8 вт.

К достоинствам электромагнитных приборов следует отнести их простоту, дешевизну, надежность в эксплуатации, способность выдерживать кратковременные перегрузки, а также пригодность для измерений в цепях переменного и постоянного тока.

Недостатками приборов являются их сравнительно малая точность (класс точности 1; 1,5; 2,5), неравномерность шкалы, довольно большая потребляемая мощность, зависимость показаний от частоты тока и влияния внешних магнитных полей.

§ 56. ПРИБОРЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Действие приборов магнитоэлектрической системы основано на взаимодействии магнитного поля и проводника с током.

Неподвижная часть прибора (рис. 113) состоит из постоянного магнита 1 и стального цилиндра 2. Между полюсами магнита и

стальным цилиндром имеется кольцевой воздушный зазор, в котором создается сильное и практически однородное магнитное поле.

Подвижная часть прибора представляет собой катушку, выполненную тонким проводом на легкой алюминиевой рамке 3, свободно вращающейся (на двух полуосях) в кольцевом воздушном зазоре. К передней полуоси крепится стрелка с противовесами, предназначенными для уравновешивания подвижной системы прибора. Противодействующий момент создается с помощью двух спиральных пружин, через которые на рамку подводится электрический ток.

При включении прибора по катушке проходит ток и возникает механическая сила, которая в соответствии с правилом левой руки поворачивает рамку на некоторый угол. Величина этой силы зависит от магнитной индукции B , силы тока в катушке I , числа витков w и активной длины проводника l :

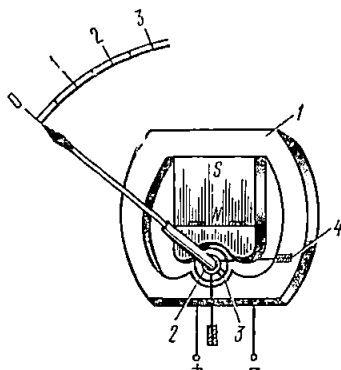


Рис. 113. Устройство прибора магнитоэлектрической системы: 1 — постоянный магнит, 2 — стальной цилиндр, 3 — рамка прибора, 4 — противовес

$$F = BIlw.$$

Так как магнитная индукция, активная длина и число витков (в каждом конкретном типе прибора) постоянны, угол поворота рамки будет определяться только силой тока, протекающего по катушке прибора, и противодействующим моментом возвратных пружин. Вследствие этого приборы магнитоэлектрической системы имеют равномерную шкалу.

При повороте рамки в магнитном поле в ее витках индуцируется ток, направление которого определяется правилом Ленца. Индуцированный ток вызывает появление противодействующей силы, способствующей быстрому успокоению подвижной системы прибора. Это устраняет необходимость применения успокоителя.

Приборы магнитоэлектрической системы полярны (т. е. имеют положительный и отрицательный зажимы), а в цепи переменного тока не дают показаний. Используя данные свойства, с помощью вольтметра магнитоэлектрической системы можно определять полярность и род электрического тока. Так, например, если включенный прибор дает показания, в данной цепи присутствует постоянный ток и провод, соединенный с минусовым зажимом прибора, является отрицательным зажимом источника. Когда стрелка отклоняется от нулевого деления шкалы влево — не соблюдена полярность включения прибора. При прохождении по катушке переменного тока вращающий момент с частотой тока меняет свое направление. Из-за инерции подвижная система не будет успевать

колебаться с частотой тока, поэтому останется неподвижной и прибор не даст показаний.

Благодаря высокой точности, чувствительности, равномерной шкале, малому потреблению энергии (10^{-4} — 10^{-6} вт), быстрому успокоению подвижной системы и малой чувствительности к внешним магнитным полям магнитоэлектрические приборы широко применяются в качестве вольтметров, миллиамперметров, микроамперметров, а также в универсальных измерительных приборах (авометрах).

К недостаткам приборов этой системы относятся: сравнительно высокая стоимость, чувствительность к перегрузкам и пригодность для измерений только в цепях постоянного тока. Последний недостаток может быть устранен путем включения прибора через полупроводниковый вентиль.

§ 57. ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Приборы электродинамической системы применяют для измерения напряжения, силы тока или мощности в цепях переменного и постоянного тока.

Действие электродинамических приборов основано на взаимодействии магнитного поля и проводника с током.

Прибор имеет неподвижную катушку 1 (рис. 114), которая содержит небольшое число витков толстой проволоки, и подвижную катушку 2 с большим числом витков тонкой проволоки, размещенную внутри неподвижной. На оси подвижной катушки укреплены стрелка 3 и пружины 4, предназначенные для подведения тока и создания противодействующего момента. Нижний конец стрелки оканчивается поршнем 5 воздушного успокоителя. В связи с чувствительностью прибора к внешним магнитным полям применение магнитного успокоителя в данной системе недопустимо. При включении прибора в цепь по катушкам проходит ток и возникающие магнитные поля вызывают появление электродинамической силы, которая стремится повернуть подвижную систему так, чтобы магнитные поля обеих катушек совпадали по направлению. Если допустить, что по катушкам прибора проходят одинаковые токи, то сила взаимодействия

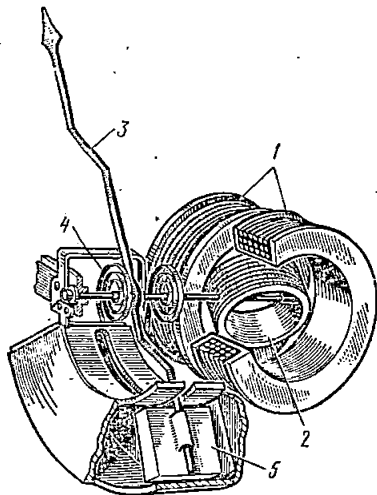


Рис. 114. Устройство прибора электродинамической системы:

1 — неподвижная катушка, 2 — подвижная катушка, 3 — стрелка, 4 — пружина, 5 — поршень воздушного успокоителя.

катушек (и вращающий момент) будет пропорциональна квадрату силы тока: $F = k I^2$. Поэтому электродинамические амперметры и вольтметры имеют неравномерную шкалу.

При включении прибора в сеть переменного тока направление вращающего момента не изменится, так как направление тока изменяется одновременно в обеих катушках. В цепях переменного тока приборы данной системы показывают действующие значения измеряемой величины.

В случае использования прибора для измерения напряжения подвижную и неподвижную катушки соединяют последовательно. Такое же соединение применяют при измерении небольших токов (до $0,5 \text{ а}$). При измерении токов большей величины катушки прибора соединяют параллельно. Когда измеряют мощность, неподвижную катушку включают последовательно, а подвижную — параллельно. В последнем случае через неподвижную катушку будет проходить ток нагрузки, а через подвижную — ток, пропорциональный напряжению на нагрузке, что вызовет возникновение вращающего момента, пропорционального мощности, потребляемой нагрузкой ($P = IU$). По этой причине электродинамические ваттметры имеют равномерную шкалу.

Достоинства электродинамических приборов: пригодность для измерений в цепях переменного и постоянного тока, возможность использования для измерения напряжения, силы тока или мощности, высокая точность, равномерность шкалы (у ваттметров).

Недостатки: сравнительно большое потребление мощности (при измерении токов и напряжений), чувствительность к внешним магнитным полям и перегрузкам, высокая стоимость.

§ 58. ПРИБОРЫ ИНДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Индукционные приборы преимущественно применяют для измерения расхода электрической энергии в цепях переменного тока.

Действие индукционного счетчика основано на взаимодействии вихревых токов с вращающимся магнитным полем.

Основными деталями индукционного счетчика являются два электромагнита, подвижный алюминиевый диск, редуктор, счетный механизм и тормозной магнит (рис. 115, а).

Магнитная система электромагнитов 1 и 2 имеет воздушные зазоры, причем катушка электромагнита 1 включается с нагрузкой последовательно, а катушка электромагнита 2 — параллельно (рис. 115, б). При определенном расположении электромагнитов между их полюсами создается вращающееся магнитное поле. В этом магнитном поле размещен свободно вращающийся алюминиевый диск. Вращающееся магнитное поле, пронизывая алюминиевый диск, индуцирует в нем вихревые токи. В результате взаимодействия вихревых токов с вращающимся магнитным полем воз-

никает механическая сила, которая приводит диск во вращательное движение.

Сила взаимодействия между вихревыми токами и вращающимся магнитным полем пропорциональна произведению мгновенных значений тока и напряжения, т. е. мощности токоприемников:

$$M_{вр} = kP,$$

где k — постоянный коэффициент.

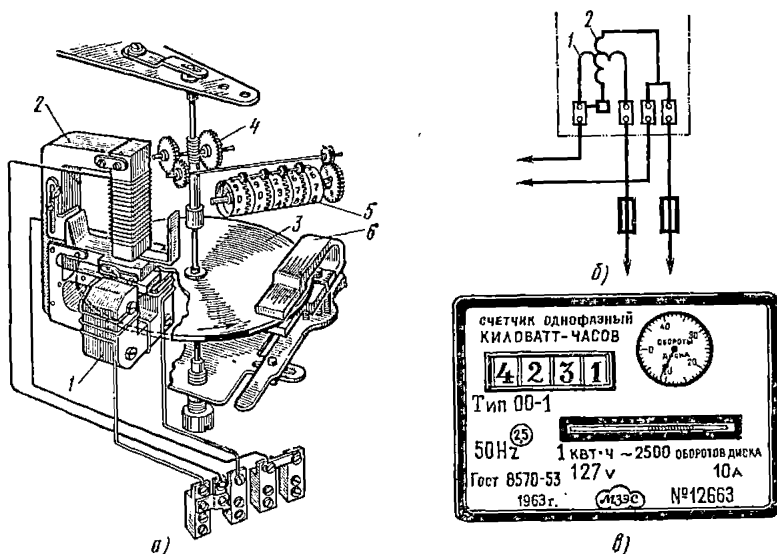


Рис. 115. Счетчик электрической энергии:

a — устройство, $б$ — схема включения, $в$ — лицевая панель счетчика; 1 — электромагнит с токовой обмоткой, 2 — электромагнит с обмоткой напряжения, 3 — алюминиевый диск, 4 — редуктор, 5 — счетный механизм, 6 — тормозной магнит

Для того чтобы скорость вращения диска была пропорциональна мощности токоприемников, применен тормозной магнит 6.

В диске при вращении его между полюсами тормозного магнита индуцируются вихревые токи, которые, взаимодействуя с магнитным полем магнита, создают противодействующий момент, пропорциональный скорости вращения диска. Чем быстрее вращается диск, тем больше сила его торможения.

Скорость вращения диска становится постоянной, когда вращающий момент уравновешивается тормозящим моментом. Счетный механизм прибора измеряет число оборотов диска, т. е. величину, пропорциональную энергии, расходуемой на работу токоприемника. В большинстве случаев счетчики измеряют расход электрической энергии в киловатт-часах. Наличие на лицевой панели счетчика дополнительного циферблата со стрелкой (рис. 115, $в$)

позволяет измерять значительно меньшие единицы расхода электрической энергии (например, один полный оборот стрелки соответствует 50 оборотам диска или 20 *вт·ч*). Измерение количества и подсчет стоимости израсходованной энергии производят следующим образом. Предположим, что в данный момент времени показания счетчика составляют 423 *квт·ч* (десятые доли киловатт-часа не учитывают), а через месяц — 600 *квт·ч*. Израсходовано энергии: $600 - 423 = 177$ *квт·ч*. Стоимость 1 *квт·ч* равна 4 коп., или 0,04 руб. Стоимость израсходованной энергии: $177 \cdot 0,04 = 7,08$ руб.

§ 59. ПРИБОРЫ ВИБРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Приборы вибрационной системы, комплектуемые с передвижными электростанциями киноустановок, предназначаются для измерения частоты переменного тока.

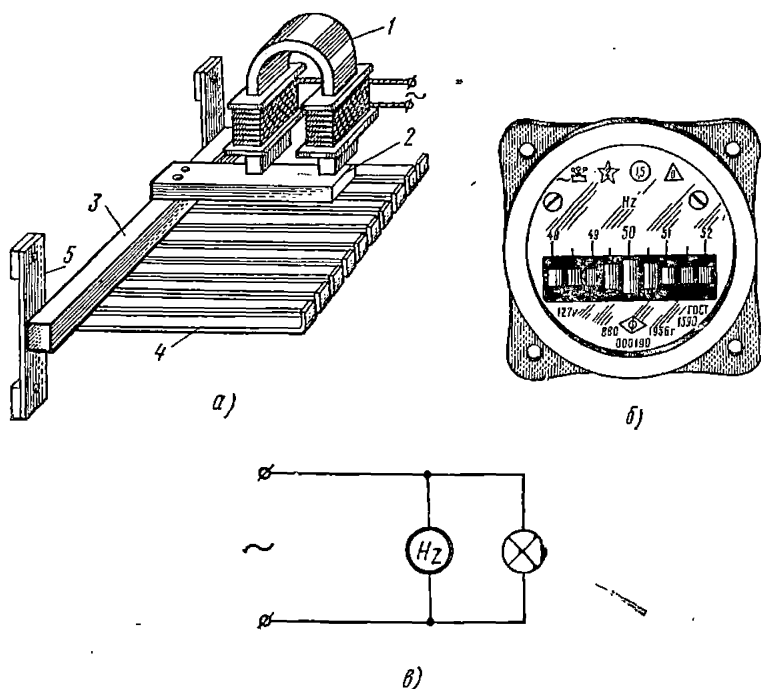


Рис. 116. Вибрационный частотомер

а — устройство, б — внешний вид, в — схема включения; 1 — электромагнит, 2 — якорь, 3 — брусок, 4 — вибраторы, 5 — пластинчатая пружина

Действие вибрационных приборов основано на использовании явлений электромагнетизма и механического резонанса.

Каждая механическая система, способная совершать колебательные движения, обладает определенной частотой собственных

колебаний. Частота собственных колебаний определяется массой и упругостью системы. При резонансе, т. е. при совпадении частот собственных колебаний системы и колебаний внешнего источника, амплитуда колебаний данной механической системы резко увеличивается. Это свойство используется в измерительных приборах вибрационной системы.

Вибрационный частотомер (рис. 116, а) состоит из электромагнита 1, стального якоря 2, укрепленного на бруске 3, и нескольких вибраторов с различной длиной или весом. Концы вибраторов отогнуты под прямым углом, окрашены белой краской и размещены в горизонтальной щели на шкале частотомера. Брусок 3 крепится к пластинчатым пружинам 5, что обеспечивает некоторую подвижность механической системы.

Если по обмотке электромагнита пропустить переменный ток, то якорь 2 будет сильнее притягиваться к полюсам в те моменты, когда ток имеет наибольшее значение, т. е. два раза за период. Колебания якоря передаются вибраторам. С наибольшей амплитудой будет колебаться вибратор, собственная частота колебаний которого совпадет с частотой колебаний якоря. Цифра на шкале, стоящая против вибратора, колеблющегося с наибольшей амплитудой, укажет частоту тока в сети (рис. 116, б). Схема включения частотомера показана на рис. 116, в.

Большинство частотомеров вибрационной системы предназначены для измерения частот от 45 до 55 гц. Однако встречаются частотомеры, рассчитанные для измерения более высоких частот (до 1550—1650 гц).

Достоинство приборов вибрационной системы — независимость показаний от напряжения сети. Недостатки — зависимость показаний от механических вибраций, невозможность измерения высоких частот и прерывность шкалы, вследствие чего затрудняются измерения на промежуточных частотах, когда одновременно колеблется несколько вибраторов.

§ 60. ПОНЯТИЕ О ШУНТАХ И ДОБАВОЧНЫХ РЕЗИСТОРАХ

Шунты и добавочные резисторы применяются для расширения пределов измерений приборов.

Если амперметром, рассчитанным на измерение небольшой силы тока, требуется измерить значительно большую величину, то параллельно амперметру подключают шунт $R_{ш}$ (рис. 117, а)*.

Шунт к амперметру представляет собой толстую константановую или манганиновую пластину, которую подключают к контактам прибора. Применение в качестве шунтов (и добавочных резисторов) манганина и константана объясняется тем, что сопротивление этих металлов в малой степени зависит от температуры.

* Практический термин. В действительности амперметр подключают к шунту.

Если сопротивление шунта в 9 раз меньше сопротивления обмотки амперметра, то 0,9 общей силы тока пройдет через шунт и только 0,1 — через прибор. При этом пределы измерений прибора расширятся в 10 раз.

Расчет шунта производят по формуле $R_{ш} = \frac{R_a}{n - 1}$,

где $R_{ш}$ — сопротивление шунта;

R_a — сопротивление обмотки амперметра;

n — число, показывающее, во сколько раз расширяются пределы измерения прибора.

После подключения шунта на шкале прибора следует поставить множитель (в данном случае $\times 10$). При включении амперметра с шунтом фактическая сила тока в цепи определяется произведением показаний прибора на множитель.

Шунт должен иметь четыре контакта: к двум из них подключают прибор, а к двум другим — соединительные провода электрической цепи. Такое подсоединение исключает зависимость показаний прибора от переходных сопротивлений контактов.

Сопротивление шунта зависит от внутреннего сопротивления прибора. Так, например, при расширении пределов измерений щитовых приборов, рассчитанных на десятки и сотни ампер, сопротивление шунтов может составлять тысячные или даже миллионные доли ома.

В универсальных измерительных приборах сопротивление шунтов, выполняемых в виде катушек из провода с большим удельным сопротивлением, может достигать нескольких тысяч ом. Универсальный шунт авометра АВО-63 имеет сопротивление 4500 ом.

В тех случаях, когда вольтметром, рассчитанным на измерение небольших напряжений, требуется измерить большую величину, последовательно с вольтметром включают добавочный резистор R_d (рис. 117, б).

Если величину R_d взять в 9 раз больше сопротивления обмотки вольтметра, то 0,9 общего напряжения будет падать на R_d и только 0,1 — на сопротивление обмотки вольтметра R_v . При этом пределы измерений прибора расширятся в 10 раз.

Расчет сопротивления добавочного резистора производят по формуле:

$$R_d = R_v (n - 1),$$

где R_d — сопротивление добавочного резистора;

R_v — сопротивление обмотки вольтметра;

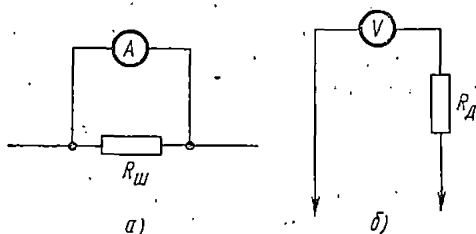


Рис. 117. Схема включения шунта (а) и добавочного резистора (б)

n — число, показывающее, во сколько раз расширяются пределы измерений прибора.

Очевидно, что после включения добавочного резистора необходимо изготовить новую шкалу или на имеющейся шкале поставить соответствующий множитель. Так как сопротивление добавочных резисторов в щитовых приборах может достигать нескольких тысяч ом, их выполняют в виде катушек из тонкого провода с большим удельным сопротивлением. В авометрах в качестве R_d (сопротивлением до нескольких мегом) применяют непроволочные резисторы типа ВС или МЛТ.

Шунты и добавочные резисторы можно монтировать как внутри прибора, так и подключать к его зажимам на время измерений. В последнем случае на шкале прибора указывают: «С отдельным шунтом» или «С отдельным добавочным резистором».

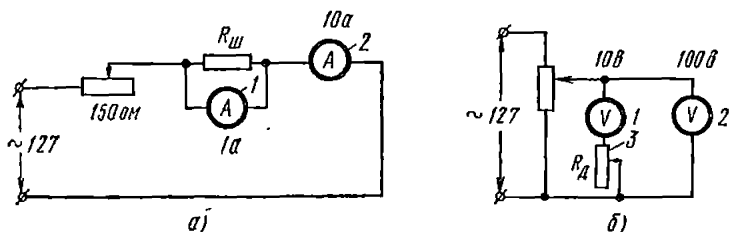


Рис. 118. Схема включения приборов для подбора шунта (а) и добавочного резистора (б):

1 — градуируемый прибор, 2 — контрольный прибор, 3 — проволочный реостат

В практической деятельности, когда сопротивление обмотки амперметра неизвестно, а шунты фабричного изготовления отсутствуют, шунты можно выбирать следующим образом: амперметр, к которому требуется подобрать шунт, включают последовательно с реостатом и другим (контрольным) амперметром по схеме, приведенной на рис. 118, а. Параллельно амперметру 1 подключают отрезок толстой медной проволоки длиной 8—10 см и сечением 1,5—2,5 мм². С помощью реостата 2 устанавливают произвольную силу тока (например, 3 а). Если пределы измерений прибора 1 требуется расширить в 10 раз, то при правильно подобранном шунте прибор должен показывать 0,3 а. Если прибор 1 дает большие показания, сопротивление шунта велико, а меньшие — мало. Для уменьшения сопротивления шунта проводник, подключенный к контактам прибора, необходимо взять большего сечения или меньшей длины, а для увеличения — наоборот. Подбрав сопротивление шунта, на шкале прибора 1 указывают необходимый множитель.

Выбор добавочного резистора производят почти аналогичным способом, но применяют схему, изображенную на рис. 118, б. Перед включением схемы полностью вводят сопротивление высокоомного реостата 3. Предположим, что пределы измерений вольтметра 1 требуется расширить в 10 раз. Включив схему, с помощью

объясняется включением в схему переключателем рода измерений двух полупроводниковых диодов Д9Б. Высокая чувствительность прибора обеспечивает измерение напряжений в большинстве радиотехнических устройств, без нарушения режима их работы. Головка прибора (рис. 119, б) имеет три шкалы: верхней шкалой пользуются при измерении сопротивлений, средней — при измерении переменных токов и напряжений, а нижней — при измерениях в цепях постоянного тока. Шкала сопротивлений проградуирована справа налево в пределах от 0 до бесконечности. Шкалы постоянного и переменного тока имеют обычную градуировку (слева — направо) и содержат по 50 делений. При измерении сопротивлений используется собственный источник питания, состоящий из трех элементов ФМЦ, размещенных в корпусе прибора.

Конструкция прибора. Авометр смонтирован в пластмассовом футляре со съемной крышкой, имеющей специальное гнездо для хранения соединительных проводников с наконечниками и зажимами. В верхней части монтажной панели размещен микроамперметр, а в нижней — переключатель рода измерений 2, переменный резистор 3 (нуль ометра) и гнезда для включения соединительных проводников. Против каждого гнезда цифрой указан предел измерений или соответствующий множитель. Прибор имеет два общих гнезда: одно из них (расположенное в центре панели) используется при измерении токов и напряжений, а другое — при измерении сопротивлений. К прибору прилагаются два гибких разноцветных проводника, оканчивающихся с одной стороны наконечниками для подключения к авометру, а с другой стороны — щупами для измерений. Наконечники защищены изоляционными втулками меньшей длины, а щупы — втулками большей длины. Когда соединительные проводники имеют одинаковый цвет, для облегчения их распознавания применяют втулки разного цвета. Ступенчатая форма щупов позволяет включать их как в гнезда ламповых панелей, так и в штепсельные гнезда стандартного диаметра. Для облегчения измерений в различных точках радиотехнических схем щупы комплектуются металлическими зажимами типа «крокодил».

Техника измерений. Универсальный измерительный прибор АВО-63 можно применять не только для измерения токов, напряжений и сопротивлений в различных цепях электротехнических и радиотехнических устройств, но и для проверки исправности конденсаторов, моточных деталей, предохранителей, радиоламп, а также измерения емкости конденсаторов в пределах от 200 пф до 100 мкф. При измерениях и проверке деталей необходимо придерживаться следующих общих правил.

Измерять токи можно только при полной уверенности, что сила тока в цепи не превышает 500 ма, а измерять емкости — после предварительной проверки исправности конденсаторов.

Для увеличения срока службы батарей не рекомендуется при измерении сопротивлений оставлять на длительное время щупы в замкнутом положении или подключенными к измеряемому рези-

сторю. Во избежание повреждения прибора измерять сопротивление следует только в обесточенной цепи.

При неизвестной величине напряжения или тока измерение рекомендуется начинать с высшего предела (1000 в, 500 ма). Чтобы уменьшить погрешности при измерениях, не рекомендуется использовать начальные участки шкалы. Для быстрого определения измеряемой величины необходимо твердо знать цену деления шкалы на каждом пределе.

Цена деления шкалы определяется путем деления используемого предела на 50.

Измеряемую величину тока или напряжения находят как произведение цены деления шкалы на показание прибора. В приборе АВО-63 цена деления шкалы на различных пределах имеет следующие значения: 20 для предела 1000; 10 — для 500; 4 — для 200; 1 — для 50; 0,2 — для 10; 0,1 — для 5; 0,04 — для 2; 0,01 — для 0,5; 0,004 — для 0,2.

При измерении сопротивлений цену деления шкалы не определяют, а показания прибора (по верхней шкале) умножают на число, указанное около соответствующего гнезда ($\times 1$, $\times 10$, $\times 100$, $\times 1000$).

Перед измерениями стрелку (при помощи корректора) устанавливают на нулевое деление шкалы постоянного или переменного тока. Прибор следует оберегать от резких толчков и ударов.

Измерение силы постоянного тока. Короткий наконечник одного соединительного провода вставляют в гнездо «Общ.», расположенное в центре панели, а другого — в одно из гнезд необходимого предела. Переключатель рода измерений ставят против значков Ω . При помощи щупов прибор включают последовательно в измеряемую цепь так, чтобы общий провод был подключен к минусовому зажиму источника тока. Например, если используется предел 500 ма (цена деления шкалы 10) и стрелка отклонилась на 30 делений (по нижней шкале), сила тока в цепи 300 ма ($30 \cdot 10 = 300$).

Если при включении прибора стрелка отклонится от нулевого деления влево, значит не соблюдена полярность включения и щупы необходимо поменять местами.

Измерение силы переменного тока. Это измерение выполняют аналогичным способом, но переключатель рода измерений устанавливают против значка $\sim$, а показания снимают по средней шкале.

Измерение постоянных и переменных напряжений. Измерения производят при соблюдении вышеуказанных правил, но используют гнезда, предназначенные для измерения напряжений. Прибор подключают параллельно тому участку цепи, напряжение на котором необходимо измерить. В зависимости от рода тока показания снимают по нижней или средней шкале. Очевидно, что при измерении переменных токов и напряжений полярность подключения щупов не имеет значения, так как переменный ток не полярен.

Измерение сопротивлений. Переключатель рода измерений

устанавливают против значков Ω . Один короткий наконечник вставляют в правое нижнее гнездо «Общ.», а другой — в один из пределов измерения сопротивлений. Накоротко соединяют щупы (с длинными изоляционными наконечниками) и с помощью переменного резистора стрелку устанавливают на нулевое деление верхней шкалы. После этого щупы подключают к участку цепи или детали, сопротивление которых требуется измерить. Предположим, стрелка прибора отклонилась до деления с цифрой 50, а измерение производилось на пределе $\times 100$, тогда сопротивление равно 5000 ом или 5 ком ($50 \cdot 100 = 5000$).

При переходе на другой предел измерения снова замыкают щупы и устанавливают стрелку на нулевое деление верхней шкалы. Если стрелка на нулевом делении шкалы не устанавливается, следует вскрыть нижнюю крышку прибора и заменить разрядившиеся элементы ФМЦ.

Омметром прибора можно проверять цепи на обрыв и короткое замыкание. При разрыве цепи стрелка прибора не отклоняется и остается в крайнем левом положении против значка бесконечности ∞ , а при коротком замыкании отклоняется в крайнее правое положение. Напоминаем, что указанную проверку можно производить только в обесточенной цепи. Исправность конденсаторов определяют по другим признакам. Если конденсатор исправен, то в момент подключения щупов стрелка прибора сначала отклонится вправо, а затем медленно возвратится к значку ∞ или остановится около него. При частичной потере емкости стрелка отклоняется на меньший угол, чем при проверке исправного конденсатора той же емкости.

Если конденсатор пробит, стрелка отклонится до нулевого деления шкалы. В случае внутреннего обрыва или полной потери емкости стрелка вообще отклоняться не будет. Необходимо иметь в виду, что омметром прибора внутренний обрыв может быть обнаружен в конденсаторах емкостью свыше 0,1 мкф. Конденсаторы проверяют на пределе $\times 1000$. При проверке электролитических конденсаторов соблюдают определенную полярность включения прибора: провод, идущий от общего гнезда, подключают к плюсовому выводу конденсатора, а провод от гнезда $\times 1000$ — к корпусу (т. е. минусовому выводу).

Измерение емкости конденсаторов. Измерение производят по методу вольтметра — амперметра, исходя из следующих положений. Известно, что емкостное сопротивление конденсатора (X_C), выраженное в омах, обратно пропорционально частоте и емкости:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}.$$

При частоте тока 50 гц емкостное сопротивление определяют из следующего отношения:

$$X_C = \frac{3180}{C (\text{мкф})}, \text{ откуда } C = \frac{3180}{X_C}.$$

Если в цепь переменного тока по схеме, приведенной на рис. 120, включить конденсатор, то, измерив ток в цепи и напряжение на конденсаторе, по формуле $X_C = \frac{U}{I}$ определяют числовое значение емкостного сопротивления. Подставив найденное значение в предыдущую формулу, находят емкость конденсатора в микрофарадах.

В табл. 5 приведены данные для определения емкости.

На переменном токе также можно измерять емкость электролитических конденсаторов. Поскольку такие конденсаторы полярны, на них можно подавать только небольшое переменное напряжение (1,6—2 в). Вычисление производят по указанным выше формулам или по данным табл. 5

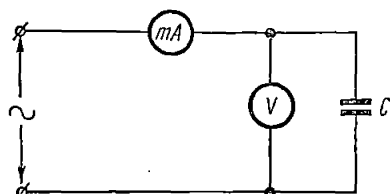


Рис. 120. Схема измерения емкости конденсаторов прибором АВО-63

Таблица 5
Данные для определения емкости конденсаторов

C	X_C при 50 гц	I, ма	
		$U = 220$ в	$U = 1,6$ в
200 пф	15,9 Мом	0,014	—
1000 пф	3,18 Мом	0,07	—
10 000 пф	0,32 Мом	0,69	—
0,1 мкф	32 ком	6,92	—
1,0 мкф	3,2 ком	69,2	0,5
10,0 мкф	320 ом	—	5
20,0 мкф	160 ом	—	10
40,0 мкф	80 ом	—	20
100,0 мкф	50 ом	—	50

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите системы и классы точности приборов.
2. Какова роль корректора, успокоителя и зеркальной шкалы в приборах?
3. Поясните устройство и принцип действия прибора электромагнитной системы.
4. Расскажите об устройстве и принципе действия магнитоэлектрического прибора.
5. Поясните устройство и принцип действия электродинамического прибора.
6. Из каких основных частей состоит прибор индукционной системы?
7. Поясните принцип действия индукционного счетчика.
8. Расскажите об устройстве и принципе действия вибрационного прибора.
9. Каково назначение шунтов и добавочных резисторов?
10. Поясните техническую характеристику прибора АВО-63 и метод определения цены деления шкалы.

§ 62. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ
О ТРАНСФОРМАТОРАХ

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий электрическую энергию переменного тока.

Трансформаторы, преобразующие напряжение переменного тока, получили очень широкое практическое применение для передачи электрической энергии на большие расстояния, для распределения энергии между ее приемниками и в различных выпрямительных, сигнализационных, усилительных и других устройствах.

При передаче электрической энергии от электростанций к потребителям большое значение имеет сила тока, протекающего по проводам. В зависимости от силы тока выбирают сечение проводов линии передачи энергии и, следовательно, определяют стоимость проводов, а также потери энергии в них.

Если при одной и той же передаваемой мощности увеличить напряжение, ток в такой же мере уменьшится, а это позволит применить провода с меньшим поперечным сечением для устройства линии передачи электрической энергии и снизит расход цветных металлов, а также уменьшит потери мощности в линии.

Поперечные сечения проводов и потери мощности в них определяются следующими выражениями:

$$q = \frac{I}{\delta} = \frac{UI}{\delta U} = \frac{P}{\delta U}; \quad P_{\text{л}} = I^2 r = I q l \delta = \frac{P}{U} q l \delta,$$

так как

$$r = \rho \frac{l}{q} = \rho \frac{l \delta}{I},$$

где q — поперечное сечение провода, мм^2 ;

I — сила тока, а ;

δ — плотность тока, а/мм^2 ;

U — напряжение в линии электропередачи, в ;

P — передаваемая мощность, вт ;

$P_{\text{л}}$ — потери мощности в линии электропередачи, вт ;

r — сопротивление провода, ом ;

l — длина линии, м ;

ρ — удельное сопротивление материала провода, $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Таким образом, при неизменной передаваемой мощности поперечное сечение провода и потери мощности в линии обратно пропорциональны напряжению.

Электрическая энергия вырабатывается на электростанциях синхронными генераторами при напряжении 11—18 кВ (в некоторых случаях при 30—35 кВ). Хотя это напряжение очень велико для непосредственного его использования потребителями, однако недостаточно для экономичной передачи электроэнергии на большие расстояния. Для увеличения напряжения применяют повышающие трансформаторы.

Приемники электрической энергии (лампы накаливания, электродвигатели и т. д.), из соображений безопасности для лиц, пользующихся этими приемниками, рассчитывают на более низкое напряжение (110—380 в). Кроме того, высокое напряжение требует усиленной изоляции токоведущих частей, что значительно усложняет конструкцию аппаратов и приборов.

Поэтому высокое напряжение, при котором передается энергия, не может непосредственно использоваться для питания приемников, а подводится к потребителям энергии через понижающие трансформаторы.

Таким образом, электрическая энергия при передаче от места ее производства к месту потребления трансформируется несколько раз (3—4 раза).

Кроме того, понижающие трансформаторы в распределительных сетях включаются не одновременно и не всегда на полную мощность, вследствие чего мощности установленных трансформаторов значительно больше (в 7—8 раз) мощностей генераторов, вырабатывающих электроэнергию на электростанциях.

На рис. 121 изображена принципиальная схема трансформатора, где для ясности обмотки его помещены на разных стержнях стального сердечника. В действительности каждую обмотку размещают на обоих стержнях так, что одни половины обмоток находятся на левом, а другие — на правом стержне сердечника. При таком расположении обмоток достигается лучшая магнитная связь между ними, благодаря чему уменьшаются потоки рассеяния, которые не участвуют в процессе трансформирования энергии.

Обмотка, включенная в сеть источника электрической энергии, называется первичной; обмотка, от которой энергия подается к приемнику, — вторичной.

Обычно напряжения первичной и вторичной обмоток неодинаковы.

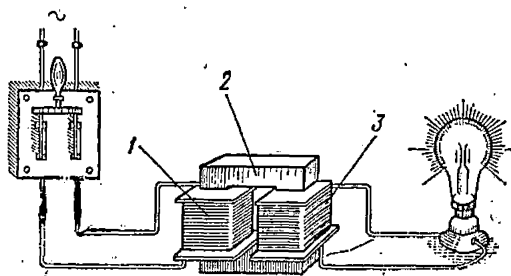


Рис. 121. Принципиальная схема трансформатора:

1 — первичная обмотка, 2 — стальной магнитопровод, 3 — вторичная обмотка

Если первичное напряжение меньше вторичного, то трансформатор называется, повышающим, если же первичное напряжение больше вторичного — понижающим. Любой трансформатор может быть использован и как повышающий, и как понижающий.

§ 63. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ТРАНСФОРМАТОРА

Действие трансформатора основано на явлении взаимной индукции.

Если первичную обмотку трансформатора включить в сеть источника переменного тока, то по ней будет протекать переменный ток I_0 (ток холостого хода), который возбудит в сердечнике трансформатора переменный магнитный поток. Этот магнитный поток, пронизывая витки вторичной обмотки трансформатора, будет индуцировать в ней э. д. с. Если вторичную обмотку замкнуть на какой-либо приемник энергии (на рис. 121 — лампы накаливания), то под действием индуцируемой э. д. с. E_2 по этой обмотке и через приемник энергии будет протекать ток I_2 . Одновременно и в первичной обмотке появится нагрузочный ток I' , который в сумме с током холостого хода I_0 определит ток первичной обмотки I_1 . Таким образом, электрическая энергия, трансформируясь, будет передаваться из первичной сети во вторичную уже при напряжении, на которое рассчитан приемник энергии, включенный во вторичную сеть.

Для улучшения магнитной связи между первичной и вторичной обмотками их помещают на общем магнитопроводе. Чтобы уменьшить потери от вихревых токов, магнитопроводы трансформаторов собирают из тонких пластин (толщиной 0,5 и 0,35 мм) трансформаторной стали, покрытых изоляцией (жаростойким лаком).

Материалом магнитопровода является трансформаторная сталь марок Э-42, Э-43, Э-43А, Э-320, Э-330, Э-330А и др.

В настоящее время осуществляется полный переход на сталь Э-330А. Марки электротехнических сталей расшифровываются так: буква Э — сталь электротехническая; первые цифры после буквы (1, 2, 3, 4) — степень легированности стали (1 — слаболегированная, 2 — среднелегированная, 3 — высоколегированная, 4 — высоколегированная); вторые цифры — гарантированные свойства стали (удельные потери в стали при частоте 50 гц: 1 — нормальные, 2 — пониженные и 3 — низкие); буква А — особо низкие удельные потери в стали; 0 — сталь холоднокатаная.

Холоднокатаная сталь имеет высокую магнитную проницаемость (больше, чем у горячекатаной) в направлении, совпадающем с направлением проката, тогда как поперек проката магнитная проницаемость низкая. Поэтому магнитопроводы из холоднокатаной стали изготавливают так, чтобы магнитные линии замыкались по направлению проката стали. Магнитопроводы трансформаторов малой мощности выполняют из ленты холоднокатаной стали.

В настоящее время ленточные разрезные магнитопроводы трансформаторов изготовляют следующим образом: половину магнитопроводов выполняют из полос холоднокатаной стали различной длины так, что полосы укладываются в пакет ступенями. В специальных формах пакеты на прессе выгибают в половины (верхнюю и нижнюю) магнитопровода и отжигают для снятия остаточных механических напряжений. После пропитки в клеящем составе (для склейки отдельных листов) половины магнитопроводов подвергают механической обработке (для фрезеровки стыков) и направляют на сборку.

При сборке трансформатора обмотки устанавливают на магнитопроводе, и половины магнитопроводов (верхнюю и нижнюю) составляют и стягивают, причем предварительно места стыков покрывают специальным клеящим составом.

В трансформаторах больших мощностей магнитопроводы собирают из полос стали. Холоднокатаную сталь разрезают так, чтобы направление магнитных линий в собранном магнитопроводе совпадало с направлением проката стали. У горячекатаной стали магнитная проницаемость одинакова во всех направлениях и при малых мощностях магнитопроводы собирают из пластин Ш- или П-образной формы, которые штампуют из листовой стали.

В зависимости от формы магнитопровода и расположения обмоток на нем трансформаторы могут быть стержневыми и броневыми. Стержневой магнитопровод однофазного трансформатора имеет два стержня, на которых помещены обмотки (рис. 122, а). Эти стержни соединены ярмом с двух сторон так, что магнитный поток замыкается по стали. Броневой магнитопровод (рис. 122, б) имеет один стержень, на котором полностью помещены обмотки трансформатора. Стержень с двух сторон охватывается (бронируется) ярмом так, что обмотки частично защищены сердечником от механических повреждений.

Ленточные магнитопроводы из холоднокатаной стали подобны стержневым (рис. 122, в) или броневым (рис. 122, г).

Трансформаторы большой мощности в настоящее время изготовляются исключительно стержневыми, так как в трансформаторах этого типа проще изоляция обмоток высшего напряжения от сердечника, чем в броневых. В трансформаторах малой мощности напряжения обмоток малы

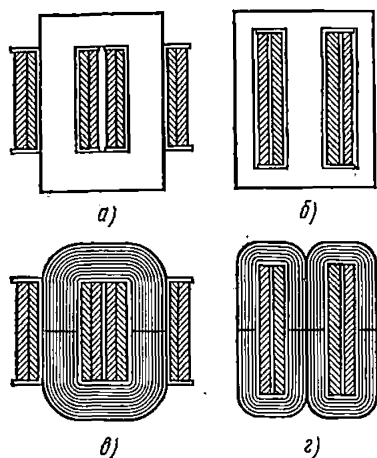


Рис. 122. Магнитопроводы однофазных трансформаторов:

а — стержневой, б — броневой, в — ленточный стержневой, г — ленточный броневой

и изоляция их от сердечника несложна. Поэтому трансформаторы малой мощности часто изготавливают с броневым магнитопроводом, который имеет только один комплект с двумя обмотками, тогда как у стержневого два таких комплекта.

Магнитный поток в броневом магнитопроводе, выходя из стержня, разветвляется на две равные части так, что магнитный поток, замыкающийся через ярмо, вдвое меньше, чем в стержне, вследствие чего сечение ярма выполняют вдвое меньше сечения стержня.

Часто сердечники трансформаторов изготавливают с уширенным ярмом, в которых поперечное сечение ярма больше поперечного сечения стержня. Это дает возможность уменьшить магнитную индукцию в ярме, снижает потери в стали и уменьшает потребление трансформаторами реактивных намагничивающих токов из сети.

Для измерительных и лабораторных трансформаторов, а также при повышенной частоте применяют тороидальные (кольцеобразные) магнитопроводы, достоинствами которых являются относительно малое магнитное сопротивление и почти полное отсутствие внешнего потока рассеяния. При равномерном распределении обмоток по окружности тороида такие трансформаторы нечувствительны к внешним магнитным полям, независимо от их направления. Тороидальные магнитопроводы изготавливают из ленты холоднокатаной стали, а обмотки наматывают на специальном станке челночного типа.

Обмоткам трансформатора придают преимущественно форму цилиндрических (круглых) катушек, концентрически насаживаемых на стержень магнитопровода. При такой форме обмотки лучше противостоят радиальным механическим усилиям, возникающим при работе трансформатора. В некоторых случаях по ряду соображений применяются катушки более сложной формы — прямоугольные, овальные и др. При малых токах обмотки наматывают

из медного или алюминиевого изолированного провода круглого поперечного сечения. При больших токах применяют провод прямоугольного поперечного сечения, наматываемый в одну или несколько параллелей.

Расположение цилиндрических обмоток показано на рис. 123. Ближе к стержню магнитопровода находится обмотка низшего напряжения *НН*, так как ее легче изолировать от магнитопровода, чем обмотку высшего напряжения *ВН*. Обмотку низшего напряжения изолируют от магнитопровода прокладками, рейками, шайбами и т. д. из какого-либо изоляционного материала (чаще из электрокартона). Обмотку высшего напряжения изолируют так же от обмотки низшего напряжения.

При цилиндрических обмотках попереч-

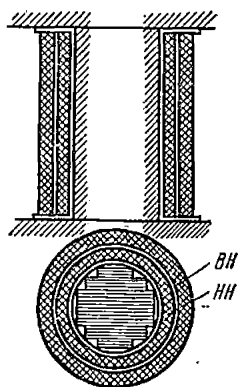


Рис. 123. Схема расположения обмоток на сердечнике мощного трансформатора.

ному сечению магнитопровода желательно придать круглую форму, так как в этом случае в площади, охватываемой обмотками, не останется промежутков, не заполненных сталью. Чем меньше незаполненные промежутки, тем меньше длина витков обмоток и, следовательно, вес обмоточного провода при заданной площади поперечного сечения магнитопровода.

Однако магнитопроводы круглого поперечного сечения не выполняют. Для изготовления магнитопровода круглого сечения его надо собрать из большого числа стальных листов различной ширины, что потребует большого числа штампов. Поэтому в трансформаторах большой мощности магнитопровод имеет ступенчатое поперечное сечение с числом ступеней не более 9—10. Число ступеней сечения сердечника определяется числом углов в одной четверти круга. На рис. 123 показано три ступени поперечного сечения магнитопровода. Для лучшего охлаждения в магнитопроводах мощных трансформаторов устраивают охлаждающие каналы в плоскостях, параллельных и перпендикулярных плоскости стальных листов. Охлаждающие каналы устраивают также и в обмотках.

В трансформаторах малой мощности поперечное сечение магнитопровода имеет прямоугольную форму и обмоткам придают форму прямоугольных катушек. При малых токах радиальные механические усилия, возникающие при работе трансформатора и действующие на обмотки, будут малы, что упрощает процесс изготовления обмоток.

Магнитопроводы трансформаторов собирают встык или внахлест. При сборке встык сначала собирают из отдельных полос или пластин части магнитопровода, а затем из них монтируют магнитопровод. В случае такой сборки просто осуществляются монтаж и демонтаж трансформатора, но в месте стыка необходимо поместить изоляционную прокладку, увеличивающую магнитное сопротивление. При установке ярма его пластины не будут точно совпадать с пластинами стержня, в результате чего пластины ярма и стержня окажутся замкнутыми. Такое замыкание пластин поведет к увеличению вихревых токов, которые могут вызвать недопустимо высокий нагрев стали в месте стыка. Нагрев может стать настолько большим, что стальные пластины сплавятся в сплошную массу («пожар» в стали) и трансформатор выйдет из строя.

При сборке внахлест стальные пластины укладывают так, чтобы у лежащих рядом полос разрезы были в различных точках, и магнитопровод собирают целиком. Такая сборка усложняет монтаж и демонтаж трансформатора, но позволяет значительно уменьшить магнитное сопротивление, так как пластины могут плотно прилегать друг к другу.

В паспорте трансформатора указывается его номинальная мощность P (ва или ква), напряжения U_1 и U_2 (в или кв) и токи I_1 и I_2 (а) первичной и вторичной обмоток при полной (номинальной) нагрузке.

Номинальной мощностью трансформатора называется полная мощность, отдаваемая его вторичной обмоткой при полной (номинальной) нагрузке. Номинальная мощность выражается в единицах полной мощности, т. е. вольт-амперах или киловольт-амперах.

В ваттах и киловаттах измеряется активная мощность трансформатора, т. е. мощность, которая может быть преобразована из электрической энергии в механическую, тепловую, химическую, световую и т. д.

Сечение проводов обмоток и всех частей машины или любого электрического аппарата определяется не активной составляющей тока или активной мощностью, а полным током, протекающим по проводнику, и, следовательно, полной мощностью.

Трансформаторы малой мощности имеют большую удельную поверхность охлаждения, и естественное воздушное охлаждение является для них вполне достаточным. Трансформаторы большой мощности устраивают с масляным охлаждением, для чего помещают их в металлические баки, наполненные минеральным маслом. Наиболее широко распространено естественное охлаждение стенок бака трансформатора. Для увеличения охлаждающей поверхности в стенки баков вваривают стальные трубы или радиаторы.

Масло в баке трансформатора в процессе эксплуатации соприкасается с окружающим воздухом и подвергается окислению, увлажнению и загрязнению, вследствие чего уменьшается его электрическая прочность. Для обеспечения нормальной эксплуатации трансформатора необходимо контролировать температуру масла, наблюдать за ним, производить периодическую сушку и очистку или замену новым.

Изменение температуры трансформатора приводит к изменению уровня масла. В связи с этим баки трансформаторов снабжают расширителями. Расширитель, представляющий собой цилиндрический сосуд из листовой стали, устанавливают над крышкой бака и соединяют с ним патрубком. Объем расширителя составляет 10% объема масла в баке. Уровень масла изменяется только в расширителе. Это позволяет уменьшить поверхность масла, соприкасающуюся с воздухом, и предохранить масло от загрязнения и увлажнения.

§ 64. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА

При всяком изменении магнитного потока, пронизывающего какой-либо виток, в этом витке создается э. д. с., равная по величине и противоположная по знаку изменению магнитного потока во времени.

Таким образом, при изменении магнитного потока, пронизывающего виток, на величину $\Delta\Phi$ в течение времени Δt в этом витке индуцируется э. д. с.

$$e = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Если изменение магнитного потока $\Delta\Phi$ выражено в веберах, а время Δt — в секундах (или в долях секунды), то э. д. с. будет в вольтах.

Знак минус указывает направление индуцированной э. д. с., при котором ток, протекающий в витке под действием э. д. с., возбуждает магнитный поток, препятствующий изменению основного магнитного потока. Например, если основной магнитный поток увеличивается ($\Delta\Phi$ имеет положительное значение), то возникающий под действием э. д. с. e ток в витке создает магнитный поток, направленный встречно основному магнитному потоку. При уменьшении основного магнитного потока ($\Delta\Phi$ имеет отрицательное значение) возникающий под действием э. д. с. e ток в витке создает магнитный поток, совпадающий по направлению с основным магнитным потоком.

Обмотки трансформатора имеют обычно большое число витков. В каждом витке первичной и вторичной обмоток трансформатора индуцируется одинаковая э. д. с., так как все витки обмоток сцеплены с одним и тем же магнитным потоком.

Поскольку витки соединены между собой последовательно, э. д. с. каждой обмотки будет равна сумме э. д. с. всех витков этой обмотки, т. е. произведению числа витков на э. д. с., индуцированную в одном витке.

Если ω_1 — число витков первичной, а ω_2 — число витков вторичной обмотки трансформатора, то э. д. с. первичной и вторичной обмоток соответственно равны:

$$e_1 = -\omega_1 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{и} \quad e_2 = -\omega_2 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Положим, что магнитный поток, возбужденный в сердечнике трансформатора, синусоидально изменяется во времени (рис. 124), т. е.

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t.$$

Практически магнитный поток в сердечнике всегда изменяется во времени синусоидально, если приложенное к первичной обмотке напряжение также синусоидальное. Изменяющийся во времени магнитный поток индуцирует изменяющиеся э. д. с. в первичной и вторичной обмотках трансформатора. Величины индуцируемых э. д. с. становятся тем больше, чем быстрее изменяется магнитный поток в сердечнике.

В промежутке времени от 0 до t_1 магнитный поток увеличивается, т. е. его приращение положительно ($\Delta\Phi > 0$). Следовательно, э. д. с. обмоток отрицательны.

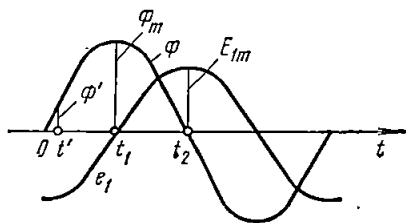


Рис. 124. Изменение во времени магнитного потока в сердечнике и э. д. с. первичной обмотки трансформатора

Наиболее быстрое изменение магнитного потока будет в момент $t=0$; в момент t_1 поток не изменяется. Таким образом, в момент $t=0$ э. д. с. максимальна, а в момент t_1 э. д. с. равна нулю.

В промежутке времени от t_1 до t_2 магнитный поток уменьшается, т. е. его приращение отрицательно ($\Delta\Phi < 0$). Следовательно, э. д. с., индуцируемые в обмотках трансформатора, положительны. Таким образом, можно определить э. д. с. первичной и вторичной обмоток трансформатора в любой момент времени.

На рис. 124 показана также кривая изменения во времени э. д. с. первичной обмотки трансформатора e_1 . Изменение э. д. с. вторичной обмотки e_2 во времени изобразится подобной кривой, но величины э. д. с. первичной и вторичной обмоток в любой момент времени различны, так как числа витков обмоток неодинаковы.

Наибольшее значение э. д. с. e_1 имеет в момент времени $t=t_2$ и т. д. Для определения численного значения э. д. с. выберем момент времени t' так, чтобы отрезок времени Δt от 0 до t' очень мал. В течение выбранного промежутка времени Δt магнитный поток изменяется от 0 до Φ' , т. е.

$$\Delta\Phi = \Phi' = \Phi_m \sin \omega t'.$$

Так как мы выбрали очень малый отрезок времени $\Delta t = t'$ угол $\omega t'$ также очень мал. При малых углах

$$\sin \omega t' \approx \omega t'.$$

Таким образом, наиболее быстрое изменение магнитного потока по времени

$$\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)_m = \frac{\Phi'}{t'} = \frac{\Phi_m \sin \omega t'}{t'} = \frac{\Phi_m \omega t'}{t'} = \Phi_m \omega$$

и наибольшее значение э. д. с. первичной обмотки трансформатора

$$E_{1m} = w_1 \left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)_m = w_1 \Phi_m \omega = 2\pi f w_1 \Phi_m,$$

так как $\omega = 2\pi f$, где f — частота тока сети.

Наибольшее E_{1m} и действующее E_1 значения э. д. с., как известно, находятся в таком соотношении:

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}}.$$

Следовательно, действующее значение э. д. с. первичной обмотки трансформатора

$$E_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} w_1 f \Phi_m = 4,44 w_1 f \Phi_m.$$

Вторичная обмотка трансформатора имеет иное число витков (w_2) и, значит, действующее значение э. д. с. обмотки

$$E_2 = 4,44 w_2 f \Phi_m.$$

В этих формулах магнитный поток выражен в веберах.

Пример 1. Определить числа витков первичной и вторичной обмоток трансформатора w_1 и w_2 , если э. д. с. этих обмоток $E_1=220$ в, $E_2=24$ в, а магнитный поток в сердечнике $\Phi_m=0,00125$ вб.

Решение. Действующие значения э. д. с. первичной и вторичной обмоток трансформатора определяются следующими выражениями:

$$E_1=4,44w_1f\Phi_m \text{ и } E_2=4,44w_2f\Phi_m.$$

Следовательно, число витков первичной обмотки трансформатора

$$w_1=\frac{E_1}{4,44f\Phi_m}=\frac{220}{4,44\cdot 50\cdot 0,00125}=800,$$

а число витков вторичной обмотки трансформатора

$$w_2=\frac{E_2}{4,44f\Phi_m}=\frac{24}{4,44\cdot 50\cdot 0,00125}=87.$$

Пример 2. В магнитопроводе трансформатора, включенного в сеть переменного тока с частотой $f=50$ гц, возбужден магнитный поток $\Phi=0,001$ вб. Определить э. д. с. первичной и вторичной обмоток трансформатора, если числа их витков равны: $w_1=572$ и $w_2=108$.

Решение. Действующее значение э. д. с. первичной обмотки

$$E_1=4,44w_1f\Phi_m=4,44\cdot 572\cdot 50\cdot 0,001=127 \text{ в.}$$

Действующее значение э. д. с. вторичной обмотки

$$E_2=4,44w_2f\Phi_m=4,44\cdot 108\cdot 50\cdot 0,001=24 \text{ в.}$$

§ 65. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ТРАНСФОРМАТОРА

Положим, что первичная обмотка трансформатора включена в сеть переменного тока (рис. 125). Переменный ток, протекая по первичной обмотке, возбуждает в сердечнике трансформатора переменный магнитный поток Φ_0 , который, пронизывая витки первичной и вторичной обмоток, индуцирует в них э. д. с. Действующие значения этих э. д. с., как известно, определяются следующими формулами:

$$E_1=4,44w_1f\Phi_m \text{ в;}$$

$$E_2=4,44w_2f\Phi_m \text{ в.}$$

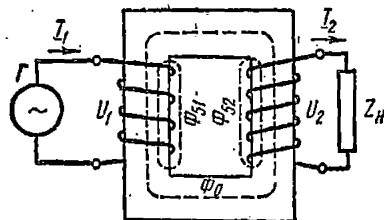


Рис. 125. Схема работы трансформатора

В обмотках трансформаторов падения напряжения очень малы и можно считать, что напряжение первичной обмотки U_1 равно э. д. с. этой обмотки E_1 , а напряжение вторичной обмотки U_2 равно э. д. с. этой обмотки E_2 , т. е.

$$U_1=E_1 \text{ и } U_2=E_2.$$

Отношение напряжений на зажимах первичной и вторичной обмоток трансформатора при холостом ходе (без нагрузки) называется коэффициентом трансформации и обозначается буквой k

т. е.

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4,44\omega_1 f \Phi_m}{4,44\omega_2 f \Phi_m} = \frac{\omega_1}{\omega_2}.$$

Таким образом, если изготовить трансформатор, первичная и вторичная обмотки которого имеют различное число витков, то при включении первичной обмотки в сеть переменного тока с напряжением U_1 на зажимах вторичной обмотки возникает напряжение U_2 , не равное напряжению U_1 . В том случае когда число витков вторичной обмотки меньше числа витков первичной, напряжение на зажимах вторичной обмотки в той же мере меньше напряжения первичной обмотки и трансформатор является понижающим. Если же число витков вторичной обмотки больше числа витков первичной, то и напряжение вторичной обмотки больше напряжения первичной и трансформатор является повышающим.

Итак:

$$U_2 = \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot U_1 = \frac{1}{K} \cdot U_1.$$

Если, например, первичная обмотка трансформатора с числом витков $\omega_1 = 660$ включена в сеть с напряжением $U_1 = 220$ в, то напряжение на зажимах вторичной обмотки с числом витков $\omega_2 = 36$ найдем из соотношения

$$U_2 = \frac{36}{660} \cdot 220 = 12 \text{ в.}$$

В том случае если вторичную обмотку трансформатора замкнуть на какой-либо приемник электрической энергии (на схеме, показанной на рис. 125, — Z_n), во вторичной цепи будет протекать ток I_2 , а в первичной обмотке ток I_1 , который может быть представлен геометрической суммой векторов тока холостого хода и нагрузочного тока.

Первичная и вторичная обмотки трансформатора электрически не соединены. Однако надо иметь в виду, что вследствие магнитной связи между этими обмотками изменение тока I_2 во вторичной обмотке будет вызывать соответствующее изменение тока I_1 в первичной обмотке. Если увеличится ток во вторичной обмотке, то увеличится ток и в первичной обмотке. Наоборот, при уменьшении тока во вторичной обмотке уменьшится ток и в первичной обмотке. Если разомкнуть вторичную обмотку, ток в ней станет равным нулю, а в первичной обмотке уменьшится до малой величины. Ток I_0 , протекающий по первичной обмотке трансформатора при разомкнутой вторичной цепи, называется током холостого хода, который значительно меньше номинального тока трансформатора.

По первичной и вторичной обмоткам при нагрузке протекают численно неравные токи. Если пренебречь потерями мощности в трансформаторе, то можно записать, что мощность $U_2 I_2$, отдаваемая трансформатором приемнику энергии, равна мощности $U_1 I_1$, потребляемой им из сети источника энергии, т. е.

$$U_2 I_2 = U_1 I_1,$$

откуда

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad \text{и} \quad I_2 = KI_1.$$

Пренебрегая падением напряжения в сопротивлениях первичной обмотки трансформатора, можно допустить, как это было показано выше, при любой его нагрузке приближенное равенство абсолютных величин приложенного напряжения U_1 и уравнивающей это напряжение э. д. с. первичной обмотки, т. е. $U_1 = E_1$.

На основании данного равенства можно сказать, что при неизменном по величине приложенном напряжении U_1 будет приблизительно неизменной э. д. с. E_1 , индуцируемая в первичной обмотке трансформатора при любой его нагрузке. А так как э. д. с. E_1 зависит от магнитного потока Φ_m , то и магнитный поток в магнитопроводе трансформатора при любом изменении нагрузки будет приблизительно постоянным.

Таким образом, при неизменном приложенном напряжении амплитуда магнитного потока в сердечнике трансформатора будет практически постоянной при любом изменении нагрузки.

Ток I_2 , протекающий по вторичной обмотке при нагрузке трансформатора, создаст свой магнитный поток, который, согласно закону Ленца, будет направлен встречно магнитному потоку в сердечнике и будет стремиться его уменьшить. Чтобы результирующий магнитный поток в сердечнике остался неизменным, встречный магнитный поток вторичной обмотки должен быть уравновешен магнитным потоком первичной обмотки.

Следовательно, при увеличении тока вторичной обмотки I_2 возрастает размагничивающий магнитный поток этой обмотки и одновременно увеличиваются как ток первичной обмотки I_1 , так и магнитный поток, создаваемый этим током. Поскольку магнитный поток первичной обмотки уравнивает размагничивающий поток вторичной обмотки, то результирующий магнитный поток в сердечнике имеет неизменное значение.

В понижающем трансформаторе напряжение первичной обмотки U_1 больше напряжения вторичной обмотки U_2 в K раз, следовательно, и сила тока вторичной обмотки I_2 больше силы тока первичной обмотки I_1 также в K раз. В повышающем трансформаторе обратное соотношение между напряжениями обмоток и между силами токов в них.

Если, например, мы включим на полную нагрузку трансформатор, напряжения первичной и вторичной обмоток которого соответственно равны 220 и 24 в, то при номинальной силе тока первичной обмотки 0,3 а ток во вторичной обмотке будет

$$I_2 = 0,3 \frac{220}{24} = 2,75 \text{ а.}$$

Очень часто нагрузка требует несколько различных напряжений. Чтобы не устанавливать отдельный трансформатор на каждое рабочее напряжение, целесообразно на одном трансформаторе выполнить несколько вторичных обмоток (рис. 126, а) с различным

числом витков. Такие трансформаторы, называемые многообмоточными, широко применяются в радиоприемниках, телевизорах, усилителях и другой аппаратуре, требующей для питания несколько переменных напряжений различной величины. Напряжение в каждой обмотке определяется числом ее витков, т. е.

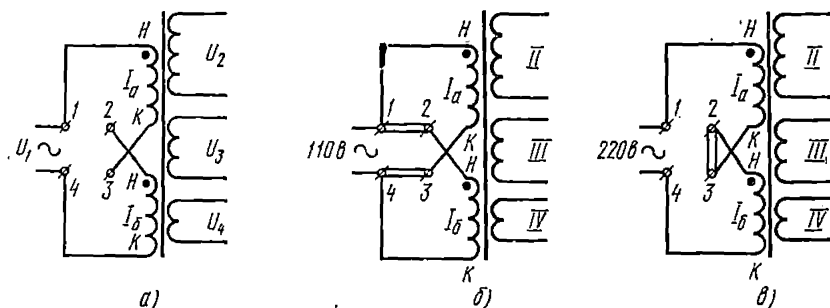


Рис. 126. Многообмоточный трансформатор:
а — схема, б — включение первичной обмотки в сеть с напряжением 110 в, в — включение первичной обмотки в сеть с напряжением 220 в

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{U_2}{U_1}; \quad \frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{U_3}{U_1}; \quad \frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{U_4}{U_1} \text{ и т. д.}$$

Ток в первичной обмотке равен суммарному току всех вторичных обмоток:

$$I_1 = I_2 \frac{U_2}{U_1} + I_3 \frac{U_3}{U_1} + I_4 \frac{U_4}{U_1} + \dots$$

Изменение тока в любой вторичной обмотке вызывает соответствующее изменение тока первичной обмотки. При этом происходит некоторое изменение напряжения всех вторичных обмоток трансформатора, т. е. напряжение любой вторичной обмотки зависит от тока как в этой обмотке, так и в любой другой вторичной обмотке трансформатора.

Для включения трансформатора в сеть переменного тока с различными номинальными напряжениями первичную обмотку составляют из двух секций. Если э. д. с. каждой секции 110 в, то при напряжении сети 110 в секции включают параллельно (рис. 126, б), а при напряжении сети 220 в — последовательно (рис. 126, в).

При параллельном включении секций в одной точке соединяют начала секций, а в другой — концы их. При последовательном включении конец секции а соединяют с началом секции б.

Для включения трансформатора в сеть с напряжением 127 в необходима третья секция обмотки, включаемая последовательно с параллельно соединенными секциями а и б. При этом третья секция имеет меньшее число витков из провода, поперечное сечение которого рассчитано на суммарный ток секций а и б.

Неправильное (встречное) включение обмоток трансформатора равносильно короткому замыканию, так как магнитные потоки, создаваемые обеими обмотками, будут иметь противоположные направления и взаимно уничтожаться. В этом случае индуктивное сопротивление первичных обмоток становится равным нулю, а ток в цепи резко возрастает.

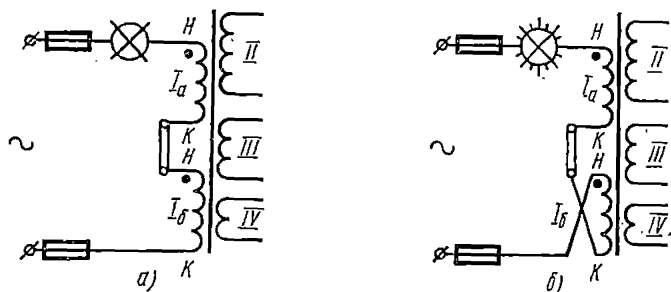


Рис. 127. Определение правильности соединения секций первичной обмотки:
а — правильно, б — неправильно

Проверять правильность соединения обмоток силового трансформатора удобно с помощью контрольной лампы. Контрольную лампу включают последовательно с первичными обмотками трансформатора (рис. 127, а). В зависимости от напряжения сети секции первичной обмотки соединяют одну с другой параллельно или последовательно. После этого выводы одной из секций меняют местами (рис. 127, б). Правильное соединение секций первичной обмотки соответствует минимальному току в цепи и, следовательно, минимальному накалу контрольной лампы.

§ 66. РЕГУЛИРОВКА НАПЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

Поскольку напряжения обмоток трансформатора пропорциональны числам витков, то при изменении последних будет меняться и напряжение. Поэтому, когда нагрузка требует регулировки напряжения, необходимо просто изменить число витков одной из обмоток (обычно первичной). Если от первичной обмотки сделать несколько отводов (рис. 128, а), то при различных положениях переключателя число витков первичной обмотки будет различно и трансформатор будет иметь переменный коэффициент трансформации. Изменение числа витков первичной обмотки дает возможность обеспечить постоянство вторичного напряжения при колебаниях напряжения питающей сети.

Если вторичная обмотка трансформатора имеет 100 витков, то при положении переключателя на контакте 3 коэффициент транс-

формации будет равен единице, так как число витков первичной обмотки равно числу витков вторичной обмотки. Поэтому напряжение вторичной обмотки будет равно напряжению питающей сети. При уменьшении числа витков первичной обмотки (контакты 2 и 1) трансформатор становится повышающим и напряжение вторичной обмотки будет больше напряжения питающей сети. Увеличение числа витков первичной обмотки понизит напряжение вторичной обмотки.

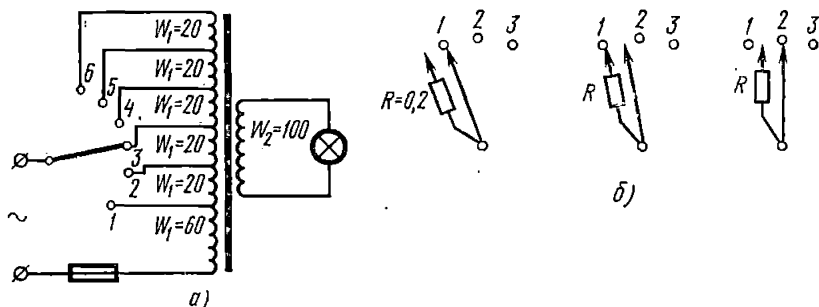


Рис. 128. Трансформатор с регулировкой напряжения
а — принципиальная схема, б — схема переключателя с разрезным ползунком

Следует иметь в виду, что изменение числа витков первичной обмотки при постоянном напряжении питающей сети вызывает изменение амплитуды магнитного потока в сердечнике и потери в стали магнитопровода не остаются постоянными.

Недостатком этого способа регулировки напряжения является ступенчатое, а не равномерное его изменение и необходимость отключения регулируемого трансформатора от сети, так как при переводе переключателя с одного контакта на другой происходит разрыв цепи. В трансформаторах с масляным охлаждением электрическая дуга, возникающая при разрыве цепи, может вызвать аварию (воспламенение масла). Регулировка напряжения без разрыва цепи тока приведет к тому, что часть витков при переключении окажется замкнутой накоротко и выйдет из строя под действием очень больших токов короткого замыкания. В некоторых случаях мощные трансформаторы с регулируемым напряжением снабжаются специальными контакторными переключателями, позволяющими производить регулировку без разрыва цепи тока. Серия таких трансформаторов обозначается РПН (с регулировкой под нагрузкой).

В трансформаторах любой мощности с воздушным охлаждением разрыв цепи тока не вызывает аварии. Поэтому можно регулировать напряжение, не отключая трансформатор от сети, но цепь питания будет разрываться в те моменты, когда переключатель находится между контактами, что нарушит нормальную работу аппаратуры.

Если в качестве потребителя во вторичную цепь включить звуковоспроизводящее устройство (радиоприемник, усилитель, телевизор), то при регулировке напряжения в громкоговорителе будут прослушиваться щелчки. Для устранения этого дефекта в современной аппаратуре применяют переключатели с разрезным ползунком (рис. 128, б). Переключатель с разрезным ползунком состоит из двух механически объединенных ползунков: основного и вспомогательного. Вспомогательный ползунок соединяется с основным через проволочный резистор R с сопротивлением 0,1—0,3 *ома*. Ширину ползунков и расстояние между контактами выбирают с таким расчетом, чтобы первичная цепь при переключениях не разрывалась.

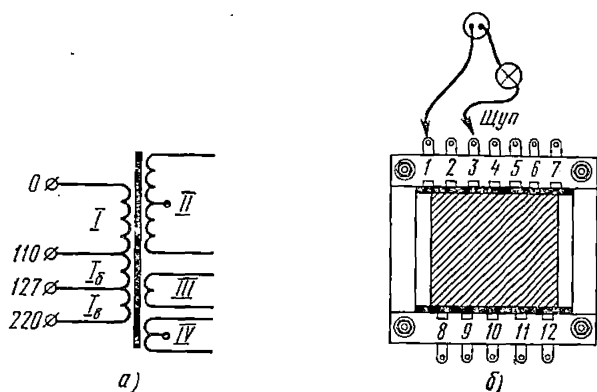


Рис. 129. Принципиальная схема многообмоточного трансформатора (а) и определение обмоток с помощью контрольной лампы (б)

Проволочный резистор в цепи вспомогательного ползунка устраняет короткое замыкание между витками трансформатора в те моменты времени, когда основной и вспомогательный ползунки находятся на соседних контактах. При эксплуатации переключателя с разрезным ползунком нельзя длительно задерживать переключатель в промежуточном положении (между контактами), так как в этом случае проволочный резистор в цепи вспомогательного ползунка сгорит и дальнейшая регулировка напряжения будет производиться с разрывом в цепи питания.

Большинство маломощных силовых трансформаторов, применяемых в радиоприемниках и усилителях звукового кино, имеют первичную I , повышающую II и две понижающие обмотки III и IV (рис. 129, а). Первичная обмотка рассчитывается на 110, 127 или 220 в. Сопротивление первичной обмотки постоянному току колеблется в пределах 10—30 *ом*. Повышающая обмотка развивает напряжение 300—600 в и обычно имеет вывод средней точки. Сопротивление повышающей обмотки постоянному току 100—300 *ом*.

Понижающие обмотки (*III* и *IV*) рассчитываются на 5 и 6,3 в, причем обмотка на 6,3 в имеет вывод средней точки. Сопротивление этих обмоток постоянному току очень мало.

Определить выводы и наименование обмоток можно омметром любого типа путем измерения сопротивлений обмоток. Если учесть, что обмотки трансформатора имеют неодинаковое количество выводов и разные индуктивные сопротивления, то наименование обмоток можно определить с помощью контрольной лампы (рис. 129, б).

Один провод питающей сети подключают к любому выводу трансформатора, а щупом контрольной лампы по очереди дотрагиваются до всех остальных контактов. Предположим, что лампа будет гореть с недокалом на контактах 2, 3 и 4. Очевидно, что контакты 1, 2, 3 и 4 являются выводами секций первичной обмотки. Затем провод сети подключают к выводу любой другой обмотки, обращая внимание на накал лампы и количество электрически соединенных выводов. При этом необходимо иметь в виду следующее:

в связи с большим индуктивным сопротивлением повышающей обмотки контрольная лампа, включенная последовательно с этой обмоткой, может не гореть, но при подключении щупа к ее выводам будет наблюдаться искрение;

отводы от средних точек на расширочных панелях располагают между начальным и конечным выводами соответствующих обмоток;

при включении контрольной лампы последовательно с понижающими обмотками лампа будет гореть практически полным накалом.

В последнем случае наименование обмоток определяют по количеству выводов (обмотка *III* может иметь три вывода, а обмотка *IV* — только два).

§ 67. ТРЕХФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Трехфазные трансформаторы изготавливаются главным образом стержневыми. Три одинаковых однофазных трансформатора (рис. 130) выполнены так, что их первичные и вторичные обмотки размещены на одном стержне сердечника, а другой стержень магнитопровода каждого трансформатора не имеет обмотки. Если трансформаторы расположить так, чтобы стержни, не имеющие обмоток, находились рядом, то эти три стержня можно объединить в один (рис. 130, б). Через объединенный стержень 0 будут замыкаться магнитные потоки трех однофазных трансформаторов, которые равны по величине и сдвинуты по фазе на $1/3$ периода. Так как сумма трех равных по амплитуде и сдвинутых по фазе на $1/3$ периода магнитных потоков равна нулю в любой момент времени ($\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = 0$), то в объединенном стержне магнитного потока

и надобность в этом стержне отпадает. Таким образом, для магнитопровода трехфазного трансформатора достаточно иметь три стержня, которые по конструктивным соображениям расположены в одной плоскости, как показано на рис. 130, а. На каждом стержне трехфазного трансформатора размещаются обмотки высшего и низшего напряжения одной фазы. Стержни сверху и снизу соединены друг с другом ярмом. Длина магнитных линий потока каждого стержня меньше, чем крайних, так как магнитный поток каждого стержня встречает на своем пути меньшее магнитное сопротивление, чем магнитные потоки крайних стержней. Поэтому в центре, обмотка которой помещена на среднем стержне, протекает наибольший намагничивающий ток, чем в фазах, обмотки которых расположены на крайних стержнях.

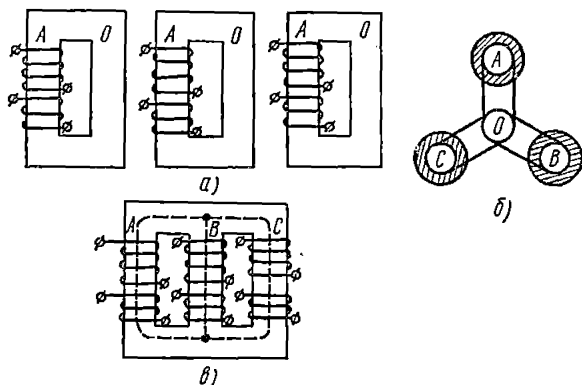


Рис. 130. Схема получения трехфазного трансформатора

а — три однофазных трансформатора, б — стержни трех однофазных трансформаторов, объединенные в один магнитопровод, в — трехфазный стержневой трансформатор

Конструктивно обмотки трехфазных трансформаторов выполняют так же, как и однофазных.

Начала фаз обмоток высшего напряжения обозначают заглавными буквами *A*, *B* и *C*, концы фаз — буквами *X*, *Y* и *Z*. Если обмотка высшего напряжения имеет выведенную нулевую точку, то этот зажим обозначают цифрой 0.

Зажимы обмоток низшего напряжения обозначают строчными буквами: *a*, *b*, *c* — начала фаз; *x*, *y*, *z* — концы фаз; 0 — вывод нулевой точки.

Обмотки трехфазных трансформаторов могут быть соединены в звезду и треугольник. При соединении обмоток в звезду концы (или начала) всех трех фаз соединяют друг с другом так, чтобы образовалась нейтральная, или нулевая, точка, а начала (или концы) подключают к трем проводам сети источника (или приемника) электрической энергии переменного тока.

При соединении обмоток в треугольник начало первой фазы соединяют с концом второй, начало второй фазы — с концом третьей, начало третьей фазы — с концом первой. Точки соединения начала одной фазы с концом другой подключают к проводам трехфазной сети переменного тока.

Соединение обмоток трехфазных трансформаторов в звезду обозначается Y , а в треугольник Δ . Если обмотки соединены в звезду и имеют выведенную нулевую точку, такое соединение обозначается $Y/$.

Группы трехфазных трансформаторов обозначают так:

$$Y/ \text{ — } 0; \quad Y/\Delta \text{ — } 11 \text{ и т. д.}$$

Знак над чертой показывает схему соединения обмоток высшего напряжения, знак под чертой — схему соединения обмоток низшего напряжения, цифра — угол между векторами линейных э. д. с. обмоток высшего и низшего напряжения, выраженный числом угловых единиц по 30° .

Так, первое обозначение группы показывает, что обмотки высшего и низшего напряжения соединены в звезду, причем обмотки низшего напряжения имеют выведенную нулевую точку, а угол между векторами линейных э. д. с. обмоток высшего и низшего напряжения равен $12 \times 30^\circ = 360^\circ$ или 0° .

Группы трехфазных трансформаторов зависят от схем соединения обмоток, обозначения зажимов фаз обмоток высшего и низшего напряжения и от направления намоток. Если направление намоток обмоток высшего и низшего напряжения одинаково, то э. д. с., индуцируемые в фазах обмоток высшего и низшего напряжения, совпадают по фазе; если же обмотки имеют встречное направление намотки, то э. д. с. фаз высшего и низшего напряжения находятся в противофазе.

В СССР стандартными группами являются следующие:

$$Y/ \text{ — } 0; \quad Y/\Delta \text{ — } 11 \quad \text{и} \quad \Delta/\Delta \text{ — } 11.$$

Как видно, в стандартных схемах обмотки высшего напряжения соединены в звезду, поскольку при таких схемах фазное напряжение в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного, благодаря чему упрощается изоляция обмоток. Обмотки низшего напряжения чаще всего соединяют в треугольник, так как при этом трансформатор менее чувствителен к несимметрии нагрузки фаз. Обмотки низшего напряжения можно соединять и по схеме звезда с нулем, потому что при такой схеме можно в четырехпроводной сети получить два различных напряжения — линейное и фазное (например, 127 и 220 в, 220 и 380 в и т. д.).

В конструктивном отношении автотрансформатор подобен трансформатору: на стальном магнитопроводе помещаются две обмотки, выполненные из проводников различного поперечного сечения. Конец одной обмотки электрически соединяется с началом другой так, что две последовательно соединенные обмотки образуют общую обмотку высшего напряжения. Обмоткой низшего напряжения, являющейся частью обмотки высшего напряжения, служит одна из двух обмоток автотрансформатора. Таким образом, между обмотками высшего и низшего напряжения автотрансформатора имеется не только магнитная, но и электрическая связь.

Принципиальная схема понижающего автотрансформатора показана на рис. 131.

Первичное напряжение подведено к зажимам $A-X$ первичной обмотки с числом витков w_1 . Вторичной обмоткой является часть первичной $a-X$ с числом витков w_2 .

При холостом ходе $I_2=0$. Пренебрегая падением напряжения в сопротивлениях первичной обмотки, можем записать уравнения равновесия э. д. с. для первичной и вторичной обмоток в следующем виде:

$$U_1 = E_1 = 4,44w_1f\Phi; \quad U_2 = E_2 = 4,44w_2f\Phi.$$

Отношение напряжений первичной и вторичной обмоток при холостом ходе называется коэффициентом трансформации автотрансформатора, т. е.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = K.$$

Если вторичную обмотку автотрансформатора замкнуть на какой-либо приемник энергии, то во вторичной цепи будет протекать ток I_2 . Пренебрегая потерями энергии, мощность, потребляемую автотрансформатором из сети, можно принять равной мощности, отдаваемой во вторичную сеть, т. е.

$$P = U_1 I_1 = U_2 I_2,$$

откуда

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{K}.$$

Таким образом, основные соотношения трансформатора остаются без изменения в автотрансформаторе.

В общей части обмотки $a-X$, принадлежащей сети высшего и низшего напряжения, протекают токи I_1 и I_2 , причем эти токи направлены встречно. Если пренебречь током холостого хода, то можно считать, что токи I_1 и I_2 сдвинуты по фазе на 180° и сила тока I_{12} в части обмотки $a-X$ равна арифметической разности

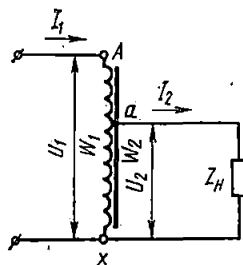


Рис. 131. Принципиальная схема понижающего автотрансформатора

сил токов вторичной и первичной сетей, т. е.

$$I_{12} = I_2 - I_1 = I_2 \left(1 - \frac{1}{K} \right).$$

В понижающем автотрансформаторе ток I_{12} совпадает по направлению с током I_2 , а в повышающем — направлен противоположно току I_2 .

Преимуществом автотрансформатора перед трансформатором той же полезной мощности является меньший расход активных материалов — обмоточного провода и стали, меньшие потери энергии, более высокий к. п. д., меньшее изменение напряжения при изменениях нагрузки.

Вес провода обмоток автотрансформатора примерно в $\frac{K}{K-1}$ раз меньше веса провода обмоток трансформатора при одинаковых плотностях тока. Это объясняется тем, что у трансформатора на сердечнике имеются две обмотки — первичная с числом витков ω_1 , поперечное сечение провода которой рассчитано на силу тока I_1 , и вторичная с числом витков ω_2 , поперечное сечение провода которой рассчитано на силу тока I_2 . У автотрансформатора также две обмотки, но одна из них (часть $A-a$) с числом витков $\omega_1 - \omega_2$ из провода, поперечное сечение которого рассчитано на силу тока I_1 , а другая (часть $a-X$) — с числом витков ω_2 из провода, поперечное сечение которого рассчитано на разность сил токов $I_2 - I_1 = I_{12}$.

Поперечное сечение и вес стали магнитопровода автотрансформатора также меньше сечения и веса стали магнитопровода трансформатора. Это объясняется тем, что в трансформаторе энергия из первичной сети во вторичную передается магнитным путем вследствие электромагнитной связи между обмотками. В автотрансформаторе энергия из первичной сети во вторичную частично передается благодаря электрическому соединению первичной и вторичной сетей, т. е. электрическим путем ($P_{эл}$). Так как в процессе передачи этой энергии магнитный поток не участвует, у автотрансформатора электромагнитная мощность меньше, чем у трансформатора.

Полезная мощность автотрансформатора при активной нагрузке равна:

$$P_2 = U_2 I_2.$$

Имея в виду, что $I_2 = I_1 + I_{12}$, получим:

$$P_2 = U_2 I_1 + U_2 I_{12} = P_{эл} + P_m,$$

где P_m — электромагнитная мощность автотрансформатора, определяющая необходимый магнитный поток, поперечное сечение и вес стали магнитопровода. Эта мощность является расчетной или габаритной мощностью автотрансформатора.

Наряду с преимуществами перед трансформаторами автотрансформаторы имеют и существенные недостатки. У автотрансфор-

маторов малое сопротивление короткого замыкания, что обуславливает большую кратность тока короткого замыкания. Недостатком автотрансформатора является также возможность попадания высшего напряжения в сеть низшего напряжения из-за электрической связи между этими сетями. Наличие электрической связи между сетью источника и сетью приемника энергии делает невозможным применение автотрансформатора в случае, когда приемник энергии имеет заземленный полюс (в выпрямительных устройствах).

Достоинства автотрансформаторов будут выражены тем сильнее, чем ближе к единице коэффициент трансформации. Поэтому автотрансформаторы применяют при относительно небольших коэффициентах трансформации.

В трёхфазных сетях используют трехфазные автотрансформаторы, обмотки которых обычно соединяют в звезду.

§ 69. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Измерительные трансформаторы делятся на трансформаторы напряжения и трансформаторы тока. Их применяют в цепях переменного тока для расширения пределов измерения измерительных приборов и для изоляции этих приборов от токоведущих частей, находящихся под высоким напряжением.

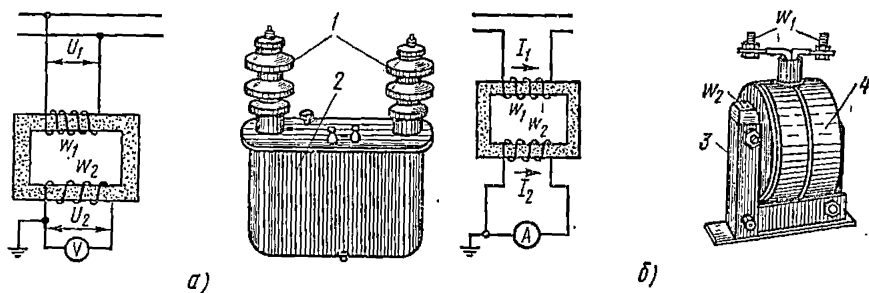


Рис. 132. Измерительные трансформаторы:

а — напряжения, б — тока; 1 — выводы, 2 — бак, 3 — сердечник, 4 — первичная обмотка

Трансформаторы напряжения (рис. 132, а) конструктивно представляют собой обычные трансформаторы малой мощности. Первичную обмотку трансформатора подключают к двум линейным проводам сети, напряжение которой измеряется или контролируется; во вторичную обмотку включают вольтметр или параллельную обмотку ваттметра, счетчика и т. п. Коэффициент трансформации трансформатора напряжения выбирают так, чтобы при

номинальном напряжении сети напряжение вторичной обмотки было 100 в.

Режим работы трансформатора напряжения подобен режиму холостого хода обычного силового трансформатора, так как сопротивление вольтметра или параллельной обмотки ваттметра, счетчика и т. п. велико и током во вторичной обмотке можно пренебречь.

Включение во вторичную обмотку большого числа измерительных приборов нежелательно. Если параллельно вольтметру, включенному во вторичную обмотку трансформатора, подключить еще один вольтметр или параллельную обмотку ваттметра, счетчика и т. п., то ток во вторичной обмотке трансформатора увеличится, что вызовет падение напряжения на зажимах вторичной обмотки и снижение точности показаний приборов.

Трансформаторы тока служат для преобразования переменного тока большой величины в ток меньшего значения и изготавливаются таким образом, чтобы при номинальной силе тока первичной цепи во вторичной обмотке сила тока была 5 а.

Первичная обмотка трансформатора тока (рис. 132, б) включается в разрез линейного провода (последовательно с нагрузкой), сила тока в котором измеряется; вторичная обмотка замкнута на амперметр или на последовательную обмотку ваттметра, счетчика и т. п., т. е. на измерительный прибор с малым сопротивлением.

Режим работы трансформатора тока существенно отличается от режима работы обычного трансформатора. В обычном трансформаторе при изменении нагрузки магнитный поток в сердечнике считается неизменным, если неизменно приложенное напряжение.

Если в обычном трансформаторе уменьшить нагрузку, т. е. силу тока во вторичной обмотке, то и в первичной обмотке сила тока уменьшится, а если вторичную обмотку разомкнуть, то сила тока в первичной обмотке уменьшится до тока холостого хода I_0 .

При работе трансформатора тока его вторичная обмотка замкнута на измерительный прибор с малым сопротивлением и режим работы трансформатора близок к короткому замыканию. Поэтому магнитный поток в магнитопроводе трансформатора мал.

Если разомкнуть вторичную обмотку трансформатора тока, то тока в этой обмотке не будет, тогда как в первичной обмотке сила тока остается неизменной, а не уменьшится, как это было бы в обычном трансформаторе.

Таким образом, при разомкнутой вторичной обмотке трансформатора тока магнитный поток в магнитопроводе, возбужденный током первичной обмотки и не встречающий размагничивающего действия тока вторичной обмотки, сильно возрастает и, следовательно, во вторичной обмотке, имеющей большое число витков, возникнет высокое напряжение, опасное для целостности изоляции вторичной обмотки и для обслуживания трансформатора. Поэтому при выключении измерительных приборов из вторичной обмотки

трансформатора тока данную обмотку необходимо замкнуть накоротко.

Включение большого числа измерительных приборов во вторичную обмотку трансформатора тока снижает точность измерения.

Конструкции трансформаторов тока в зависимости от назначения чрезвычайно разнообразны и делятся на стационарные и переносные.

При работе измерительных трансформаторов напряжения и тока возможен пробой изоляции их первичных обмоток и, как следствие, электрическое соединение первичной обмотки с сердечником или со вторичной обмоткой.

Для безопасности обслуживания сердечники и вторичные обмотки измерительных трансформаторов заземляют.

§ 70. АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА КИНОУСТАНОВКАХ

Регулировочные киноавтотрансформаторы (КАТ) предназначены для питания передвижной киноаппаратуры от сети переменного тока.

Автотрансформаторы (рис. 133) имеют два входа (на 127 и 220 в) и несколько выходов: выход на 110 в предназначен для питания электродвигателя и усилителя; выход на 30 в (или 34 в) — для питания проекционной лампы КЗ0-400, а выход 5 в — для аварийного питания читающей лампы К-29 переменным током.

Регулятор напряжения с разрезным ползунком и вольтметр позволяют поддерживать на потребителях номинальное напряжение питания при колебаниях напряжения питающей сети. При любом напряжении питающей сети (127 или 220 в) с помощью регулятора напряжения по вольтметру необходимо поддерживать 110 в (середина красного сектора шкалы).

Защита автотрансформаторов от последствий короткого замыкания и перегрузки обеспечивается десятиамперными плавкими предохранителями, включенными в цепь питания.

Существует большое количество промышленных регулировочных автотрансформаторов, но наиболее широко применяются КАТ-14; КАТ-15 и КАТ-16, которые имеют практически одинаковые электрические схемы, отличающиеся одна от другой небольшими конструктивными изменениями.

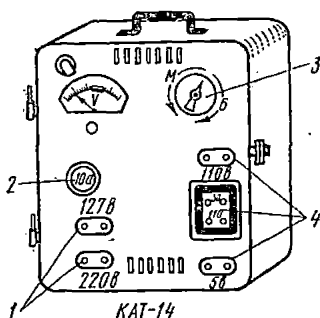


Рис. 133. Киноавтотрансформатор КАТ-14:

1 — входные панели, 2 — предохранитель, 3 — регулятор напряжения, 4 — выходные панели

Автотрансформатор КАТ-14 имеет три выходных напряжения: 110, 30 и 5 в. Гнезда 110 и 30 в конструктивно объединены и соединяются с проектором при помощи специального шланга с комбинированной колодкой. Такая конструкция предохраняет проекционную лампу от ошибочного включения в гнездо с номинальным напряжением 110 в.

Регулятор напряжения на 13 положений позволяет осуществлять 12 ступеней регулировки. Напряжение между каждой парой соседних контактов составляет 5 в. При необходимости с контактов панели управления можно снять любое напряжение от 5 до 60 в ступенями через 5 в. Перед включением трансформатора в сеть регулятор напряжения ставят в крайнее левое положение. Если напряжение сети неизвестно, питание подводят на вход 220 в и регулятором напряжения устанавливают по вольтметру 110 в. Когда необходимое выходное напряжение установить не удастся, регулятор напряжения возвращают в левое положение и напряжение подводят на вход 127 в.

Как показала практика эксплуатации, в конструкции автотрансформатора КАТ-14 имеются некоторые недостатки: плохое качество контактов в колодке питания, частое перегорание резистора в цепи разрезного ползунка, невозможность повышения напряжения питания проекционной лампы, что бывает необходимо для увеличения освещенности экрана при демонстрации цветных и плотных фильмокопий. При задержке переключателя с разрезным ползунком между контактами перегорает проволочный резистор и последующая регулировка напряжения будет происходить с разрывом в цепи питания. В результате этого контакты переключателя перегреваются, обгорают, изоляция вокруг контактов облывается и переключатель выходит из строя.

Автотрансформатор КАТ-15 выпущен взамен автотрансформатора КАТ-14 в целях устранения технологических и эксплуатационных недостатков последнего: автотрансформатор КАТ-15 имеет две панели для включения комбинированного шланга. К гнездам одной из них от обмоток автотрансформатора подводятся напряжения 110 и 31,5 в, а к гнездам другой — напряжения 110 и 34,5 в. Если учесть, что падение напряжения на переходных сопротивлениях разъемов и в проводах составляет примерно 1,5 в, то фактическое напряжение, подводимое к проекционной лампе, будет 30 в (нормальный режим) или 33 в (форсированный режим). Форсированный режим увеличивает яркость лампы на 30%, но сокращает срок ее службы до 19 ч.

Переключать комбинированный шланг рекомендуется при обесточенном автотрансформаторе или отключенной нагрузке.

Для улучшения качества электрических контактов в колодках автотрансформатора применены пружинные гнезда и увеличен диаметр штырьков во входных панелях. Шкала вольтметра освещается лампой 6,3 в, 0,28 а, размещенной под защитным колпачком на лицевой панели (в первых выпусках КАТ-15 эта лампа

уствовала). Для повышения эксплуатационной надежности улятора напряжения применена пружинная связь между руч-
й переключателя и разрезным ползунком. Такая конструкция
ключает возможность остановки ползунка в промежуточном
положении (между контактами).

Автотрансформатор КАТ-16 является последующей модерниза-
цией автотрансформатора КАТ-15. Применение стали повышен-
ного качества позволило несколько уменьшить сечение сердечника,
следовательно, габариты и вес автотрансформатора. Кроме того,
менена конструкция входной панели, а вместо пробкового уста-
влен малогабаритный трубчатый предохранитель. Конструкция
ржателя обеспечивает хорошее качество контактов и возмож-
ность быстрой замены плавкой вставки предохранителя.

Автотрансформаторы рассчитаны на работу в течение 4 ч
15-минутным перерывом через 2 ч работы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое трансформатор и каково его назначение?
2. Объясните устройство трансформатора.
3. От чего зависит э. д. с. обмотки трансформатора?
4. Что называется коэффициентом трансформации?
5. Поясните принцип регулировки вторичного напряжения трансформатора
«менением числа витков первичной обмотки.
6. Объясните устройство трехфазного трансформатора.
7. Чем отличается автотрансформатор от трансформатора?
8. Объясните назначение измерительных трансформаторов.
9. Для чего используются выходные напряжения в автотрансформаторах
АТ-14 и КАТ-16?
10. Каким образом регулируется напряжение в автотрансформаторах КАТ-14
КАТ-16?

§ 71. НАЗНАЧЕНИЕ, ТИПЫ И ПРИНЦИП
ДЕЙСТВИЯ

Одним из основных условий высокого качества звуковоспроизведения является постоянство числа оборотов электродвигателя кинопроектора, что может обеспечить асинхронный двигатель.

Асинхронным называется двигатель, в котором скорость вращения ротора меньше скорости вращающегося магнитного поля. Асинхронные двигатели просты по конструкции, имеют сравнительно высокий к. п. д. и жесткую скоростную характеристику (небольшие изменения числа оборотов при изменении механической нагрузки и напряжения сети). Кроме того, отсутствие (в двигателях с короткозамкнутым ротором) трущихся электрических контактов значительно увеличивает их эксплуатационную надежность.

В кинотехнике асинхронные двигатели служат для приведения во вращение механизма передач кинопроекторов. Асинхронные двигатели бывают однофазные и трехфазные, причем однофазные двигатели преимущественно применяются в передвижной кинопроекционной аппаратуре, а трехфазные — в стационарной.

Принцип действия асинхронного двигателя основан на взаимодействии токов ротора с вращающимся магнитным полем и может быть пояснен опытом Араго-Ленца. Если в магнитном поле полюсов постоянного магнита (рис. 134) поместить свободно укрепленный на оси алюминиевый или медный диск, то при вращении магнита диск начинает вращаться в ту же сторону, но с меньшей скоростью. При вращении магнита возникает вращающееся магнитное поле, магнитные линии которого, пересекая диск, индуцируют в нем вихревые токи. В результате взаимодействия вихревых токов с вращающимся магнитным полем возникает электродинамическая сила, которая в соответствии с законом Ленца стремится затормозить вращение магнита, но не имея возможности сделать это, приводит во вращение диск, причем скорость вращения диска будет всегда меньше скорости вращения магнита.

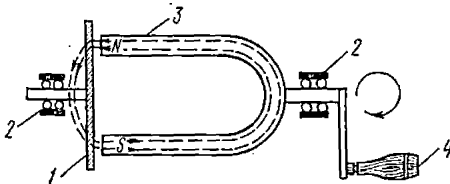


Рис. 134. Опыт Араго-Ленца:

1 — алюминиевый диск, 2 — подшипники, 3 — постоянный магнит, 4 — ручка

Если бы скорость вращения диска оказалась равной скорости вращения магнитного поля, то диск относительно магнитных линий поля был бы неподвижным, т. е. пересечения диска магнитными линиями не происходило бы и вихревые токи в диске не индуцировались

бы. Поэтому электродинамическая сила не возникала бы и диск не мог бы вращаться. Неподвижная часть двигателя называется статором, а вращающаяся — ротором.

Статор двигателя служит для создания вращающегося магнитного поля. Ротор является источником механической энергии и предназначен для приведения во вращение различных механизмов.

В трехфазном асинхронном двигателе вращающееся магнитное поле создается трехфазным током, протекающим в трех обмотках, оси которых сдвинуты в пространстве на 120° .

Ротор двигателя выполняют в виде стального цилиндра, в пазах которого размещают обмотку, замкнутую накоротко (короткозамкнутый ротор) или на какое-либо сопротивление (фазный ротор).

В связи с тем что в кинотехнике асинхронные двигатели с фазным ротором не применяются, они в данном пособии не рассматриваются.

Вращающееся магнитное поле статора, пересекая короткозамкнутую обмотку ротора, индуцирует в ней э. д. с. Под действием этой э. д. с. по обмотке ротора протекает ток. В результате взаимодействия проводника с током с вращающимся магнитным полем статора возникает электродинамическая сила, которая в соответствии с правилом левой руки перемещает ротор в направлении вращения магнитного поля.

Вращающий момент, создаваемый током в каждом проводнике ротора, равен произведению силы на плечо (равное радиусу вращения). Сумма вращающих моментов отдельных проводников определяет вращающий момент двигателя.

В процессе работы асинхронного двигателя возникает скольжение, т. е. проскальзывание ротора относительно вращающегося магнитного поля.

Скольжением называется число, показывающее, во сколько раз относительная скорость вращения ротора меньше скорости вращения магнитного поля.

Скольжение обозначают буквой S и определяют по формуле

$$S = \frac{n_1 - n}{n}, \text{ откуда } n = n_1(1 - S),$$

где n_1 — скорость вращения магнитного поля;

n — скорость вращения ротора.

Приводимая формула определяет скольжение в относительных единицах. Скольжение может быть также выражено в процентах:

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100\%.$$

Скольжение зависит от конструкции двигателя, его мощности и механической нагрузки на валу. Чем больше мощность двигателя, тем меньше скольжение, и наоборот. Если нагрузка на дви-

гатель постоянна (например, в кинопроекторах), то скольжение и, следовательно, скорость вращения ротора будут также постоянны (при неизменном напряжении сети).

Скольжение и число оборотов ротора от напряжения сети зависят в незначительной степени, и лишь при очень больших изменениях напряжения возникают заметные изменения скорости вращения двигателя.

Скорость вращения магнитного поля (n_1) зависит от частоты тока и числа пар полюсов (p):

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}.$$

При стандартной частоте тока 50 гц скорость вращения магнитного поля имеет следующую зависимость от числа пар полюсов:

Число пар полюсов	1	2	4	8
Скорость вращения поля, об/мин	3000	1500	750	375

Пример 1. Подсчитать скольжение в однофазном асинхронном двигателе ДО-50, если $p=2$, а $n=1440$ об/мин.

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1440}{1500} = \frac{60}{1500} = 0,04, \text{ или } 4\%.$$

Пример 2. Подсчитать число оборотов асинхронного двигателя ЭАО-18, если $S=0,04$, а $p=1$.

$$n = n_1 (1 - S) = 3000 (1 - 0,04) = 3000 - 120 = 2880 \text{ об/мин.}$$

Скорость вращения ротора асинхронного двигателя зависит от частоты тока, числа пар полюсов и величины скольжения.

С увеличением частоты тока скорость вращения двигателя возрастает, а с увеличением числа пар полюсов — уменьшается. В момент пуска двигателя ротор неподвижен и скольжение составляет 100%. При работе двигателя без нагрузки скольжение ничтожно мало (доли процента). В рабочем режиме асинхронного двигателя скольжение колеблется от 3 до 8%. Отсюда следует, что изменение нагрузки вызывает соответствующее изменение скорости вращения асинхронного двигателя. Каждой нагрузке соответствует определенное число оборотов и определенная величина скольжения.

Асинхронный двигатель работает устойчиво с постоянной скоростью, когда его вращающий и тормозной моменты равны, т. е. $M_{вр} = M_{торм}$.

Если нагрузка на валу ротора двигателя возрастет, тормозной момент будет больше вращающего ($M_{торм} > M_{вр}$). Это приведет к уменьшению скорости вращения ротора вследствие возрастания скольжения. Возрастание скольжения вызовет увеличение скорости пересечения короткозамкнутой обмотки ротора вращающимся магнитным полем. При этом увеличатся как сила тока в обмотке

ротора, так и развиваемый двигателем вращающий момент. Данный процесс будет происходить до восстановления равенства вращающего и тормозного моментов.

Когда нагрузка на двигатель уменьшается, происходят обратные явления.

§ 72. ТРЕХФАЗНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Устройство трехфазного асинхронного двигателя показано на рис. 135. Статор двигателя (рис. 135, б) выполняют в виде полого чугунного или алюминиевого корпуса с приливами для крепления.

В корпус статора вставляют сердечник, набранный из отдельных изолированных друг от друга пластин электротехнической

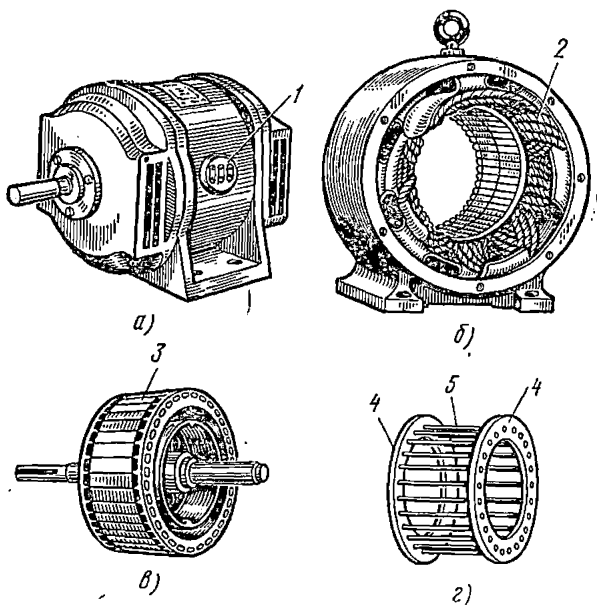


Рис. 135. Устройство трехфазного асинхронного двигателя:

а — общий вид, *б* — статор, *в* — ротор, *г* — короткозамкнутая обмотка ротора, 1 — панель зажимов, 2 — обмотки статора, 3 — сердечник ротора, 4 — медные кольца, 5 — медные или алюминиевые шины

стали. Такое выполнение сердечника статора способствует уменьшению вихревых токов. В качестве изоляции между пластинами применяют папиросную бумагу, изоляционный лак или окалину. В пазы сердечника укладывают витки трех катушек, взаимно сдвинутых в пространстве на угол 120° . Концы катушек подключают к контактам панели зажимов, укрепленной на корпусе.

Ротор (рис. 135, в) выполняют в виде стального цилиндра,

вращающегося в двух подшипниках, размещенных в специальных гнездах боковых крышек статора. В цилиндре ротора делают сквозные отверстия, в которые запрессовывают медные или алюминиевые шины, замыкаемые на торцевых сторонах ротора медными или алюминиевыми кольцами. Шины и кольца играют роль обмотки ротора. Такая обмотка называется короткозамкнутой и делается по типу «беличьего колеса» (рис. 135, з). На валу ротора двигателя крепят вентилятор, необходимый для охлаждения обмоток и корпуса двигателя.

При включении двигателя в сеть трехфазного тока обмотки статора возбуждают вращающееся магнитное поле. Магнитные линии вращающегося поля, пересекая короткозамкнутые шины ротора, индуктируют в них э. д. с. Под действием этой э. д. с. в обмотке ротора протекает ток и возникает электродинамическая сила, которая приводит ротор во вращение.

В наиболее массовых стационарных кинопроекторах КПТ-2 и КПТ-3 применяют трехфазные асинхронные двигатели АОЛ-21/4 и АВО-71/4, у которых одинаковые технические данные, но разное конструктивное оформление.

На корпусе двигателя АОЛ-21/4 имеются приливы, предназначенные для крепления двигателя к столу кинопроектора. Напряжение сети подводится к панели зажимов, размещенной в верхней части статора.

Двигатель АВО-71/4 имеет меньшие габариты и крепится к специальному кронштейну с помощью двух хомутиков и стяжных винтов. Панель зажимов размещена на боковой крышке. Двигатель и панель зажимов закрываются общим кожухом из алюминиевого сплава, который предохраняет обслуживающий персонал от соприкосновения с токонесущими контактами и улучшает эстетическое оформление кинопроектора.

Токи ротора и статора. Известно, что при отсутствии нагрузки скорость вращения ротора становится близкой к скорости вращения магнитного поля и скольжение уменьшается почти до нуля. Когда нагрузка на валу ротора двигателя возрастает, скольжение увеличивается и вращающееся магнитное поле начинает пересекать короткозамкнутые шины с большей скоростью, вызывая увеличение силы тока в обмотке ротора.

Ток в обмотке ротора возбуждает собственное магнитное поле, которое оказывает размагничивающее действие на магнитное поле статора. При этом э. д. с. обмотки статора уменьшается, а сила тока возрастает до величины, необходимой для поддержания прежнего значения магнитного потока статора.

Таким образом, физические процессы в асинхронном двигателе принципиально аналогичны процессам, происходящим при работе трансформатора под нагрузкой.

Увеличение механической нагрузки вызывает возрастание скольжения, силы тока в обмотках и, следовательно, мощности, потребляемой двигателем от сети.

Своевременная смазка и правильная регулировка механизма передач кинопроектора способствуют уменьшению потребления электрической энергии, облегчают температурный режим работы двигателя и создают предпосылки для длительной безаварийной работы киноустановки.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором в момент пуска потребляют большой пусковой ток, который в 5—7 раз превышает номинальный рабочий ток. В момент пуска ротор неподвижен (скольжение 100%), а вращающееся магнитное поле с большой скоростью пересекает короткозамкнутую обмотку, вызывая увеличение токов в обмотках ротора и статора. При достижении ротором двигателя номинального числа оборотов скольжение, а также токи ротора и статора уменьшаются до номинальных значений.

Большой пусковой ток нежелателен как для двигателя, так и для источника электрической энергии.

Уменьшение пускового тока в электродвигателях, применяемых в киноаппаратуре, производят следующими методами: в стационарной аппаратуре при пуске двигателя в цепь одной обмотки статора включают проволочный резистор; в передвижной аппаратуре типа К двигатель перед пуском разворачивают вручную; в передвижной узкоплечной аппаратуре при пуске предусматривается возможность отключения двигателя от механизма передач.

Если двигатель перегружен и не может взять с места, то длительное протекание пускового тока может вызвать перегрев обмоток и выход двигателя из строя.

Защиту цепей питания двигателя осуществляют плавкими предохранителями, причем номинальный ток предохранителей должен быть в 3—4 раза больше номинального тока двигателя. Плавкая вставка такого предохранителя не будет перегорать при пуске двигателя, но в то же время обесточит сеть при коротком замыкании в цепи. Однако плавкий предохранитель не защищает двигатель от длительных перегрузок. Для защиты двигателя от перегрузок служат автоматы и реле.

Потери мощности и к. п. д. Активная мощность, потребляемая двигателем от сети, больше механической мощности, развиваемой на валу, так как в процессе преобразования энергии неизбежны ее некоторые потери.

При работе двигателя часть мощности расходуется на нагрев обмоток, перемагничивание и вихревые токи в стали магнитопровода, а также на преодоление сил трения. Чтобы характеризовать, какая часть электрической мощности двигателя затрачивается на полезную работу, вводят понятие о коэффициенте полезного действия двигателя η .

Коэффициентом полезного действия двигателя называется отношение полезной механической мощности к затра-

ченной активной мощности:

$$\eta = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{затрач}}} \cdot 100\%.$$

Коэффициент полезного действия маломощных асинхронных двигателей колеблется в пределах 83—95 %, причем верхний дел соответствует двигателям относительно большой мощности. Трехфазные асинхронные двигатели рассчитывают на включение в сеть напряжением 127/220 или 220/380 в. Цифра в числителе соответствует номинальному фазному напряжению каждой обмотки.

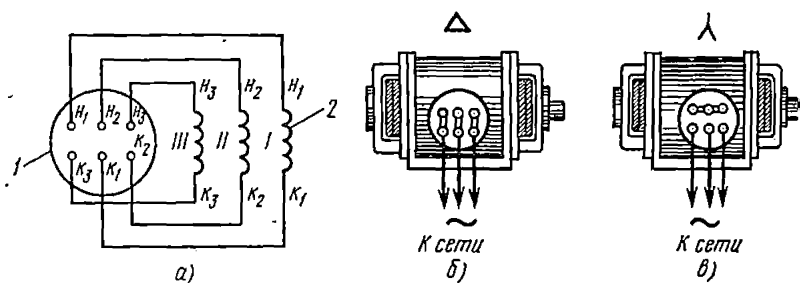


Рис. 136. Схема соединения обмоток статора с панелью зажимов (а) включение обмоток статора треугольником (б) и звездой (в):

1 — панель зажимов, 2 — обмотки статора; H_1, H_2 и H_3 — начала обмоток, K_1, K_2 и K_3 — концы обмоток

В зависимости от напряжения сети и технических данных двигателя обмотки статора включают треугольником или звездой.

Для облегчения эксплуатации обмотки статора соединяют панелью зажимов двигателей по определенной электрической схеме (рис. 136, а). Это позволяет переключать обмотки путем становки перемычек (рис. 136, б, в).

§ 73. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРЕХФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Если номинальное напряжение обмоток равно фазному напряжению сети, двигатель включают звездой, а если линейно-треугольником.

Рассмотрим это на конкретных примерах: допустим, имеем двигатель, рассчитанный на включение в сеть напряжением 220/380 в. Известно, что цифра в числителе указывает номинальное фазное напряжение каждой обмотки статора. Данный двигатель в сеть напряжением 127/220 в включают треугольником (рис. 137, а), а в сеть 220/380 в — звездой (рис. 137, б).

Реверсирование. Реверсированием называют изменение направления вращения двигателя. Чтобы изменить направление вращения двигателя, необходимо изменить направление вращения магнитного поля статора. Для этой цели достаточно поменять местами любые две фазы.

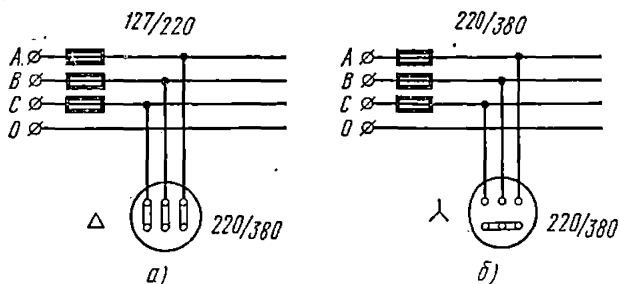


Рис. 137. Примеры включения трехфазного двигателя:
а — сеть 127/220 в, двигатель 220/380 в, б — сеть 220/380 в, двигатель 220/380 в

местами любую пару проводов, подходящих к панели зажимов двигателя (рис. 138).

Проверка исправности обмоток двигателя. Исправность обмоток двигателя проверяют омметром любого авометра или с помощью контрольной лампы по схеме, приведенной на рис. 139, а. Чтобы проверить исправность обмотки статора, двигатель включают звездой. Один провод сети подключают к нулевой точке звезды (перемычке), а щупом контрольной лампы поочередно дотрагиваются до контактов 1, 2, 3. Если лампа будет накаливаться, обрыва в обмотках статора нет.

Необходимо отметить, что данным способом обнаружить короткозамкнутые витки в обмотках нельзя, так как для этого требуется измерять сопротивление обмоток. Обмотка с короткозамкнутыми витками будет иметь меньшее сопротивление.

В отсутствии пробоя обмоток на корпус убеждаются, дотрагиваясь щупом контрольной лампы до любого участка статора двигателя, предварительно зачищенного от

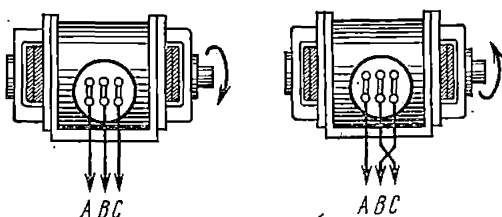


Рис. 138. Изменение направления вращения асинхронного двигателя

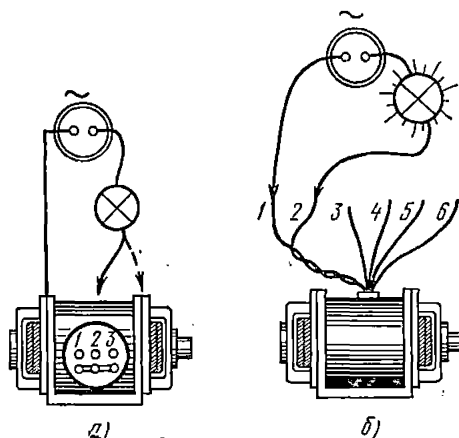


Рис. 139. Проверка исправности обмоток (а) и определение выводов обмоток асинхронного двигателя (б)

краски и ржавчины. При исправной изоляции обмоток контрольная лампа не должна накаливаться.

Определение выводов обмоток статора. Если двигатель не имеет панели зажимов и из корпуса статора выходят шесть необозначенных проводников, то, прежде чем приступить к определению одноименных выводов фазных обмоток, необходимо определить выводы каждой обмотки статора. С этой целью любой из выводов (допустим, вывод *I*) включают в сеть, а щупом контрольной лампы поочередно дотрагиваются до всех остальных выводов (рис. 139, б).

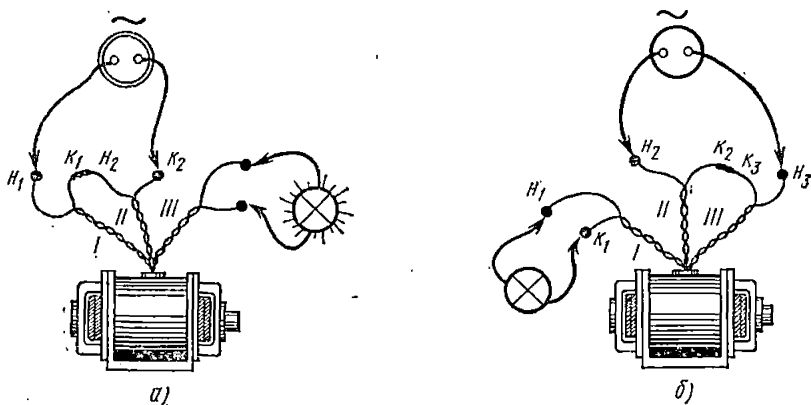


Рис. 140. Определение одноименных выводов фазных обмоток статора асинхронного двигателя:

а — первое подключение, *б* — второе подключение

Предположим, контрольная лампа загорелась при подключении к выводу 2. Следовательно, выводы *I* и 2 являются двумя выводами одной из обмоток статора. Эти выводы скручивают один с другим. Затем к сети подключают третий провод и аналогичным способом определяют выводы остальных обмоток. При определении одноименных выводов обмоток статора рекомендуется использовать принцип взаимной индукции: две обмотки статора, соединенные последовательно, включают в сеть, а к третьей подключают контрольную лампу на 220×40 вт (рис. 140, а).

Если контрольная лампа будет накаливаться, провода, подключенные к сети, являются разноименными выводами фазных обмоток.

Если же лампа не будет накаливаться, к сети подключены одноименные выводы.

При последовательном соединении двух обмоток статора (например, K_1 с H_2 — см. рис. 140, а) их магнитный поток будет равен геометрической сумме потоков этих обмоток, а при встречном (например, K_2 с K_3 — рис. 140, б) — геометрической разности по-

токов. В первом случае суммарный поток двух обмоток, замыкаясь по сердечнику статора, пронизывает витки третьей обмотки, индуцируя в них переменную э. д. с. Во втором случае (т. е. при встречном включении) магнитные потоки двух обмоток практически компенсируются и э. д. с. в третьей обмотке индуцироваться не будет, что может быть определено измерительным прибором или по накалу контрольной лампы.

Допустим, что в схеме, приведенной на рис. 140, а, контрольная лампа накаливается. Значит, к сети подключены: начало первой обмотки n_1 и конец второй k_2 (или наоборот, но это не имеет значения). Очевидно, что в общей точке соединения обмоток I и II будут выводы k_1 и n_2 .

Чтобы определить наименования выводов третьей обмотки, собирают схему, приведенную на рис. 140, б. К обмоткам II и III, соединенным последовательно, подводят напряжение, а к обмотке I подключают контрольную лампу. Предположим, лампа не накаливается. Это позволяет сделать вывод, что обмотки II и III подключены к сети одноименными выводами. Наименования выводов второй обмотки нам известны, поэтому сделать необходимое заключение о выводах третьей обмотки не представляет трудности.

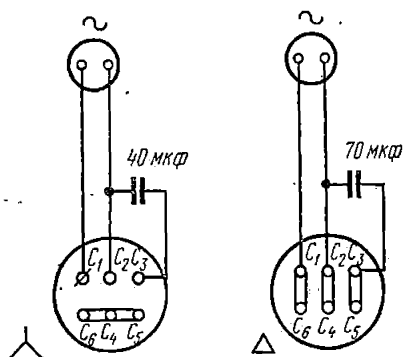


Рис. 141. Включение трехфазного двигателя в однофазную сеть

Включение трехфазного двигателя в однофазную сеть. В однофазной сети между обмотками статора трехфазного двигателя возникает пульсирующее магнитное поле, которое не имеет определенного направления вращения. Однако, если ротор двигателя развернуть, то он будет продолжать вращаться (см. § 74). При этом мощность двигателя уменьшается примерно в два раза.

Если требуется, чтобы двигатель брал с места без предварительного разворота между обмотками, включают конденсаторы емкостью 40—70 мкф с рабочим напряжением 400—600 в по схемам, приведенным на рис. 141. Конденсаторы создают сдвиг фаз, благодаря которому обмотки статора возбуждают вращающееся магнитное поле, увлекающее за собой ротор двигателя.

В соответствии с принятыми обозначениями начала обмоток статора маркируют буквами C_1 , C_2 , C_3 , а их концы — соответственно C_4 , C_5 , C_6 .

В табл. 6 приведены основные неисправности трехфазных двигателей с указанием их причин, внешних признаков и способов устранения.

Возможные неисправности трехфазных двигателей

Внешние признаки неисправности	Причины неисправности	Способы устранения
Двигатель гудит, греется, но не вращается	Заедание ротора Неправильно включены обмотки статора	Сдать в ремонт Проверить правильность включения обмоток
Двигатель гудит, но без разворота не вращается	Перегорел предохранитель Обрыв в одной из обмоток статора Обрыв в соединительном проводнике	С помощью контрольной лампы проверить исправность предохранителей, обмоток статора и отсутствие обрыва в соединительных проводниках
Двигатель вращается, но перегревается во время работы	Двигатель перегружен Короткозамкнутые витки в обмотках статора	Отрегулировать и смазать механизм передач кинопроектора Сдать в ремонт
Двигатель вращается в обратную сторону	Изменено направление вращающегося магнитного поля	Поменять местами любых два провода, подходящих к панели зажимов
Двигатель вращается с пониженной скоростью	Пониженная частота тока в сети Включение обмоток звездой, хотя по данным двигателя необходимо их включить треугольником	Проверить частоту частотомером при работе от КЭС и увеличить частоту Переключить обмотки
Перегрев подшипников	Износ подшипников Грязная смазка Отсутствие смазки	Сдать в ремонт Заменить смазку Смазать подшипники

§ 74. ОДНОФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Общие сведения. Для приведения во вращение механизма передач передвижных кинопроекторов применяют однофазные асинхронные двигатели. Принципиально однофазный двигатель может иметь статор с одной обмоткой и короткозамкнутый ротор. Однако такой двигатель не имеет начального пускового момента и, следовательно, при включении в сеть не будет вращаться. Объясняется это тем, что одна обмотка не может создать вращающееся магнитное поле.

Переменный ток, проходя по обмотке статора, создает переменный магнитный поток, который не вращается, а подобно потоку в сердечнике трансформатора — пульсирует, т. е. изменяется по

величине и направлению. При этом в короткозамкнутых шинах ротора (как и во вторичной обмотке трансформатора) индуцируется э. д. с. и протекает электрический ток.

Как видно из рис. 142, электродинамические силы F , возникающие в проводниках ротора, расположенных по обе стороны по вертикали, имеют противоположные направления, поэтому начальный вращающий момент, действующий на ротор, равен нулю. При изменении направления тока в сети происходят одновременные изменения направлений сил F и начальный вращающий момент по-прежнему отсутствует. Если же при помощи внешней силы развернуть ротор, то возникает вращающий момент, вследствие чего ротор будет продолжать вращаться самостоятельно.

Данное свойство однофазного асинхронного двигателя объясняется следующими физическими процессами. Пульсирующий магнитный поток Φ можно рассматривать как результат сложения двух магнитных потоков, вращающихся в противоположные стороны с некоторой скоростью n_1 (рис. 143). Назовем поток, который вращается в том же направлении, что и ротор, прямым $\Phi_{пр}$, а поток, вращающийся в обратном направлении, — обратным Φ_0 . Очевидно, что результирующий поток Φ в любой момент времени будет равен сумме потоков $\Phi_{пр}$ и Φ_0 . Если эти потоки расходятся (рис. 143, б), результирующий поток Φ уменьшается. Когда потоки $\Phi_{пр}$ и Φ_0 имеют противоположные направления (рис. 143, в), результирующий поток равен нулю, а затем он меняет свое направление (рис. 143, г).

Из рис. 143, а — г видно, что на неподвижный ротор действуют два равных по величине, но противоположных по направлению момента, вследствие чего результирующий вращающий момент

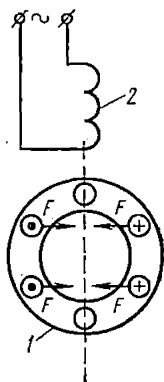


Рис. 142. Направление электродинамических сил в роторе однофазного асинхронного двигателя:
1 — ротор, 2 — статор

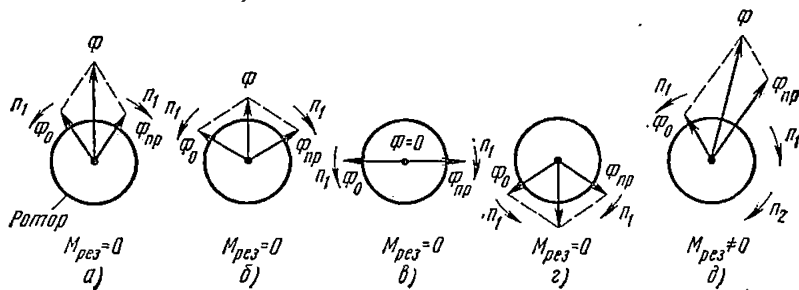


Рис. 143. Пульсирующий магнитный поток, создаваемый обмотками статора однофазного асинхронного двигателя:

а, б, в, г — изменение направления и величины результирующего потока статора, д — возникновение вращающего момента при развороте ротора

$M_{\text{рез}}$ отсутствует. Если ротор вывести из состояния покоя, то момент, создаваемый прямым полем, будет возрастать, а момент, создаваемый обратным полем, — уменьшаться.

Допустим, что внешняя сила придала ротору скорость вращения n_2 , тогда взаимная скорость пересечения короткозамкнутой обмотки ротора обратным полем будет $n_1 + n_2$, а прямым полем $n_1 - n_2$.

При увеличении скорости пересечения обмотки ротора обратным полем частота индуктированного тока и индуктивное сопротивление обмотки увеличиваются, причем индуктивное сопротивление будет значительно больше активного сопротивления. Поэтому ток, индуктируемый обратным полем, будет меньше тока, создаваемого прямым полем, и, кроме того, будет сдвинут почти на 90° относительно напряжения. Такой ток ослабляет обратное поле, создает весьма малую активную мощность, а следовательно, и малый вращающий момент.

Прямое поле пересекает обмотку ротора с меньшей скоростью. В этом случае частота индуктированного тока и индуктивное сопротивление обмотки будут небольшими. Ток, индуктированный прямым полем, оказывая незначительное размагничивающее действие, создает большой вращающий момент (рис. 143, д).

Таким образом, после придания ротору однофазного двигателя некоторой начальной скорости он будет продолжать вращаться в направлении разворота. После разворота ротора двигателя вращающий момент в основном создается в результате взаимодействия прямого поля и токов, индуктированных этим полем в короткозамкнутой обмотке.

Тормозной момент, создаваемый ослабленным обратным полем и индуктированными этим полем токами (практически реактивными), имеет весьма малую величину.

Отсутствие начального вращающего момента является существенным недостатком однофазных асинхронных двигателей. Для устранения этого недостатка промышленные типы однофазных асинхронных двигателей снабжаются пусковыми устройствами. С этой целью на статоре двигателя размещают две обмотки, оси которых сдвигают в пространстве на угол 90° . Чтобы обмотки создавали вращающееся магнитное поле, ток в дополнительной (пусковой, или вспомогательной) обмотке должен быть сдвинут по фазе относительно тока в основной (рабочей) обмотке на четверть периода. Это обеспечивается путем соответствующего подбора индуктивности дополнительной обмотки или ее включением в сеть переменного тока через конденсатор.

Рассмотрим устройство и конструктивные особенности промышленных типов однофазных асинхронных двигателей, применяемых в кинопроекторной аппаратуре.

Двигатель ДО-50 (двигатель однофазный с мощностью на валу 50 вт). Этот двигатель применяется в передвижных кинопроекторах типа К. На статоре двигателя размещены две обмотки (рабо-

чая и пусковая), сдвинутые в пространстве на угол 90° . Короткозамкнутый ротор двигателя вращается в двух шариковых подшипниках. Для охлаждения корпуса и обмоток на валу ротора укреплен вентилятор.

Пусковая обмотка двигателя служит для первоначального разворота ротора в определенном направлении. Рабочая обмотка предназначена для длительной работы двигателя. В момент пуска включаются обе обмотки. При этом между полюсными наконечниками статора возникает вращающееся магнитное поле, которое увлекает за собой ротор. Как только ротор разовьет номинальное число оборотов, пусковая обмотка отключается и дальнейшая работа двигателя происходит на одной рабочей обмотке.

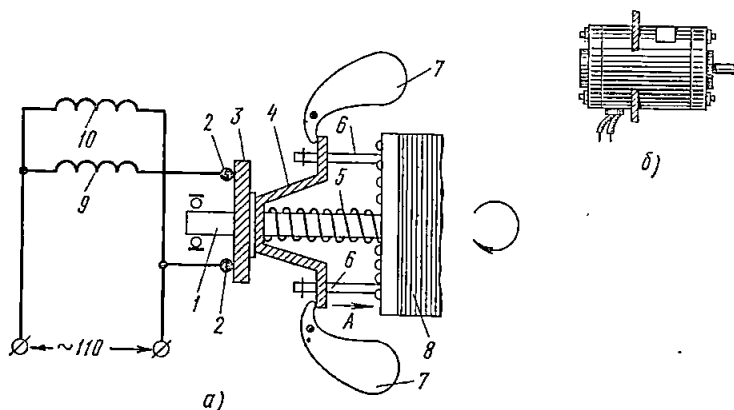


Рис. 144. Электродвигатель ДО-50:

а — схема, поясняющая принцип действия центробежного выключателя, б — общий вид электродвигателя; 1 — вал, 2 — контакты пусковой обмотки, 3 — медное кольцо, 4 — фигурная планка, 5 — пружина, 6 — шпильки, 7 — грузики, 8 — ротор, 9 — пусковая обмотка, 10 — рабочая обмотка

Отключение пусковой обмотки производится автоматическим центробежным выключателем, смонтированным на валу ротора двигателя.

Перед пуском двигателя медное кольцо 3 (рис. 144, а) замыкает цепь пусковой обмотки. При работе грузики 7 под действием центробежной силы расходятся и, преодолевая сопротивление пружины 5, перемещают фигурную планку 4 и кольцо 3 в направлении стрелки А. Пусковая обмотка отключается. При выключении двигателя центробежная сила исчезает, грузики опадают и пружина 5 возвращает кольцо 3 в исходное положение.

Несмотря на наличие пусковой обмотки, электродвигатель в проекторах типа К перед пуском разворачивают вручную, что

способствует уменьшению пусковой силы тока и предохраняет текстолитовую шестерню от срыва зубьев. Необходимо отметить, что пусковая обмотка предназначена для кратковременного включения и при длительном прохождении тока (например, при неисправности центробежного выключателя) может сгореть.

Конденсаторные двигатели. Применение центробежного выключателя, имеющего трущиеся электрические контакты, ухудшает эксплуатационную надежность двигателя. Поэтому однофазные двигатели с пусковой обмоткой постепенно вытесняются конденсаторными двигателями. На статоре конденсаторного двигателя размещены две обмотки, оси которых смещены в пространстве на угол 90° . В цепь вспомогательной обмотки 2 включают конденсатор (рис. 145).

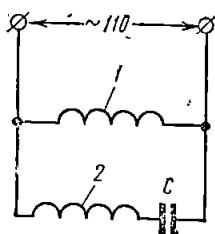


Рис. 145. Электрическая схема конденсаторного двигателя

При включении двигателя в сеть благодаря рабачей 1 и вспомогательной обмоткам возникает вращающееся магнитное поле, которое увлекает за собой короткозамкнутый ротор двигателя. Вспомогательная обмотка рассчитывается на длительное включение и при работе не выключается.

Конденсаторные двигатели по сравнению с двигателями с пусковой обмоткой имеют лучшие пусковые и рабочие характеристики.

При работе конденсаторных двигателей напряжение на конденсаторах из-за резонансных явлений достигает 430—460 в, что требует соблюдения необходимых мер техники безопасности.

Электродвигатели ЭАО-14 и ЭАО-15 (электродвигатели асинхронные однофазные), применяемые в проекторах типа К, имеют одинаковую конструкцию и различаются небольшими изменениями в электрических схемах.

В цепь вспомогательной обмотки двигателя ЭАО-14 включен конденсатор емкостью 3 мкф, помещенный в отсеке механизма передач. Из-за прохождения сравнительно большого тока в цепи вспомогательной обмотки двигатель работает в повышенном температурном режиме. Уменьшение емкости конденсатора облегчает температурный режим, но в то же время приводит к уменьшению пускового момента.

Для устранения данного недостатка в цепи вспомогательной обмотки двигателя ЭАО-15 имеются два конденсатора по 2 мкф, причем при пуске включают оба конденсатора, а при работе один из них отключается пакетным переключателем проектора.

Двигатели ЭАО-9 и ЭАО-18 применяются в узкоплеченных проекторах. По своим электрическим схемам они аналогичны двигателям ЭАО-14 и ЭАО-15. Емкость конденсаторов в цепи вспомогательной обмотки двигателя ЭАО-9 составляет 8 мкф, а двигателя ЭАО-18 равна 10 мкф.

Конденсаторы в цепи вспомогательной обмотки двигателя ЭАО-18 разбиты на две группы емкостью 4 и 6 мкф. При пуске включаются оба конденсатора, а при работе конденсатор емкостью 4 мкф отключается. Двигатель ЭАО-9 имеет следующие конструктивные особенности: на одном конце вала укреплены резиновый шкивок и центробежный вентилятор, а на другом — шкивок ручного вращения, необходимый для проверки правильности зарядки фильма в проектор.

Через резиновый шкивок осуществляется фрикционное сцепление электродвигателя с механизмом передач. Двигатель крепится к корпусу проектора подвижно. Сцепление между резиновым шкив-

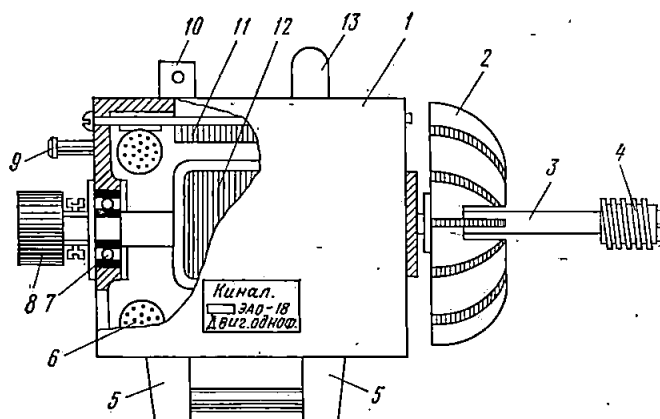


Рис. 146. Устройство конденсаторного двигателя ЭАО-18:

1 — статор, 2 — вентилятор, 3 — вал, 4 — червяк, 5 — стойки подвижного крепления двигателя, 6 — обмотка статора, 7 — подшипник, 8 — резиновый шкивок, 9 — стойка для крепления прижимной пружины, 10 — прилив для регулировочного винта, 11 — сердечник статора, 12 — ротор, 13 — прилив для ручного перемещения двигателя

ком и маховиком создается цилиндрической пружиной и регулируется специальным винтом. После окончания сеансов, а также при хранении и транспортировке аппаратуры двигатель с помощью регулировочного винта отсоединяют от механизма передач. Это предохраняет резиновый шкивок от деформации.

Устройство двигателя ЭАО-18 показано на рис. 146. Двигатель ЭАО-18 отличается от двигателя ЭАО-9 более длинным валом, что объясняется конструкцией намотывателя.

Основные технические данные электродвигателей, применяемых в кинопроекторной аппаратуре, приведены в табл. 7.

Таблица 7

Основные характеристики электродвигателей, применяемых в кинопроекционной аппаратуре

Марка электродвигателя	Тип электродвигателя	Рабочее напряжение, в	Пусковое устройство	Емкость конденсаторов, мкф	Мощность на валу, ат	Число оборотов в минуту	Применяется в кинопроекторах
АОЛ-12/2	Трехфазный асинхронный	220/380	Резистор в одной фазе	—	270	2800	КТ30-А, КТ15-А
АОЛ-21/4	То же	220/380	То же	—	270	1400	СКП-33, ККТ-2, ККТ-3
АОЛ-12/4	»	220/380	»	—	180	1400	35-СКПШ
АВО-71/4	»	220/380	»	—	270	1400	ККТ-2, ККТ-3
АВЕ-071/4	Однофазный асинхронный	127	Вспомогательная обмотка и конденсаторы	7	180	1350	35-СК 1 («Колос»)
ЭАО-14	То же	110	То же	3	50	1440	Типа К
ЭАО-15	»	110	»	4	50	1440	Типа К
ДО-50	»	110	Пусковая обмотка	—	50	1440	Типа К
ЭАО-9	»	110	Вспомогательная обмотка и конденсаторы	8	35	2880	ПП-16-1, ПП-16-3
ЭАО-18	»	110	То же	10	35	2880	ПП-16-4
МОК-30	»	110	»	3	30	2890	16-КПЗЛ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните назначение, принцип действия и перечислите типы асинхронных двигателей.
2. Что называется скольжением и от чего оно зависит?
3. Поясните назначение и устройство статора и ротора асинхронного двигателя.
4. Какова взаимосвязь между механической нагрузкой на двигатель и токами в роторе и статоре?
5. Для какой цели обмотки трехфазных асинхронных двигателей включают треугольником и звездой?
6. Расскажите об устройстве двигателя ДО-50 и принципе действия центробежного выключателя.
7. Поясните устройство и укажите преимущества конденсаторных двигателей.

Глава X
СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ
И РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА
§ 75. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ
О РЕГУЛИРУЮЩИХ
УСТРОЙСТВАХ И СТАБИЛИЗАТОРАХ

Высокое качество кинопоказа требует применения стабилизированных источников питания усилительной аппаратуры, а также проекционных, читающих, дуговых и ксеноновых ламп.

Например, повышение напряжения питания усилителя низкой частоты может привести к повреждению его деталей, а понижение — к резкому уменьшению громкости и ухудшению качества звуковоспроизведения.

Изменение напряжения питания проекционных и читающих ламп вызывает резкое сокращение срока службы или полезного светового потока. Изменение тока дуги приводит к резким колебаниям освещенности экрана и может быть причиной искажения цветопередачи цветных фильмокопий.

Приведенные примеры показывают, насколько важно поддерживать постоянство электрического режима питания аппаратуры. Для обеспечения нормального режима работы аппаратуры применяют регулирующие устройства и стабилизаторы напряжения или тока.

Регулирующие устройства подразделяются на ручные и автоматические. К ручным регулирующим устройствам относятся реостаты, потенциометры, переменные индуктивные сопротивления, регулировочные трансформаторы и автотрансформаторы, дроссели насыщения.

Автоматические регулирующие устройства, называемые стабилизаторами, в свою очередь подразделяются на стабилизаторы напряжения и стабилизаторы тока.

Очевидно, что автоматические регулирующие устройства дороже и сложнее, чем ручные, но их применение не требует непрерывного контроля за режимом работы и обеспечивает более высокую точность регулирования.

Постоянство напряжения или тока поддерживается благодаря применению в схемах стабилизаторов нелинейных и управляемых приборов.

Нелинейными называются приборы, сопротивление которых зависит от величины протекающего тока.

Наиболее распространенными нелинейными приборами, применяемыми в промышленной аппаратуре, являются бареттеры, стабилизаторы и дроссели с насыщенным сердечником.

Управляемыми называются приборы, изменяющие свое сопротивление под действием внешнего управляющего сигнала небольшой мощности.

К управляемым приборам относятся электронные лампы, транзисторы, управляемые диоды (тиристоры), дроссели с сердечником, подмагничиваемым постоянным током (дроссели насыщения) и магнитные усилители.

Следует различать дроссели с насыщенным сердечником (НД) и дроссели насыщения (ДН). Материал магнитопровода дросселя с насыщенным сердечником насыщен за счет тока, проходящего по его обмотке. В дросселях насыщения индуктивное сопротивление обмотки переменного тока регулируется изменением силы постоянного тока, проходящего по самостоятельной обмотке (обмотке управления). Поэтому дроссели с насыщенным сердечником относятся к нелинейным, а дроссели насыщения — к управляемым приборам.

§ 76. НЕЛИНЕЙНЫЕ И УПРАВЛЯЕМЫЕ ПРИБОРЫ

Стабилизаторы, в которых используются нелинейные элементы, называются параметрическими. В качестве нелинейных элементов таких стабилизаторов применяют бареттеры, стабилитроны, дроссели с насыщенным сердечником.

Бареттером называется прибор, сопротивление которого имеет резкую температурную зависимость. По устройству бареттер

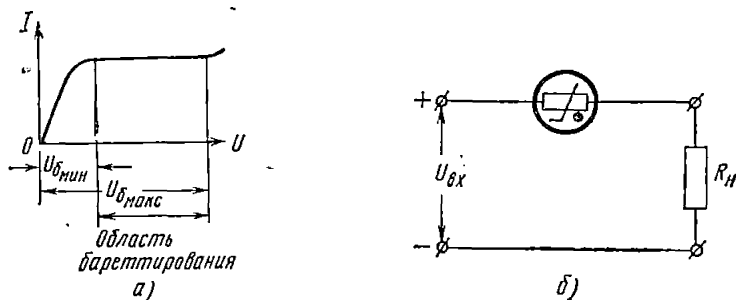


Рис. 147. Бареттер:

а — вольтамперная характеристика, б — схема включения

подобен маломощной лампе накаливания с баллоном пальцеобразной формы, заполненным водородом (чтобы предотвратить окисление проволоки внутри баллона).

Внутри баллона на специальных держателях укреплена вольфрамовая или стальная нить. Сопротивление нити бареттера (при температуре красного каления) приобретает почти пропорциональную зависимость от величины приложенного напряжения (рис. 147, а). Это свойство позволяет стабилизировать ток в цепи, а в некоторых случаях (при неизменном сопротивлении нагрузки) и напряжение (например, напряжение накала электронных ламп).

Бареттер включают последовательно с нагрузкой R_n (рис. 147, б). Если напряжение в сети возрастет, ток, проходящий через бареттер и нагрузку, увеличится. Это вызовет увеличение нагрева и сопротивления нити бареттера, что приведет к стабилизации тока в цепи. В случае уменьшения напряжения в сети происходят обратные процессы.

Бареттер обладает стабилизирующими свойствами только при определенных пределах изменения напряжения (область бареттирования). В области бареттирования относительные изменения тока в нагрузке не превышают определенных значений.

Наименование бареттера (Б) состоит из трех чисел и буквы. Например: 0,3Б-17-35. Первое число указывает наибольший номинальный ток бареттера (0,3 а), второе и третье — пределы бареттирования (от 17 до 35 в).

Бареттеры изготовляют на токи от десятых долей ампера до нескольких ампер с пределами бареттирования от нескольких единиц до нескольких сотен вольт. Средний срок службы бареттеров достигает 5000 рабочих часов. Бареттеры с одинаковыми пределами бареттирования могут быть соединены параллельно. При этом ток в нагрузке будет равен сумме токов параллельно включенных бареттеров. Последовательное соединение бареттеров не имеет смысла, так как из-за несовпадения их вольтамперных характеристик области бареттирования соответствуют различным токам.

Нить бареттера имеет сравнительно большую массу и, следовательно, большую тепловую инерцию (3—4 мин). Поэтому бареттеры быстрых изменений тока стабилизировать не могут. В момент включения у холодной нити бареттера малое (начальное) сопротивление, что вызывает двух- или даже трехкратный бросок начального тока. Это снижает срок службы бареттеров со стальной нитью (бареттеры с вольфрамовой нитью кратковременных перегрузок не боятся).

Для устранения начального броска тока бареттеры включают последовательно с урдоксом — нелинейным элементом, имеющим отрицательный температурный коэффициент. Чаще всего урдокс изготовляют из двуокиси титана.

Включение нелинейного элемента снижает пределы бареттирования примерно на 20—30%.

Стабилизаторами называются газоразрядные или полупроводниковые приборы, предназначенные для стабилизации напряжения на нагрузке.

Особенность стабилизаторов заключается в их свойстве поддерживать постоянство напряжения при изменении величины проходящего тока. Очевидно, что данное свойство сохраняется только при определенных пределах изменений тока (пределах стабилизации).

На рис. 148, а показана схема параметрического стабилизатора напряжения с газоразрядным стабилизатором, вольтамперная характеристика которого изображена на рис. 148, б. Стабилизатор

включают параллельно нагрузке, но последовательно с добавочным резистором R_d величиной в несколько килоом.

Принцип действия такого стабилизатора заключается в следующем: если напряжение, подводимое к стабилитрону, превысит напряжение зажигания, возникает ионизация, сопровождающаяся разделением молекул газа на положительные

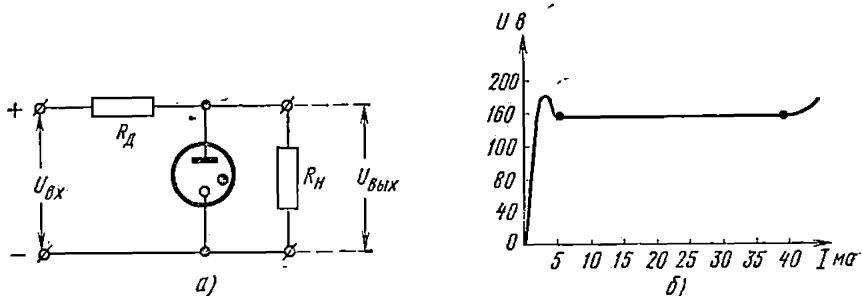


Рис. 148. Схема параметрического стабилизатора напряжения с газоразрядным стабилитроном (а) и вольтамперная характеристика стабилитрона (б)

ионы и свободные электроны. Этот процесс развивается лавинообразно.

Электрический ток в ионизированном газе создается в результате движения электронов и ионов в противоположных направлениях. После возникновения ионизации напряжение на стабилитроне резко уменьшается до напряжения горения (газ начинает светиться). Это напряжение стабильно по величине и в определенных пределах почти не зависит от тока, протекающего через стабилитрон. Однако сопротивление стабилитрона зависит от интенсивности газового разряда. С увеличением напряжения сети интенсивность разряда возрастает, а сопротивление стабилитрона уменьшается.

Падение напряжения на стабилитроне (лампе) определяется протекающим током и внутренним сопротивлением стабилитрона:

$$U_n = I_n R_i.$$

Если возрастание тока I_n будет вызывать соответствующее уменьшение сопротивления R_i , то напряжение на стабилитроне (и параллельно включенной нагрузке) останется неизменным.

С помощью резистора R_d ограничивается ток в цепи, устанавливается режим работы стабилитрона и обеспечивается возможность перераспределения напряжений при колебаниях напряжения в сети.

Большинство газоразрядных стабилизаторов напряжения предназначено для стабилизации напряжения на нагрузке, номинальный ток которой не превышает 30 мА.

Рабочее напряжение стабилитрона СГ2С — 75 в, СГ3С и

СГ2П — 105 в, СГ4С и СГ1П — 150 в. Напряжение зажигания перечисленных типов стабилитронов примерно на 30 в больше соответствующего рабочего напряжения.

Стабилитрон СГ4С (рис. 149) представляет собой стеклянный баллон, наполненный инертным газом (неоном, аргоном) под небольшим давлением. Внутри баллона размещены два электрода: анод и катод. Катодом является металлический цилиндр из никеля или химически чистого железа, а анодом — металлический стержень, размещенный в центре цилиндра катода.

В схемах, предназначенных для стабилизации напряжения, можно применять так называемые опорные диоды или кремниевые стабилитроны КС (рис. 150). В таких стабилитронах используется крутая обратная вольтамперная характеристика, и включаются они в обратном (непроводящем) направлении.

Физические процессы, происходящие в кремниевых стабилитронах, довольно сложны и их рассмотрение выходит за пределы данного пособия.

Промышленность выпускает кремниевые стабилитроны под шифром от Д801 до Д900. Например, стабилитроны Д808+Д813 можно применять для стабилизации выходного напряжения от 7 до 14 в при величинах токов в цепи стабилитрона от 5 до 30 ма.

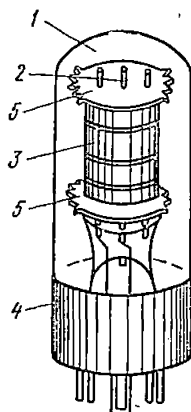


Рис. 149. Стабилитрон СГ4С:

1 — стеклянный баллон, 2 — анод, 3 — катод, 4 — октальный цоколь, 5 — слюдяные диски

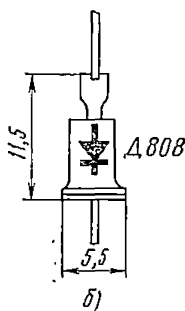
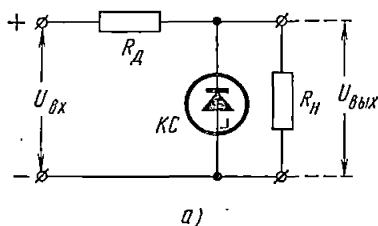


Рис. 150. Схема параметрического стабилизатора с кремниевым стабилитроном (а) и внешний вид стабилитрона Д808 (б)

Для получения более высоких стабилизированных напряжений (от 120 до 180 в) промышленностью освоено производство стабилитронов серии 2С (2С93ОА, 2С95ОА, 2С98ОА).

Дроссели с насыщенным сердечником аналогичны обычным дросселям низкой частоты, но работают при магнитной индукции в сердечнике примерно 1,6—1,8 тл (16 000—18 000 гс).

Сердечник дросселя собирают так, чтобы воздушные зазоры между пластинами отсутствовали. В противном случае для насыщения сердечника потребуется большая намагничивающая сила, что невыгодно.

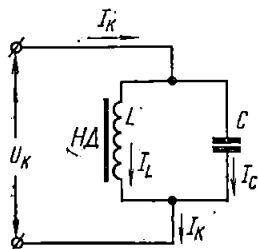


Рис. 151. Феррорезонансный контур

Если ток, проходящий по обмотке дросселя, достигает величины, достаточной для магнитного насыщения сердечника, то дальнейшее увеличение тока не вызовет роста амплитуды магнитного потока. В этом случае при увеличении тока индуктивное сопротивление обмотки дросселя уменьшается и падение напряжения на нем остается практически постоянным.

Для уменьшения тока, потребляемого от сети, параллельно дросселю *HD* подключают конденсатор *C* (рис. 151).

Контур, состоящий из емкости и катушки со стальным сердечником, называется феррорезонансным. Этот контур отличается от резонансного тем, что его настройку можно производить не только изменением индуктивности, емкости и частоты, но и изменением напряжения, подводимого к контуру.

Известно, что при параллельном включении индуктивности *L* и емкости *C* ток, проходящий через емкость (*I_C*), противоположен по фазе индуктивному току (*I_L*). Поэтому ток контура, равный разности токов $I_K = I_L - I_C$, уменьшается. Это позволяет повысить чувствительность феррорезонансного контура, т. е. его способность резко изменять свое сопротивление при незначительных колебаниях напряжения в сети или тока внутри контура.

При резонансе индуктивный и емкостный токи компенсируются и сопротивление контура становится максимальным.

Дросселем насыщения (ДН) называется катушка индуктивности с замкнутым сердечником из трансформаторной стали и двумя обмотками — переменного и постоянного тока. Дроссель насыщения является управляемым прибором. Обмотку постоянного тока называют управляющей (или обмоткой подмагничивания), а обмотку переменного тока — рабочей.

Управляющую обмотку *1* включают в цепь источника постоянного тока (рис. 152), а рабочую обмотку *2* — последовательно с потребителем *П*.

Принцип действия дросселя насыщения основан на изменении магнитной проницаемости ферромагнитных материалов при подмагничивании сердечника постоянным током *I_y* (ток управления).

Если с помощью реостата *R* изменять силу тока в управляющей обмотке, то при этом будет изменяться индуктивное сопротивление рабочей обмотки. Индуктивное сопротивление рабочей

обмотки будет пропорционально переменному магнитному потоку, пронизывающему эту обмотку.

Когда ток в управляющей обмотке отсутствует, переменный магнитный поток в сердечнике имеет наибольшее значение и, пронизывая витки рабочей обмотки, индуцирует в них большую по величине э. д. с. самоиндукции. По этой причине индуктивное сопротивление рабочей обмотки становится максимальным и лампа, включенная в цепь рабочей обмотки, накаливаться не будет.

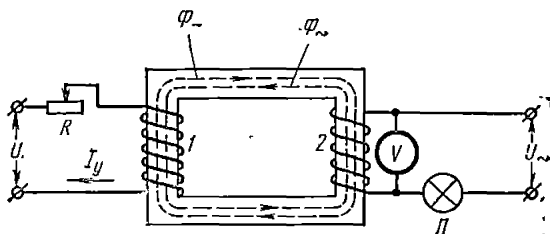


Рис. 152. Принцип действия дресселя насыщения

Если постепенно увеличивать ток в управляющей обмотке, сердечник будет насыщаться. При этом магнитная проницаемость и, следовательно, переменный магнитный поток будут уменьшаться. Уменьшение переменного магнитного потока приведет к уменьшению индуктивного сопротивления обмотки 2, возрастанию тока в цепи и плавному увеличению накала лампы.

В случае уменьшения тока в обмотке 1 сердечник насыщается в меньшей степени и происходят обратные процессы.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы, характеризующие основные свойства, достоинства и причины широкого применения дресселей насыщения в ручных и автоматических регулирующих устройствах:

1. Индуктивное сопротивление рабочей обмотки находится в обратной зависимости от тока в управляющей обмотке.

2. Токи в управляющей и рабочей обмотках (при отсутствии компенсации) находятся в прямой зависимости, т. е. с увеличением тока в управляющей обмотке возрастает ток в рабочей обмотке и наоборот.

Достоинства дресселей насыщения следующие:

1. Плавность и широкий диапазон регулирования индуктивного сопротивления.

2. Отсутствие сильно нагревающихся и искрящих контактов.

3. Высокий к. п. д.

4. Мощность постоянного тока, расходуемая в управляющей обмотке на ее нагрев, значительно меньше регулируемой мощности. Это позволяет, при незначительных затратах мощности в обмотке подмагничивания, управлять работой мощных потребителей, включенных в цепь переменного тока.

К недостаткам дросселей насыщения следует отнести некоторое снижение коэффициента мощности и искажение формы кривой переменного тока и напряжения.

Переменный магнитный поток Φ (см. рис. 152), замыкаясь по сердечнику, пронизывает витки управляющей обмотки и индукти-

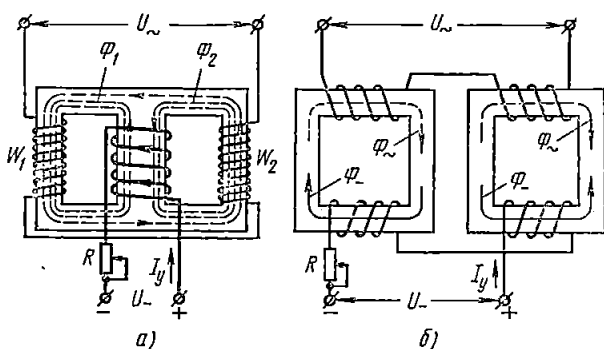


Рис. 153. Схемы устройства дросселей насыщения:
а — с Ш-образным сердечником, б — с двумя сердечниками

рует в них переменную э. д. с. большой величины, так как число витков обмотки управления велико. Переменная э. д. с. будет подводится к источнику постоянного тока и может вызвать его повреждение. Поэтому дроссели насыщения выполняют так, чтобы в управляющей обмотке не могла индуцироваться переменная э. д. с. Управляющую обмотку размещают на среднем стержне Ш-образного сердечника (рис. 153, а), а рабочие обмотки, расположенные на крайних стержнях, включают так, чтобы созданные ими переменные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 в среднем стержне имели противоположные направления. В этом случае переменные магнитные потоки взаимно компенсируются и переменная э. д. с. в управляющей обмотке индуцироваться не будет.

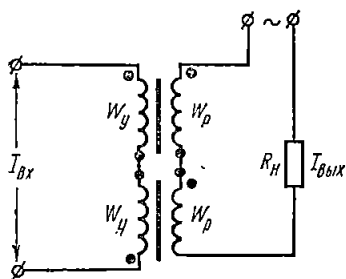


Рис. 154. Схема магнитного усилителя:

W_u и W_p — число витков управляющей и рабочей обмоток

Дроссели насыщения можно выполнять на двух самостоятельных сердечниках (рис. 153, б). На каждом сердечнике размещают две обмотки: переменного и постоянного тока. В зависимости от требуемых данных обмотки переменного тока соединяют одну с другой параллельно или последовательно. Управляющие обмотки соединяют последовательно и встречно, что также приводит к взаимной компенсации наводимых в них переменных э. д. с.

Не менее важное свойство дроссе-

лей насыщения заключается в их способности усиливать электрические сигналы.

Устройства с дросселями насыщения, предназначенные для усиления электрических сигналов, называются магнитными усилителями.

Простейшим магнитным усилителем (рис. 154) является однофазный дроссель насыщения, рабочие обмотки которого включены последовательно с нагрузкой.

Входом магнитного усилителя служит управляющая обмотка дросселя насыщения, в которую подводится усиливаемый сигнал постоянного тока. Выходом усилителя являются точки, к которым подключается нагрузка. Если нагрузку требуется питать постоянным током, ее включают через выпрямитель, т. е. через устройство, преобразующее переменный ток в пульсирующий постоянный.

Магнитные усилители характеризуются коэффициентом усиления по мощности, т. е. отношением приращения мощности в нагрузке к приращению мощности в цепи управления. Коэффициент усиления по мощности в магнитных усилителях может достигать нескольких десятков и даже сотен.

§ 77. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПЯЖЕНИЯ

Феррорезонансные стабилизаторы позволяют получить на выходе переменное напряжение, мало зависящее от изменений нагрузки и колебаний напряжения в сети.

В кинотехнике стабилизаторы применяют для питания комплектов аппаратуры, а также в схемах стабилизированных выпрямителей питания дуговых и ксеноновых ламп.

Феррорезонансные стабилизаторы напряжения не имеют движущихся частей, просты по конструкции и надежны в работе.

Стабилизатор напряжения (рис. 155) состоит из дросселя Dr с воздушным зазором и трансформатора Tr с насыщенным сердечником, включенных последовательно в цепь источника переменного тока.

Чтобы обеспечить номинальное напряжение на нагрузке при понижении напряжения сети, насыщенный трансформатор должен быть повышающим. Если напряжение питания нагрузки значительно меньше сетевого, трансформатор может быть понижающим.

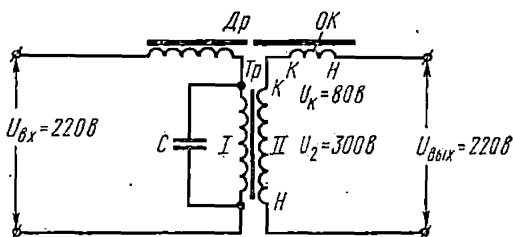


Рис. 155. Схема феррорезонансного стабилизатора напряжения

Индуктивное сопротивление дросселя постоянно, так как его сердечник не насыщен, поэтому падение напряжения на дросселе (пропорциональное току) может изменяться в больших пределах. Индуктивное сопротивление насыщенного трансформатора зависит от протекающего тока (с увеличением тока сопротивление уменьшается). Поэтому падение напряжения на насыщенном трансформаторе изменяется незначительно.

При повышении напряжения сети несколько увеличится напряжение, приложенное к первичной обмотке трансформатора, что вызовет заметное увеличение тока в первичной цепи. В связи с тем что индуктивное сопротивление дросселя постоянно, падение напряжения на нем увеличивается, компенсируя приращение напряжения в сети. В это же время индуктивное сопротивление трансформатора уменьшается и падение напряжения на нем изменяется незначительно. При понижении напряжения сети происходят обратные процессы. Это позволяет с насыщенного элемента снимать напряжение, колеблющееся в меньших пределах, т. е. стабилизированное.

Для улучшения стабилизации на дросселе размещают компенсационную обмотку $ОК$, которую включают встречно с вторичной обмоткой трансформатора $Тр$. При встречном включении напряжения на вторичной и компенсационной обмотках оказываются сдвинутыми на некоторый угол, вследствие чего напряжение на выходе стабилизатора будет равно геометрической разности напряжений вторичной обмотки трансформатора и компенсационной обмотки, т. е.

$$U_{\text{вых}} = U_2 - U_K.$$

Компенсационную обмотку $ОК$ размещают на сердечнике ненасыщенного элемента, поэтому напряжение U_K , индуктированное в обмотке $ОК$, пропорционально току в первичной цепи.

При повышении напряжения сети ток в первичной цепи возрастает и, следовательно, напряжение U_K увеличивается, компенсируя повышение напряжения U_2 во вторичной обмотке насыщенного трансформатора $Тр$. В случае понижения напряжения сети ток в первичной цепи уменьшается, что приводит к уменьшению напряжений U_2 и U_K в такой степени, при которой их геометрическая разность остается неизменной.

Если не учитывать сдвиг фаз, то действие стабилизатора может быть показано следующими числовыми примерами.

Предположим, что при напряжении сети 220 в во вторичной обмотке трансформатора индуктируется 300 в, а в компенсационной обмотке 80 в. Напряжение на выходе стабилизатора

$$U_{\text{вых}} = U_2 - U_K = 300 - 80 = 220 \text{ в.}$$

Данные деталей стабилизатора подбирают с таким расчетом, чтобы $\Delta U_2 = \Delta U_K$, т. е. чтобы изменения напряжения во вторичной и компенсационной обмотках были одинаковы.

Допустим, что напряжение сети уменьшилось до 180 в, или примерно на 20%. Очевидно, что напряжение U_2 понизится меньше, предположим, на 5%, т. е. на 15 в, и составит 285 в. Так как $\Delta U_2 = \Delta U_K$, напряжение U_K уменьшится также на 15 в и составит 65 в. Напряжение же на выходе стабилизатора останется неизменным: $U_{\text{вых}} = U_2 - U_K = 285 - 65 = 220$ в.

На насыщенном трансформаторе можно разместить несколько вторичных обмоток, а на дросселе Dr — несколько компенсационных. Это позволит снимать несколько стабилизированных напряжений разной величины.

Промышленные типы феррорезонансных стабилизаторов напряжения построены по этому принципу, но их схемы сложнее.

Для оценки эффективности стабилизаторов напряжения вводятся понятия о коэффициенте стабилизации, диапазоне стабилизации и инерционности стабилизатора.

Коэффициентом стабилизации $K_{\text{сн}}$ называется отношение относительных изменений переменного напряжения входа $\Delta U_{\text{вх}}$ к относительным изменениям переменного напряжения выхода $\Delta U_{\text{вых}}$, т. е.

$$K_{\text{сн}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} \cdot \frac{U_{\text{вых}}}{\Delta U_{\text{вых}}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вых}}} \cdot \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}},$$

где $\Delta U_{\text{вх}}$ и $\Delta U_{\text{вых}}$ — изменения напряжения на входе и выходе стабилизатора.

Диапазоном стабилизации называется интервал изменения переменного напряжения входа, в пределах которого изменение переменного напряжения выхода не превышает заданных значений.

Инерционностью стабилизатора называется время, в течение которого стабилизатор реагирует на изменение входного напряжения.

Феррорезонансные стабилизаторы при колебаниях напряжения сети до $\pm 20\%$ номинального значения поддерживают напряжение на выходе с точностью $\pm 0,5 \div 1\%$. При одновременном изменении напряжения сети и величины нагрузки точность стабилизации составляет $\pm 1 \div 2\%$. Коэффициент полезного действия стабилизаторов данного типа колеблется в пределах 60—80%, а коэффициент мощности — от 0,6 до 0,8.

Изменение частоты напряжения сети на 1—2% вызывает изменение, выходного напряжения стабилизатора на 2—3% и, следовательно, ухудшает стабилизацию. Это объясняется тем, что сопротивление индуктивности и емкости параллельного контура по-разному зависит от частоты: индуктивное сопротивление прямо пропорционально, а емкостное — обратно пропорционально частоте. С увеличением частоты индуктивное сопротивление возрастает, а емкостное уменьшается. Следовательно, результирующий ток параллельного контура и ток в обмотках дросселя Dr уменьшается, вследствие чего выходное напряжение стабилизатора воз-

растает. Уменьшение частоты тока в сети вызывает обратные процессы, конечным результатом которых будет понижение напряжения на выходе стабилизатора.

Иногда бывает необходимо использовать феррорезонансный стабилизатор в режиме перекомпенсации.

В режиме перекомпенсации выходное напряжение стабилизатора не поддерживается постоянным, а приобретает обратную зависимость по отношению к колебаниям напряжения сети: когда напряжение сети увеличивается, выходное напряжение стабилизатора уменьшается, и наоборот.

Режим перекомпенсации достигается увеличением числа витков в компенсационной обмотке. В таком случае напряжение U_K изменяется в большей степени, чем напряжение U_2 . Поэтому при повышении напряжения сети напряжение на выходе стабилизатора уменьшается, а при понижении напряжения сети — увеличивается.

Допустим, что вторичная обмотка насыщенного трансформатора развивает 400 в, а компенсационная 180 в. Напряжение на выходе стабилизатора (без учета сдвига фаз) составит 220 в. Если напряжение сети уменьшится на 20%, то, предполагая, что 15% этого напряжения будет падать на дросселе и только 5% — на насыщенном трансформаторе, получим следующие величины напряжений в обмотках:

$$\begin{array}{ll} 5\% \text{ от } 400 \text{ в} = 20 \text{ в}; & 15\% \text{ от } 180 \text{ в} = 27 \text{ в.} \\ U_2 = 400 \text{ в} - 20 \text{ в} = 380 \text{ в}; & U_K = 180 \text{ в} - 27 \text{ в} = 153 \text{ в.} \end{array}$$

Напряжение на выходе стабилизатора увеличится до 227 в:

$$U_{\text{вых}} = U_2 - U_K = 380 \text{ в} - 153 \text{ в} = 227 \text{ в.}$$

Очевидно, что при увеличении напряжения сети на 20% выходное напряжение стабилизатора уменьшится (в данном случае до 213 в).

Режим перекомпенсации применяют в некоторых типах стабилизированных выпрямителей питания дуговых ламп, которые рассматриваются в последующих главах книги.

Феррорезонансные стабилизаторы искажают форму кривой выходного напряжения, и при подведении синусоидального напряжения выходное напряжение стабилизатора становится несинусоидальным. Это объясняется применением в схеме стабилизатора насыщенного элемента, искажающего форму кривой выходного напряжения. Искажения возникают из-за появления нечетных гармоник (3-й, 5-й, 7-й).

Гармониками называются синусоидальные колебания, частота которых в целое число раз больше частоты подводимых колебаний.

При стандартной частоте тока третья гармоника будет иметь частоту 150 гц, пятая — 250 гц, седьмая — 350 гц. Наибольшее влияние на качество стабилизации оказывают третья и пятая гармоники.

Уменьшают искажения формы кривой выходного напряжения введением в схему стабилизатора резонансных фильтров, настроенных на частоту соответствующих гармоник. Количество фильтров зависит от количества фильтруемых гармоник и определяется заданной точностью стабилизации выходного напряжения.

Резонансные фильтры можно включить либо параллельно нагрузке (рис. 156, а), либо параллельно насыщенному элементу (рис. 156, б). Предпочтение отдают последнему — более простому способу.

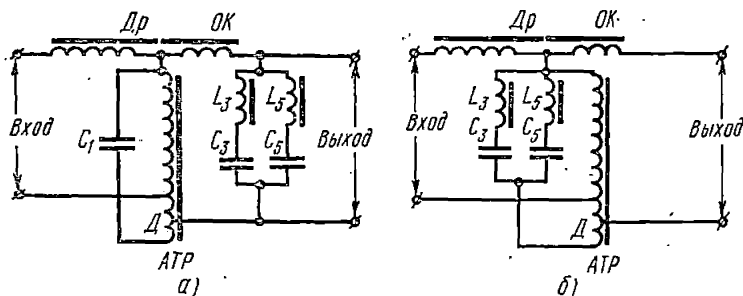


Рис. 156. Схемы включения резонансных фильтров:

а — параллельно нагрузке, б — параллельно насыщенному элементу; L_3C_3 — фильтр, настроенный на третью гармонику, L_5C_5 — фильтр, настроенный на пятую гармонику

Если нагрузка питается током с постоянной составляющей, цепи входа и выхода стабилизатора не должны иметь электрической связи. С этой целью в качестве насыщенного элемента следует применять трансформатор (см. рис. 155). Когда постоянная составляющая тока через нагрузку не протекает, в качестве насыщенного элемента целесообразно использовать автотрансформатор (рис. 156).

Постоянная составляющая тока нагрузки, проходя по цепям стабилизатора, может нарушить режим его работы, что приведет к ухудшению качества стабилизации. В некоторых случаях нагрузку, имеющую постоянную составляющую тока, подключают к выходу стабилизатора через промежуточный трансформатор с коэффициентом трансформации равным единице.

Чтобы феррорезонансный контур настроить в резонанс с конденсатором меньшей емкости, применяют автотрансформаторную схему, позволяющую повысить напряжение на конденсаторе.

Если на насыщенном элементе разместить дополнительную секцию D , имеющую большое индуктивное сопротивление, то для получения необходимого равенства $X_L = X_C = \frac{1}{\omega C_1}$ потребуется конденсатор C_1 меньшей емкости.

Глава XI ВЫПРЯМИТЕЛИ

§ 78. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Выпрямителем называется электровакуумное, полупроводниковое или другое устройство, преобразующее переменный ток в постоянный.

В комплект киноаппаратуры входят электрические потребители, которые для своей нормальной работы требуют постоянный ток. К таким потребителям относятся: читающие, дуговые и ксеноновые лампы, обмотки возбуждения громкоговорителей, электромагниты реле и автоматических противоположных заслонок, анодные цепи усилительных каскадов и т. д.

Аппаратура киноустановок рассчитана на питание от сети однофазного или трехфазного переменного тока. Поэтому в усилительных, электропитающих и многих вспомогательных устройствах имеются собственные выпрямители.

Действие выпрямителей основано на принципе односторонней проводимости.

Односторонней проводимостью называется способность некоторых приборов — электрических вентилях (или диодов) пропускать через себя ток только в одном направлении, т. е. вентиль для тока одного направления обладает малым электрическим сопротивлением, а для тока противоположного направления — очень большим.

Для оценки качественных показателей вентилях вводится понятие о прямых и обратных величинах.

Величины, относящиеся к направлению, в котором вентиль имеет малое сопротивление, называют **прямыми**: прямой ток, прямое сопротивление, прямое падение напряжения.

Величины, относящиеся к направлению, в котором вентиль обладает большим сопротивлением, называют **обратными**: обратный ток, обратное сопротивление, обратное падение напряжения.

Чем меньше прямое сопротивление и чем больше обратное, тем лучше вентиль. Идеальный вентиль должен иметь прямое сопротивление и прямое падение напряжения равными нулю, а обратное сопротивление — бесконечно большим. Реальные вентили могут иметь как значительное сопротивление прямому току (кенотроны), так и довольно большой обратный ток (селеновые вентили).

Общее обозначение электрических вентилях приведено на рис. 157, а.

В зависимости от характера проводимости вентили делят на три основные группы:

1. Электронные — ламповые (кенотроны).
2. Полупроводниковые (селеновые; германиевые, кремниевые).

3. Ионные (газотроны).

Существует большое количество различных схем выпрямления, но наибольшее распространение получили:

однофазная однополупериодная;

однофазная двухполупериодная;

однофазная мостовая;

трехфазная двухтактная (схема Ларионова).

Блок-схема выпрямителя (рис. 157, б) содержит силовой трансформатор, один или несколько неуправляемых электрических вентилях, сглаживающий фильтр и нагрузку.

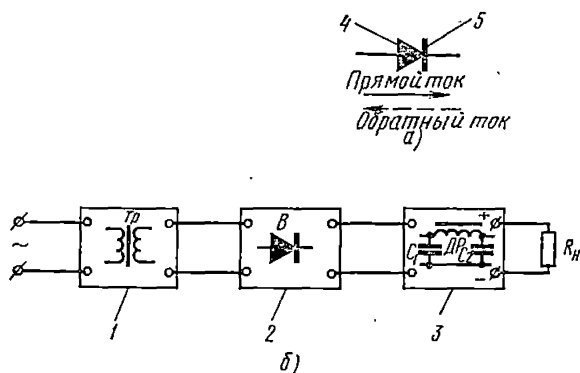


Рис. 157. Элементы выпрямительного устройства
 а — условное обозначение неуправляемого полупроводникового вентиля, б — блок-схема выпрямителя; 1 — силовой трансформатор, 2 — электрический вентиль, 3 — сглаживающий фильтр, 4 — анод вентиля, 5 — катод вентиля,
 R_H — резистор нагрузки

Трансформатор предназначен для повышения или понижения напряжения сети и разделения цепей переменного и постоянного тока.

Электрические вентиля, обладающие свойством односторонней проводимости, преобразуют переменный ток в пульсирующий постоянный.

Сглаживающий фильтр служит для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. Простейшим сглаживающим фильтром может быть дроссель низкой частоты, включенный последовательно, или конденсатор большой емкости, включенный параллельно нагрузке.

Принцип действия фильтра состоит в следующем. Известно, что дроссель препятствует изменениям тока благодаря возникновению в нем э. д. с. самоиндукции. Это происходит в результате накопления энергии магнитного поля дросселя при увеличении тока в цепи и отдачи энергии в нагрузку при уменьшении тока. Конденсатор в момент повышения напряжения заряжается, а при пони-

жении напряжения разряжается через нагрузку, отдавая в нее накопленную энергию электрического поля.

Если нагрузка может питаться не строго постоянным, а пульсирующим током, сглаживающий фильтр не обязателен. К таким видам нагрузок следует отнести обмотки возбуждения электрических машин, катушки электромагнитов, пускателей и т. д.

Однофазная однополупериодная схема. Однополупериодной называется схема выпрямления, при которой ток через нагрузку проходит в течение половины периода.

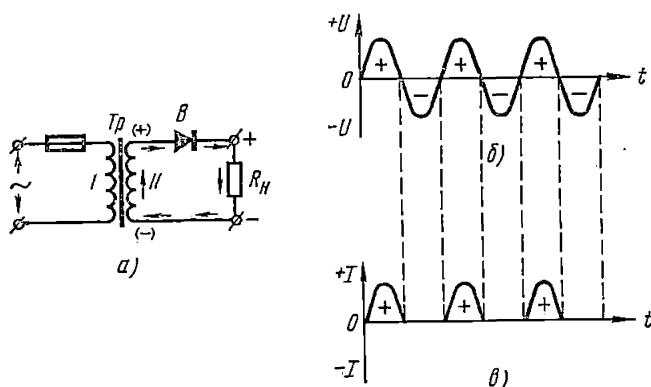


Рис. 158. Однополупериодный выпрямитель:

a — принципиальная схема, *б* — график переменного напряжения,
в — график тока в нагрузке

При включении выпрямителя в сеть (рис. 158, *a*) по первичной обмотке трансформатора проходит ток, возбуждающий переменный магнитный поток, который, пронизывая витки вторичной обмотки, индуцирует в них переменную э. д. с.

В тот момент, когда полярность зажимов вторичной обмотки соответствует обозначениям на рисунке, по цепи через нагрузку проходит ток. При изменении полярности ток в цепи будет отсутствовать, так как электрический вентиль в обратном направлении тока не пропускает. В данном случае мы исходим из предположения, что вентиль идеальный и обратный ток равен нулю. Таким образом, в однополупериодной схеме ток через нагрузку проходит только в те моменты времени, когда к аноду вентиля подводится положительный, а к катоду (через нагрузку) — отрицательный потенциал.

Достоинство однополупериодного выпрямителя — простота схемы, недостатки — большая величина пульсаций выпрямленного напряжения, низкая частота пульсаций (50 гц), плохое использование и подмагничивание трансформатора. Для получения выпрямленного напряжения 100 в действующее значение напряжения вторичной обмотки должно быть 221 в, а с учетом потерь в трансформаторе и вентиле — еще больше.

Пульсирующее выпрямленное напряжение состоит из постоянной и переменной составляющих. Чем меньше амплитуда переменной составляющей и больше величина постоянной составляющей, тем меньше пульсации на выходе выпрямителя.

Коэффициентом пульсаций γ называется отношение амплитуды переменной составляющей к величине постоянной составляющей выпрямленного напряжения. Коэффициент пульсаций в однополупериодной схеме очень велик и составляет 157%.

Уменьшают коэффициент пульсаций с помощью сглаживающих фильтров. Чем меньше коэффициент пульсаций в схеме, тем проще сглаживающий фильтр, необходимый для уменьшения пульсаций до требуемой величины.

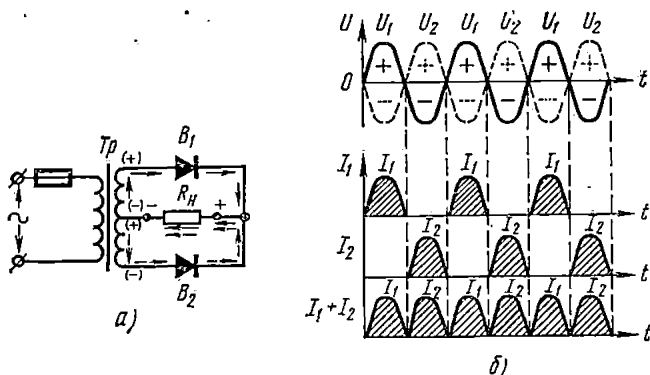


Рис. 159. Двухполупериодный выпрямитель:
а — принципиальная схема, б — графики, поясняющие происходящие физические процессы

Например, пульсации напряжения на выходе выпрямителя, питающего усилитель низкой частоты, не должны превышать 0,01—0,05%.

Постоянная составляющая тока вторичной обмотки создает вынужденное намагничивание, т. е. постоянный магнитный поток, который уменьшает магнитную проницаемость сердечника трансформатора. Это вызывает нежелательный рост тока холостого хода и требует увеличения сечения провода первичной обмотки и размеров трансформатора в целом.

В однополупериодной схеме плюс выпрямленного напряжения снимается с катода вентиля, а минус — с конца вторичной обмотки трансформатора.

Однофазная двухполупериодная схема. Двухполупериодной называют схему выпрямления, в которой ток через нагрузку проходит в течение двух половин периода изменения тока питающей сети.

В двухполупериодной схеме (рис. 159) применяют два вентиля B_1 и B_2 . Нагрузку включают между средней точкой вторичной об-

мотки трансформатора и катодами вентилях, соединенных в общую точку. В тот момент, когда верхний конец вторичной обмотки (относительно средней точки) имеет положительный потенциал, а нижний — отрицательный, ток через нагрузку проходит в направлении сплошных стрелок, при изменении полярности — в направлении штриховых стрелок. Таким образом, ток одинакового направления проходит через нагрузку в течение обоих полупериодов, причем он пульсирует с частотой 100 гц.

Преимущества двухполупериодного выпрямителя по сравнению с однополупериодным — лучшее использование трансформатора, меньшая величина пульсаций тока в нагрузке, большая частота пульсаций и отсутствие постоянного подмагничивания сердечника.

Для получения выпрямленного напряжения 100 в действующее напряжение каждой половины вторичной обмотки должно быть 111 в, т. е. в два раза меньше, чем в однополупериодной схеме. Чтобы получить одинаковое выпрямленное напряжение (без учета потерь), трансформатор в однополупериодной и двухполупериодной схемах должен иметь одинаковое число витков вторичной обмотки. Коэффициент пульсаций в двухполупериодной схеме составляет 67%.

Повышенная частота пульсаций (100 гц) и их меньшая величина (67%) облегчают сглаживание пульсаций напряжения с применением более простых фильтров.

При работе схемы в нижней и верхней половинах вторичной обмотки постоянные составляющие токов протекают в противоположных направлениях. Поэтому вынужденное намагничивание отсутствует и по первичной обмотке трансформатора протекает переменный синусоидальный ток (при чисто активной нагрузке), что позволяет уменьшить сечение провода первичной обмотки, размеры сердечника и, следовательно, габариты трансформатора в целом.

В двухполупериодной схеме плюс выпрямленного напряжения снимается с катодов вентилях, а минус — со средней точки вторичной обмотки трансформатора.

Однофазная мостовая схема (схема Грца). Эта схема (рис. 160), является разновидностью схемы двухполупериодного выпрямления.

Когда э. д. с. вторичной обмотки трансформатора направлена так, что верхний конец вторичной обмотки имеет положительный, а нижний — отрицательный потенциал, ток протекает в направлении сплошных стрелок (через вентиль B_1 , нагрузку и вентиль B_2), при изменении полярности э. д. с. вторичной обмотки — в направлении штриховых стрелок (через вентиль B_3 , нагрузку и вентиль B_4).

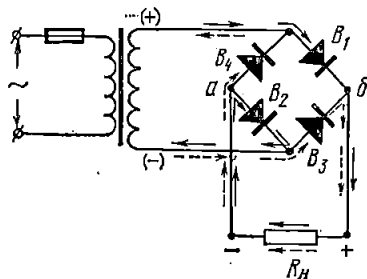


Рис. 160. Однофазная мостовая схема

По своим показателям мостовая схема подобна схеме двухполупериодного выпрямителя, но обеспечивает лучшее использование трансформатора, не требует вывода средней точки от вторичной обмотки и обратное напряжение на вентиле вдвое меньше, чем в схеме двухполупериодного выпрямителя с выводом средней точки.

Трехфазная двухтактная мостовая схема (схема Ларионова).

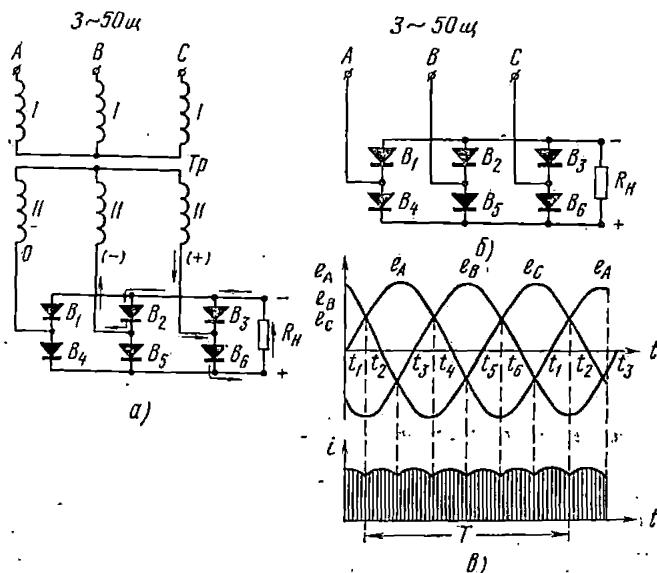


Рис. 161. Выпрямление трехфазного тока:

а — схема Ларионова с питанием от трехфазного трансформатора,
 б — схема Ларионова с непосредственным питанием от сети,
 в — графики, поясняющие процесс выпрямления

Эта схема изображена на рис. 161, а. Выпрямители, предназначенные для питания нагрузки средней и большой мощности, целесообразно собирать по трехфазным схемам выпрямления, так как с увеличением числа фаз уменьшается величина пульсаций выпрямленного напряжения, возрастает их частота и облегчается сглаживание выпрямленного напряжения. Трехфазные схемы выпрямления для сети трехфазного тока создают равномерную нагрузку фаз, что особенно важно при больших мощностях выпрямителей.

Наиболее распространенной схемой выпрямления трехфазного тока является трехфазная двухтактная схема, предложенная проф. А. Н. Ларионовым в 1923 г. Переменное напряжение можно подводить как с помощью трехфазного трансформатора, так и непосредственно от сети (рис. 161, б), если напряжение сети соответствует требуемой величине. В этой схеме применяют шесть вентилей, причем вентили B_1, B_2, B_3 (соединенные анодами) образуют анодную группу, а три других (B_4, B_5, B_6) — катодную группу.

Положительный потенциал выпрямленного напряжения снимается с катодов, а отрицательный — с анодов соответствующих групп вентиляй.

Как видно из рис. 161, *в*, напряжение в различных фазах трехфазной сети меняется по величине и полярности. В целях упрощения будем рассматривать работу схемы в те моменты времени, когда напряжение в одной фазе принимает положительное, в другой — отрицательное, а в третьей — нулевое значение. В момент времени t_1 напряжение в фазе *A* равно нулю, в фазе *B* — отрицательно, а в фазе *C* — положительно. В электрической цепи ток протекает от точки с более высоким потенциалом к точке с более низким потенциалом. Следовательно, ток пройдет от фазы *C* через ventиль B_6 , нагрузку, ventиль B_2 к фазе *B*. В момент времени t_2 полярность напряжений вторичных обмоток изменится: в фазе *A* напряжение будет положительно, в фазе *B* — отрицательно, в фазе *C* — равно нулю. При этом ток погечет от фазы *A* через ventиль B_4 , нагрузку, ventиль B_2 к фазе *B* и т. д. Из рис. 161 видно, что за период через нагрузку будет проходить шесть импульсов тока. Поэтому в схеме Ларионова частота пульсаций составляет 300 гц при частоте тока в сети 50 гц, причем коэффициент пульсаций имеет небольшую величину ($\epsilon=5,7\%$). В схеме хорошо используется трансформатор и отсутствует вынужденное намагничивание сердечника, что объясняется прохождением тока через каждую фазу вторичных обмоток трансформатора в течение $2/3$ положительного и отрицательного полупериодов.

К недостаткам схемы следует отнести различные потенциалы катодов вентиляй, что при использовании вентиляй с накаливаемыми катодами требует применения нескольких отдельных обмоток накала.

Каждый ventиль можно применять для выпрямления определенных величин тока и напряжения, превышение которых недопустимо.

Для увеличения выпрямленного напряжения вентиля (в плече выпрямителя) соединяют последовательно (рис. 162, *а*), а для увеличения выпрямленного тока — параллельно (рис. 162, *б*). Если требуется получить большие величины выпрямленного тока и напряжения, ventили включают как параллельно, так и последовательно (рис. 162, *в*). При параллельном включении вен-

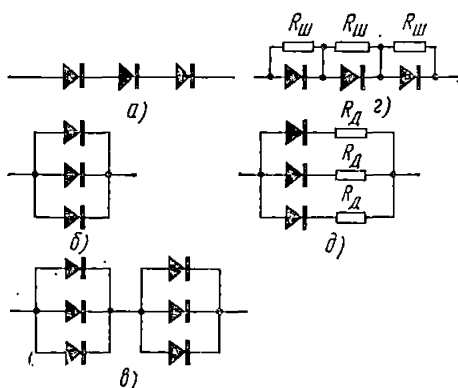


Рис. 162. Соединение вентиляй:

а — последовательное, *б* — параллельное, *в* — смешанное, *г* — выравнивание обратных сопротивлений с помощью шунтирующих резисторов, *д* — выравнивание прямых токов с помощью добавочных резисторов

тилей ток в нагрузке определяется суммой токов вентиляй, а при последовательном — обратное напряжение зависит от суммы обратных напряжений вентиляй. Средний ток через ventиль и обратное напряжение на нем зависят не только от напряжения и тока нагрузки, но и от схемы выпрямления.

Отдельные ventили имеют разные как обратные, так и прямые сопротивления. При последовательном соединении на ventиле с большим обратным сопротивлением будет создаваться большее обратное напряжение и он может пробиться. Чтобы выравнять обратные сопротивления, ventили шунтируют резисторами (рис. 162, *г*), сопротивление которых должно быть в 5—10 раз меньше обратного сопротивления вентиляй. Это приводит к равномерному распределению обратных напряжений даже при большом разбросе параметров вентиляй.

При параллельном включении вентиляй стремятся получить равномерное распределение токов в них. Для этой цели последовательно с каждым ventилем включают резистор такой величины, чтобы падение напряжения на нем было в 3—5 раз больше прямого падения напряжения на ventиле (рис. 162, *д*).

Если добавочные резисторы не включать, то через ventиль с меньшим прямым сопротивлением будет протекать больший ток и ventиль будет перегреваться, вследствие чего он может выйти из строя.

Применение шунтирующих и добавочных резисторов снижает к. п. д. и увеличивает габариты выпрямителя. Поэтому обычно ventили выбирают так, чтобы обратные напряжения и прямой ток не превышали значений, допустимых для данного типа вентиляй.

§ 79. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЕНТИЛЕЙ

Электропроводность веществ зависит от наличия в них носителей электрических зарядов. В металлах такими носителями являются свободные электроны. Металлы обладают хорошей электропроводностью и малым удельным сопротивлением. В изоляторах свободных электронов нет, и они ток не проводят.

Полупроводниками называют вещества, которые по своему удельному сопротивлению занимают промежуточное положение между проводниками и изоляторами.

К полупроводникам относится большинство веществ кристаллической структуры: германий, кремний, селен, закись меди и др.

Электропроводность полупроводников может изменяться под действием температуры, освещения, давления, а также из-за незначительных примесей. С увеличением температуры сопротивление металлов возрастает, а полупроводников — резко уменьшается, т. е. полупроводники имеют отрицательный температурный коэффициент. Электропроводность полупроводников объясняется переме-

щением в них не только носителей отрицательных зарядов — электронов, но и носителей положительных зарядов — дырок.

Под действием внешних причин электроны могут отрываться от атомов полупроводников, в результате чего появляются свободные места, которые могут заполняться другими электронами. Освободившееся при уходе электрона место называется дыркой. Дырку можно рассматривать как положительный заряд, равный по величине заряду вырвавшегося электрона.

Полупроводники, в которых электрический ток создается движением электронов, называются полупроводниками с электронной электропроводностью или полупроводниками n-типа.

Полупроводники, в которых электрический ток создается движением дырок, называются полупроводниками с дырочной электропроводностью или полупроводниками p-типа.*

Электронную и дырочную проводимость рассмотрим на примере широко используемого полупроводника германия.

Германий (рис. 163, а) является элементом четвертой группы системы Менделеева и, следовательно, на внешней оболочке имеет четыре валентных электрона, которые характеризуют его химическую активность и участвуют в процессах электропроводности. При объединении атомов германия в кристалл каждый валентный электрон одного атома создает с валентным электроном другого атома связь, которая называется парноэлектронной связью.

В кристалле германия каждый атом соединяется с четырьмя окружающими его атомами парноэлектронными связями (рис. 163, б). В этих связях электроны удерживаются электрическими силами взаимодействия атомов. Когда температура повышается, электроны получают дополнительную энергию и могут отрываться от атомов. При этом парноэлектронные связи разрушаются и в кристалле появляются свободные электроны и дырки (рис. 163, в).

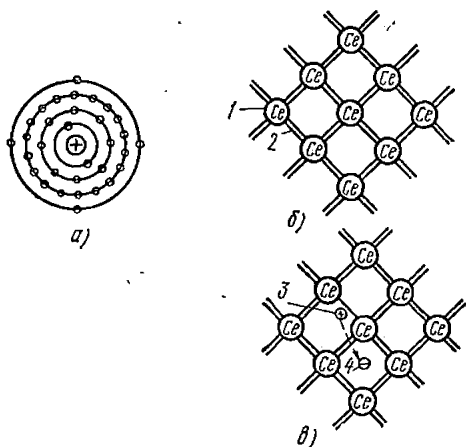


Рис. 163. Образование и разрушение парноэлектронных связей в кристаллической решетке германия:

а — строение атома германия, б — схематическое изображение парноэлектронных (валентных) связей, в — разрушение связей; 1 — атом германия, 2 — парноэлектронная связь, 3 — дырка, 4 — свободный электрон

* n — negativus (лат.) — отрицательный;
p — positivus (лат.) — положительный.

Под действием приложенной разности потенциалов электроны и дырки начинают перемещаться в противоположных направлениях. Дырочная и электронная электропроводности, возникающие в результате разрыва парноэлектронных связей, составляют собственную электропроводность полупроводника, при которой ток создается одновременным перемещением положительных и отрицательных зарядов. Такой полупроводник обладает одновременно дырочной и электронной электропроводностью. Свободные электроны могут заполнять дырки и вырываться из других связей.

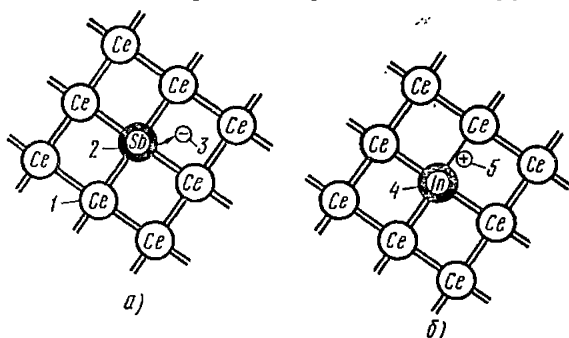


Рис. 164. Принцип образования полупроводников:
а — *n*-типа, б — *p*-типа; 1 — атом германия, 2 — атом донора,
3 — свободный электрон, 4 — атом акцептора, 5 — дырка

Процесс объединения электронов с дырками называется рекомбинацией. Количество образующихся свободных электронов и дырок зависит от температуры полупроводника. При повышении температуры возрастает количество свободных электронов и дырок, что уменьшает сопротивление и увеличивает электропроводность полупроводника.

Собственная электропроводность полупроводника незначительна и объясняется перемещением равного количества свободных электронов и дырок. Введение в полупроводник атомов примеси увеличивает его электропроводность примерно в 1000 раз и позволяет получить полупроводник с преобладанием электронной или дырочной электропроводности.

Если к германию добавить пятивалентный элемент (сурьму, мышьяк или фосфор), то четыре валентных электрона этого элемента создадут связи с четырьмя атомами германия (рис. 164, а), а пятый электрон легко оторвется от атома примеси и станет свободным. В полупроводнике будут преобладать электроны, обеспечивающие электронную электропроводность.

Пятивалентные примеси, создающие электронную электропроводность, называются донорами.

Если к германию добавить трехвалентный элемент (индий, бор или алюминий), то три его валентных электрона создадут связи с тремя атомами германия (рис. 164, б), а для четвертой связи не

хватит электрона и образуется дырка. В полупроводнике будут преобладать дырки, обеспечивающие дырочную электропроводность.

Трехвалентные примеси, создающие дырочную электропроводность, называются *акцепторами**.

На рис. 165 изображено несколько последовательно расположенных атомов полупроводника. Рассмотрим процессы, происходящие в моменты времени $t_1—t_4$. Под действием электрического поля электрон атома 1 отрывается и на его месте появляется дырка. Дырка заполняется электроном атома 2, на месте которого, в свою очередь, образуется дырка. Эта дырка заполняется электроном атома 3 и т. д., в результате чего создается последовательное перемещение положительных зарядов (дырок) от атома к атому, т. е. дырочная электропроводность.

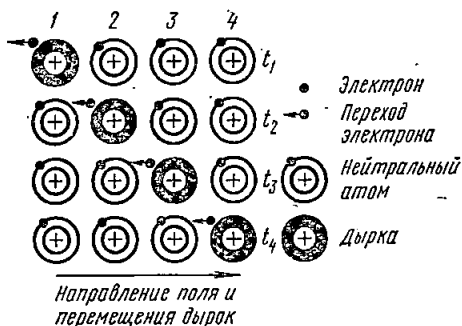


Рис. 165. Принцип дырочной электропроводности

Электроны перемещаются против направления силовых линий электрического поля, а дырки — вдоль линий электрического поля.

Можно привести следующую аналогию образования и перемещения дырок.

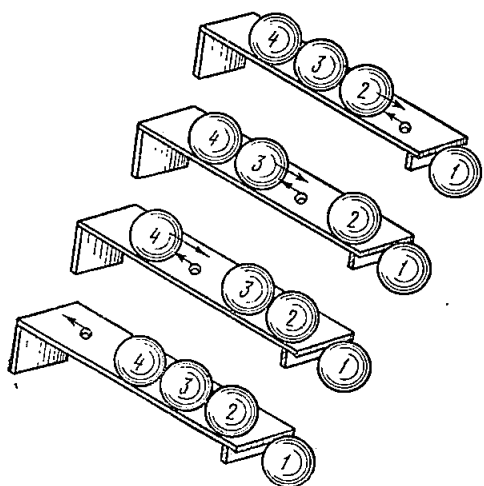


Рис. 166. Аналогия принципа образования и перемещения дырок

Полупроводники с электронной и дырочной электропроводностью в отдельности не обладают свойством односторонней проводимости и не могут

* donator (лат.) — даритель, acceptore (лат.) — принимать.

применяться для изготовления выпрямительных приборов (вентилей). Иначе обстоит дело, если эти полупроводники находятся в плотном электрическом контакте.

Область на границе двух полупроводников с различными типами электропроводности называют электронно-дырочным переходом (p — n -переходом) или запирающим слоем.

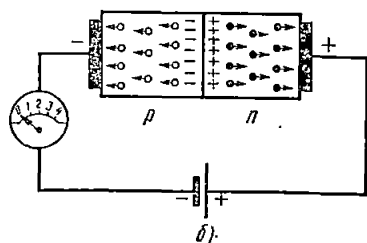
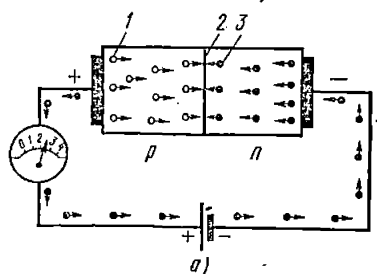


Рис. 167. Физические процессы в p — n -переходе:

а — при прямом напряжении, *б* — при обратном напряжении; 1 — дырка, 2 — p — n -переход, 3 — электрон

Такой переход обладает свойством односторонней электропроводности, которое используется в полупроводниковых диодах для выпрямления переменного тока.

При различной полярности приложенного напряжения резко изменяется сопротивление p — n -перехода. Если вентиль включен в проводящем (прямом) направлении, т. е. к области p подводится положительный, а к области n — отрицательный потенциал (рис. 167, *а*), электроны и дырки приближаются к p — n -переходу. В этом случае запирающий слой сокращается и его сопротивление резко уменьшается. При обратном напряжении (рис. 167, *б*) дырки и электроны, притягиваясь к электродам противоположной полярности, удаляются от p — n -перехода. В зоне p — n -перехода электроны и дырки исчезают, поэтому p — n -переход расширяется и его

сопротивление резко увеличивается. Через p — n -переход проходит незначительный обратный ток, созданный неосновными носителями зарядов, которыми называют дырки и электроны, возникающие в результате разрыва парноэлектронных связей в чистом полупроводнике.

Дырки и электроны, созданные путем введения в полупроводник доноров или акцепторов, называются основными носителями зарядов.

При обратном напряжении в области p — n -перехода создается электрическое поле (рис. 167), препятствующее переходу основных носителей из одной области в другую. Область n из-за ухода электронов заряжается положительно, а область p из-за ухода дырок — отрицательно.

Кривая, показывающая зависимость тока p — n -перехода от прямого $U_{пр}$ и обратного $U_{обр}$ напряжений, называется вольт-амперной характеристикой полупроводникового диода (вентиля). На рис. 168 изображены примерные вольт-амперные характеристики

селенового и германиевого вентилей малой мощности.

Верхняя часть характеристики называется ее прямой ветвью, а нижняя — обратной. Из характеристик видно, что прямой ток в сотни миллиампер можно получить при подведении к вентилям прямого напряжения менее 1 в. В номинальном режиме обратный ток очень мал и не превышает долей миллиампера.

Максимальное обратное напряжение (несколько сотен вольт) выдерживают германиевые (и кремниевые) вентили. Допустимое обратное напряжение селеновых вентилей

меньше. Превышение допустимого обратного напряжения вызывает резкое увеличение обратного тока и пробой $p-n$ -перехода. При этом $p-n$ -переход теряет свои выпрямительные свойства, так как его прямое и обратное сопротивления уменьшаются почти до нуля.

В связи с резкой температурной зависимостью все параметры полупроводниковых вентилей измеряют при температуре окружающей среды 20°C .

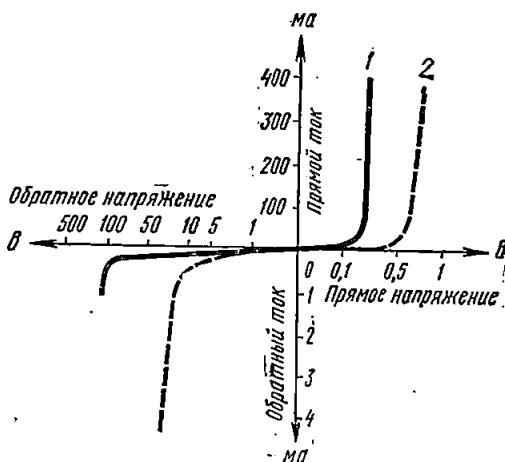


Рис. 168. Вольтамперные характеристики селенового и германиевого вентилей с одинаковыми номинальными выпрямленными токами:

1 — характеристика германиевого вентиля, 2 — характеристика селенового вентиля $\varnothing 45$ мм с обратным напряжением 18 в

§ 80. УСТРОЙСТВО

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЕНТИЛЕЙ

В настоящее время наибольшее распространение получили выпрямители, собранные на селеновых, германиевых и кремниевых вентилях. В измерительной технике применяются медно-закисные (купроксные) вентили, допускающие небольшие токи и малые обратные напряжения.

Селеновый вентиль (рис. 169) представляет собой алюминиевую никелированную пластину 4 с тонким слоем селена 5, на который наносят катодный сплав 7, состоящий из олова, висмута и кадмия. В процессе термической обработки и последующей электрической формовки на поверхности селена образуется $p-n$ -переход 6.

Электрическая формовка вентилей производится подведением постепенно повышаемого обратного напряжения. В процессе формовки происходит диффузия (проникновение) кадмия в толщу селена и образование слоя селенида кадмия. Селенид кадмия

обладает электронной проводимостью, а селен — дырочной. При сборке выпрямительного столба к катодному сплаву прижимают пружинящую контактную шайбу 8. Вентили включают в сеть с помощью шинок 9.

В настоящее время селеновые вентили выпускают на алюминиевой основе, обработанной висмутом.

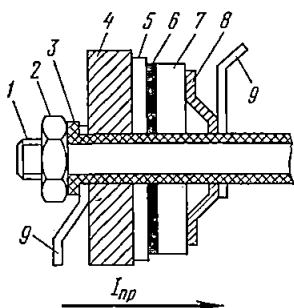


Рис. 169. Устройство селенового вентиля:

1 — монтажный болт, 2 — гайка, 3 — изоляционная трубка, 4 — алюминиевая пластина, 5 — слой селена, 6 — р-п-переход, 7 — катодный сплав, 8 — контактная шайба, 9 — выводные шинки

Селеновые вентили бывают круглые диаметром 18, 25, 35, 45 и 100 мм; квадратные — 40, 60, 75, 90 и 100 мм и прямоугольные с размерами сторон 100×200 и 100×300 мм.

Формовка, производимая на заводах, не гарантирует постоянства электрических параметров селеновых вентилях, так как при длительном хранении происходит их расформовка.

Расформовка сопровождается постепенным уменьшением сопротивления обратному току. Поэтому новые и длительно не работавшие селеновые выпрямители можно включать под нагрузку только после формовки. Расформовка — обратимый процесс, и электрические параметры расформовавшихся вентилях можно восстановить.

Во время формовки постепенно увеличивается сопротивление вентиля обратному току. Кроме того, пробиваются наиболее слабые места запирающего слоя (место пробоя заполняется расплавляющимся селеном) и повышается электрическая прочность вентиля. После формовки селеновых вентилях их обратное сопротивление должно быть в 150—200 раз больше, чем прямое.

В процессе работы с течением времени параметры селеновых вентилях ухудшаются. Это их свойство называется старением. В противоположность расформовке старение является необратимым процессом. Оно сопровождается уменьшением величин выпрямленного тока и напряжения. Старение селеновых вентилях происходит сравнительно медленно и уменьшение выпрямленного тока и напряжения через несколько тысяч рабочих часов не превышает 8—10%.

При проектировании селеновых выпрямителей часто предусматривается возможность компенсации последствий старения. В большинстве случаев такая компенсация осуществляется путем искусственного повышения переменного напряжения, подводимого к вентилям (например, в электропитающем устройстве 12ЭПУ-1), или уменьшением сопротивления гасящего резистора в цепи нагрузки (в селеновом выпрямителе усилителя 90У-2).

В селеновых вентилях при местном пробое вентиляльные свойства

автоматически восстанавливаются. Это называется самовосстановлением вентиля. При пробое вентиля в нем резко увеличивается ток, нагревающий селен, в результате чего селен расплавляется и покрывает место пробоя. Пробой селенового вентиля приводит к выходу его из строя в том случае, если в место пробоя затекает расплавленный катодный сплав, который накоротко замыкает электроды анода и катода. Иногда пробитые и самозакороченные вентили удается восстановить путем выжигания образовавшейся перемычки переменным током низкого напряжения.

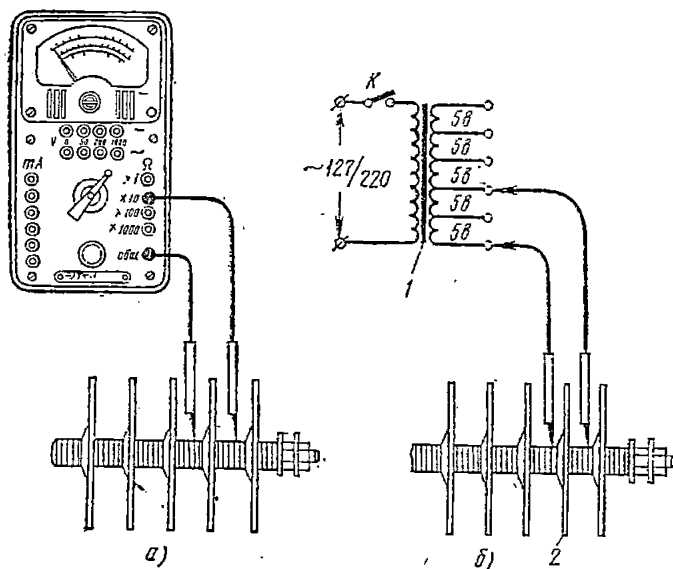


Рис. 170. Проверка исправности и восстановление селеновых вентилях:

а — обнаружение закороченного вентиля омметром, б — восстановление закороченного вентиля; 1 — понижающий трансформатор, 2 — закороченный вентиль

С помощью омметра (рис. 170, а) обнаруживают пробитый вентиль, а затем к нему на 0,5—1 сек (рис. 170, б) подводят переменное напряжение 10—15 в от трансформатора мощностью не менее 500 вa (например, с панели управления КАТ). Заключение о восстановлении электрических свойств вентиля делают по показаниям омметра при измерении прямого и обратного сопротивлений.

Если закороченный вентиль восстановить не удастся, выпрямительный столб следует заменить.

В зависимости от площади $p-n$ -перехода вентили подразделяют на точечные и плоскостные, а последние в свою очередь — на маломощные и мощные.

В соответствии с утвержденной классификацией принята двухэлементная система обозначений германиевых и кремниевых вентилей.

лей. Первый элемент — буква Д (диод); второй — число, указывающее тип и область применения вентиля:

Точечные германиевые	1—100
» кремниевые	101—200
Плоскостные кремниевые	201—300
» германиевые	301—400

Наименование ранее выпускавшихся маломощных плоскостных германиевых диодов серии Д7 осталось без изменений.

Германиевые вентили, или диоды, характеризуются малым сопротивлением прямому току, высоким к. п. д. и небольшими размерами, но в то же время имеют резкую зависимость параметров от температуры.

Точечные диоды Д1, Д2, Д9 (рис. 171, а) представляют собой пластину германия *n*, к поверхности которой прижимают или приваривают острие иглы из вольфрама или фосфористой бронзы. Диоды этих серий применяют в высокочастотной части радиоприем-

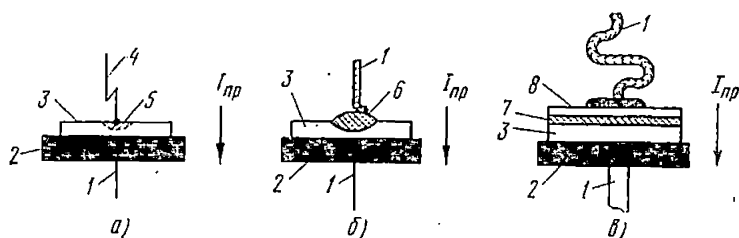


Рис. 171. Схемы устройства германиевых диодов:

а — точечного, б — маломощного плоскостного, в — мощного плоскостного; 1 — выводы, 2 — основание, 3 — германий *n*, 4 — пружина из вольфрама или фосфористой бронзы, 5 — зона *p*, 6 — капля индия, 7 — пластина индия, 8 — токосъемная пластина

ников и телевизоров для выпрямления переменных токов высокой частоты.

Точечные диоды позволяют выпрямлять ток величиной до 20—30 *ма* при обратном напряжении до 30—50 *в*.

Маломощные плоскостные диоды Д7, Д302—Д305 и др. (рис. 171, б) обладают повышенной мощностью, так как *p* — *n* — переход, образуемый в слое германия вблизи границы с каплей индия, имеет большую площадь. Прямая проводимость соответствует направлению от индия к германию. Диоды серии Д7 (от Д7А до Д7Ж) рассчитаны на выпрямленный ток до 300 *ма* и обратное напряжение от 50 (Д7А) до 400 *в* (Д7Ж).

Диоды серии Д300 могут выпрямлять ток от 1 до 10 *а* при амплитуде обратного напряжения от 50 (Д305) до 200 *в* (Д302). Облегчение температурного режима наиболее мощных диодов этой серии производят с помощью специальных радиаторов с большой поверхностью охлаждения,

Радиаторы изготовляют из металлов, обладающих хорошей теплопроводностью (медь, алюминий), а для улучшения теплоотдачи их чернят химическим путем или окрашивают черной температуростойкой краской.

Чем больше площадь p — n -перехода, тем больше его собственная емкость и ниже рабочая частота диода. Рабочая частота плоскостных диодов малой мощности не превышает 10—20 кгц. По этой причине мощные диоды используют только для выпрямления переменного тока промышленной частоты (50 гц).

Мощные плоскостные германиевые диоды (рис. 171, в), применяемые в схемах стабилизированных выпрямителей питания дуговых ламп, конструктивно аналогичны маломощным плоскостным вентилям серии Д300.

Промышленность выпускает мощные вентили под шифром ВГ-10 и ВГ-50. Обозначение вентиля состоит из букв ВГ (вентиль германиевый) и двух чисел (например, ВГ-50-80). Первое число показывает номинальный прямой ток в амперах (при принудительном охлаждении со скоростью движения воздуха 2,5 м/сек), а второе — амплитуду обратного напряжения. При увеличении скорости воздуха в два раза прямой ток вентиля ВГ-10 и ВГ-50 может быть повышен соответственно до 15 и 60 а, а при естественном охлаждении — не должен превышать 4—20 а.

Отсюда следует, что при конструировании выпрямителей особое внимание необходимо обращать на облегчение температурного режима вентиля. С этой целью вентили максимально удаляют от нагреваемых деталей и размещают в нижней части аппаратуры, куда обеспечивается свободный приток холодного воздуха.

Обратное сопротивление германиевых вентилях в несколько тысяч раз больше прямого. Однако даже незначительное повышение температуры вызывает резкое возрастание обратного тока, дополнительный нагрев p — n -перехода и может привести к пробоем вентилей.

Кремниевые вентили выгодно отличаются от германиевых большей стабильностью в работе при колебаниях температуры окружающей среды от -40 до $+140^{\circ}\text{C}$. В этих вентилях в качестве полупроводникового материала используется пластина кристаллического кремния. С одной стороны пластину покрывают сплавом серебра с сурьмой, а с другой — на нее наплавляют алюминий.

Кремний обладает электронной электропроводностью, а слой, обработанный алюминием, — дырочной. Прямая проводимость вентиля — от алюминия к кремнию.

Кремниевые вентили по сравнению с германиевыми имеют большее прямое падение напряжения, но вместе с тем выдерживают и значительно большее обратное напряжение (до 600 в и выше), что позволяет при выпрямлении высоких напряжений отказаться от последовательного включения нескольких вентилях. Кремниевые вентили характеризуются малыми размерами и повышенной плотностью тока, которая в несколько тысяч раз превышает плотность

тока, допускаемую селеновыми вентилями. Кроме того, они не подвержены старению и расформовке, однако очень чувствительны даже к кратковременным перегрузкам.

От токов перегрузки кремниевые и германиевые вентили защищают быстродействующими автоматами или предохранителями, так как при перегрузке вентиль выходит из строя раньше, чем срабатывает относительно инерционная защита обычного типа. С этой точки зрения кремниевые и германиевые вентили целесообразно применять в схемах стабилизированных выпрямителей, управляющая часть которых, стабилизируя ток в цепи, автоматически предохраняет вентили от перегрузки.

Маломощные кремниевые вентили Д202—Д211 рассчитаны на среднее значение прямого тока от 100 (Д206—К211) до 400 *ма* (Д202—Д204), причем вентили последних серий должны быть снабжены радиаторами. В противном случае средняя величина прямого тока не должна превышать 200 *ма*. Маломощные диоды Д226А по конструкции, внешнему оформлению и области применения принципиально аналогичны германиевым диодам серий Д7А—Д7Ж.

Мощные кремниевые вентили ВК в зависимости от условий охлаждения рассчитаны на среднее значение прямого тока от 5 (ВК-10А — при естественном охлаждении) до 20 *а* (ВК-10А, Б, В — с принудительным охлаждением 15 *м/сек*), соответственно вентили ВК-200А, Б — от 50 (естественное охлаждение) до 200 *а* (принудительное охлаждение 15 *м/сек*).

Обозначение кремниевых вентилях состоит из четырех элементов: первый элемент — буквы ВК (вентиль кремниевый); второй — число, указывающее прямой ток в амперах; третий — число, характеризующее класс вентиля от 0,5 ($U_{обр}=50$ в) до 4 ($U_{обр}=400$ в); четвертый — буква, указывающая группу вентиля.

Группа вентиля и способ охлаждения определяют среднее значение прямого тока. Например: ВК-200-2А — вентиль кремниевый, рассчитанный на прямой ток 200 *а* и обратное напряжение 200 в.

В табл. 8 и 9 приведены классы кремниевых вентилях ВК и нагрузки на них, а в табл. 10 — основные параметры различных типов полупроводниковых диодов.

Таблица 8

Классы кремниевых вентилях ВК

Класс вентиля	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Предельное обратное напряжение, в . . .	50	75	100	150	200	250	300	350	400

Нагрузки на кремниевые вентили ВК

Марка вентиля	Группа вентиля	Способ охлаждения	Среднее значение прямого тока, а
ВК-10	А	Естественное без радиатора	5
	А	» с радиатором	10
	А, Б, В	Принудительное 5 м/сек	15
	А, Б, В	» 15 м/сек	20
ВК-25	А	Естественное с радиатором	15
	А, Б, В	Принудительное 10 м/сек	25
ВК-50	А	Естественное с радиатором	25
	А, Б, В	Принудительное 5 м/сек	50
	А, Б	» 15 м/сек	100
ВК-200	А, Б	Естественное с радиатором	50
	А, Б	Принудительное 5 м/сек	150
	А, Б	» 15 м/сек	200
	В	» 15 м/сек	100

Таблица 10

Основные параметры полупроводниковых вентиляй

Мощность и способ охлаждения	Тип вентиля	К. п. д., %	Наибольшая плотность тока, а/см ²	Прямое падение напряжения, в	Предельное значение обратного напряжения, в	Наибольшая допустимая температура р-п-перехода, °С
Маломощные с естественным охлаждением	Селеновый	До 70	0,05	0,5—0,7	35—60	75—130
	Германиевый	До 99	20—40	0,3—0,5	100—400	70—80
	Кремниевый	До 99	60—80	1,0—1,5	100—600	140—200
Мощные с принудительным охлаждением	Германиевый	До 98	50—100	0,2—0,4	50—200	70—80
	Кремниевый	До 98	50—100	0,5—0,6	50—400	140—200

§ 81. СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ ПИТАНИЯ ДУГОВЫХ И КСЕНОНОВЫХ ЛАМП

Качество проецируемого изображения зависит не только от ярких и спектральных характеристик дуговых и ксеноновых ламп, но и от электрических параметров источников постоянного тока.

Колебания напряжения сети и изменения сопротивления дуги вызывают соответствующие изменения освещенности экрана и

искажение цветопередачи при демонстрации цветных фильмокопий. Необходимость стабилизации режима работы дуговых источников света является весьма важным фактором. Поэтому для питания дуговых и ксеноновых ламп постоянным током преимущественно применяют стабилизированные селеновые, германиевые и кремниевые выпрямители.

В новых разработках предпочтение отдают германиевым и кремниевым выпрямителям, обладающим более высоким к. п. д.

Выпрямители для питания дуговых и ксеноновых ламп могут быть разбиты на четыре группы:

1. В средних кинотеатрах применяют выпрямители, рассчитанные на номинальный ток 60 а и напряжение 30—45 в: 26ВС-60 (селеновый), ВГК-60/45 (германиевый) и ВКК-60/45 (кремниевый).

2. В широкоэкранных киноустановках используют более мощный селеновый выпрямитель 20ВСС-1, рассчитанный на номинальный ток 60 а и напряжение 40—60 в.

3. В крупных широкоэкранных и широкоформатных кинотеатрах применяют выпрямители: 32ВС-125/85 (селеновый 125 а, 85 в) и ВКК-150/70 или 36ВК-250 (кремниевые).

4. Для питания ксеноновых ламп мощностью 1000 вт (50 а, 20 в) разработан селеновый выпрямитель 45ВУК-50.

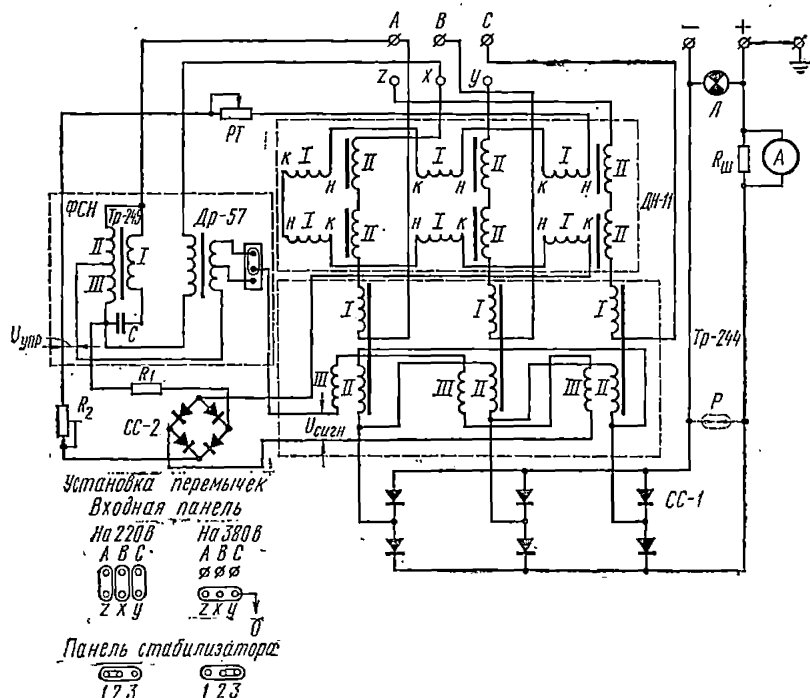


Рис. 172. Принципиальная схема выпрямителя 26ВС-60

Выпрямители 26ВС-60, ВГК-60/45 и ВКК-60/45 имеют одинаковые технические данные, электрические схемы и конструкцию и различаются только типами применяемых вентиляей.

Стабилизированный селеновый выпрямитель 26ВС-60. Выпрямитель 26ВС-60 состоит из двух основных частей: силовой и управляющей.

В силовую часть (рис. 172) входят: трехфазный дроссель насыщения ДН-11, трехфазный понижающий трансформатор Тр-244 и главный селеновый выпрямитель СС-1, собранный по схеме Ларионова.

Силовая часть выпрямителя предназначена для питания дуги постоянным током.

В управляющую часть входят: феррорезонансный стабилизатор напряжения ФСН, селеновый выпрямитель СС-2, собранный по однофазной мостовой схеме, два проволочных резистора R_1 и R_2 и регулятор тока дуги РТ.

Управляющая часть предназначена для стабилизации тока дуги.

Основные технические данные выпрямителя 26ВС-60:

Номинальное напряжение питания	3×220 или 3×380 в с нулем
Мощность, потребляемая от сети при номинальной нагрузке	4,3 квт (8 кка)
Номинальный выпрямленный ток	60 а
Номинальное выпрямленное напряжение	45 в
Пределы регулировки тока	40—65 а
Точность стабилизации тока	$\pm 3\%$
Режим работы	Повторно кратковременный (25 мин работа, 25 мин пауза)
К. п. д.	65%
Коэффициент мощности	0,56

Трехфазный дроссель насыщения ДН-11 является исполнительным элементом схемы. Он состоит из шести однофазных дросселей с сердечниками броневоего типа. На каждом сердечнике размещена обмотка переменного тока II и управляющая обмотка I. Обмотки переменного тока каждой пары дросселей включены последовательно с первичными обмотками главного трансформатора Тр-244.

Управляющие обмотки всех дросселей включены последовательно, но так, чтобы переменные э. д. с., индуктированные в двух дросселях каждой фазы, взаимно компенсировались.

При изменении тока в управляющих обмотках изменяется индуктивное сопротивление обмоток переменного тока и происходит перераспределение подводимого напряжения сети между фазовыми обмотками дросселя ДН-11 и первичными обмотками трансформатора Тр-244. Очевидно, что изменения напряжения в первичных обмотках трансформатора Тр-244 вызовут изменения напряжения, подводимого к выпрямителю СС-1 и к дуге.

Если изменения тока дуги (или напряжения сети) будут вызывать необходимые изменения тока в управляющих обмотках, то это позволит осуществить стабилизацию тока дуги. Данный принцип лежит в основе работы управляющей цепи выпрямителя 26ВС-60.

Трехфазный трансформатор *Тр-244* служит для понижения напряжения до величины, необходимой для питания выпрямителя *СС-1*. В зависимости от напряжения сети первичные обмотки соединяют треугольником или звездой. Переключение производится путем перестановки перемычек на входной панели выпрямителя (см. рис. 172). При напряжении сети 220 в первичную цепь включают треугольником, а при напряжении 380 в — звездой. Если напряжение сети 380 в, к нейтральной точке звезды следует подключать четвертый (нулевой) провод, что несколько улучшает стабилизацию тока дуги.

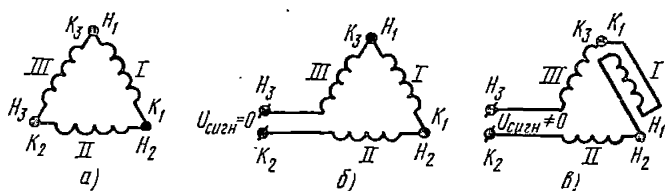


Рис. 173. Схемы соединения обмоток треугольником:

а — правильный замкнутый (закрытый) треугольник, б — правильный разомкнутый (открытый) треугольник, в — неправильный открытый треугольник

На каждом сердечнике трансформатора *Тр-244* расположены две вторичные обмотки: основная *II* и сигнальная *III*. Основные обмотки включены треугольником и служат для питания выпрямителя *СС-1*. Сигнальные обмотки соединены по схеме неправильного открытого треугольника и предназначены для создания сигнала ($U_{\text{сигн.}}$), зависящего от режима работы дуги.

На рис. 173, а приведена типовая схема соединения вторичных обмоток в правильный замкнутый треугольник.

Если цепь обмоток разомкнуть в узловой точке (рис. 173, б), получим схему правильного открытого (разомкнутого) треугольника. В такой схеме геометрическая сумма напряжений, сдвинутых на 120° , будет равна нулю.

Переключение выводов одной из обмоток (рис. 173, в) дает нам схему неправильного открытого треугольника, в которой напряжение сигнала $U_{\text{сигн.}}$ будет пропорционально напряжению на выходе выпрямителя, т. е. на дуге.

Главный селеновый выпрямитель *СС-1* (см. рис. 172) собран по схеме Ларионова и служит для выпрямления трехфазного переменного тока. Напряжение на выпрямитель поступает от основных обмоток главного трансформатора *Тр-244*, а выпрямленный ток подводится в цепь дуги.

Стабилизатор напряжения. В выпрямителе 26ВС-60 применен феррорезонансный стабилизатор напряжения, состоящий из насыщенного трансформатора *Тр-245* и дросселя с зазором *Др-57*. Компенсационная обмотка дросселя с зазором имеет отводы, что позволяет при заводской настройке управляющей цепи подбирать напряжение, обеспечивающее лучшую стабилизацию тока нагрузки. Стабилизатор работает в режиме перекомпенсации, т. е. при повышении напряжения сети выходное напряжение стабилизатора несколько уменьшается, а при понижении напряжения сети — увеличивается.

Это напряжение $U_{\text{упр}}$ является вторым управляющим сигналом, обеспечивающим необходимую стабилизацию тока дуги. Первым управляющим сигналом служит напряжение $U_{\text{сигн.}}$, снимаемое с сигнальных обмоток главного трансформатора.

Выпрямитель СС-2 собран по однофазной мостовой схеме и предназначен для питания управляющих обмоток трехфазного дросселя насыщения *ДН-11*. Резисторы R_1 и R_2 подбирают на заводе, чтобы повысить качество стабилизации и уменьшить влияние на работу управляющей цепи изменений активного сопротивления управляющих обмоток дросселя *ДН-11* при их нагреве. Переменный резистор (регулятор тока) *РТ* позволяет регулировать рабочий ток дуги в пределах от 40 до 65 а.

Постоянный ток к управляющим обмоткам дросселя *ДН-11* подводится от селенового выпрямителя *СС-2*, а обмотки переменного тока дросселя играют роль регулируемых индуктивных сопротивлений, включенных последовательно в цепь дуги.

При увеличении тока в управляющих обмотках индуктивное сопротивление обмоток переменного тока дросселя *ДН-11* уменьшается, а ток дуги возрастает. Уменьшение тока в управляющих обмотках вызывает увеличение индуктивного сопротивления обмоток переменного тока и, следовательно, уменьшение тока дуги. Чтобы стабилизировать ток дуги, необходимо управлять током подмагничивания с помощью сигналов $U_{\text{сигн.}}$ и $U_{\text{упр.}}$.

Первый управляющий сигнал $U_{\text{сигн.}}$, зависящий от изменения напряжения на дуге, снимается с сигнальных обмоток главного трансформатора. Второй сигнал $U_{\text{упр.}}$, реагирующий на изменение напряжения сети, снимается с выхода феррорезонансного стабилизатора напряжения. Оба управляющих сигнала $U_{\text{сигн.}}$ и $U_{\text{упр.}}$ через резистор R_1 подводятся к селеновому выпрямителю *СС-2*. Выходное напряжение этого выпрямителя через резистор R_2 и регулятор тока дуги *РТ* поступает на управляющие обмотки дросселя насыщения *ДН-11*.

При сгорании углей сопротивление дуги возрастает и падение напряжения на дуге увеличивается, что вызывает увеличение управляющего сигнала и напряжения на выпрямителе *СС-2*. Поэтому выходной ток выпрямителя возрастает, подмагничивание дросселя *ДН-11* увеличивается и ток дуги возрастает до прежнего значения, т. е. стабилизируется. Обратные процессы происходят при сведении

углей: сопротивление дуги падает, управляющий сигнал $U_{\text{сигн.}}$ и ток подмагничивания дросселя ДН-11 уменьшаются, что увеличивает индуктивное сопротивление обмоток переменного тока и стабилизирует ток дуги. Когда напряжение на нагрузке остается неизменным, а в сети уменьшается, напряжение $U_{\text{упр}}$ на выходе перекompенсированного стабилизатора возрастает, а фаза напряжения $U_{\text{упр}}$ изменяется таким образом, что результирующее напряжение,

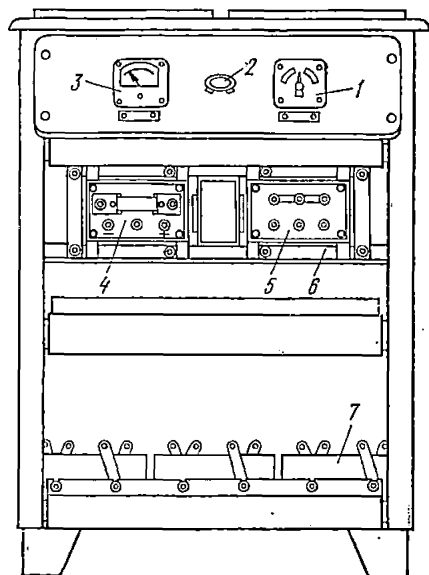


Рис. 174. Внешний вид выпрямителя 26BC-60:

1 — регулятор тока дуги, 2 — сигнальная лампа, 3 — амперметр, 4 — выходная панель, 5 — входная панель, 6 — дроссель насыщения ДН-11, 7 — главный селеновый выпрямитель СС-1

подводимое к выпрямителю СС-2, увеличивается. Поэтому ток в управляющих обмотках дросселя ДН-11 увеличивается, индуктивное сопротивление обмоток переменного тока уменьшается и ток дуги возрастает до своего значения, установленного регулятором тока РТ.

Шкаф выпрямителя (рис. 174) изготовлен из листовой стали. В нижней части шкафа размещены вентили главного выпрямителя, состоящего из 72 селеновых элементов с прямоугольной формой пластин. Выше расположен блок понижающего трансформатора, далее — блок трехфазного дросселя насыщения и в самой верхней части — феррорезонансный стабилизатор напряжения с селеновым выпрямителем СС-2.

Для подключения соединительных проводов трехфазной сети и дуговой лампы на дросселе ДН-11 укреплены две панели с зажимами. На панели контроля и управления разме-

щены амперметр со шкалой на 75 а, сигнальная лампа и реостат ручной регулировки тока дуги РТ.

Выпрямители ВГК-60/45 и ВКК-60/45 имеют такую же конструкцию, но вместо селеновых вентилях внизу у них размещено шесть германиевых или кремниевых вентилях. Так как мощность потерь в германиевых и кремниевых вентилях меньше, чем в селеновых, выпрямители ВГК-60/45 и ВКК-60/45 имеют более высокий к. п. д. (77%), чем выпрямитель 26BC-60 (65%). Для защиты от пробоя при кратковременных перенапряжениях кремниевые и германиевые выпрямители снабжены разрядником Р, показанным штриховой линией на принципиальной схеме (см. рис. 172).

Эксплуатация выпрямителя. Новый, а также длительно не рабо-

тавший выпрямитель 26ВС-60 нельзя сразу включать под нагрузку, так как вследствие расформовки могут быть пробиты вентили главного выпрямителя. Такой выпрямитель необходимо подвергнуть сначала сушке, а затем электрической формовке селеновых столбов.

Электрическую сушку выпрямителя производят следующим образом: снимают передние крышки шкафа, замыкают голым медным проводом сечением 6—10 мм² выходные зажимы (+) и (—) и устанавливают в крайнее левое положение регулятор тока дуги *РТ*. Включают выпрямитель в сеть переменного тока и дают ему поработать в режиме короткого замыкания 1,5—2 ч.

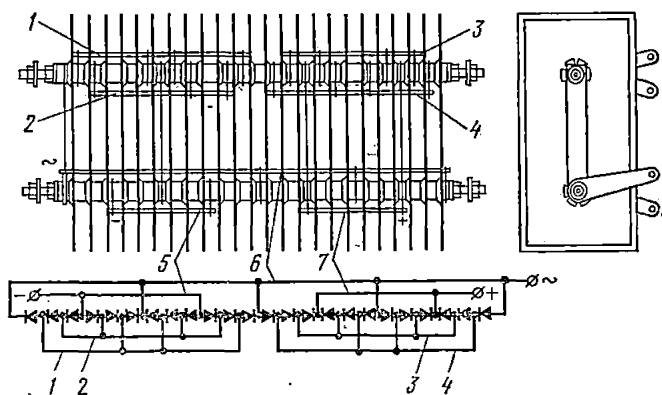


Рис. 175. Схема расположения соединительных шин селенового столба АВС-200-842С.

Формовка. После отключения выпрямителя от сети снимают перемычку с зажимов постоянного тока и подключают дуговую лампу с предварительно замкнутыми углями. В этом положении выпрямитель подключают к сети трехфазного переменного тока и с помощью реостата *РТ* по амперметру устанавливают ток 60 а. Затем медленно разводят уголи и, добившись нормальной величины выходного напряжения (40—45 в), работают 10—15 мин. Далее постепенно разводят уголи до разрыва дуги и в режиме холостого хода дают выпрямителю поработать еще 10—15 мин.

Выходное напряжение контролируют с помощью вольтметра постоянного тока со шкалой 75—150 в, подключенного к выходу выпрямителя.

В том случае когда в аппаратной установлены резервные селеновые выпрямители, во избежание расформовки их рекомендуется периодически (раз в 1—2 месяца) включать в работу.

Если в процессе сушки и формовки внешние признаки, сигнализирующие о повреждении селеновых элементов (перегрев вентилях, неприятный запах и щелчки, возникающие при местных пробоях

p — *n*-перехода), отсутствуют, выпрямитель считается подготовленным к эксплуатации. Если же указанные признаки наблюдаются, выпрямитель включают в сеть, подсоединяют нагрузку и с помощью магнитоэлектрического прибора измеряют напряжение между шинками 1 и 2; 1 и 6; 2 и 5; 3 и 4; 4 и 6; 3 и 7 (рис. 175). При исправных вентилях показания прибора должны быть примерно 11—15 в.

Отсутствие показаний прибора или резко заниженные показания, а также перегрев отдельных элементов свидетельствуют о пробое вентилях. Пробитый вентиль обнаруживают путем измерения напряжения между соседними дистанционными шайбами в поврежденной группе. Поврежденный вентиль следует восстановить путем выжигания образовавшейся перемычки или заменить новым.

В сеть переменного тока выпрямители включают трехполюсным рубильником или дистанционно — с помощью специального выключателя на кинопроекторе и магнитного пускателя, расположенного в распределительном устройстве.

Выпрямитель 20ВСС-1. Стабилизированный выпрямитель 20ВСС-1 предназначен для питания дуговых ламп широкоэкранных кинопроекторов КИТ-3, 35-СКПШ-1 и 35-СКПШ-2 номинальным током 90 а при напряжении 57 в. Электрическая схема выпрямителя позволяет с помощью специального резистора установить выходной ток 60 а, что бывает необходимо при демонстрации обычных кинофильмов.

Силовая часть выпрямителя (рис. 176) состоит из трехфазного дросселя насыщения ДН-8, трехфазного понижающего трансформатора Тр-236 и главного селенового выпрямителя СС-1.

В управляющую часть входят: феррорезонансный стабилизатор напряжения, состоящий из насыщенного трансформатора Тр-237, дросселя с зазором Др-54 и блока конденсаторов БК; два однофазных дросселя насыщения ДН-9 и ДН-10; два селеновых выпрямителя СС-2 и СС-3.

Датчиком управляющего сигнала является дроссель ДН-9, в котором обмотка постоянного тока 17—18 включена в цепь дуги, а обмотка переменного тока 13—14 — в цепь питания выпрямителя СС-2.

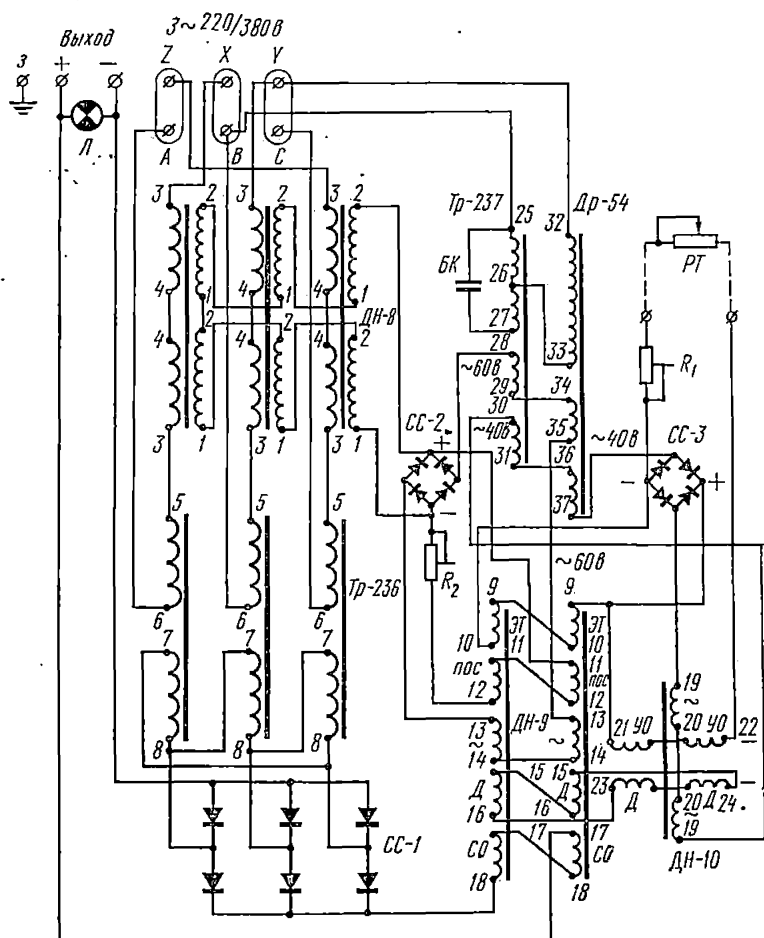
Чтобы изменения напряжения сети не влияли на режим работы дуги, селеновые выпрямители СС-2 и СС-3 питаются неизменным по величине напряжением от феррорезонансного стабилизатора.

Дроссель ДН-10 введен в схему для температурной компенсации режима работы управляющей цепи.

Регулировку тока дуги производят с помощью резистора РТ, конструктивно размещенного на устройстве распределения и управления 18-УРУ-1, входящего в комплект широкоэкранный киноустановки.

Феррорезонансный стабилизатор напряжения развивает стабилизированные напряжения 40 и 60 в, необходимые для питания цепей автоматической стабилизации тока.

Переменное напряжение 60 в через обмотку переменного тока



Расположение перемычек
на входной панели

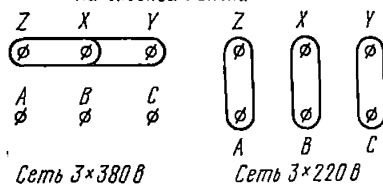


Рис. 176. Принципиальная схема выпрямителя 20BCC-1

13—14 дросселя ДН-9 подводится к селеновому выпрямителю СС-2. Выпрямленный ток с этого выпрямителя поступает на питание управляющей обмотки дросселя ДН-8 и обмотки обратной связи 11—12 дросселя ДН-9.

Переменное напряжение 40 в через обмотку переменного тока 19—20 дросселя ДН-10 подводится к выпрямителю СС-3, который питает эталонную обмотку 9—10 дросселя ДН-9.

Дроссель насыщения ДН-9 имеет на своем магнитопроводе пять обмоток: обмотку переменного тока 13—14, три обмотки постоянного тока (серийную 17—18, эталонную 9—10, положительной обратной связи 11—12) и специальную демпферную обмотку 15—16.

Эталонная обмотка и обмотка обратной связи намотаны в одну сторону, поэтому ампер-витки обмоток складываются. Серийная обмотка наматывается в противоположную сторону. Предположим, что намагничивающие силы этих обмоток составляют: 300 аш — серийной, 400 аш — эталонной, 500 аш — обмотки обратной связи. Следовательно, намагничивающая сила в сердечнике дросселя ДН-9 равна:

$$400 \text{ аш} + 500 \text{ аш} - 300 \text{ аш} = 600 \text{ аш}.$$

Увеличение тока в серийной обмотке вызывает уменьшение подмагничивания сердечника дросселя ДН-9, и наоборот.

Демпферная обмотка 15—16 служит для уменьшения броска тока короткого замыкания при зажигании дуги и уничтожения собственных колебаний выходного тока низкой частоты (1—2 гц). Эта обмотка непосредственного воздействия на стабилизацию тока дуги не оказывает.

Рассмотрим процессы, происходящие при изменениях тока в цепи дуги. Если в результате сгорания углей ток в цепи дуги уменьшится, подмагничивание сердечника дросселя ДН-9 увеличится, индуктивное сопротивление обмотки переменного тока понизится и на селеновый выпрямитель СС-2 будет подано большее напряжение. При этом выходной ток выпрямителя СС-2 и подмагничивание сердечника дросселя ДН-8 увеличатся, в результате чего ток дуги возрастет до первоначального значения. Возрастание тока дуги, наоборот, вызовет уменьшение подмагничивания сердечников дросселей ДН-9 и ДН-8 и стабилизацию тока дуги.

Обмотка обратной связи 11—12 включена параллельно управляющей обмотке дросселя ДН-8. Поэтому возрастание тока в управляющей обмотке дросселя ДН-8 сопровождается соответствующим увеличением тока в обмотке обратной связи, увеличением подмагничивания сердечника дросселя ДН-9 и дальнейшим ростом тока в управляющей обмотке дросселя ДН-8. Это способствует увеличению чувствительности управляющей цепи и лучшей стабилизации тока в нагрузке.

Дроссель насыщения ДН-10. Схема питания обмотки управления дросселя ДН-10 имеет некоторые особенности. У дросселя три

обмотки: переменного тока 19—20, управляющая 21—22 и демпферная 23—24.

Через обмотку переменного тока подводится питание от феррорезонансного стабилизатора напряжения к селеновому выпрямителю СС-3. Подмагничивание дросселя ДН-10 осуществляется постоянным током, величина которого определяется сопротивлением резистора R_1 , положением регулятора тока дуги РТ и величиной напряжения на зажимах эталонной обмотки 9—10 дросселя ДН-9.

Настройка этих элементов производится с таким расчетом, чтобы при увеличении сопротивления эталонной обмотки (при ее нагреве) происходило некоторое возрастание тока в управляющих обмотках дросселей ДН-10 и ДН-8, чем обеспечивается температурная компенсация режима работы управляющей цепи выпрямителя.

Основные технические данные выпрямителя 20ВСС-1

Номинальное напряжение питания	3×220 или 3×380 в
Потребляемая мощность	7,5 квт (12,5 кка)
Допустимые пределы колебаний напряжения сети	80—110%
Номинальный выпрямленный ток	90 а
Номинальное выпрямленное напряжение	57 в
Точность стабилизации тока	$\pm 2\%$
К. п. д.	65%
Коэффициент мощности	0,6
Режим работы	Повторно кратковременный (25 мин работа, 25 мин пауза)

Конструктивное оформление и эксплуатация выпрямителя 20ВСС-1. Выпрямитель размещен в металлическом прямоугольном шкафу с двумя открывающимися дверцами. Конструкция шкафа выполнена с учетом обеспечения интенсивного охлаждения вентиля и свободного доступа к деталям схемы. Шкаф следует устанавливать на расстоянии не менее 1 м от стен помещения и по возможности удалять от отопительных приборов.

При напряжении трехфазной сети 380 в сечение токоподводящих проводов должно быть не менее 6 мм², а при напряжении 220 в — не менее 10 мм². Для некоторого улучшения качества стабилизации при включении выпрямителя в сеть 380 в к общей нейтральной точке звезды следует присоединять нулевой провод сечением не менее 6 мм². Корпус выпрямителя должен быть надежно заземлен или соединен с нулевым проводом трехфазной сети.

Заземляющий провод сечением не менее 10 мм² присоединяют к специальному болту, имеющемуся на одной из ножек шкафа выпрямителя.

Краткие сведения о выпрямителях 32ВС-125/85 и 36ВК-250. В последние годы отечественная промышленность освоила выпуск комплектов электропитающей аппаратуры, предназначенной для оборудования сверхмощных кинотеатров с универсальными проекторами КП-15 и КП-30, полезные световые потоки которых соответ-

ственно 20 000 и 40 000 лм. Основными элементами этих комплектов аппаратуры являются стабилизированные выпрямители 32BC-125/85 (селеновый) и 36BK-250 (кремниевый) с номинальными токами 125 и 250 а. Высокие электрические параметры и эксплуатационные качества данных выпрямителей обеспечиваются благодаря изготовлению магнитопроводов из новых сортов холоднокатаной трансформаторной стали и введению в управляющую цепь чувствительных полупроводниковых усилителей.

В выпрямителях применено принудительное воздушное охлаждение вентиля и приняты меры для ограничения ударного тока короткого замыкания при зажигании дуги.

Защита вентиля от перегрева осуществляется с помощью ветрового реле, которое при повреждении вентилятора или снижении притока охлаждающего воздуха автоматически уменьшает ток дуги или включает сигнальную лампу на распределительном устройстве. Для снижения наводок от переменной составляющей тока дуги на магнитные головки кинопроекторов в цепь дуги включен дроссель фильтра.

В выпрямителях предусмотрена возможность плавного регулирования тока дуги в пределах от 60 до 125 а (32BC-125/85) и от 110 до 250 а (36BK-250).

Выпрямитель 45ВУК-50. Ксеноновые лампы постоянного тока должны питаться от выпрямительного устройства с малой величиной пульсаций на выходе. Лампу ДКсШ-1000 можно питать от выпрямителя 26BC-60 через дополнительный сглаживающий фильтр, состоящий из дросселя низкой частоты индуктивностью 6—7 мГн и конденсатора емкостью 30 мкФ.

Принципиально ксеноновая лампа будет гореть при подключении к любому типовому выпрямителю. Однако при этом уменьшаются полезный световой поток и срок службы лампы.

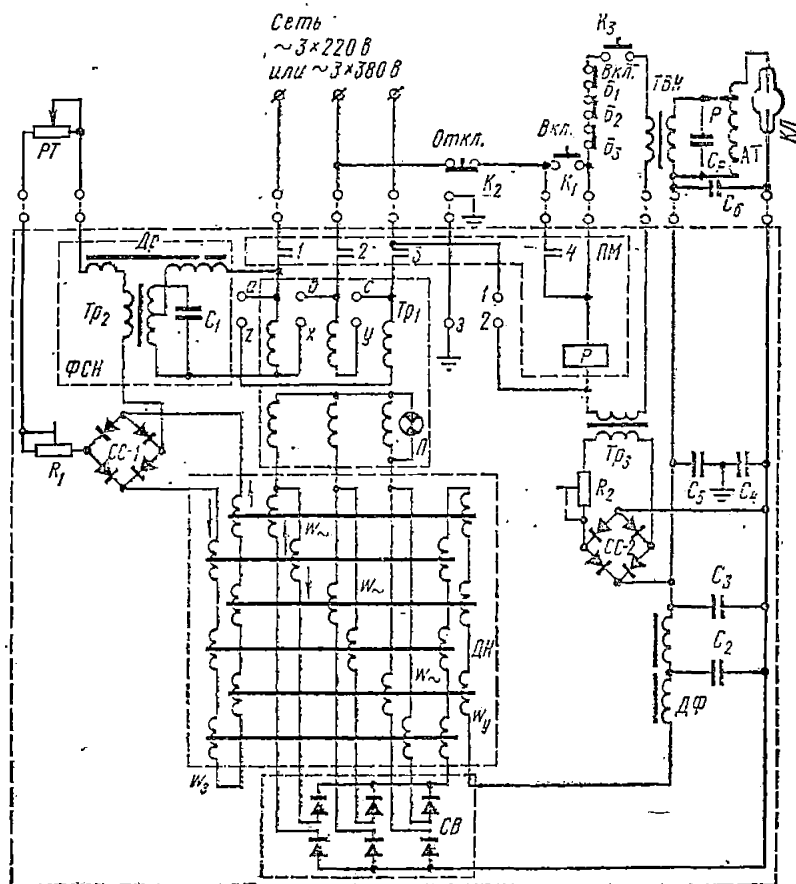
Лучшие результаты дает питание лампы от специального стабилизированного выпрямителя 45ВУК-50 (выпрямительное устройство ксеноновой лампы на 50 а, 45 в). Этот выпрямитель обеспечивает автоматическую стабилизацию тока ксеноновой лампы при колебаниях напряжения в сети.

Необходимость стабилизации тока лампы объясняется ее чувствительностью к токовым перегрузкам, что может привести к взрыву колбы лампы. Кроме того, благодаря стабилизации тока достигается постоянство освещенности экрана, что является необходимым условием высокого качества кинопоказа.

Выпрямитель 45ВУК-50 предназначен для питания ксеноновой лампы мощностью 1 кВт от сети трехфазного переменного тока напряжением 380 или 220 в.

Схема выпрямителя отражает некоторые особенности пуска ксеноновой лампы. Известно, что при зажигании ксеноновой лампы кроме высоковольтного импульса (20—30 кВ) к ней необходимо подводить повышенное напряжение питания (65—70 в), которое при возникновении дугового разряда должно снижаться до номи-

нального, т. е. до 20—22 в. С этой целью в схеме применены два выпрямителя: маломощный (выпрямитель подпитки) и мощный (главный выпрямитель), включенные параллельно. При пуске лампы напряжение 65—70 в подводится от маломощного выпрямителя, а при возникновении дугового разряда напряжение на выходе этого выпрямителя снижается (в результате падения напряжения на последовательно включенном резисторе) и лампа продолжает гореть благодаря энергии, поступающей от мощного стабилизирован-



Положение переключ

1) Сеть 3×220В (Δ)

2) Сеть 3×380В (λ)

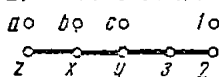
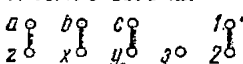


Рис. 177. Принципиальная схема выпрямителя 45ВУК-50

ного выпрямителя. Несмотря на некоторую сложность схемы, выпрямитель 45ВУК-50 надежен в эксплуатации, а достоинства ксеноновых ламп являются стимулом дальнейшего совершенствования источников питания для ламп мощностью 3—5 и 10 кВт.

Принципиальная схема выпрямителя 45ВУК-50 (рис. 177) может быть условно разделена на три цепи: силовую цепь, управляющую и цепь подпитки.

Силовая цепь предназначена для питания ксеноновой лампы постоянным током. Элементы силовой цепи: главный трехфазный трансформатор Tr_1 , трехфазный дроссель насыщения $ДН$, главный селеновый выпрямитель $СВ$ и дроссель фильтра $ДФ$.

Управляющая цепь служит для автоматического регулирования силы тока в цепи ксеноновой лампы. Управляющая цепь включает в себя феррорезонансный стабилизатор напряжения $ФСН$, вспомогательный селеновый мост $СС-1$, регулятор тока $РТ$ и переменный резистор R_1 . Исполнительным элементом управляющей цепи является трехфазный дроссель насыщения $ДН$.

Цепь подпитки предназначена для подведения повышенного напряжения в момент зажигания ксеноновой лампы и содержит трансформатор Tr_2 и вспомогательный выпрямитель $СС-2$.

Главный трансформатор Tr_1 предназначен для понижения напряжения сети до требуемой величины.

Напряжение на первичную обмотку трансформатора подводится через контакты 1, 2, 3 магнитного пускателя $ПМ$. В зависимости от напряжения сети первичные обмотки трансформатора могут быть включены звездой (при напряжении сети 380 в) или треугольником (при напряжении 220 в). Переключения производят путем перестановки перемычек в соответствии с рисунком, приведенным на принципиальной схеме. Вторичные обмотки трансформатора соединены звездой. Применение трансформатора Tr_1 обеспечивает изоляцию выпрямителя от трехфазной сети.

Дроссель насыщения $ДН$ состоит из шести одинаковых однофазных дросселей. Рабочие обмотки дросселя $ДН$ включены последовательно с вторичными обмотками трансформатора Tr_1 и главным селеновым выпрямителем $СВ$, соединенным по схеме Ларионова.

Регулировка индуктивного сопротивления рабочих обмоток дросселя $ДН$ осуществляется с помощью двух обмоток подмагничивания: эталонной $W_э$ и управляющей $W_у$. Питание на эталонную обмотку поступает от вспомогательного выпрямителя $СС-1$.

Эталонная обмотка выполнена таким образом, что ее ампер-витки $I_э W_э$ складываются с ампер-витками рабочих обмоток. Управляющая обмотка, включенная в цепь нагрузки, намотана в противоположном направлении, поэтому ее ампер-витки $I_у W_у$ направлены встречно ампер-виткам эталонной обмотки.

Количество ампер-витков управляющей обмотки несколько меньше количества ампер-витков эталонной обмотки. Отсюда следует, что регулировка индуктивного сопротивления дросселя $ДН$

осуществляется намагничивающей силой, равной разности ампер-витков эталонной и управляющей обмоток.

Если $I_a W_a = 400$, а $I_n W_y = 300$, то $AW = I_a W_a - I_n W_y = 400 - 300 = 100$.

Поэтому увеличение тока в цепи ксеноновой лампы вызывает уменьшение результирующих ампер-витков и возрастание индуктивного сопротивления рабочих обмоток дросселя ДН, а уменьшение тока — обратные процессы.

Феррорезонансный стабилизатор напряжения состоит из трансформатора Tr_2 с насыщенным сердечником и дросселя Dr с воздушным зазором. Стабилизатор предназначен для питания стабилизированным переменным напряжением вспомогательного выпрямителя $CC-1$. В цепь стабилизатора включены регулятор тока PT (размещен на кинопроекторе) и резистор R_1 , ограничивающий ток в цепи эталонной обмотки при полностью выведенном регуляторе тока. Для повышения чувствительности управляющей цепи к колебаниям напряжения сети стабилизатор настроен с небольшой перекompенсацией.

Управляющая цепь работает следующим образом: если сила тока в цепи ксеноновой лампы увеличится, индуктивное сопротивление рабочих обмоток также увеличится, в результате чего ток лампы уменьшится до первоначального значения, т. е. ток в нагрузке стабилизируется.

В случае уменьшения напряжения сети напряжение на выходе перекompенсированного стабилизатора и подмагничивание дросселя ДН увеличатся, а индуктивное сопротивление рабочих обмоток дросселя ДН уменьшится. Очевидно, что уменьшение индуктивного сопротивления рабочих обмоток дросселя ДН скомпенсирует понижение напряжения в сети и приведет к стабилизации тока в нагрузке.

Настройку стабилизатора производят так, чтобы колебания напряжения сети в пределах от $+10$ до -15% не сказывались на режиме работы ксеноновой лампы. Ручное регулирование тока лампы осуществляется изменением ампер-витков эталонной обмотки с помощью регулятора тока PT .

Выпрямитель подпитки. Переход высокочастотного разряда в дуговой возможен только при напряжении порядка 60—70 в. Напряжение холостого хода выпрямителя 45ВУК-50 составляет 45 в. Чтобы повысить напряжение до 65 в, при пуске лампы параллельно выходу главного выпрямителя включают маломощный выпрямитель подпитки $CC-2$. Резистор R_2 в цепи вторичной обмотки трансформатора Tr_3 ограничивает силу тока ксеноновой лампы при ее зажигании.

Пуск ксеноновой лампы (и включение выпрямителя подпитки) производят нажатием кнопки K_3 , расположенной на панели контроля и управления кинопроектора. Кроме того, на этой панели размещены: реостат PT , кнопки K_1 и K_2 , а также вольтметр, амперметр

(на схеме не показаны) и сигнальная лампа L , загорающаяся при включении выпрямителя.

Фильтрация выпрямленного тока. Для нормальной работы ксеноновых ламп коэффициент пульсаций не должен превышать 5—8%. Однако вследствие искажения формы кривой напряжения насыщенными дросселями, несимметрии напряжения фаз и др. коэффициент пульсаций может значительно превышать допустимое значение.

Снижение коэффициента пульсаций осуществляется индуктивно-емкостным фильтром, состоящим из дросселя с зазором $D\Phi$ и конденсаторов C_2 и C_3 . Эффективность работы фильтра повышается благодаря применению на дросселе компенсационной обмотки, ампер-витки которой, направленные противоположно ампер-виткам основной обмотки, ослабляют общее намагничивание сердечника дросселя. Блокировочные конденсаторы C_4 и C_5 введены в схему для предохранения цепей постоянного тока от высокочастотных импульсов, создаваемых системой зажигания при случайном отключении конденсатора C_6 .

Включение выпрямителя 45ВУК-50 производят кнопкой K_1 , имеющей нормально разомкнутые контакты. При нажатии на кнопку срабатывает реле P магнитного пускателя, замыкаются его контакты 1, 2, 3, 4 и кнопка K_1 блокируется контактами 4. Поэтому пускатель остается включенным даже при кратковременном нажатии на кнопку K_1 .

Ксеноновую лампу $KЛ$ зажигают кнопкой K_3 . При нажатии на эту кнопку включаются выпрямитель подпитки и высоковольтный трансформатор ТВН, от которого заряжается конденсатор C_p . Как только напряжение на конденсаторе достигнет номинального значения, пробивается воздушный промежуток разрядника P и к первичной обмотке повышающего автотрансформатора AT подводится напряжение порядка 4—5 кВ. Благодаря высокой добротности в контуре, состоящем из индуктивности и распределенной емкости первичной обмотки автотрансформатора, возникают высокочастотные колебания. Данный процесс вызывает появление на повышающей обмотке автотрансформатора переменного напряжения (25—30 кВ), которое ионизирует инертный газ в колбе лампы и создает условия для возникновения устойчивого дугового разряда за счет энергии низковольтного выпрямителя CB . Выключение выпрямителя и ксеноновой лампы производят нажатием на кнопку K_2 с нормально замкнутыми контактами. При этом разрывается цепь питания реле, обесточивается электромагнитный пускатель и замыкаются его контакты 1, 2, 3 и 4.

Основные технические данные выпрямителя 45ВУК-50

Номинальное напряжение сети	3×380 или 3×220 в
Напряжение холостого хода	45 в
Номинальный выпрямленный ток	50 а
Максимальный коэффициент пульсаций	7%

Конструкция и установка выпрямителя. Выпрямитель размещен в металлическом шкафу, который устанавливают в непосредственной близости от кинопроектора. К кинопроектору выпрямитель подключают с помощью многоконтактного штепсельного разъема, что значительно упрощает установочный монтаж.

Частое включение ксеноновой лампы сокращает срок ее службы. Поэтому при переходах ксеноновую лампу на неработающем кинопроекторе следует не выключать, а с помощью реостата *РТ* переводить на облегченный режим горения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните назначение и принцип действия выпрямителей.
2. Перечислите наиболее распространенные схемы выпрямления однофазного и трехфазного тока.
3. Как проверить исправность вентиля?
4. Перечислите типы стабилизированных выпрямителей, применяемых в киносети.
5. Что входит в силовую и управляющую части выпрямителя 26ВС-60?
6. В каких случаях и как производят сушку и формовку выпрямителя 26ВС-60?
7. Как переключают выпрямители 26ВС-60 и 20ВСС-1 на напряжение 3×220 и 3×380 в?

Глава XII ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

§ 82. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Электрические машины, преобразующие механическую энергию в электрическую, называются генераторами.

Электрические генераторы являются наиболее распространенными источниками постоянного, однофазного и трехфазного переменного тока. Генераторы переменного тока, применяемые в комплектах передвижных электростанций, являются синхронными.

Синхронными называются генераторы, в которых частота тока находится в жесткой зависимости от числа оборотов якоря.

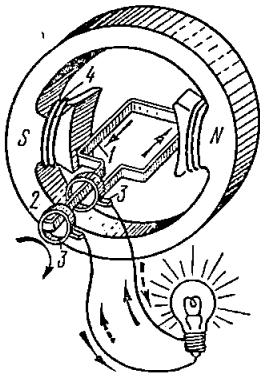


Рис. 178. Принцип действия синхронного генератора:

1 — подвижная катушка (якорь), 2 — статор, 3 — щетки, 4 — обмотка возбуждения (ОВ)

Передвижная электростанция состоит из бензинового двигателя внутреннего сгорания, который, являясь источником механической энергии, приводит во вращение вал однофазного или трехфазного генератора. Такие электростанции применяют для питания передвижных и стационарных киноустановок в районах отсутствия электрической энергии переменного тока. Электростанции, укомплектованные однофазными генераторами, предназначены для питания передвижной аппаратуры, а трехфазными — стационарной.

Принцип действия генераторов основан на использовании явления электромагнитной индукции.

В постоянном магнитном поле, созданном обмоткой возбуждения 4 (рис. 178), размещена подвижная катушка 1, состоящая из большого числа витков медного

изолированного провода. Концы катушки подключены к двум контактным кольцам, с которыми соприкасаются неподвижные щетки 3. Кольца и щетки играют роль трущихся электрических контактов; через них электрическая энергия от подвижной катушки подводится к потребителю.

При вращении катушки в магнитном поле в ее витках будет индуцироваться э. д. с. В положении катушки, изображенном на рис. 178, направление индуцированной э. д. с. (по правилу правой руки) показано сплошными стрелками. Под действием э. д. с. по цепи через кольца, щетки и нагрузку потечет ток. Когда катушка повернется на угол, превышающий 90° , направление индуцированной э. д. с. (и тока в цепи) изменится, что показано штриховыми

стрелками. Таким образом, по цепи будет проходить ток, меняющийся по величине и направлению, т. е. переменный.

Принято подвижную часть генератора именовать якорем или ротором, а неподвижную — статором. Иногда основную часть электрической машины, предназначенную для создания сильного магнитного поля, называют индуктором. В зависимости от конструктивного оформления индуктором может быть как подвижная, так и неподвижная часть генератора.

За один оборот якоря двухполюсного генератора ток дважды изменяет свое направление, т. е. каждый оборот якоря соответствует одному периоду переменного тока. Чтобы частота тока была равной 50 периодам в секунду, якорь генератора должен делать в секунду такое же количество оборотов. Число оборотов в минуту будет в 60 раз больше, т. е. 3000. Когда магнитная система генератора содержит четыре полюса, за один оборот якоря ток будет четыре раза изменять свое направление и для получения на выходе генератора стандартной частоты тока якорь генератора должен делать в секунду 25, а в минуту 1500 оборотов. Если известно число пар полюсов p и скорость вращения якоря n (об/мин), то частоту тока на выходе генератора можно вычислить по формуле

$$f = \frac{pn}{60} \text{ гц.}$$

Из приводимой формулы видно, что частота тока зависит от числа пар полюсов и скорости вращения якоря генератора. Если концы катушки якоря подключить не к сплошным кольцам, а к двум полукольцам 3 и 4 — коллектору (рис. 179), то в момент изменения направления индуктированной э. д. с. коллектор будет переключать выводы катушки якоря. Такой генератор будет вырабатывать пульсирующий постоянный ток. Иначе говоря, коллектор в генераторах играет роль механического выпрямителя.

В некоторых типах маломощных генераторов на якоре размещают две обмотки, одну из которых подключают к коллектору, а другую — к кольцам. Постоянный ток с коллектора подводят к обмотке возбуждения, а переменный ток с колец — к нагрузке. Для получения трехфазного тока на якоре двухполюсного генератора располагают три обмотки, сдвинутые в пространстве на угол 120° и подключенные к трем контактными кольцам на валу генератора.

Генераторы, в которых обмотка возбуждения находится на ста-

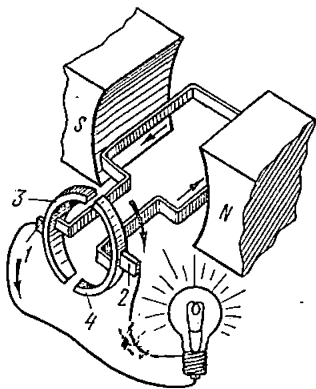


Рис. 179. Устройство простейшего генератора постоянного тока:
1 и 2 — щетки, 3 и 4 — коллектор

торе, называют генераторами с неподвижным индуктором (рис. 180, а). В мощных генераторах часто применяют обратное расположение обмоток: обмотку переменного тока размещают на статоре (рис. 180, б), а обмотку возбуждения — на вращающемся якоре. Целесообразность такой компоновки объясняется следующими обстоятельствами: большинство генераторов переменного тока изготовляют значительной мощности и рассчитывают на большое число оборотов. Это затрудняет получение хорошего электрического контакта между кольцами и щетками. Цепь возбуждения потребляет небольшую мощность, и обеспечение надежного контакта не представляет практической трудности. Кроме того, генераторы с подвижным индуктором имеют меньшее количество щеток, что упрощает конструкцию и повышает эксплуатационную надежность генераторов.

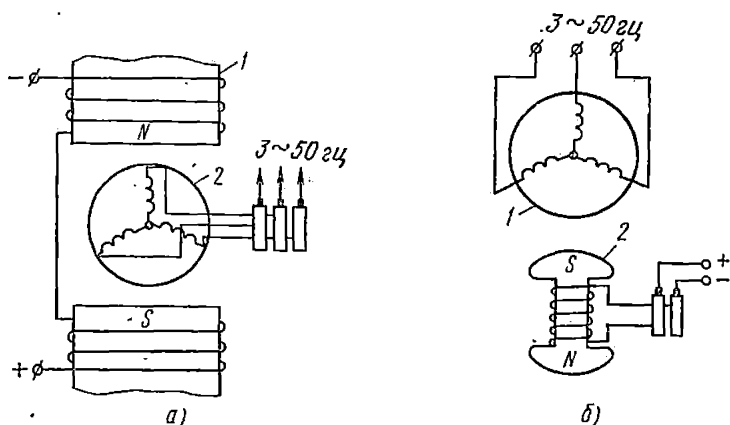


Рис. 180. Схемы трехфазных генераторов с посторонним возбуждением:

а — с неподвижным индуктором, б — с вращающимся индуктором; 1 — статор, 2 — якорь

Для питания обмотки возбуждения требуется источник постоянного тока. В мощных машинах таким источником является отдельный генератор постоянного тока (возбудитель), размещенный на общем валу с синхронным генератором. Мощность возбудителя невелика и не превышает 1% мощности генератора. В маломощных генераторах применение возбудителя нецелесообразно. Поэтому в генераторах киноэлектростанций (КЭС) питание на обмотку возбуждения подводят от специальной обмотки якоря (рис. 181, а) или от рабочей обмотки через полупроводниковый выпрямитель (рис. 181, б).

В зависимости от способа питания обмотки возбуждения генераторы бывают с посторонним возбуждением и само-

возбуждением. В генераторах с посторонним возбуждением постоянный ток к обмотке возбуждения подводят от постороннего источника постоянного тока (аккумулятора, сети постоянного тока, возбудителя), а в генераторах с самовозбуждением — от этих же генераторов. Киногенераторы всех типов являются электрическими машинами с самовозбуждением. Индуктор генератора с самовоз-

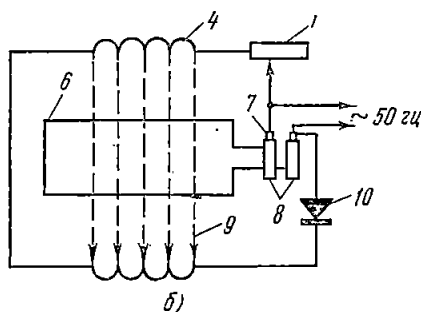
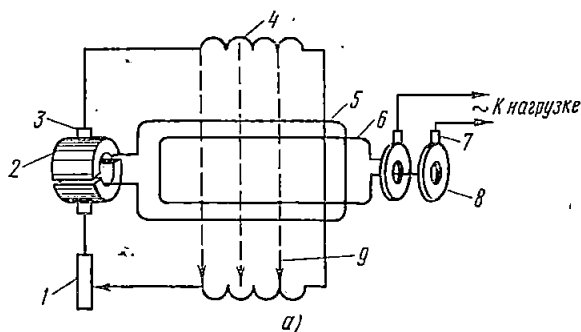


Рис. 181. Однофазный генератор с самовозбуждением:

а — с питанием обмотки возбуждения от катушки якоря, б — с питанием обмотки возбуждения от рабочей обмотки; 1 — шунтовый реостат, 2 — коллектор, 3 и 7 — щетки, 4 — обмотка возбуждения, 5 — обмотка постоянного тока, 6 — обмотка переменного тока, 8 — кольца, 9 — поток остаточного магнетизма, 10 — вентиль

буждением должен обладать остаточным магнетизмом, в противном случае генератор при пуске не будет возбуждаться, т. е. не будет вырабатывать электрическую энергию. Если якорь генератора (см. рис. 181, а) привести во вращательное движение, то под действием поля остаточного намагничивания в обмотках якоря будут индуцироваться переменные э. д. с. Переменная э. д. с., возникающая в обмотке 5, выпрямляется коллектором и подводится к обмотке возбуждения, в результате чего появляется ток, а также увеличиваются магнитный поток статора и э. д. с., индуцируемые в обмотках 5 и 6. Возрастание магнитного потока статора происходит

до тех пор, пока ток возбуждения не достигнет значения, определяемого величиной индуктированной э. д. с. (обмотки 5) и сопротивлением цепи возбуждения.

Процесс постепенного нарастания магнитного потока статора называется самовозбуждением генератора. По времени этот процесс длится 1—2 сек после включения генератора. Для регулировки тока в цепь обмотки возбуждения включают шунтовой реостат 1.

Изменение силы тока в обмотке возбуждения вызывает соответствующее изменение магнитного поля статора, что позволяет регулировать величину переменной э. д. с. на выходе генератора. Очевидно, что увеличение тока возбуждения вызовет возрастание переменной э. д. с. на выходе генератора, и наоборот. Если увеличить скорость вращения якоря генератора, то при этом увеличатся как частота тока, так и э. д. с. на выходе генератора.

Таким образом, можно сделать вывод, что э. д. с. на выходе генератора зависит от величины магнитного потока индуктора и скорости вращения якоря.

Процесс возбуждения генератора с питанием индуктора от рабочих обмоток через полупроводниковый выпрямитель (см. рис. 181, б) почти аналогичен: при вращении якоря генератора магнитное поле потока остаточного магнетизма, пересекая витки якоря, индуктирует в них переменную э. д. с. Эта э. д. с. выпрямляется и подводится в цепь возбуждения генератора. Под действием приложенной э. д. с. в цепи возбуждения возникает ток и происходит нарастание магнитного потока статора до тех пор, пока генератор не разовьет номинального напряжения на выходе.

Все электрические машины обладают обратимостью, т. е. могут работать как генератором, так и двигателем. Если такую машину привести во вращение, она будет преобразовывать механическую энергию в электрическую, а если подключить к сети — электрическую в механическую. В первом случае машина используется как генератор, а во втором — как двигатель.

Синхронные двигатели имеют весьма высокий $\cos \phi$, который может достигать максимального значения (единицы). Кроме того, они подобно емкостям могут работать с потреблением из сети опережающего тока. Данное свойство используется для компенсации и сдвига фаз, создаваемого потребителями индуктивного характера. Конечной целью такой компенсации является увеличение коэффициента мощности промышленного предприятия.

§ 83. УСТРОЙСТВО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Однофазный синхронный генератор с неподвижным индуктором (рис. 182) состоит из трех основных частей: статора, якоря и траверсы со щеткодержателями и щетками.

Статор генератора (рис. 182, а) служит для создания сильного

магнитного поля и по существу является мощным электромагнитом. Статор выполняют в виде кольца из литой стали, к внутренней поверхности которого привинчивают полюсы с обмоткой возбуждения. Чтобы повысить электрическую прочность, обмотку статора (и якоря) пропитывают изоляционным влагостойким лаком. Для лучшего самовозбуждения генератора в качестве материала

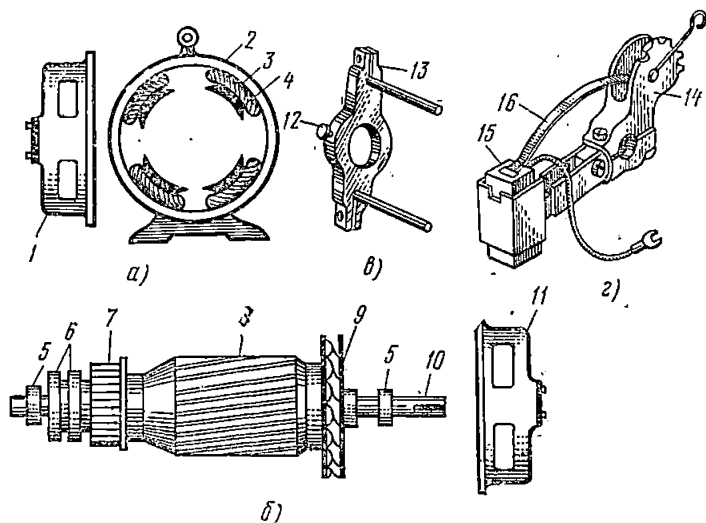


Рис. 182. Основные детали однофазного синхронного генератора с самовозбуждением:

а — статор, *б* — якорь, *в* — траверса, *г* — щеткодержатели; *1* — задняя крышка, *2* — корпус статора, *3* — катушка возбуждения, *4* — полюс, *5* — шариковый подшипник, *6* — кольца, *7* — коллектор, *8* — сердечник якоря, *9* — вентилятор, *10* — вал, *11* — передняя крышка, *12* — болт крепления траверсы, *13* — траверса, *14* — щеткодержатель, *15* — щетка, *16* — пружина

статора применяют металлы, обладающие остаточным магнетизмом, а в некоторых случаях в магнитную систему вводят постоянный магнит. На статоре размещают панель зажимов для подключения обмоток и проводов внешних линий.

Якорь генератора (рис. 182, *б*) вращается в шариковых подшипниках, размещенных в специальных гнездах крышек статора *1* и *11*. Якорь представляет собой цилиндрический сердечник, набранный из отдельных изолированных друг от друга (для уменьшения вихревых токов) пластин электротехнической стали. В канавки якоря укладывают две самостоятельные обмотки: переменного и постоянного тока. Обмотку постоянного тока подключают к коллектору, а обмотку переменного тока — к кольцам.

Коллектор (рис. 183) набирают из отдельных пластин красной меди. В качестве изоляции между пластинами применяют миканит или слюду. Пластины коллектора, называемые ламелями, имеют

фигурное основание (ласточкин хвост), что обеспечивает их надежное крепление на втулке 2 с помощью гайки 3 и зажимного конуса 4. Каждая пластина соединяется с соответствующей катушкой. Совокупность нескольких электрически соединенных катушек образует обмотку якоря генератора.

На валу якоря генератора укрепляют вентилятор 9 (см. рис. 182, б) который, засасывая воздух через отверстия в крышках, обеспечивает охлаждение обмоток якоря и статора.

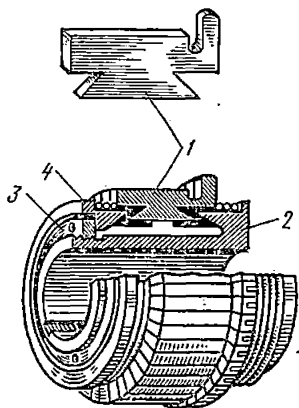


Рис. 183. Коллектор:

1 — ламели, 2 — втулка, 3 — гайка, 4 — зажимной конус

Напряжения с вращающихся обмоток якоря снимаются с помощью графитовых, угольно-графитовых или металло-графитовых щеток, соприкасающихся с коллектором и кольцами.

Щетки размещают в щеткодержателях (рис. 182, г), а щеткодержатели крепят на траверсе. Траверса надевается на втулку боковой крышки генератора и в нужном положении может стопориться болтом 12. Прижим щеток обеспечивается пружиной 16. Усилия прижима регулируют так, чтобы щетка имела надежный контакт с коллектором или кольцами. При слабом прижиге контакт получается плохим, происходит перегрев, обгорание и искрение щеток. Сильный прижим вызывает перегрев коллектора и колец, а

также быстрый износ щеток. Щетки различают по твердости и допустимой плотности тока, поэтому их подбирают на заводе-изготовителе в зависимости от электрических данных генератора и материала коллектора и колец. Заменять изношенные щетки можно только щетками рекомендуемой заводом марки, в противном случае возможен быстрый износ, обгорание или сильное загрязнение коллектора и колец.

В трехфазных киногенераторах с неподвижным индуктором статор имеет аналогичную конструкцию, но на якоре кроме обмотки постоянного тока, подключенной к коллектору, имеется три обмотки переменного тока, соединенные звездой и подключенные к трем контактными кольцам.

В однофазных и трехфазных генераторах с вращающимся индуктором на статоре располагаются соответственно одна и три рабочих обмотки, а на якоре — обмотка возбуждения, питаемая от обмоток статора через однофазный или трехфазный полупроводниковый выпрямитель.

С возрастанием скорости вращения ротора повышаются требования к его балансировке и механической прочности, так как в быстроходных машинах возникают опасные для целостности ротора центробежные усилия. Поэтому роторы синхронных генераторов

могут выполняться в двух конструктивных вариантах: явнополюсными (рис. 184, а) и неявнополюсными (рис. 184, б).

В тихоходных машинах, преимущественно используемых на гидростанциях, применяют роторы с явновыраженными полюсами. Явнополюсный ротор выполняют в виде стальной поковки с ободом, на котором крепят полюсы с обмотками возбуждения, соединенными одна с другой.

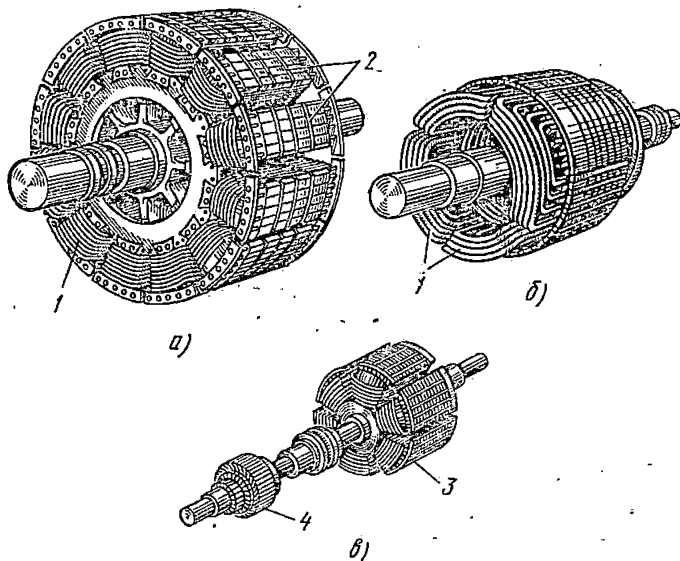


Рис. 184. Ротор синхронного генератора:

а — явнополюсный, б — неявнополюсный, в — явнополюсный с якорем возбудителя; 1 — обмотка возбуждения, 2 — полюсы, 3 — ротор генератора, 4 — ротор возбудителя

Все типы киногоенераторов работают от быстроходных двигателей (1500—3000 об/мин), поэтому имеют роторы с неявновыраженными полюсами. Для повышения механической прочности обмоток пазы с уложенными в них катушками ротора закрывают пластмассовыми планками, а витки на торцевой части ротора дополнительно крепят бандажом из стальной проволоки. Вариант конструкции явнополюсного ротора с якорем возбудителя на общем валу изображен на рис. 184, в.

§ 84. РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Равновесие моментов двигателя и генератора. При работе генератора ток, протекающий по катушке якоря, взаимодействуя с магнитным полем, вызывает появление электродинамической силы. В соответствии с правилом левой руки эта сила действует на про-

водник, расположенный против северного полюса, вверх, а на проводник около южного полюса — вниз (см. рис. 178). Нетрудно убедиться, что возникающая сила противодействует вращению рамки в магнитном поле. С увеличением нагрузки на генератор растет ток и, следовательно, противодействующая сила. Чтобы якорь генератора мог вращаться с прежней скоростью, необходимо увеличить усилия со стороны механического двигателя, т. е. затрачивать большую механическую энергию.

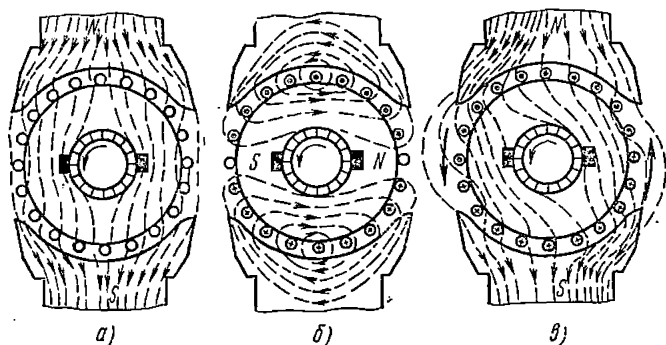


Рис. 185. Реакция якоря:

а — магнитное поле полюсов, *б* — магнитное поле, созданное обмоткой якоря, *в* — результирующее магнитное поле

Отсюда следует, что увеличение нагрузки на генератор может вызвать перегрузку источника механической энергии, что необходимо учитывать при эксплуатации маломощных передвижных электростанций сельских киноустановок. Если источник механической энергии не имеет достаточного запаса мощности и не изменяет вращающего момента, то при увеличении нагрузки на генератор число оборотов двигателя будет уменьшаться, а при уменьшении нагрузки — увеличиваться.

Изменение числа оборотов двигателя приведет к изменению частоты тока на выходе генератора и возникновению частотных искажений при звуковоспроизведении.

Реакция якоря. Ток, проходящий по обмотке якоря, создает собственное магнитное поле, которое искажает магнитное поле статора. Влияние тока якоря на магнитное поле статора называется реакцией якоря.

Реакция якоря вызывает уменьшение э. д. с. генератора и приводит к искрообразованию между щетками и коллектором. На рис. 185 показаны: магнитное поле полюсов, магнитное поле, созданное обмоткой якоря, и результирующее магнитное поле. Как видно из рис. 185, *в*, результирующее магнитное поле смещается в направлении вращения якоря. При этом густота магнитных индукционных линий у «сбегающего» края полюса несколько возрастает, а у «на-

бегающего» — уменьшается. В связи с насыщением стали у «сбегающего» края полюса общий магнитный поток статора и величина э. д. с. генератора уменьшаются. Чем больше ток якоря, тем сильнее сказываются вредные последствия реакции якоря.

Влияние реакции якоря отражается не только на э. д. с. генератора, но и на работе коллектора щеток. Известно, что к каждой паре смежных пластин коллектора подключена секция обмотки якоря. При работе генератора в этих секциях индуцируется э. д. с. Максимальная э. д. с. возникает в секции, которая пересекает магнитное поле статора под прямым углом. В то же время в секции, витки которой перемещаются параллельно индукционным линиям, э. д. с. равна нулю. Во избежание повышенного искрообразования, щетки следует устанавливать на геометрической нейтрали, чтобы они соприкасались с определенными коллекторными пластинами.

Геометрической нейтралью называется условная линия, перпендикулярная оси полюсов.

При повороте якоря генератора щетки замыкают смежные пластины коллектора накоротко. Когда реакции якоря нет и щетки установлены на геометрической нейтрали, замыкание смежных пластин не вызывает искрообразования, так как э. д. с. между этими пластинами равна нулю. Если вследствие реакции якоря магнитное поле якоря искажается, нейтраль перемещается по ходу вращения якоря и щетки начинают замыкать пластины коллектора, между которыми имеется э. д. с. В результате этого возникает искрообразование между щетками и коллектором. Чтобы устранить искрообразование, необходимо щетки (с помощью траверсы) переместить по направлению вращения якоря. Такое перемещение следует производить при каждом изменении тока якоря.

В связи с тем что нагрузка киногоенераторов практически постоянна, на заводе-изготовителе на траверсу и подшипниковый щиток наносят цветные метки, совмещение которых соответствует правильной установке траверсы.

Чтобы устранить влияние реакции якоря, в мощных генераторах делают добавочные полюсы, которые при последовательном включении с обмоткой якоря компенсируют поле реакции якоря в том месте, где располагаются витки переключаемой секции. Для частичной компенсации влияния реакции якоря в киногоенераторах применяют специальные устройства (см. § 90), с помощью которых при уменьшении напряжения на выходе автоматически увеличивается ток возбуждения, что в конечном итоге приводит к стабилизации напряжения на выходе генератора.

Характеристика холостого хода. Характеристика холостого хода синхронного генератора (рис. 186) показывает зависимость э. д. с. E генератора от силы тока в обмотке возбуждения i_v . Характеристика снимается при отключенной нагрузке и постоянном числе оборотов якоря генератора. Так как нагрузка отключена, падения напряжения на внутреннем сопротивлении генератора не происходит и, следовательно, напряжение на выходе генератора (численно

равное его э. д. с.) можно измерять вольтметром. Если с помощью шунтового реостата изменять ток возбуждения, то на основании показаний амперметра (в цепи возбуждения) и вольтметра (на выходе генератора) получаем необходимые данные для построения характеристики холостого хода:

$$E = f(i_B) \text{ при } I = 0, \quad n = \text{const.}$$

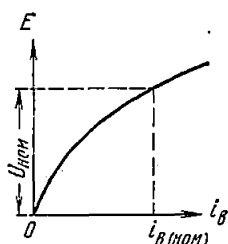


Рис. 186. Характеристика холостого хода синхронного генератора

Вначале зависимость E от i_B практически линейна, но в дальнейшем (в связи с магнитным насыщением полюсов) характеристика приобретает вид кривой намагничивания.

Внешние характеристики синхронного генератора (рис. 187, а) показывают зависимость напряжения на зажимах генератора от тока нагрузки при постоянном числе оборотов и токе возбуждения генератора.

При отсутствии нагрузки напряжение на выходе генератора равно э. д. с. По мере роста нагрузки падение напряжения на сопротивлении обмоток генератора (активном и реактивном) увеличивается, а напряжение

на выходе генератора уменьшается.

Регулировочные характеристики синхронного генератора (рис. 187, б) показывают зависимость тока возбуждения от тока нагрузки. Эти характеристики снимают при поддержании постоянного числа оборотов якоря и напряжения на выходе генератора.

По регулировочным характеристикам определяют, как следует изменить ток возбуждения, чтобы напряжение на выходе генератора при изменении нагрузки осталось постоянным. Форма регулировочных характеристик имеет вполне определенную связь с формой внешних характеристик.

Каждый потребитель электрической энергии рассчитывается на определенное (номинальное) напряжение питания. Если питание к потребителям подводится от синхронного генератора, то неизменное напряжение на выходе поддерживают путем ручной или автоматической регулировки тока возбуждения.

Анализируя формы регулировочных характеристик, можно сде-

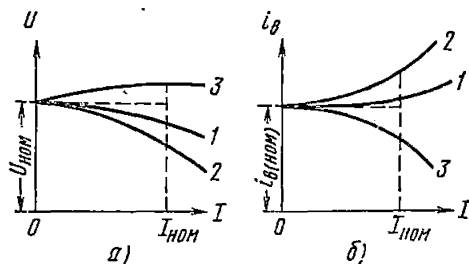


Рис. 187. Рабочие характеристики синхронного генератора:

а — внешние характеристики, б — регулировочные характеристики; 1 — активная нагрузка, 2 — активно-индуктивная нагрузка, 3 — активно-емкостная нагрузка

дать следующие выводы: при активной и активно-индуктивной нагрузках постоянство выходного напряжения следует поддерживать увеличением тока возбуждения, а при активно-емкостной нагрузке, вследствие увеличения результирующего магнитного потока, — уменьшением силы тока в обмотке возбуждения.

В электрических машинах происходят потери энергии в меди, стали и на преодоление сил трения. Поэтому отдаваемая машиной электрическая мощность $P_{эл}$ всегда меньше затраченной механической мощности $P_{мех}$ на величину мощности потерь $P_{п}$:

$$P_{мех} = P_{эл} + P_{п}.$$

Коэффициентом полезного действия генератора называется отношение полезной электрической мощности к затраченной механической мощности:

$$\eta = \frac{P_{эл}}{P_{мех}}, \text{ или в процентах } \eta = \frac{P_{эл}}{P_{мех}} \cdot 100\%,$$

$$\text{а так как } P_{мех} = P_{эл} + P_{п}, \text{ то } \eta = \frac{P_{эл}}{P_{эл} + P_{п}} \cdot 100\%.$$

В синхронных генераторах небольшой мощности к. п. д. составляет 70—85%, а в мощных — может достигать 95—98%.

Коэффициент мощности синхронного генератора зависит от характера нагрузки и силы тока в обмотке возбуждения. В зависимости от величины тока возбуждения различают три режима работы генератора: режим полного возбуждения, режим недовозбуждения и режим перевозбуждения.

Режим полного возбуждения возникает в том случае, когда генератор отдает в сеть только активный ток и работает при $\cos \varphi = 1$.

Режим недовозбуждения характеризуется тем, что генератор отдает в сеть как активный, так и реактивный ток, отстающий по фазе от напряжения на четверть периода ($\cos \varphi < 1$).

Режим перевозбуждения возникает, когда генератор отдает в сеть наряду с активным током и реактивный, но опережающий по фазе напряжение на 90°, или на четверть периода ($\cos \varphi < 1$). В режиме перевозбуждения генератор может быть использован как вращающийся компенсатор (см. § 82).

§ 85. ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Общие требования. Комплект передвижной аппаратуры потребляет мощность 650—700 вт, а стационарной — 2—3 кВт. Исходя из этих данных передвижные электростанции комплектуют генераторами соответствующей мощности.

В настоящее время в сельской киносети работают киноэлектростанции КЭС-5, КЭС-6, КЭС-9, КЭС-12, АБ-1, АБ-4 и небольшое

количество киноэлектростанций более ранних выпусков — КЭС-2, КЭС-3 и КЭС-4*.

Передвижная электростанция должна обеспечивать питание киноустановки переменным током с номинальным напряжением и стандартной частотой. С этой целью двигатели электростанций снабжают автоматическими регуляторами оборотов, а генераторы — специальными устройствами, обеспечивающими стабилизацию выходного напряжения при изменении нагрузки. При перезарядке части фильма в передвижных проекторах, вследствие выключения электродвигателя и проекционной лампы, нагрузка на генератор резко уменьшается.

Уменьшение нагрузки вызывает резкое увеличение выходного напряжения генератора и может быть причиной выхода из строя постоянно включенного усилительного устройства.

Если генератор не обеспечивает стабилизации выходного напряжения, то стремятся сохранить постоянство нагрузки. Для этой цели в гнезда «Лампа зала» кинопроектора включают балластное сопротивление БС-1 или БС-2. Балластное сопротивление рассчитывают на суммарную мощность, потребляемую электродвигателем и проекционной лампой.

В электрической схеме передвижных кинопроекторов предусмотрено включение цепи лампы зала при выключении кинопроектора. Таким образом, в процессе работы киноустановки величина нагрузки и выходное напряжение генератора остаются практически постоянными.

Основные данные передвижных электростанций приведены в табл. 11.

Генератор 9М-1. Генератор 9М-1 входит в комплекты электростанций КЭС-5 и КЭС-12, предназначенных для питания передвижных киноустановок. Генератор (рис. 188) представляет собой четырехполюсную синхронную машину с самовозбуждением.

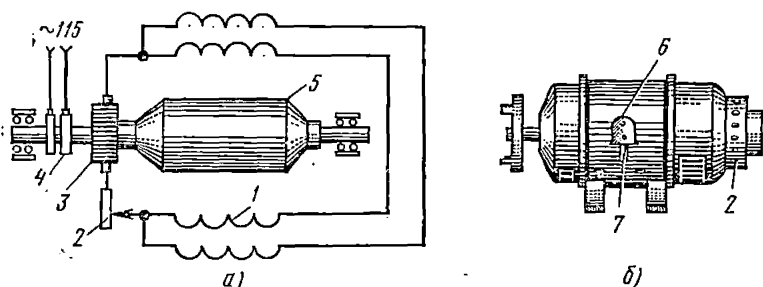


Рис. 188. Генератор 9М-1:

а — принципиальная схема, б — внешний вид; 1 — обмотка возбуждения, 2 — шунтовый реостат, 3 — коллектор, 4 — кольца, 5 — якорь, 6 — колодка питания, 7 — фиксатор штепсельной вилки

* КЭС — киноэлектростанция; АБ — агрегат бензиновый.

Основные данные передвижных электростанций

Тип электро- станции	Двигатель			Генератор					Вес электро- станции, кг	Габариты электростанции, мм
	тип	мощ- ность, А. с.	число оборотов в минуту	тип	мощ- ность, от	род тока	напря- жение, в	номи- нальный ток, а		
КЭС-2	Л-3/2	3	1500*	АПН-10	750	Однофазный	115	7	200	1200×665×950
КЭС-3	Л-3/2	3	1500*	ГПК-20	750	»	115	7	180	1200×665×950
КЭС-4	Л-6/3	6	1500*	АПН-28,5	1800	»	115	15	240	1100×900×550
КЭС-5	Л-3/2	3	1500*	9М-1	750	»	115	7	180	1200×665×950
КЭС-6	Л-6/3	6	2200*	СГС-4,5	3600	Трехфазный	220	9	300	1450×460×895
КЭС-9	УД-1	4	3000	9М-5	2000	Однофазный	220	9,2	68	435×485×555
КЭС-12	ОДВ-300В	5,5	1500**	9М-1	750	»	115	7	40	370×440×620
АБ-1	2СД-В	2	3000	ГАБ-О-1/230	1000	»	230	4,7	75	397×535×695
АБ-4	УД-2	8	3000	ГАБ-4-Т/230	4000	Трехфазный	230	10	230	560×870×1065

Примечание. Мощности двигателей даны для расчетных скоростей.

* Расчетная скорость 2200 об/мин.

** Расчетная скорость 3000 об/мин.

Обмотка возбуждения генератора имеет две параллельные ветви. Ток возбуждения регулируется шунтовым реостатом 2, конструктивно размещенным на корпусе генератора. С коллектором и кольцами соприкасаются графитовые щетки марки Г-3. Щетки вместе со щеткодержателями размещены на траверсе, которая крепится стяжным болтом, расположенным под защитной крышкой шунтового реостата. Правильное положение щеток на коллекторе соответствует совпадению красных меток, нанесенных на траверсе и передней крышке генератора.

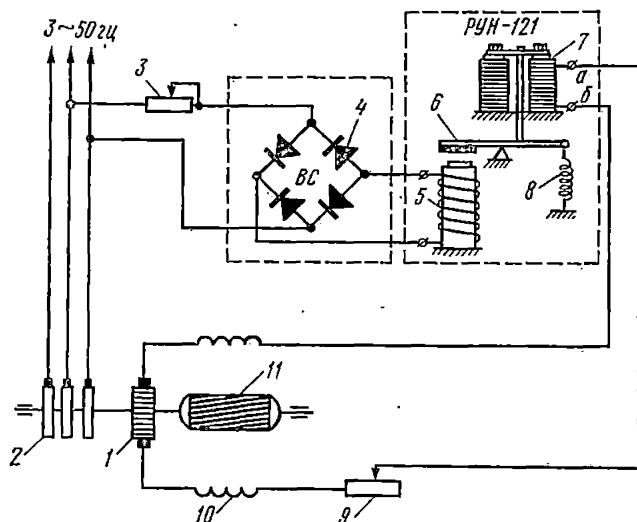


Рис. 189. Электрическая схема генератора СГС-4,5:

1 — коллектор, 2 — кольца, 3 — установочный реостат, 4 — селективный выпрямитель, 5 — электромагнит, 6 — якорь электромагнита, 7 — угольный столб, 8 — пружина, 9 — реостат возбуждения, 10 — обмотка возбуждения, 11 — якорь генератора

Выход генератора подключен к двум штепсельным колодкам, размещенным на корпусе.

В комплект электростанции входят: распределительный щиток, соединительный провод длиной 30 м и сечением $2 \times 1,5 \text{ мм}^2$, балластное сопротивление, карманный фонарик, переносная лампа и ящик с инструментом и запасными частями.

Генератор СГС-4,5*. Трехфазный генератор СГС-4,5 входит в комплект передвижной электростанции КЭС-6, предназначенной для питания стационарных киноустановок. В электрическую часть электростанции входят: генератор, распределительные щиты элек-

* СГС-4,5 — синхронный генератор стационарной установки мощностью 4,5 кВа.

тростанции (7К-16), киноаппаратной (7К-17), кинотеатра (7К-18) и угольный регулятор напряжения РУН-121.

Якорь генератора имеет две обмотки: трехфазную переменного тока, подключенную к кольцам, и обмотку постоянного тока, соединенную с коллектором.

Для стабилизации выходного напряжения в цепь обмотки возбуждения включен *угольный регулятор РУН-121*. Принцип действия регулятора РУН-121 основан на свойстве угольного столба под действием механических усилий изменять свое сопротивление.

Угольный столб набран из большого количества тонких (0,5 мм) угольных пластин. При сжатии такого столба переходные сопротивления между отдельными пластинами резко уменьшаются, а при растяжении — увеличиваются.

Рассмотрим процесс стабилизации выходного напряжения. Постоянный ток с коллектора 1 (рис. 189) подводится к обмотке возбуждения генератора через два угольных столба 7. Сжатие угольных столбов производится пружиной 8, а растяжение — электромагнитом 5. Постоянный ток на электромагнит поступает с выхода генератора через селеновый выпрямитель 4, собранный по мостовой схеме. При заводской регулировке регулятора РУН-121 установочный реостат 3 ставят в положение, соответствующее номинальному напряжению на выходе.

Если напряжение на выходе генератора уменьшается, ток в обмотке электромагнита также уменьшается, сила притяжения электромагнита ослабевает и якорь 6 под действием пружины 8 перемещается вверх. При этом угольные столбы сжимаются, их сопротивление уменьшается, ток возбуждения возрастает и напряжение на выходе генератора увеличивается до прежнего значения. Когда напряжение на выходе генератора увеличивается, происходят обратные процессы: ток в обмотке электромагнита возрастает, якорь электромагнита притягивается сильнее, угольные столбы сжимаются с меньшей силой, сопротивление столбов увеличивается, ток возбуждения уменьшается и напряжение на выходе генератора уменьшается до прежнего значения. Угольный регулятор работает очень устойчиво. Однако в случае его выхода из строя контакты угольного столба а и б следует переключить накоротко и регулировку выходного напряжения производить шунтовым реостатом 9. При работе с регулятором РУН-121

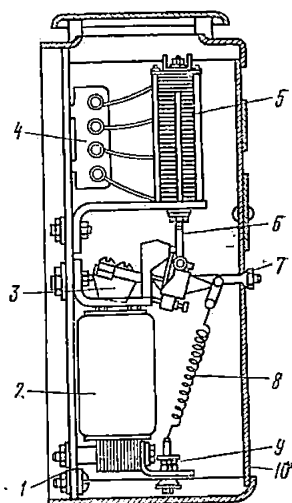


Рис. 190. Устройство угольного регулятора напряжения РУН-121:

1 — основание, 2 — электромагнит, 3 — якорь, 4 — панель зажимов угольных столбов, 5 — угольный столб, 6 — тяга, 7 — гайка крепления кожуха, 8 — пружина, 9 — гайка регулировки натяжения пружины, 10 — кожух

шунтовой реостат должен быть полностью выведен, т. е. замкнут накоротко.

Конструктивно угольный регулятор напряжения оформлен следующим образом (рис. 190). На основании 1 размещены два угольных столба 5, тяга 6 шарнирно связана с якорем 3 электромагнита. Между рычагом якоря электромагнита и регулировочной гайкой 9 находится пружина 8. Рабочие части регулятора защищены перфорированным кожухом 10, укрепленным на основании с помощью винта и гайки 7.

Распределительный щит 7К-16 предназначен для контроля режима работы электростанции, а также коммутации и защиты основных цепей киноустановки. На щите размещены: вольтметр с переключателем, частотомер и два трехполюсных пакетных переключателя с самостоятельной защитой.

Распределительный щит аппаратной 7К-17 снабжен общим трехполюсным переключателем, выключателем дежурного освещения зала и несколькими выводами для питания аппаратуры.

Распределительный щит кинотеатра 7К-18 объединяет осветительные линии вспомогательных помещений кинотеатра; для чего на нем смонтированы предохранители и выключатели этих линий. Схемы всех распределительных щитов составлены с учетом равномерного распределения нагрузки между отдельными фазами.

Генератор 9М-5. Электростанция КЭС-9, в состав которой входит генератор 9М-5, предназначена для питания сельских стационаров (двух комплектов передвижной аппаратуры, установленных постоянно).

Недостатком ранее рассмотренных схем генераторов является использование для питания цепи возбуждения специальной обмотки

якоря, соединенной с коллектором, а коллектор в эксплуатации требует постоянного ухода. Кроме того, в таких генераторах вследствие реакции якоря наблюдается резкая зависимость выходного напряжения от тока нагрузки.

В генераторе 9М-5 (рис. 191) обмотка постоянного тока на якоре отсутствует, а цепь возбуждения питается через селеновый выпрямитель, включенный по мостовой схеме. Напряжение с выхода генератора подводится в цепь питания селенового выпрямителя, состоящую из последовательно включенных автотрансформатора и дросселя. Напряжение на селеновый выпрямитель снимается с секции 1—3 автотрансформатора, а после выпрямления подводится в цепь обмотки возбуждения.

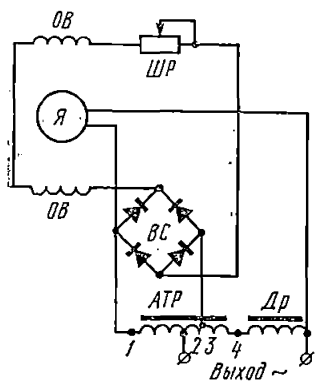


Рис. 191. Электрическая схема генератора 9М-5:

Я — якорь генератора, ОВ — обмотка возбуждения, ВС — селеновый выпрямитель, ШР — шунтовой реостат, АТР — автотрансформатор, Др — дроссель

При такой схеме возбуждения стабилизация выходного напряжения осуществляется следующим образом. В режиме холостого хода генератора напряжение на автотрансформаторе пропорционально выходному напряжению и в цепь возбуждения подводится ток, обеспечивающий на выходе номинальное напряжение, т. е. 220 в. Когда генератор нагружен, ток нагрузки, проходя по секции 1—2, создает в сердечнике автотрансформатора дополнитель-

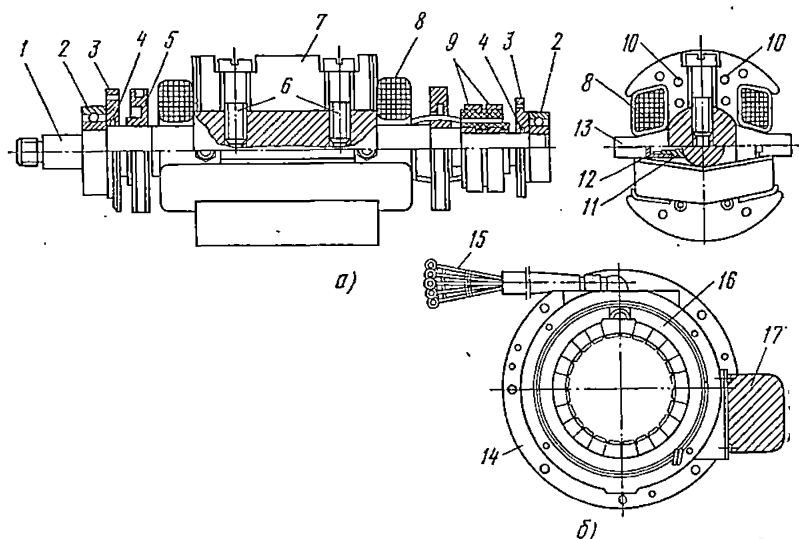


Рис. 192. Генератор ГАБ-О-1/230:

а — устройство якоря; *б* — устройство статора; 1 — вал, 2 — шариковые подшипники, 3 — фланцы, 4 — фетровые уплотнители, 5 — балансирующее кольцо, 6 — винты крепления полюса, 7 — полюс, 8 — катушка, 9 — контактные кольца, 10 — заклепки, 11 — болт крепления магнита к валу, 12 — стопорная шайба, 13 — постоянный магнит, 14 — корпус статора, 15 — выводы основной и дополнительной обмоток, 16 — пакет активной стали, 17 — крышка блока селеновых выпрямителей

ный магнитный поток, который вызывает возрастание напряжения, индуцируемого в секции 1—3. При этом напряжение на селеновом выпрямителе и, следовательно, ток возбуждения увеличиваются в такой степени, что напряжение на выходе генератора остается неизменным.

В заводских условиях настройку схемы производят подбором коэффициента трансформации автотрансформатора и индуктивного сопротивления дросселя.

Генератор ГАБ-О-1/230 (генератор агрегата бензинового, однофазный, мощностью 1 кВт, с номинальным напряжением 230 в). Генератор данного типа входит в состав облегченной передвижной электростанции АБ-1, предназначенной для обслуживания кинопередвижек в маршруте, а также для питания сельских стационарных киноустановок.

В комплект электростанции АБ-1 кроме генератора входят: двухтактный бензиновый двигатель 2СДВ, блок управления, рама и кожух. Двигатель и генератор сочленяются упругой муфтой, состоящей из двух стальных полумуфт и резиновой прокладки.

Якорь генератора (рис. 192, а) имеет два полюса с обмоткой возбуждения. Для лучшего самовозбуждения якорь должен обладать остаточным магнетизмом. С этой целью между катушками 8 укреплены два постоянных магнита 13, создающих начальное магнитное поле.

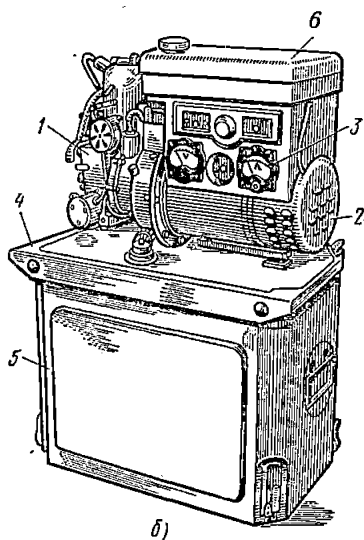
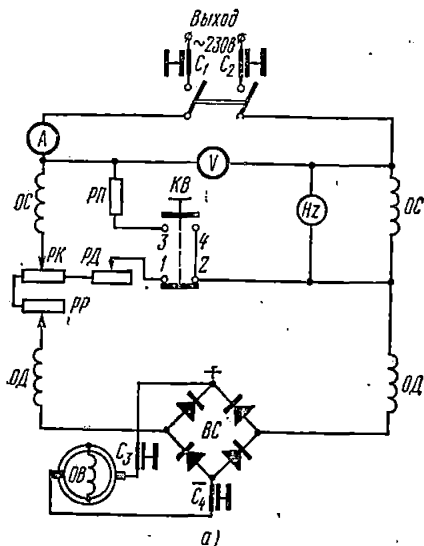


Рис. 193. Электростанция АБ-О-1/230:

а — электрическая схема генератора, б — внешний вид электростанции; ОС — обмотка силовая, ОД — обмотка дополнительная, ОБ — обмотка возбуждения, КВ — кнопка возбуждения, С₁, С₂, С₃, С₄ — проходные конденсаторы, РД — резистор дополнительный, РР — реостат регулировочный, РК — резистор компаундирующий, РП — резистор пусковой, ВС — выпрямитель селеновый; 1 — двигатель, 2 — генератор, 3 — блок управления, 4 — основание, 5 — кожух-подставка, 6 — бензобак

Статор генератора (рис. 192, б) состоит из алюминиевого корпуса 14 и запрессованного в него пакета активной стали 16. На статоре размещены две самостоятельные обмотки: силовая и дополнительная. Силовая обмотка предназначена для питания нагрузки переменным током, а дополнительная — для питания обмотки возбуждения, расположенной на якоре генератора. Обе обмотки смещены по окружности на угол 90°.

Обмотка возбуждения генератора питается через блок селеновых выпрямителей, размещенных на корпусе генератора.

Блок выпрямителей состоит из трех селеновых мостов типа АВС-45/30 а, включенных в цепь возбуждения генератора.

Электрическая схема генератора включает в себя две цепи: силовую и цепь возбуждения генератора.

Силовая цепь (рис. 193, а) состоит из обмотки *ОС* и двух переменных резисторов: *РД* (дополнительный) и *РК* (компаундирующий).

В цепь возбуждения входят: обмотка *ОД*, регулировочный реостат *РР* (реостат возбуждения), селеновый выпрямитель, собранный по мостовой схеме, и обмотка возбуждения генератора *ОВ*.

Для уменьшения помех радиоприему электрическая часть генератора симметрирована, т. е. силовая и дополнительная обмотки разбиты на две одинаковые секции. Поэтому э. д. с. помех, созданные каждой половиной обмотки, взаимно компенсируются. Питание на обмотку возбуждения и на нагрузку подводят через проходные конденсаторы *С*₁, *С*₂, *С*₃ и *С*₄ емкостью по 0,1 мкф с рабочим напряжением 1000 в, рассчитанные на максимальный ток 40 а.

В электрической схеме предусмотрены меры, обеспечивающие надежное возбуждение генератора (постоянные магниты на якоре и пусковая кнопка *КВ*). В нормальных условиях контакты 1 и 2 кнопки *КВ* замкнуты и питание в цепь возбуждения подводится с обмотки *ОД*. При нажатии на кнопку *КВ* замыкаются контакты 3—4 и последовательно с обмоткой *ОД* через токоограничивающий пусковой резистор *РП* включается часть силовой обмотки. Это вызывает возрастание напряжения, подводимого к селеновому выпрямителю, увеличение тока в обмотке *ОВ* и быстрое возбуждение генератора.

Стабилизация выходного напряжения в генераторе осуществляется путем автоматического изменения тока возбуждения при колебаниях тока в нагрузке. В режиме холостого хода ток возбуждения определяется э. д. с., индуктированной в обмотке *ОД*.

При включении нагрузки по резисторам *РК* и *РД* проходит ток и на них создается некоторое падение напряжения. В результате этого на выпрямитель *ВС* подается геометрическая сумма двух напряжений: напряжения, развиваемого обмоткой *ОД*, и напряжения на резисторах *РК* и *РД*.

Увеличение тока нагрузки вызовет возрастание напряжения на резисторах *РК* и *РД* и такой рост тока возбуждения, при котором напряжение на выходе генератора останется практически неизменным. Номинальную величину выходного напряжения генератора устанавливают вручную — реостатом *РР*.

Контроль за работой электрической части генератора осуществляют с помощью амперметра, вольтметра и частотомера. Амперметр включен в силовую цепь генератора, вольтметр — параллельно нагрузке, а частотомер — параллельно половине силовой обмотки. При изменении нагрузки от 25 до 100% номинального значения выходное напряжение изменяется не более чем на 5%, а частота — не более чем на 2,5 гц. Генератор не боится режимов перегрузки и короткого замыкания, поэтому его защита плавкими или автоматическими предохранителями не предусмотрена. При коротком

замыкании или перегрузке двигатель снижает число оборотов и токи в цепях генератора не превышают допустимых значений.

Блок управления электростанции (рис. 193, б) включает в себя измерительные приборы, кнопку возбуждения, реостат возбуждения и выключатель нагрузки.

На другой стороне блока размещены: панель зажимов для подключения проводов внешних линий, барашек для присоединения заземляющего провода и болт, закрывающий отверстие для доступа к ходовому винту компаундирующего резистора.

Если в процессе эксплуатации генератора будут наблюдаться колебания величины выходного напряжения при изменении нагрузки, следует вывернуть болт и с помощью отвертки поворачивать ходовой винт компаундирующего резистора до получения необходимого качества стабилизации.

Генератор ГАБ-4-Т/230 (генератор агрегата бензинового мощностью 4 кВт, трехфазный с выходным напряжением

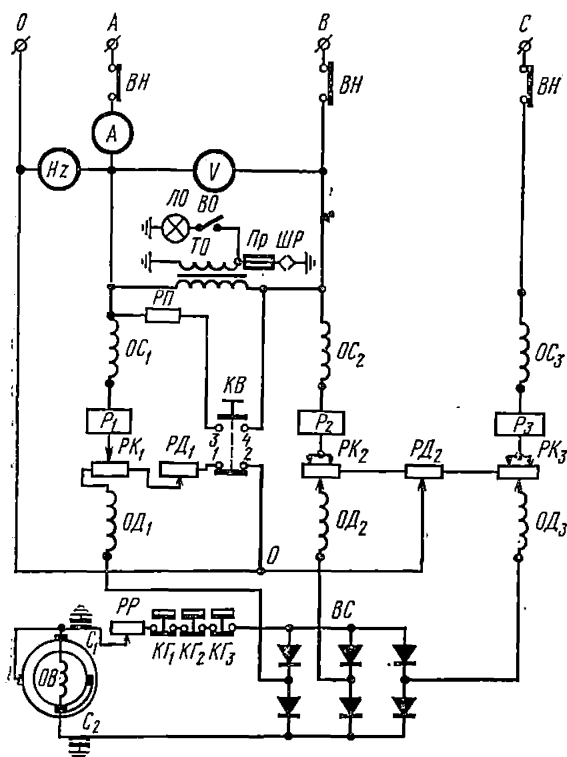


Рис. 194. Электрическая схема генератора ГАБ-4-Т/230:

.ВН — выключатель нагрузки, OC_1 , OC_2 и OC_3 — обмотки силовые, OD_1 , OD_2 и OD_3 — обмотки дополнительные, OB — обмотка возбуждения, P_1 , P_2 и P_3 — тепловые реле, KF_1 , KF_2 и KF_3 — контактные группы тепловых реле, PP — реостат регулировки напряжения, PP — резистор пусковой, PK_1 , PK_2 и PK_3 — резисторы компаундирующие, PD_1 и PD_2 — резисторы дополнительные, TO — трансформатор освещения, BO — выключатель освещения, $ШР$ — штепсельная розетка, C_1 и C_2 — проходные конденсаторы, KB — кнопка возбуждения, BC — выпрямитель селеновый, $ЛО$ — лампа освещения, Pr — предохранитель

230 в). Электростанция АБ-4 выпускается промышленностью вместо станции КЭС-6.

В конструкции и электрических схемах генераторов ГАБ-1 и ГАБ-4 много общего*. На статоре генератора ГАБ-4 размещены

* ГАБ-1 и ГАБ-4 — сокращенное обозначение генераторов ГАБ-О-1/230 и ГАБ-4-Т/230.

три основные и три дополнительные обмотки, взаимно сдвинутые по окружности на угол 90° (катушки одноименных обмоток сдвинуты на угол 120°). Якорь генератора ГАБ-4 является индуктором и по устройству аналогичен якору генератора ГАБ-1.

Электрическая схема генератора ГАБ-4 (рис. 194) состоит из трех основных цепей: силовой, возбуждения генератора и освещения.

Силовая цепь генератора предназначена для питания нагрузки и состоит из трех обмоток (OC_1 , OC_2 , OC_3), соединенных звездой. В цепи каждой обмотки имеются тепловые реле (P_1 , P_2 , P_3), компаундирующие резисторы PK_1 , PK_2 , PK_3 и дополнительные резисторы PD_1 и PD_2 . Резистор PD_2 , имеющий вывод средней точки, включен одновременно в цепь основных обмоток второй и третьей фаз, а нормально замкнутые контактные группы тепловых реле KG_1 , KG_2 , KG_3 — последовательно в цепь обмотки возбуждения генератора. Выходное напряжение генератора подводится к зажимам А, Б и С через выключатели нагрузки ВН.

Обмотка возбуждения генератора ОВ получает питание от трех дополнительных обмоток OD_1 , OD_2 , OD_3 через проходные конденсаторы C_1 и C_2 , селеновый выпрямитель, включенный по схеме Ларринова, и реостат регулировки напряжения РР.

Лампа освещения ЛО (12 в $\times$ 8 вт) и штепсельная розетка ШР включены во вторичную цепь понижающего трансформатора освещения ТО (лампа через выключатель ВО, а розетка через двухамперный предохранитель Пр типа ПЦ-45-2).

Генератор возбуждают путем нажатия на кнопку возбуждения КВ. При этом сначала замыкаются контакты 3—4 и последовательно с обмотками OD_1 и OD_2 включаются обмотки OC_1 и OC_2 , а затем разрывается цепь контактов 1—2.

Резистор РР ограничивает ток в цепи при нажатии на кнопку возбуждения. Если сначала разорвать цепь контактов 1—2, а затем замкнуть контакты 3—4, на селеновом выпрямителе будут возникать резкие изменения подводимого напряжения, что может привести к пробоев вентилей.

Стабилизация выходного напряжения в генераторе ГАБ-4 осуществляется так же, как в генераторе ГАБ-1, но дополнительное напряжение на селеновый выпрямитель снимается с трех компаундирующих (PK_1 , PK_2 и PK_3) и двух дополнительных (PD_1 и PD_2) резисторов.

Защита генератора от перегрузки и короткого замыкания производится с помощью тепловых реле, контактные группы которых включены последовательно в цепь обмотки возбуждения. Если ток в силовой обмотке превысит допустимое значение, то сработает соответствующее реле и его контактная группа разорвет цепь обмотки возбуждения.

Блок аппаратуры (рис. 195) представляет собой металлический корпус, в котором размещена аппаратура управления электрической частью агрегата и регулировки. На боковых стенках корпуса

имеются ниши, в которых размещены: кнопка возбуждения 16, ручка реостата регулировки напряжения 17, штепсельная розетка 4 и предохранитель 5. Передняя часть блока аппаратуры закрывается съемной крышкой.

Блок приборов крепится к корпусу блока аппаратуры. В блоке приборов сосредоточены измерительные приборы, необходимые для

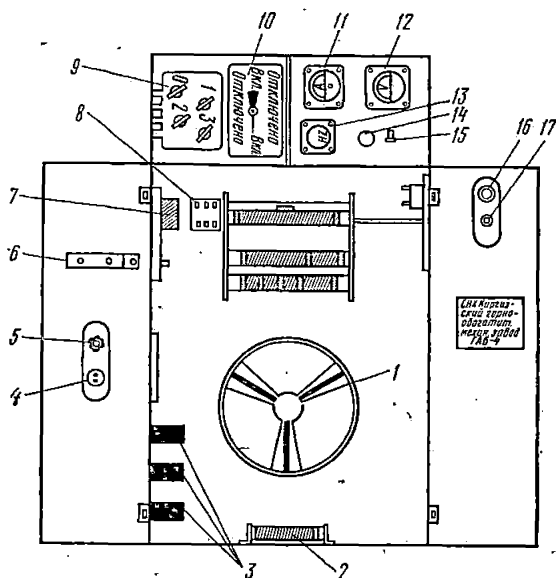


Рис. 195. Блок аппаратуры и приборов (блок приборов и боковые стенки развернуты на 90°):

1 — задняя крышка генератора, 2 — пусковой резистор, 3 — тепловое реле, 4 — штепсельная розетка, 5 — предохранитель, 6 — зажимная колодка, 7 — трансформатор освещения, 8 — панель зажимов трансформатора, 9 — зажимы блока приборов, 10 — выключатель нагрузки, 11 — амперметр, 12 — вольтметр, 13 — частотомер, 14 — защитный колпачок лампы освещения, 15 — выключатель освещения; 16 — кнопка возбуждения, 17 — реостат регулировки напряжения

контроля за работой электрической части агрегата. Конструктивно блок оформлен в виде металлической коробки с двумя крышками. Под одной из них размещены вольтметр, амперметр, частотомер и лампа освещения с выключателем, а под другой — выключатель нагрузки и панель с выходными зажимами.

После пуска двигателя необходимо возбудить генератор, для чего нажимают на кнопку «Возбуждение генератора» и держат ее в нажатом положении 2—3 сек. При этом генератор должен возбудиться, что определяется по отклонению стрелки вольтметра. Номинальное выходное напряжение устанавливается реостатом. Затем поворотом выключателя 10 включают нагрузку и по показаниям

амперметра контролируют величину тока в цепи.

Всю аппаратуру электрической части агрегата тщательно регулируют на заводе. Однако, если в процессе эксплуатации обнаружится недостаточно хорошая стабилизация выходного напряжения, следует снять крышку блока аппаратуры и перемещением хомутика на компаундирующем резисторе RK_1 (см. рис. 194) добиться улучшения стабилизации. Провод, подходящий к хомутику резистора RK_1 , маркируется заводом цифрой 17.

В процессе эксплуатации генераторов по вине обслуживающего персонала или из-за естественного износа деталей могут возникнуть дефекты, вызывающие перегрев генератора, уменьшение выходного напряжения, а также повышенное искрообразование между щетками и коллектором или щетками и кольцами. Поэтому рекомендуется производить периодические осмотры генератора, в ходе которых необходимо устранять возникшие дефекты и принимать профилактические меры, предупреждающие появление указанных и ряда других неисправностей.

Искрение щеток является наиболее распространенным дефектом генератора и может возникнуть по следующим причинам:

загрязнение, а также сильный износ коллектора или колец;

применение твердых или мягких щеток, а также слабый прижим их; неправильная установка траверсы;

неправильная притирка щеток; перегрузка генератора;

выступание над поверхностью коллекторных пластин слюдяных или миканитовых прокладок;

заедание щеток в щеткодержателях.

Уход за коллектором. Загрязненный коллектор или кольца протирают тряпочкой, смоченной в спирте или бензине. При наличии на коллекторе и кольцах неглубоких царапин или раковин производят шлифовку с применением мелкой стеклянной шкурки, укрепленной на деревянной колодке (рис. 196, а). Для этого электростанцию пускают в ход, устанавливают небольшое число оборотов, а затем колодку прижимают к коллектору или кольцам до тех пор, пока они не приобретут ровной поверхности. В случае глубоких царапин или раковин коллектор необходимо проточить на токарном станке.

Если в результате сильного износа коллектора между пластинами (ламелями) будут выступать слюдяные или миканитовые прокладки, контакт между щетками и коллектором нарушится, что приведет к сильному искрообразованию. Чтобы устранить данный дефект, острым шилом или специальной пилой-шлифовкой удаляют выступающие прокладки, т. е. производят «продороживание» коллектора (рис. 196, б).

Притирка щеток. Назначение щеток — обеспечивать надежное соединение вращающихся обмоток с внешней цепью. Поэтому они

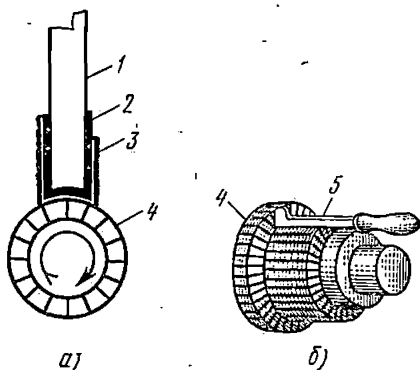


Рис. 196. Эксплуатация коллектора:
а — шлифовка, б — продороживание; 1 —
деревянный брусок, 2 — тонкая резина или
пенопласт, 3 — рабочая поверхность мелкой
стеклянной шкурки, 4 — коллектор, 5 —
шлифовка

должны соприкасаться с коллектором или кольцами всей своей рабочей поверхностью (рис. 197, а). В зависимости от состава, способа изготовления и физических свойств щетки подразделяют на четыре основные группы: угольно-графитовые (обозначение Т и УГ), графитовые (Г), электрографитированные (ЭГ) и металлографитовые (МГ).

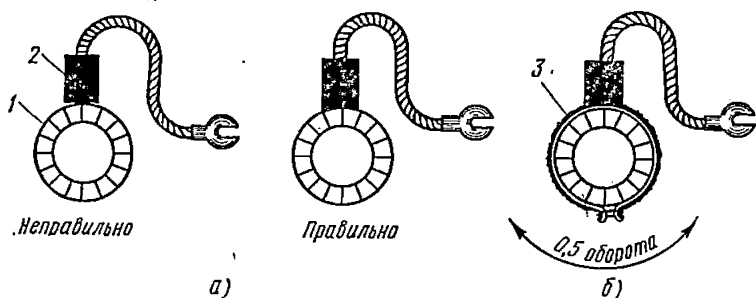


Рис. 197. Притирка щеток:

а — положение рабочей поверхности щеток относительно коллектора при неправильной и правильной притирке, б — практический прием притирки; 1 — коллектор, 2 — щетка, 3 — рабочая поверхность стеклянной шкурки

Для каждой машины, работающей в определенных условиях, завод-изготовитель применяет щетки соответствующей марки. Изношенные щетки заменяют щетками той же марки. В киногенераторах преимущественно применяют щетки марки Г. Давление, создаваемое пружинами щеткодержателей, составляет в среднем 150—200 г. Новые щетки имеют форму прямоугольника. Для придания рабочей поверхности щетки кривизны коллектора или колец ее притирают. С этой целью на коллекторе закрепляют полоску мелкой стеклянной шкурки (рис. 197, б) рабочей поверхностью к щетке. Нажимая на щетку, якорь генератора периодически поворачивают на пол-оборота вправо и влево, причем сильнее нажимают в то время, когда якорь перемещают в направлении нормального вращения вала генератора. Через некоторое время щетку вынимают из щеткодержателя и проверяют качество притирки. Убедившись, что рабочая поверхность щетки приобрела необходимую форму, удаляют стеклянную шкурку, пускают электростанцию и для окончательной притирки щетки дают генератору поработать в режиме холостого хода 10—15 мин.

Необходимо иметь в виду, что применять при шлифовке коллектора или притирке щеток наждачную шкурку нельзя, так как зерна наждака могут быть электропроводными и, попав между коллекторными пластинами, могут замкнуть их накоротко. Проверить электрические свойства наждачной шкурки можно авометром ТТ-1 или АВО-63. Прибор включают на максимальный предел измерения сопротивлений, а затем щупы прижимают к рабочей поверхности шкурки на расстоянии 3—4 мм. Если прибор не будет давать показаний, в данном типе шкурки зерна наждака не электропроводны,

Возможные неисправности генераторов

Признак неисправности	Причина неисправности	Способ нахождения и устранения неисправности
Генератор не возбуждается	Исчезновение остаточного магнетизма индуктора Малая скорость вращения двигателя Плохой контакт между щетками, коллектором и кольцами Обрыв в цепи возбуждения генератора В генераторах ГАБ-1 и ГАБ-4 неисправна кнопка возбуждения	Возбудить генератор от постороннего источника постоянного тока С помощью тахометра измерить число оборотов двигателя Проверить узел щеткодержателя и устранить неисправности С помощью омметра найти место обрыва, устранить неисправность С помощью омметра найти плохой контакт, устранить неисправность
После отпускания кнопки возбуждения (ГАБ-1, ГАБ-4) выходное напряжение исчезает	Неисправна кнопка возбуждения Обрыв в цепи резисторов <i>РК</i> и <i>РД</i> (см. рис. 193 и 194)	Обнаружить и устранить неисправность С помощью омметра проверить резисторы <i>РК</i> и <i>РД</i> , обнаружить и устранить неисправность
Резкое снижение выходного напряжения генератора и скорости вращения двигателя или остановка двигателя	Перегрузка генератора или короткое замыкание в нагрузке	Отключить нагрузку и проверить напряжение на выходе генератора. Если напряжение нормальное, с помощью омметра обнаружить, а затем устранить причину перегрузки или короткого замыкания
Амперметр не дает показаний (ГАБ-1, ГАБ-4)	Обрыв в цепи нагрузки Неисправность амперметра или выключателя нагрузки	Контрольной лампой или омметром обнаружить, а затем устранить обрыв Проверить омметром исправность прибора и выключателя. При необходимости заменить амперметр или выключатель
Пониженное напряжение на выходе	Пониженное число оборотов двигателя Мал ток возбуждения	Отрегулировать число оборотов Увеличить ток с помощью регулятора напряжения
Пониженная частота тока	Пониженное число оборотов	Увеличить число оборотов двигателя

Установка траверсы. Необходимость установки траверсы может возникнуть при изменении нагрузки и только в генераторах с неподвижным индуктором. В генераторах с подвижным индуктором коллектор отсутствует и щеткодержатели крепятся к корпусу генератора неподвижно.

Обычно траверсу устанавливают по заводским меткам. Если метки отсутствуют, пускают генератор и подключают номинальную нагрузку. Ослабив болт крепления, перемещением траверсы (по ходу и против хода вращения якоря) находят положение, соответствующее максимальному напряжению на выходе при минимальном искробразовании на коллекторе.

Возбуждение генератора. Если электрические цепи генератора исправны, но выходное напряжение отсутствует, наиболее вероятной причиной этого может быть исчезновение остаточного магнетизма индуктора. В исправных генераторах вследствие остаточного магнетизма индуктора должно развиваться на выходе генератора напряжение порядка 4—6 в.

Генератор, в котором исчез остаточный магнетизм, можно возбудить следующим способом: пустить генератор, включить нагрузку и к цепи индуктора на 2—3 сек подсоединить аккумулятор напряжением 6—12 в. Если генератор не возбуждается, необходимо поменять полярность включения аккумулятора. Сигналом возбуждения может служить отклонение стрелки вольтметра или другие внешние признаки, подтверждающие появление напряжения на выходе генератора. Возбудив генератор, электростанцию останавливают и, подключив электрическую цепь индуктора, приступают к эксплуатации генератора в номинальном режиме.

Уход за подшипниками. Шариковые подшипники требуют промывки керосином примерно один раз в год. После промывки их насухо вытирают, а затем обойму заполняют густыми сортами смазочных материалов (тавотом, солидолом, техническим вазелином, смазкой ЦИАТИМ-201). Смазку добавляют один раз в два-три месяца при плановых осмотрах станции.

Основные неисправности генераторов приведены в табл. 12.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие генераторы называют синхронными?
2. От чего зависят Э. д. с. и частота на выходе синхронного генератора?
3. Перечислите и поясните назначение основных частей синхронного генератора.
4. В каких случаях применяют явнополосные и неявнополосные роторы?
5. Что называется реакцией якоря, каковы ее причины и последствия?
6. Что называется внешней и нагрузочной характеристикой синхронного генератора?
7. Перечислите типы передвижных электростанций, предназначенных для питания передвижной и стационарной аппаратуры.
8. Что следует предпринять при плохой стабилизации выходного напряжения в генераторах СГС-4,5; ГАБ-1 и ГАБ-4?
9. По каким причинам возникает искрение щеток?
10. Как возбудить генератор при исчезновении остаточного магнетизма индуктора?

Глава XIII ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КИНОУСТАНОВОК

Комплект аппаратуры стационарной киноустановки состоит из основного и вспомогательного оборудования.

С помощью основного оборудования проецируется изображение и создается звуковое сопровождение кинофильма. К основному оборудованию относится кинопроекционная, электропитающая и звуковоспроизводящая аппаратура.

К вспомогательному оборудованию относятся автоматические противопожарные заслонки, лебедки предэкранного занавеса, темнители света, распределительные и другие устройства, которые непосредственно в процессе кинопоказа не используются, их применение объясняется производственной необходимостью и требованиями техники безопасности.

Включение и выключение (коммутация) основного и вспомогательного оборудования производят с помощью соответствующей коммутационной аппаратуры (выключателей, переключателей, рубильников, пускателей, реле и пр.).

§ 87. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ, ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ И РУБИЛЬНИКИ

Выключатели различных типов применяют для коммутации цепей при силе тока до 6 а и напряжении до 250 в. В каждом выключателе имеются два неподвижных пружинных контакта, которые при воздействии на подвижную часть выключателя замыкаются и размыкаются. В зависимости от конструкции подвижной части выключатели делят на поворотные, рычажные и кнопочные.

Кнопочные выключатели бывают с одной и двумя кнопками. В двухкнопочном выключателе подвижная часть выполнена в виде изогнутого рычага. При нажатии на одну из кнопок цепь замыкается, а при нажатии на другую — разрывается.

В однокнопочных выключателях поворотного типа при нажатии на кнопку происходит поворот замыкателя на 90°, а в выключателях другой конструкции между контактами поочередно вводится металлический или пластмассовый шарик. На рис. 198 изображены выключатели и переключатели различных типов, причем под каждым из них показана схема устройства.

Микровыключатели и микропереключатели применяются в специальной аппаратуре в качестве блок-контактов, концевых выключателей и малогабаритных переключателей.

В обычном кнопочном выключателе для замыкания и разрыва цепи требуется дважды нажать на кнопку. В микровыключателях

подвижная часть подпружинена, поэтому при нажатии на кнопку цепь замыкается, а при отпускании — разрывается. В микропереключателях имеются две группы контактов, одна из них нормально замкнута, а другая — разомкнута. При нажатии на кнопку микропереключателя нормально замкнутые контакты размыкаются, а нормально разомкнутые — замыкаются. При отпускании кнопки контакты приходят в исходное положение.

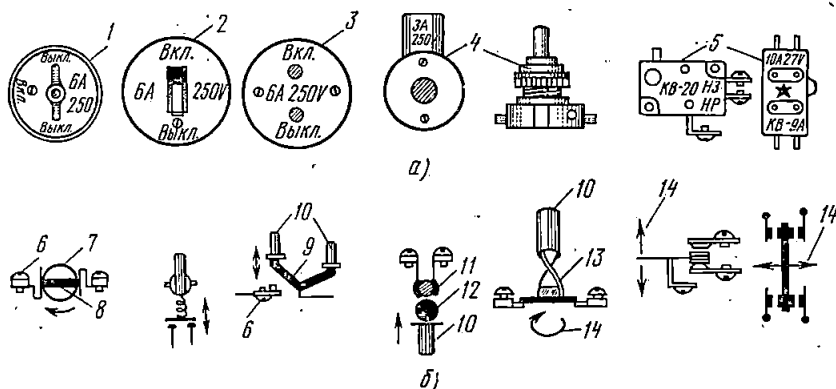


Рис. 198. Выключатели и переключатели:

а — внешний вид, *б* — схема устройства; 1 — выключатель поворотного типа, 2 — выключатель типа «тумблер», 3 — двухкнопочный выключатель, 4 — однокнопочные выключатели, 5 — микропереключатели, 6 — токоподводящие контакты, 7 — подвижная часть, 8 — замыкатель, 9 — замыкатель двухкнопочного выключателя, 10 — кнопки, 11 — пластмассовый шарик, 12 — металлический шарик, 13 — винтовая направляющая, 14 — стрелки, показывающие направление перемещения подвижной части

Например, для защиты обслуживающего персонала от поражения током в электропитающем устройстве ксеноновых ламп детали, находящиеся под высоким напряжением, размещают в колонке и фонаре кинопроектора. Под крышками фонаря и на колонке кинопроектора устанавливают несколько микровыключателей, включенных последовательно в цепь питания. При снятии любой из крышек микровыключатель срабатывает и электропитающее устройство полностью обесточивается.

Пакетные переключатели широко применяются в цепях управления передвижных кинопроекторов, распределительных и стационарных усилительных устройствах. С помощью пакетных переключателей можно управлять работой нескольких потребителей, номинальный ток которых не превышает 100 а.

Пакетный переключатель (рис. 199, *а*, *б*, *в*) собирают из отдельных секций (пакетов). Каждая секция состоит из неподвижной части — корпуса 1 с контактами 2 — и подвижной части, имеющей замыкатель 6 и квадратное отверстие в центре.

При сборке переключателя необходимое количество секций насаживают на квадратную ось пружинного фиксатора 3 и стягивают

шпильками 5. Пружинный фиксатор обеспечивает быстрый поворот квадратной оси на фиксированный угол 90° , что обеспечивает хорошее искрогашение и четкую работу переключателя.

Рубильники являются простейшими электрическими приборами, предназначенными для коммутации электрических цепей средней мощности.

Каждый рубильник (рис. 199, *г*) состоит из подвижной части — ножа 7 и неподвижных контактов — губок 8. В зависимости от количества ножей и губок рубильники бывают однополюсные, двухполюсные, трехполюсные и перекидные. При разрыве цепей, содер-

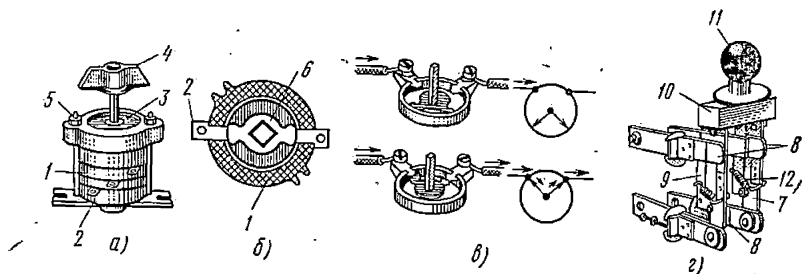


Рис. 199. Пакетные переключатели и рубильники:

а — внешний вид пакетного переключателя, *б* — устройство секции пакетного переключателя, *в* — принцип действия пакетного переключателя, *г* — устройство двухполюсного рубильника; 1 — корпус, 2 — контакты, 3 — пружинный фиксатор, 4 — ручка, 5 — стяжная шпилька, 6 — замыкатель, 7 — нож, 8 — губки, 9 — отсекатель, 10 — соединительная планка, 11 — ручка рубильника, 12 — пружина отсекателя

жащих катушки индуктивности, между контактами рубильника возникает дуга, вызывающая обгорание губок и ножей. С целью быстрого разрыва цепи и гашения возникающей дуги рубильники снабжают отсекателями 9 — шарнирно укрепленными пластинами, связанными с ножами 7 через пружины 12.

Когда выключают рубильник, имеющий отсекатели, то сначала из губок выходят ножи 7, а электрическая цепь по-прежнему остается замкнутой через отсекатели. При этом растягиваются пружины 12 и в некотором их положении отсекатели вырываются из губок, а сжимающиеся пружины обеспечивают быстрый разрыв цепи и гашение возникающей дуги.

Штепсельные соединения применяют для быстрого включения в цепь временных потребителей. Простейшее штепсельное соединение состоит из штепсельной розетки 1 и вилки 2 (рис. 200, *а*).

В связи с тем что во временных потребителях часто возникают короткие замыкания, в некоторых типах розеток имеются собственные предохранители 4, выполненные в виде тонкой медной проволоочки. В комплектах стационарных усилительных устройств часто отдельные блоки соединяют с помощью многоконтактных штеккерных разъемов (рис. 200, *б*). Применение таких разъемов позволяет

производить быструю замену поврежденного блока, что сокращает до минимума время, необходимое для устранения последствий аварии.

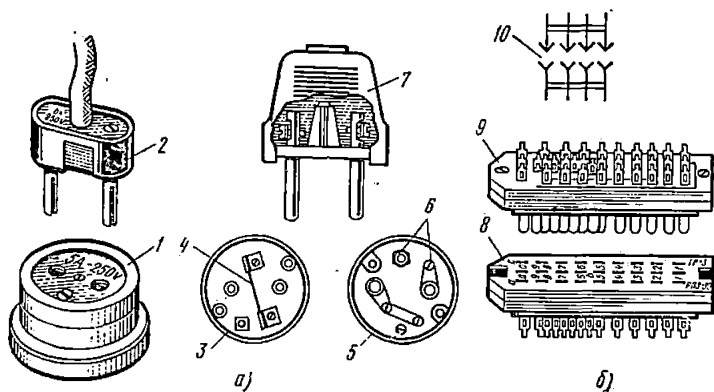


Рис. 200. Штексельные соединения:

а — простейшее штексельное соединение, *б* — многоконтактный штеккерный разъем; 1 — штексельная розетка, 2 — штексельная вилка, 3 — штексельная розетка со снятой крышкой, 4 — предохранитель, 5 — штексельная розетка (вид снизу), 6 — токоподводящие контакты, 7 — вариант конструкции штексельной вилки (разрез), 8 — гнездовая часть разъема, 9 — штексельная часть разъема, 10 — условное обозначение четырехконтактного разъема

§ 88. РЕЛЕ И ПУСКАТЕЛИ

Реле и пускатели — коммутационные аппараты, предназначенные для дистанционного управления различными механизмами. Обычно реле применяют в слаботочных цепях, а пускатели — в цепях средней и большой мощности. Однако существуют специальные сильноточные реле, контактные группы которых рассчитаны на ток до 100 а и более.

В зависимости от принципа действия реле разделяют на электромагнитные и тепловые.

Электромагнитное реле (рис. 201, *а*) состоит из ферромагнитного сердечника 1, обмотки 3, якоря 5 и контактов 6. Электромагнитные реле чаще всего используют в переключающих схемах. Поэтому их контактные группы скомпонованы таким образом, что одна часть контактов находится в замкнутом, а другая — в разомкнутом положении. При срабатывании реле замкнутые контакты размыкаются, а разомкнутые — замыкаются. В технике для характеристики положения контактных групп реле применяют термины: нормально закрытые (замкнутые) и нормально открытые (разомкнутые) контакты. Исходным считается положение, соответствующее отсутствию тока в катушке реле. Следовательно, контакты, которые при отсутствии тока в катушке реле замкнуты, являются нормально

закрытыми, а разомкнуты — нормально открытыми. Контакты реле выполняют из серебра или неокисляющихся сплавов, а в зависимости от рабочего тока контактов им придают полусферическую или цилиндрическую форму.

Действие электромагнитного реле основано на принципе электромагнетизма. При появлении тока в обмотке реле якорь 5 притягивается к сердечнику и, нажимая на верхнюю, подвижную пластину, замыкает контактную группу. В кинотехнике электромагнитные реле широко применяются в стационарных усилительных устройствах для переключения цепей входа, в автотрансформаторных темнителях света, а также для автоматического переключения источников питания аварийного и сигнального освещения.

Тепловое реле (рис. 201, б) имеет следующее устройство: на биметаллическую пластинку 10 наматывают спираль из нихрома, являющуюся нагревательным элементом 13. Коммутируемую цепь подключают через нормально закрытые или нормально открытые контакты 11. При прохождении тока по спирали биметаллическая пластинка нагревается и, деформируясь, переключает контактные группы. В случае резкого уменьшения тока или разрыва цепи биметаллическая пластинка остывает и коммутируемая цепь возвращается в исходное положение.

Магнитный пускатель представляет собой трехполюсный контактор, управляемый с помощью кнопочной станции. В зависимости от конструкции магнитные пускатели бывают поворотные и прямоходные (последние — с прямолинейным перемещением рабочей части).

Прямоходный пускатель (рис. 202) выполняют в виде неподвижного электромагнита, якорь которого механически соединен с замыкателями 7.

Кнопочная станция имеет две кнопки: *Пуск* и *Стоп*, причем у кнопки *Пуск* нормально открытые контакты, а у кнопки *Стоп* — нормально закрытые. При нажатии на пусковую кнопку включается цепь электромагнита ЭМ, пускатель срабатывает и кроме основных контактов C_1 , C_2 и C_3 , включенных в цепь трехфазного

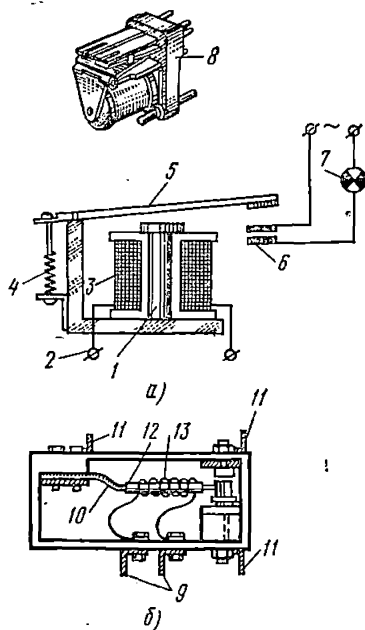


Рис. 201. Реле:

- а — электромагнитное, б — тепловое;
 1 — сердечник, 2 — вывод обмотки реле,
 3 — обмотка, 4 — пружина, 5 — якорь,
 6 — контакты реле, 7 — сигнальная лампа или исполнительный механизм, 8 — внешний вид реле РСМ, 9 — контакты нагревательного элемента, 10 — биметаллическая пластинка, 11 — контакты исполнительной цепи, 12 — слюда, 13 — нагревательный элемент

потребителя, замыкает блок-контакт 9, шунтирующий кнопку *Пуск*. Поэтому пускатель остается в рабочем положении даже при кратковременном нажатии пусковой кнопки.

Выключают потребитель нажатием на кнопку *Стоп*, которая разрывает цепь электромагнита, в результате чего якорь магнитного пускателя возвращается в исходное положение.

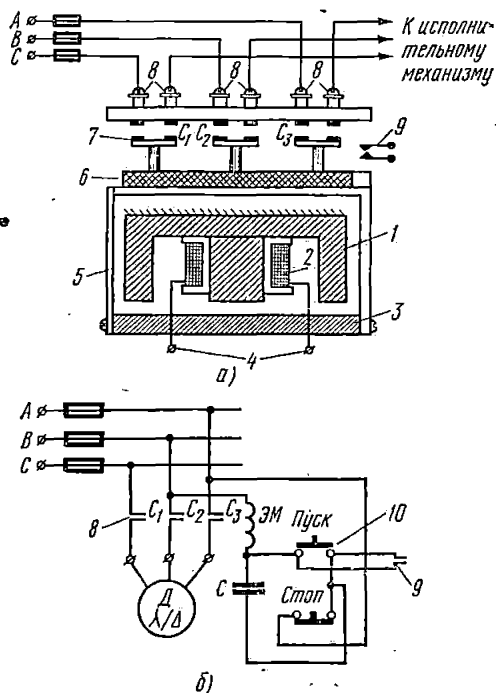


Рис. 202. Магнитный пускатель:

а — схема устройства, б — электрическая схема; 1 — неподвижный сердечник, 2 — катушка электромагнита, 3 — якорь, 4 — токоподводящие контакты, 5 — подвижная рама, 6 — планка, 7 — замыкатель, 8 — контактные группы пускателя, 9 — блок-контакты, 10 — кнопочная станция

В кинотехнике магнитные пускатели применяют для дистанционного включения электродвигателей, а также стабилизированных выпрямителей питания дуговых и ксеноновых ламп.

§ 89. ТЕМНИТЕЛИ СВЕТА

Человеческий глаз обладает свойством темновой и световой адаптации, т. е. способностью приспосабливаться к резким изменениям освещенности. Зрачок может расширяться и сужаться, пропуская на сетчатую оболочку глаза световой поток, необходимый

для четкого восприятия окружающих предметов. Практически установлено, что адаптация происходит в течение 30—40 сек.

Если человек из светлого помещения попадает в полутемную комнату, то первоначально он плохо видит предметы, и лишь через 30—40 сек окружающая обстановка становится хорошо различимой. Наоборот, попадая из темного в светлое помещение, человек испытывает чувство ослепления, которое через некоторый

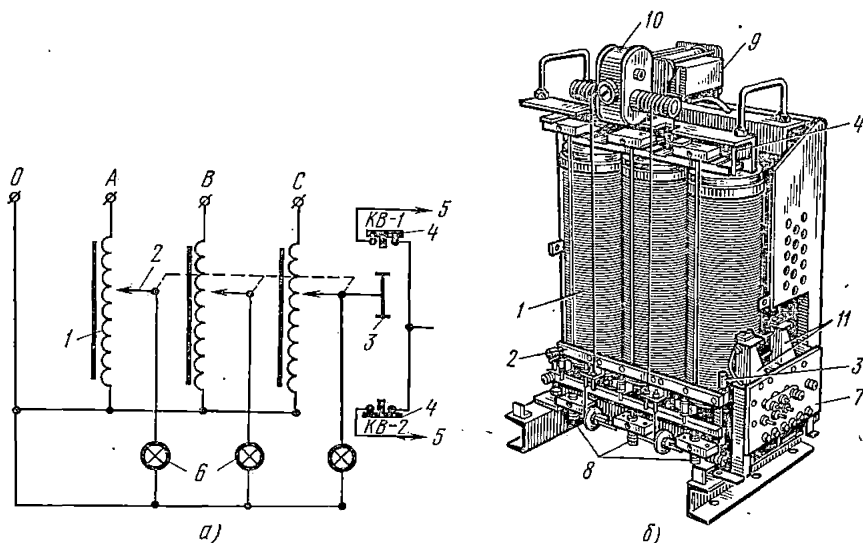


Рис. 203. Автотрансформаторный темнитель света:

a — упрощенная электрическая схема, *б* — внешний вид темнителя ТС-5М; 1 — обмотка трехфазного автотрансформатора, 2 — траверса, 3 — толкатель, 4 — концевые выключатели, 5 — в цепь электродвигателя, 6 — лампы зрительного зала, 7 — панель зажимов, 8 — к лампам зрительного зала, 9 — электродвигатель, 10 — редуктор, 11 — реле

промежуток времени исчезает. Аналогичные явления будут происходить в зрительном зале кинотеатра, если сразу после выключения света начать кинопроекцию или после окончания сеанса включить яркий свет. Поэтому в зрительном зале кинотеатров постепенно гасят свет перед началом демонстрации фильма и плавно зажигают его после окончания киносеанса.

Устройства, предназначенные для плавного гашения и зажигания света в зрительном зале, называются темнителями света.

Существует много разновидностей темнителей: реостатные, реостатно-механические, с дросселями насыщения, но в последнее время наибольшее распространение получили темнители автотрансформаторного типа. В реостатном темнителе при плавном перемещении движка реостата меняется ток и, значит, накал последовательно включенных ламп зала.

Если движок реостата перемещать с помощью специального электродвигателя, то полученная система будет называться реостатно-механической.

В темнителях света с дросселем насыщения накал ламп регулируют путем плавного изменения тока подмагничивания с помощью реостата или другого устройства.

Автотрансформаторные темнителы света ТС-5М и ТС-6М предназначены для плавного гашения и зажигания ламп

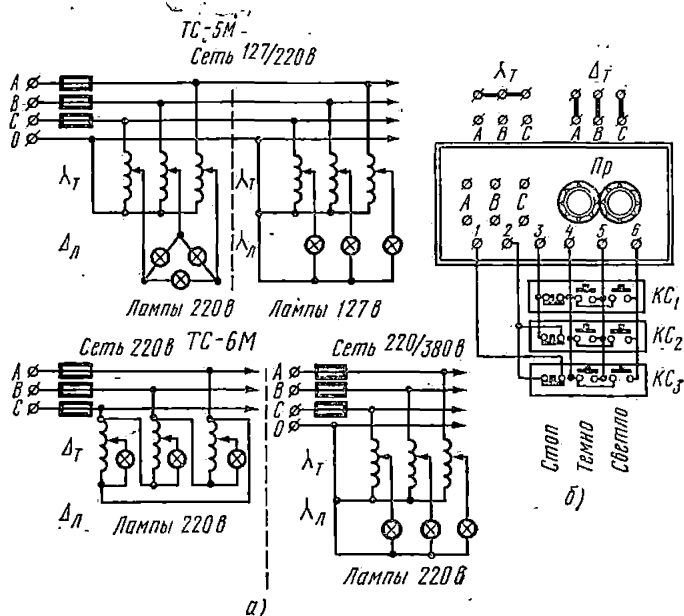


Рис. 204. Эксплуатация автотрансформаторных темнителы света:

а — варианты схем включения потребителей и обмоток темнителы ТС-5М и ТС-6М, б — панель зажимов темнителы ТС-5М и ТС-6М

зрительного зала при мощности осветительной нагрузки до 10 квт. Такие темнителы представляют собой трехфазные понижающие автотрансформаторы с дистанционным управлением и плавной регулировкой напряжения. Темнитель ТС-5М рассчитан на включение в сеть напряжением 127/220 в, а темнитель ТС-6М — на включение в сеть 220/380 в. Время полного гашения и зажигания ламп 30 сек.

Внешний вид и упрощенная схема автотрансформаторного темнителя приведены на рис. 203.

Принцип действия. Обмотки трехфазного автотрансформатора темнителя, намотанные медными изолированными шинами прямоугольного сечения, размещены на сердечнике стержневого типа. Одна сторона круглых обмоток 1 тщательно очищена от изоляции.

Вдоль обмоток при помощи двухфазного двигателя с редуктором перемещается траверса 2 с тремя щетками. На траверсе размещены толкатели 3, а в нижней и в верхней частях темнителя установлены концевые выключатели КВ-1 и КВ-2, включенные в цепь питания электродвигателя.

Концевые выключатели в устройствах с дистанционным управлением предназначены для разрыва цепи электродвигателя при крайних положениях исполнительного механизма.

Если включить двигатель, траверса со щетками будет плавно перемещаться вверх или вниз, вызывая уменьшение или увеличение накала ламп 6. При полном гашении (или зажигании) ламп зала толкатели нажимают на концевые выключатели, которые разрывают цепь электродвигателя. Управление электродвигателем производится с помощью кнопочной станции, двух реле и двух концевых выключателей.

На рис. 204, а приведены варианты схем включения обмоток темнителей и ламп зрительного зала. В сеть напряжением 127/220 в темнитель ТС-5М включают звездой. Лампы с номинальным напряжением 220 в соединяют треугольником, а лампы с номинальным напряжением 127 в — звездой. Чтобы получить одинаковое напряжение на всех лампах при неравномерной нагрузке фаз, следует подключить нулевой провод.

Темнитель ТС-6М в сеть напряжением 127/220 в включают треугольником, а в сеть 220/380 в — звездой. С темнителем ТС-6М можно применять только лампы с номинальным напряжением 220 в. Так как номинальные напряжения ламп и обмоток автотрансформатора равны между собой, схемы их включения аналогичны.

Сеть трехфазного переменного тока подводят к контактам А, В, С панели зажимов темнителя (рис. 204, б). Обмотки переключают путем перестановки перемычек. Для включения обмоток треугольником (Δ) перемычки устанавливают вертикально, а для включения звездой (Λ) — горизонтально на верхние зажимы. Контакты 1—6 предназначены для подключения трех кнопочных станций ($КС_1$, $КС_2$ и $КС_3$), расположенных около каждого кинопроектора на пульте дистанционного управления 19ПДУ-1.

Электрическая схема цепи управления темнителей ТС-5М и ТС-6М.

В схему управления (рис. 205) входят двухфазный реверсивный двигатель Д, реле P_1 и P_2 , концевые выключатели $КВ_1$ и $КВ_2$, а также кнопочная станция КС.

Чтобы изменить направление вращения электродвигателя, подключают конденсатор С емкостью 2 мкф к одной из рабочих обмоток. Из схемы, приведенной на рис. 205, видно, что контакты реле 1 и 1' включены в цепь электродвигателя, контакты 2 и 2' — последовательно с обмотками реле, контакты 3 и 3' — параллельно кнопкам Темно и Светло кнопочной станции. Концевые выключатели $КВ_1$ и $КВ_2$ включены последовательно с обмотками реле.

При нажатии на кнопку *Темно* ток пойдет от фазы *A* через нормально замкнутые контакты кнопки *Стоп*, кнопку *Темно*, обмотку реле P_1 , контакты $2'$, выключатель KB_2 к фазе *B*. Реле P_1 сработает и переключит контактные группы *1*, *2* и *3*.

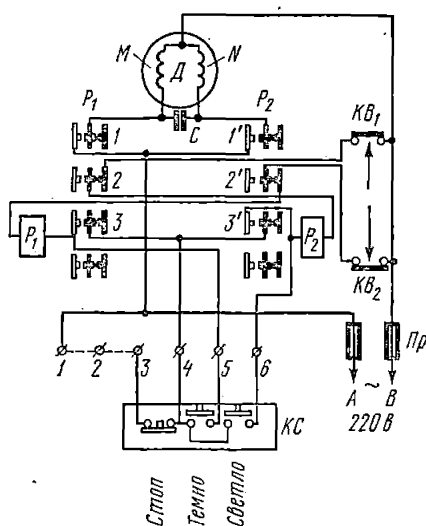


Рис. 205. Схема цепи управления темнителей ТС-5М и ТС-6М

положение. Цепь питания обмоток реле P_1 и P_2 проходит через нормально замкнутые контакты кнопки *Стоп*. Поэтому при нажатии на кнопку *Стоп* траверсу можно остановить в любом промежуточном положении. Однако длительная работа нагруженного темнителя в таких положениях может привести к обгоранию щеток и отдельных участков обмотки темнителя. По заводской рекомендации этот период не должен превышать 5—7 мин. Очевидно, что при нажатии на кнопку *Светло* сработает реле P_2 и при полном накале ламп электродвигатель обесточится концевым выключателем KB_1 .

Кроме темнителей света ТС-5М и ТС-6М в киносети применяют другие типы автотрансформаторных темнителей: ТС-3М, ТС-4М, ТС-5, ТС-6 и РН-35М.

Темнители ТС-3М и ТС-4М рассчитаны на осветительную нагрузку в 30 кВт, поэтому используются в кинотеатрах средней мощности.

Для кинотеатров большой вместимости разработан темнитель РН-35М мощностью 35 кВт. Характерной особенностью этого темнителя является возможность остановки траверсы в промежуточном положении на неограниченное время.

Если переключить контактную группу *3*, заблокируется кнопка *Темно* и цепь останется замкнутой даже при отпуске кнопки. При переключении контактной группы *2* разрывается цепь реле P_2 , что предупреждает возможность одновременного включения P_1 и P_2 .

Переключение контактной группы *1* вызовет включение электродвигателя. Проследим его цепь: фаза *A*, контакты *1*, обмотка *M* (конденсатор оказался включенным последовательно с обмоткой *N*), фаза *B*. Двигатель начинает вращаться, и как только лампы зала полностью погаснут, толкатель на траверсе нажмет на кнопку концевых выключателя KB_2 , который разорвет цепь обмотки реле P_1 , в результате чего цепь управления вернется в исходное

Темнители ТС-5 (6) отличаются от темнителей ТС-5М (6М) только конструкцией щеток. При эксплуатации автотрансформаторных темнителей света требуется периодически осматривать трущиеся части и электрические контакты, что является гарантией их длительной безаварийной работы.

§ 90. ЛЕБЕДКИ ЗАНАВЕСА ЭКРАНА

Занавес служит для защиты экрана от пыли и улучшения декоративного оформления зрительного зала.

Электромеханические устройства, предназначенные для дистанционного управления занавесом, называются лебедками предэкранного занавеса (ЛПЗ) или автозанавесом (АЗ).

С целью автоматизации процесса управления занавесом разработано несколько типов лебедок: АЗ-1, ЛПЗ-1, ЛПЗ-2, ЛПЗ-3, ЛПЗ-4.

Внедрение систем широкоэкранный и широкоформатный кинопоказа потребовало изготовления новых типов лебедок (ЛПЗ-1 и ЛП-1), обеспечивающих как полное, так и частичное открытие экрана (кашети́рование). Кашетирование необходимо при демонстрации обычных фильмов на широком экране большого размера. Электрические схемы таких универсальных лебедок позволяют получить три устойчивых положения, соответствующих открытию, закрытию и кашетированию экрана.

Универсальная лебедка ЛП-1 (рис. 206) включает в себя элементы электрической и механической частей. К механической части относятся редуктор 1, необходимый для снижения числа оборотов двигателя, шкив 2 с винтовыми канавками для стального троса, червячный винт 9 и ползун 8.

В электрическую часть лебедки входят: трехфазный асинхронный электродвигатель АОЛ-1/4 мощностью 0,5 квт, 1410 об/мин, 220/380 в; реверсивный магнитный пускатель с обмотками 19 и 20; кнопочная станция 14 и концевые выключатели 10, 11 и 12.

Лебедка ЛП-1 рассчитана на максимальное раскрытие занавеса шириной до 20 м за время около 33 сек. Скорость перемещения занавеса 0,46 м/сек.

Через шкив 2 и систему роликов 5 перекинут стальной трос 4, связанный с занавесом через ведущие кольца 7. В зависимости от направления вращения электродвигателя трос 4, перемещаясь по роликам, открывает или закрывает занавес. Автоматическая остановка лебедки в заданном положении осуществляется с помощью концевых выключателей 10, 11 и 12. Концевые выключатели включены последовательно с обмотками 19 и 20 магнитных пускателей. При вращении механической части лебедки ползун 8 перемещается по червячному винту 9 и, нажимая на кнопку соответствующего концевого выключателя, вызывает разрыв цепи пускателя. В конструкции лебедки предусмотрена возможность перемещения концевых выключателей 11 и 12, что позволяет регулировать рабочий ход лебедки в пределах от 2 до 20 м. Реверсивный магнитный пу-

скатель предназначен для включения и изменения направления вращения электродвигателя. Включают пускатель кнопками *Открыть* и *Заккрыть* на кнопочной станции, а выключают кнопкой *Стоп*.

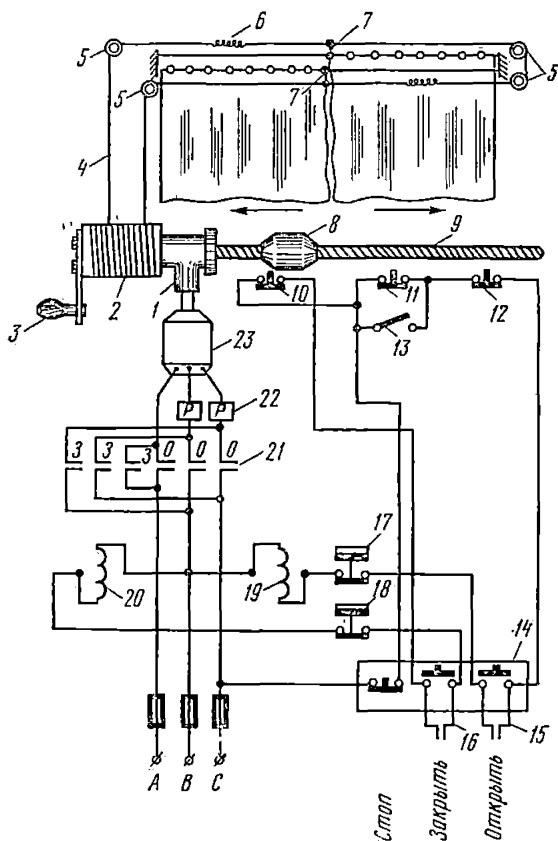


Рис. 206. Схема универсальной лебедки пред-
экранного занавеса ЛП-1:

1 — редуктор, 2 — шкив, 3 — рукоятка ручного привода, 4 — трос, 5 — направляющие ролики, 6 — пружина, 7 — ведущие колеса, 8 — ползун, 9 — червячный винт, 10 — концевой выключатель закрытия занавеса (КВ), 11 — концевой выключатель касетирования, 12 — концевой выключатель открытия широкого экрана, 13 — специальный выключатель, 14 — кнопочная станция (КС), 15—16 — блок-контакты магнитных пускателей, 17—18 — контакты тепловых реле, 19 — обмотка магнитного пускателя открытия занавеса, 20 — обмотка магнитного пускателя закрытия занавеса, 21 — контакты магнитных пускателей, 22 — тепловые реле, 23 — трехфазный электродвигатель

Автоматически пускатель может быть выключен как концевыми выключателями, так и тепловыми реле 22. Кнопки *Заккрыть* и *Открыть* автоматически блокируются (замыкаются) специальным блок-контактами 15 и 16 пускателя.

Защита электродвигателя от перегрузки осуществляется тепловыми реле 22, исполнительные контакты которых включены последовательно в цепь обмоток пускателя.

Перегрузка двигателя может возникнуть при заклинивании редуктора или заедании троса. В этом случае ток в обмотках электродвигателя возрастает, тепловые реле срабатывают и цепь обмоток магнитного пускателя разрывается, обесточивая цепь электродвигателя. При нажатии на кнопку *Открыть* включается обмотка 19 пускателя, замыкаются блок-контакт 15 и главные контак-

ты *О*, через которые подводится питание на электродвигатель лебедки. Блок-контакт 15 подключен параллельно кнопке открытия занавеса, поэтому электрическая цепь остается замкнутой даже при кратковременном нажатии на пусковую кнопку.

Проследим эту цепь: фаза *С*, нормально замкнутые контакты кнопки *Стоп*, концевые выключатели *11* и *12*, блок-контакт *15*, контакты *17* теплового реле, обмотка *19* пускателя, фаза *В*. Вращение электродвигателя лебедки вызовет постепенное открытие занавеса и перемещение ползуна *8* по червячному винту *9*. Ползун *8* при некотором положении занавеса дойдет до концевого выключателя кашетирования *11*, электрическая цепь пускателя разорвется и лебедка обесточится. При демонстрации широкоэкранный фильм занавес надо открывать полностью, для чего выключателем *13* переключают концевой выключатель кашетирования *11*. Лебедка будет продолжать работать до разрыва цепи пускателя концевым выключателем *12*.

При нажатии на кнопку *Закрыть* включится обмотка *20* пускателя, электродвигатель начнет вращаться в противоположном направлении, занавес будет закрываться и в конечном положении цепь разорвется концевым выключателем *10*. С помощью кнопки *Стоп* можно остановить лебедку в любом промежуточном положении. На случай неисправности электрической части лебедки предусмотрена возможность ручного открытия или закрытия занавеса с помощью рукоятки *3* на валу редуктора.

Эксплуатация лебедки сводится к периодическому осмотру и смазке трущихся частей, регулировке натяжения тросов и проверке качества контактов в кнопочной станции, концевых выключателях и магнитном пускателе.

В лебедке ЛП-1 выпуска 1968 г. применен электродвигатель АОЛ-2-12-6 мощностью 0,6 кВт и, кроме того, в схему управления введен четвертый концевой выключатель с тумблером (включены между концевыми выключателями *11* и *12*). Это позволяет регулировать ширину открытия занавеса при широкоэкранный проекции фильмов как с оптической, так и магнитной фонограммами.

§ 91. УСТРОЙСТВО УПП-2 ДЛЯ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА С ПОСТА НА ПОСТ

Качество кинопоказа определяется не только техническим состоянием аппаратуры и оборудования, но и согласованностью в работе киномехаников при выполнении переходов с поста на пост. Преждевременное перекрытие ручных заслонок при переходах может привести как к полному исчезновению изображения на экране, так и появлению двойного изображения. Несвоевременное переключение цепи читающих ламп вызывает исчезновение или резкое уменьшение громкости звука. Применение устройств для полуавтоматического перехода с поста на пост практически исключает перечисленные недостатки, улучшает качество кинопоказа и облегчает работу киномехаников.

Полуавтоматы УПП-2 предназначены для полуавтоматического перехода с поста на пост и переключения цепей читающих ламп.

В случае применения системы питания дугowych ламп от одно-

го выпрямителя с предварительным розжигом дуги переменным током полуавтоматы позволяют также переключать цепи питания дуговых ламп.

В комплект полуавтоматов УПП-2 входят две заслонки, устанавливаемые между конусами дуговых фонарей и обтюрационными коробками кинопроекторов КПП-2, КПП-3.

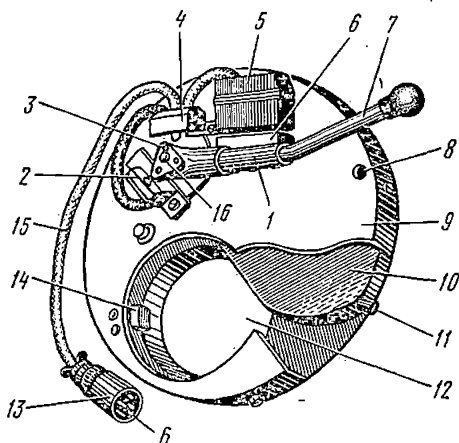


Рис. 207. Конструкция заслонки полуавтомата УПП-2:

1 — колодка, 2 и 4 — микропереключатели, 3 — кулачок, 5 — электромагнит, 6 — якорь с амортизационной пружиной, 7 — рычаг, 8 — отверстие для болта крепления заслонки на корпусе кинопроектора, 9 — корпус заслонки, 10 — подвижная шторка, 11 — фиксатор, 12 — окно, 13 — штепсельный разъем, 14 — амортизатор, 15 — соединительный шланг, 16 — ось

Каждая заслонка полуавтомата (рис. 207) представляет собой круглую металлическую коробку — корпус 9 с окном 12 для прохождения светового потока. Внутри корпуса размещена шторка 10, механически связанная с рычагом 7. На рычаге укреплены якорь 6 и кулачок 3, предназначенный для управления микропереключателями 2 и 4. Рычаг может удерживаться в верхнем положении электромагнитом 5 или закрепляться фиксатором 11. Электрические цепи заслонок полуавтоматов соединяются одна с другой через штепсельные разъёмы 13.

Работа полуавтоматов основана на использовании явления электромагнетизма.

На рис. 208 приведена упрощенная схема включения полуавтоматов для двухпостной установки. Напряжение к полуавтоматам подводится от газотронного или селенового выпрямителя питания читающих ламп.

Коммутация читающих ламп и электромагнитов производится микропереключателями 3 и 4 с помощью кулачков 9 и 10, укрепленных на рычагах 11.

Когда рычаг опущен, шторка 12 перекрывает световой поток, а в микропереключателях замыкаются контакты *a* и *б*. При поднятии шторки кулачок нажимает на кнопку микропереключателя, вызывая замыкание контактов *в* и *г* и размыкание контактов *a* и *б*. Одновременно открывается окно для прохождения светового потока на экран.

Если электромагнит находится под напряжением, он удерживает шторку в поднятом положении. Разрыв цепи электромагнита вызовет падение рычага, перекрытие светового потока и переключение контактов микропереключателя.

чателем 4, установленным на проекторе 2, а электромагнит 8 проектора 2 — переключателем 3 на проекторе 1. Цепи читающих ламп коммутируются контактами α и z микропереключателей своих проекторов. Выключатели B_1 и B_2 предусмотрены для ручного управления работой читающих ламп.

Начиная сеанс, киномеханик, работающий на проекторе 1, включает дуговую лампу, открывает ручную заслонку, пускает электродвигатель, а затем поднимает рычаг полуавтомата в верхнее положение. При поднятии рычага замыкаются контакты *в* и *г* микропереключателя 3 и включается читающая лампа 5. Поднятый рычаг будет удерживаться электромагнитом, цепь которого остается замкнутой.

19 Заказ 26

дуговая лампа включена и ручная заслонка открыта), а по второму сигналу — поднимает рычаг в верхнее положение. При поднятии рычага замыкаются контакты *в* и *г* микропереключателя 4, включается читающая лампа 6 и размыкаются контакты *а* и *б*, включенные в цепь электромагнита 7. Электромагнит 7 обесточивается и рычаг полуавтомата на проекторе 1 падает, тем самым разрывая цепь лампы 5 и замыкая цепь электромагнита 8. Поэтому электромагнит 8 будет удерживать рычаг полуавтомата на проекторе 2 и в поднятом положении.

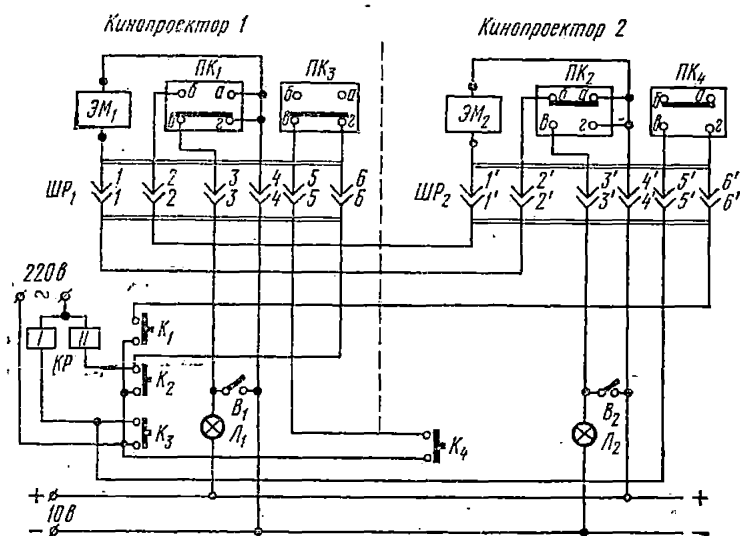


Рис. 209. Электрическая схема УПП-2:

КР — реверсивный контактор, *ЭМ1* и *ЭМ2* — электромагниты полуавтоматов, *ШР1* и *ШР2* — штекерные разъемы, *ПК1*, *ПК2*, *ПК3* и *ПК4* — микропереключатели полуавтоматов, *К1* и *К4* — кнопки полуавтоматического управления контактором, *К2* и *К3* — кнопки ручного управления контактором, *В1* и *В2* — ручные выключатели читающих ламп, *Л1* и *Л2* — читающие лампы

В полной принципиальной схеме полуавтоматов УПП-2 (рис. 209) кроме микропереключателей *ПК1* и *ПК2* коммутации читающих ламп и электромагнитов предусматривается возможность управления реверсивным контактором *КР*. Это необходимо для переключения цепей дуговых ламп при системе питания с предварительным поджигом дуги переменным током.

Ручное управление контактором производят кнопками *К2* и *К3*, а полуавтоматическое — с помощью микропереключателей *ПК3*, *ПК4* и кнопок *К1* и *К4*. Положение переключателей, приведенное на рис. 209, соответствует работе кинопроектора 1.

Чтобы включить обмотку первого реверсивного контактора, необходимо перед переходом нажать и держать кнопку *К1* до тех пор, пока киномеханик второго поста не поднимет рычаг полуав-

в кадровом окне проектора (при обрыве или неисправности аппаратуры) может привести к воспламенению фильма и необходимости временного прекращения киносеанса.

Воспламенение фильма в кадровом окне кинопроектора может быть замечено зрителями по вспышке проецируемого кадра и проникновению в зрительный зал дыма или газа. При соблюдении правил техники пожарной безопасности воспламенение не представляет большой опасности. Однако несоблюдение этих правил и несвоевременное включение света в зрительном зале могут вызвать панику.

С целью уменьшения пожарной опасности при работе с фильмом на нитрооснове и предупреждения паники на стационарных киноустановках применяют следующие профилактические меры:

кинопроекционная аппаратура снабжается целым комплектом противопожарных устройств (противопожарные кассеты, пламегасящие ролики, ручная заслонка, совмещенная противопожарная заслонка, воздушная турбина для охлаждения фильма и другие устройства);

на смотровых и проекционных окнах кинопроекционной установки навешивают автоматические заслонки.

Автоматические противопожарные заслонки предназначены для полной изоляции кинопроекционной от зрительного зала, включения дежурного освещения и сигнализации на пожарный пост.

По принципу действия автоматические заслонки делят на две группы: заслонки механические (ПЗ-6; ПЗ-6а; ПЗ-7; ПЗ-7а) и электромеханические (12-КПЗ; 16-КПЗ-3).

Механические заслонки применяют на сельских стационарах, а электромеханические — на киноустановках стационарного типа.

Электромеханические автозаслонки. Комплект электромеханических заслонок 12-КПЗ для однопостной установки обозначается 12-КПЗ-1, для двухпостной — 12-КПЗ-2, для трехпостной — 12-КПЗ-3.

В состав одного комплекта заслонок 12-КПЗ входят:

1. Автозаслонка 12-ЗПО-1 (заслонка проекционного окна) — 1 шт.

2. Автозаслонка 12-ЗСО-1 (заслонка смотрового окна) — 1 шт.

3. Электропитающее устройство 12-ЭПУ-1 — 1 шт.

4. Автовыключатель заслонок АВЗ-3 — 1 шт.

5. Аварийная кнопка В-16 — 1 шт.

6. Скобы для крепления заслонок — 4 шт., винты — 8 шт., сигнальная лампа МН-3 — 1 шт.

Комплект заслонок рассчитан на включение в сеть однофазного переменного тока напряжением 110/127 или 220 в.

Электропитающее устройство 12-ЭПУ-1 входит в состав комплекта 12-КПЗ-1, 2, 3, т. е. может обслуживать один, два или три комплекта заслонок и управлять работой ламп дежурного освещения с суммарной мощностью до 600 вт.

В один комплект заслонок входят три электромагнита, в два

комплекта — пять, а в три комплекта — семь. Электромагниты питаются постоянным током от селенового выпрямителя, размещенного в электропитающем устройстве (питание электромагнитов переменным током ослабляет их магнитные свойства и создает неприятное дребезжание якорей электромагнитов). Каждый электромагнит рассчитан на напряжение 5 в при токе 0,6 а. Все электромагниты, автовыключатели и кнопки включаются последовательно.

Заслонки работают на разрыв (падение шторок, а также включение дежурного освещения и сигнализации происходят при разрыве цепи питания электромагнитов).

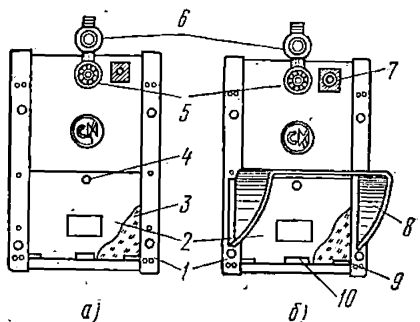


Рис. 211. Устройство автозаслонок:

а — проекционной 12-ЗПО-1, б — смотровой 12-ЗСО-1; 1 — основание, 2 — металлическая шторка, 3 — стекло повышенной прозрачности, 4 — стойка для удержания шторки якорем электромагнита, 5 — электромагниты, 6 — якорь электромагнитов, 7 — кнопка, 8 — защитный козырек, 9 — резиновый амортизатор, 10 — стойка для подъема шторки

Проекционная заслонка (рис. 211, а) состоит из штампованного основания 1 с квадратным отверстием, закрытым зеркальным стеклом 3 повышенной прозрачности. В продольных пазах основания может перемещаться металлическая шторка 2. На шторке размещены две стойки, нижняя — для ручного подъема шторки, а верхняя — для ее удержания якорем 6 электромагнита. При разрыве цепи электромагнита шторка под действием собственного веса падает, перекрывая световой поток кинопроектора. Амортизаторы 9 смягчают удар, создаваемый падением шторки.

Смотровая заслонка (рис. 211, б) отличается от проекционной:

наличием кнопки, включенной последовательно в цепь электромагнитов, и защитного козырька 8, облегчающего условия наблюдения за качеством изображения на экране. Стекла смотровых заслонок имеют обычную прозрачность и специальной обработке не подвергаются.

Автовыключатель АВЗ-3 (рис. 212, а) предназначен для автоматического разрыва

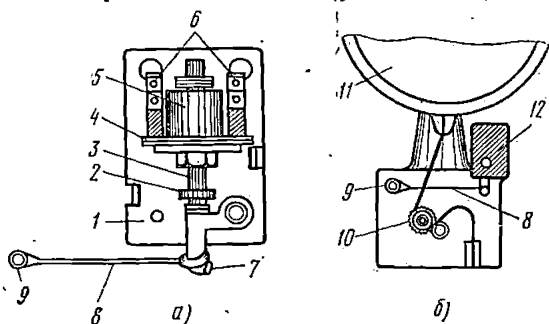


Рис. 212. Автовыключатель АВЗ-3:

а — устройство, б — установка на корпусе кинопроектора; 1 — основание, 2 — направляющая стойка, 3 — ось, 4 — замыкатель, 5 — грузик, 6 — токоподводящие контакты, 7 — подвижный рычаг, 8 — полоска горячей пленки, 9 — стойка на корпусе кинопроектора, 10 — тянущий барабан, 11 — противопожарная кассета, 12 — АВЗ-3

цепи электромагнитов при воспламенении фильма в проекторе. На пластмассовом основании 1 размещены две направляющие стойки 2, в которых перемещается ось 3. На оси укреплена металлическая пластина — замыкатель 4.

Если между подвижным рычагом 7 и специальной стойкой 9 на корпусе кинопроектора (рис. 212, б) натянуть пороховой шнур или полосу горючей пленки 8, то ось 3 переместится вверх и пластина 4 замкнет контакты 6, включенные в цепь электромагнитов. При перегорании полосы пленки ось и замыкатель 4 переместятся вниз и вызовут разрыв цепи электромагнитов.

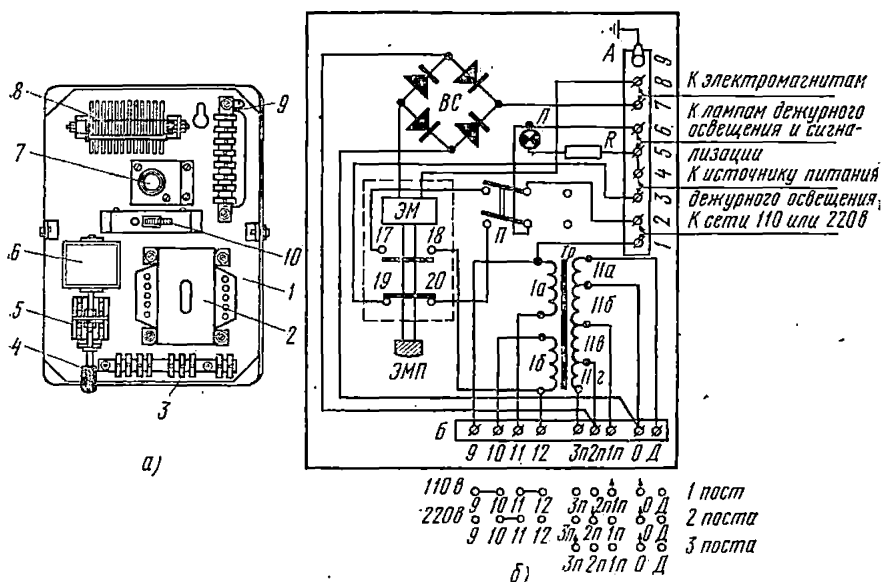


Рис. 213. Электропитающее устройство 12-ЭПУ-1:

а — внешний вид, б — электрическая схема; 1 — корпус, 2 — силовой трансформатор, 3 — расшивочная панель силового трансформатора, 4 — кнопка электромагнитного переключателя, 5 — электромагнитный переключатель, 6 — электромагнит, 7 — сигнальная лампа, 8 — селеновый столб, 9 — расшивочная панель ЭПУ, 10 — ручной переключатель

Четкость срабатывания автовыключателя повышается благодаря грузу 5, размещенному на оси 3.

Электропитающее устройство 12-ЭПУ-1 (рис. 213, а) предназначено для питания постоянным током цепей электромагнитов, а также включения дежурного освещения и сигнализации на пожарный пост. В корпусе 1 размещен силовой трансформатор 2, электромагнитный переключатель 5, ручной переключатель 10, селеновый столб 8, расшивочные панели 3 и 9 и сигнальная лампа.

Принципиальная схема 12-ЭПУ-1 (рис. 213, б) имеет ряд особенностей. Электропитающее устройство 12-ЭПУ-1 входит в комплекты 12-КПЗ-1, 2, 3 и, следовательно, должно обеспечивать пита-

ние от трех до семи электромагнитов. Поэтому селеновый выпрямитель устройства может развивать три фиксированных напряжения: 15, 25 или 35 в. Величина выходного напряжения выпрямителя определяется напряжением, подводимым от вторичных обмоток силового трансформатора Тр-238.

Первичная обмотка силового трансформатора секционирована. Это позволяет путем перестановки перемычек между контактами 9—12 панели Б производить переключение обмоток на 110 или 220 в. Соединительные провода внешних электрических линий подключают к контактам панели А.

Наличие двух переключателей — ручного П и электромагнитного ЭМП — обеспечивает возможность ручного и автоматического управления коммутируемыми цепями. В правом положении переключателя П комплект полностью обесточен. В случае переброски переключателя П в левое положение включается сигнальная лампа Л, дежурное освещение, сигнализация на пожарный пост, а также подготавливается включение цепи электромагнитов через электромагнитный переключатель. Когда нажимают на кнопку электромагнитного переключателя, размыкаются контакты 19—20 и замыкаются контакты 17—18, в результате чего выключается сигнальная лампа, дежурное освещение и сигнализация, но включается силовой трансформатор и подводится питание на селеновый выпрямитель и все электромагниты комплекта. Поэтому кнопка электромагнитного переключателя будет удерживаться в нажатом положении.

Такая схема коммутации позволяет осуществлять самоблокировку или самоконтроль исправности электрических цепей.

Поскольку все электромагниты, автовыключатели и кнопки включены последовательно, при нарушении контакта в любом участке цепи кнопка электромагнитного переключателя и шторки заслонок не будут удерживаться электромагнитами. Повреждение в цепи питания комплекта вызовет аналогичные последствия. Это обязывает технический персонал киноустановки поддерживать электрические цепи заслонок в исправном состоянии. В противном случае демонстрация сеанса становится невозможной. Чтобы цепь дежурного освещения и цепь питания комплекта не зависели одна от другой, они питаются от самостоятельных источников: напряжение на комплект заслонок подводят от силового ввода, а питание цепи освещения осуществляется от осветительного ввода.

Аварийная кнопка В-16 работает на разрыв и устанавливается около выхода из кинопроекторной. Этой кнопкой пользуются для дистанционного управления комплектом заслонок при воспламенении кинофильма вне кинопроектора.

Для приведения комплекта заслонок в рабочее состояние необходимо нажать на кнопку электромагнитного переключателя и одновременно установить ручной переключатель в левое положение. После этого по очереди поднимают шторки заслонок.

Если кнопка электромагнитного переключателя не будет удерживаться в нажатом положении, значит имеется разрыв в цепи электромагнитов. Разрыв чаще всего возникает в кнопках или автовыключателях АВЗ-3 при ослаблении или обрыве полоски горючей пленки.

Принцип действия электромеханических заслонок основан на использовании явления электромагнетизма. Заслонки могут срабатывать автоматически — в случае воспламенения фильма в фильмовом канале — и полуавтоматически — при нажатии на любую из кнопок.

Когда нажимают на одну из кнопок или перегорает полоска пленки в автовыключателе, цепь электромагнитов разрывается и шторы заслонок падают, изолируя кинопроекционную от зрительного зала. Одновременно срабатывает электромагнитный переключатель, который включает дежурное освещение и сигнал на пожарный пост.

Выключение комплекта заслонок производится перемещением ручки переключателя 10 на электропитающем устройстве в правое положение.

Эксплуатация комплекта заслонок. В зависимости от напряжения питающей сети и количества комплектов заслонок на панели Б электропитающего устройства 12-ЭПУ (см. рис. 213, б) необходимо сделать следующие переключения. При сетевом напряжении 220 в секции 1а и 1б первичной обмотки силового трансформатора включают последовательно, для чего следует соединить контакты 10 и 11. Если напряжение питающей сети 110 в, секции 1а и 1б включают параллельно, устанавливая перемычки между контактами 9—10 и 11—12.

Питание на селеновый выпрямитель ВС-45-70 снимается с контактов 0, 1П, 2П и 3П, подключенных к секциям вторичной обмотки силового трансформатора. При одном комплекте заслонок напряжение на выпрямитель снимается с контактов 0 и 1П, при двух комплектах — с контактов 0 и 2П, а при трех комплектах — с контактов 0 и 3П.

Если в процессе эксплуатации заслонок будет наблюдаться произвольное падение отдельных шторок, значит произошло старение селенового выпрямителя. Последствия старения устраняют повышением напряжения, подводимого к селеновому выпрямителю. С этой целью в цепь питания выпрямителя включают дополнительную обмотку 1а.

При старении селенового выпрямителя и произвольном падении отдельных шторок заслонок провод с контакта 0 следует переключить на контакт Д.

В процессе эксплуатации аппаратуры и оборудования необходимо периодически протирать стекла заслонок, проверять работу автовыключателей (путем сбрасывания полоски пленки), следить за плотным прилеганием якорей электромагнитов к сердечнику, а также контролировать качество электрических контактов в кноп-

ках и легкость перемещения шторок в направляющих пазах основания.

Комплект электромеханических заслонок 16-КПЗ-3 предназначен для оборудования широкоэкранных киноустановок. Этот комплект отличается от комплекта 12-КПЗ-3 только применением на проекционных и смотровых окнах заслонок 16-ЗПО-1 и 16-ЗСО-1 с большими габаритами окон и защитных стекол.

Заслонка 16-ЗПО-1 (рис. 214) состоит из двух частей: корпуса 1 и коробки 2 с кассетой 3.

Кассета и коробка являются самостоятельными деталями. Кассета со стеклом удерживается внутри коробки с помощью ограничителей 4 и пружины 5. При чистке стекол кассету вытаскивают из коробки перемещением ее вверх и на себя.

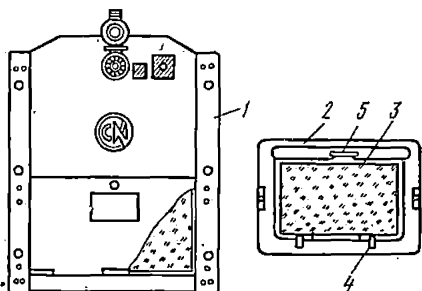


Рис. 214. Заслонка 16-ЗПО-1

1 — корпус, 2 — коробка, 3 — кассета,
4 — ограничитель, 5 — пружина

Механические автозаслонки.

Заслонки ПЗ-6, ПЗ-6а, ПЗ-7 и ПЗ-7а применяют для оборудования сельских стационарных киноустановок. Заслонки ПЗ-6 и ПЗ-7 устанавливают на проекционных окнах, а ПЗ-6а и ПЗ-7а — на смотровых.

Автозаслонка ПЗ-6а (рис. 215, а) представляет собой корпус 1 из листовой стали с квадратным отверстием 2, защищенным зеркальным стеклом и металлической шторкой, удерживаемой в верхнем положении с помощью фиксатора 3.

При нажатии на рычаг 6 тяга 5, связанная с фиксатором, перемещается вправо, шторка падает, при этом замыкаются контакты выключателя 7 в цепи ламп дежурного освещения. Выключают лампы поднятием рычага 6 в крайнее верхнее положение.

Проекционная заслонка отличается от смотровой отсутствием механизма для срабатывания шторки и выключателя дежурного освещения. Одновременное срабатывание всех заслонок в проекционной обеспечивается шнуровым соединением между тягами.

Автозаслонки ПЗ-7а (рис. 215, б) являются результатом последующей модернизации заслонок ПЗ-6.

На штампованном корпусе 1 с круглым застекленным отверстием шарнирно укреплены две шторки 18. В открытом состоянии шторки расходятся в стороны через боковые прорезы в корпусе. На оси 10 левой шторки имеется рычаг подъема шторок 18, на котором размещены соединительный штифт 9 и фиксатор 12. На отдельной оси закреплен рычаг спуска 11. Для приведения заслонок в рабочее положение нажимают на рычаги 11 и 13, сближая их до тех пор, пока фиксатор 12 не попадет в специальную выемку на

рычаге спуска. Если рычаг 11 переместить влево, фиксатор освобождается, шторки заслонок падают и с помощью рычага 15 замыкают контакты 14 выключателя в цепи дежурного освещения.

Проекционная заслонка отличается от смотровой отсутствием контактов 14 и рычага 15.

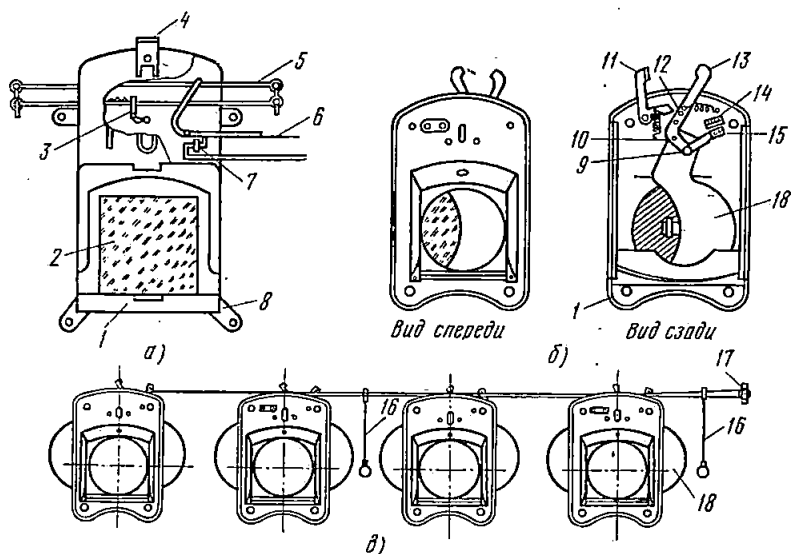


Рис. 215. Механические автозаслонки:

а — ПЗ-6а, б — ПЗ-7а, в — шнуровое соединение заслонок ПЗ-7 и ПЗ-7а; 1 — корпус, 2 — отверстие, закрытое зеркальным стеклом, 3 и 12 — фиксаторы, 4 — ручка, 5 — тяга, 6 — рычаг, 7 — выключатель, 8 — ушки, 9 — штифт, 10 — ось, 11 — подпружинный рычаг спуска, 13 — угловой рычаг, 14 — контакты выключателя, 15 — рычаг, 16 — тяги, 17 — ролик, 18 — подвижные шторки

В практических условиях рычаги спуска автозаслонок связывают один с другим шнуром или тросом. Для одновременного срабатывания всех заслонок достаточно переместить рычаги спуска 11 при помощи тяг 16 (рис. 215, в).

В связи с тем что заслонки имеют электрические цепи и при повреждении изоляции проводов и деталей могут оказаться под напряжением, корпуса смотровых заслонок механического типа необходимо надежно заземлять, а качество заземления периодически проверять.

В электромеханических заслонках заземлять следует только корпус электропитающего устройства 12-ЭПУ.

§ 93. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Современная киноустановка представляет собой сложный комплекс электротехнического оборудования, состоящего из большого количества самостоятельных элементов. Применение типовых рас-

предельных устройств (РУ) значительно упрощает монтаж киноустановок и облегчает их эксплуатацию.

Распределительные устройства служат для коммутации и защиты линий, а также распределения энергии между всеми элементами основного и вспомогательного оборудования киноустановок.

На стационарных киноустановках сельского типа, оборудованных проекторами КПМ-800, КН-12, КН-14, применяют распределительный щит 9-РЩ-1. В средних кинотеатрах устанавливают распределительные устройства 8-РУ-60 и 29-РУ-60.

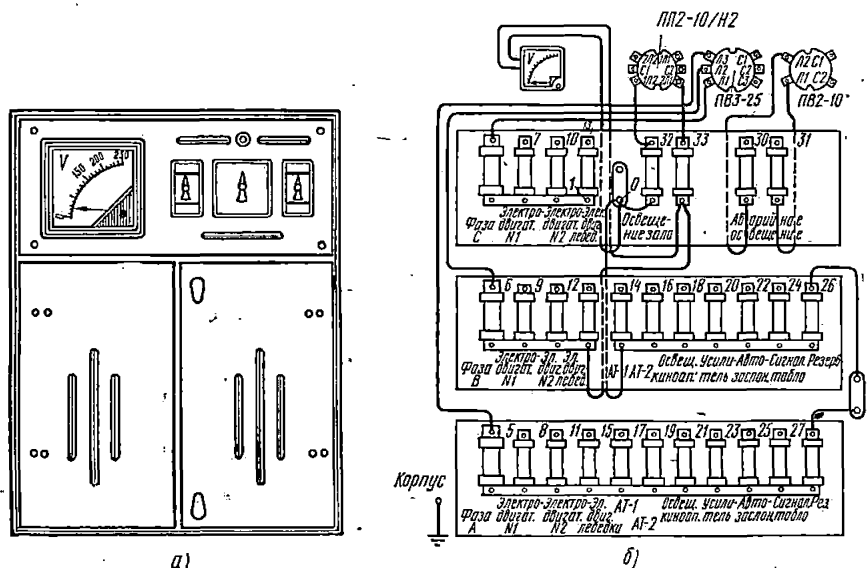


Рис. 216. Распределительный щит 9-РЩ-1:

а — внешний вид, б — монтажная схема

Для широкоэкранных киноустановок разработан специальный комплект распределительных устройств, состоящий из распределительного устройства 17-РУ-1, устройства распределения и управления 18-УРУ-1, а также пульта дистанционного управления 19-ПДУ-1.

Универсальные кинотеатры комплектуются фидерным щитом ФЩ-150-250 и распределительным устройством повышенной мощности РУ-150-250.

Распределительный щит 9-РЩ-1 (рис. 216). Этот щит изготовлен в виде небольшого металлического шкафа подвесного типа с двумя шарнирно укрепленными дверцами. На лицевой панели шкафа размещены вольтметр и три пакетных переключателя. Средний (трехфазный) переключатель служит для коммутации главного ввода, левый (двухполюсный) позволяет подключать лампы

освещения зрительного зала к выходу темнителя (нижнее положение) или непосредственно к сети переменного тока (верхнее положение). Правый переключатель коммутирует лампы аварийного освещения, которые должны питаться от самостоятельной однофазной сети или другого независимого источника тока (например, аккумулятора).

На правой боковой стенке шкафа находится розетка, предназначенная для включения рабочей лампы, паяльника или других вспомогательных устройств. Внутри шкафа на трех изоляционных панелях размещены предохранители НПН-60 с плавкими вставками на 25 а в цепи главного ввода и предохранители НПН-15 с плавкими вставками на 6 а во всех остальных цепях.

Распределительный щит имеет два самостоятельных ввода: трехфазный и однофазный. Трехфазный ввод предназначен для питания силовой и осветительной нагрузок, а однофазный — для питания ламп аварийного освещения. Сеть трехфазного переменного тока 3×220 или 3×380 в с нулем подводится к контактам А, В, С главного ввода (на пакетном переключателе ПВЗ-25).

В зависимости от напряжения питающей сети в электрической схеме щита необходимо сделать следующие переключения.

При напряжении сети 3×220 в между контактами 0 и 1 на верхней панели ставят перемычку. При напряжении 3×380 в с нулем перемычку снимают, а нулевой провод подключают к контакту 0.

Однофазную линию аварийного освещения подключают к зажимам С1 и С2 пакетного переключателя ПВ2-10, а линию освещения зала и темнитель — соответственно к верхним и средним контактам двухполюсного пакетного переключателя ПП2-10/Н2.

По правилам техники безопасности при сетевом напряжении 3×380 в корпус щита необходимо соединять с заземленным нулевым проводом трехфазной сети, а при напряжении 3×220 в можно заземлять.

Распределительное устройство 29-РУ-60. Это устройство является результатом модернизации ранее выпускавшихся РУ типов 8-РУ-60 и РУ-65-А. Устройство предназначено для установки в средних кинотеатрах, оборудованных стационарными проекторами типа КПТ и тремя стабилизированными выпрямителями с номинальными токами 60 а.

Устройство 29-РУ-60 изготовлено в виде металлического шкафа стоечного типа (рис. 217). В нижней части шкафа размещены панели 2 для подключения соединительных проводов внешних линий, штепсельная розетка 20 и две лампы вспомогательного освещения 22, включаемые дверным блок-контактом 21 при открытии дверцы шкафа. В средней части шкафа, кроме предохранителей и трех магнитных пускателей 4, находится выключатель 16 и пять пакетных переключателей 17 и 18, с помощью которых осуществляется резервирование выпрямителей, а также включается темнитель света 10.

На лицевой панели шкафа сосредоточены органы контроля и

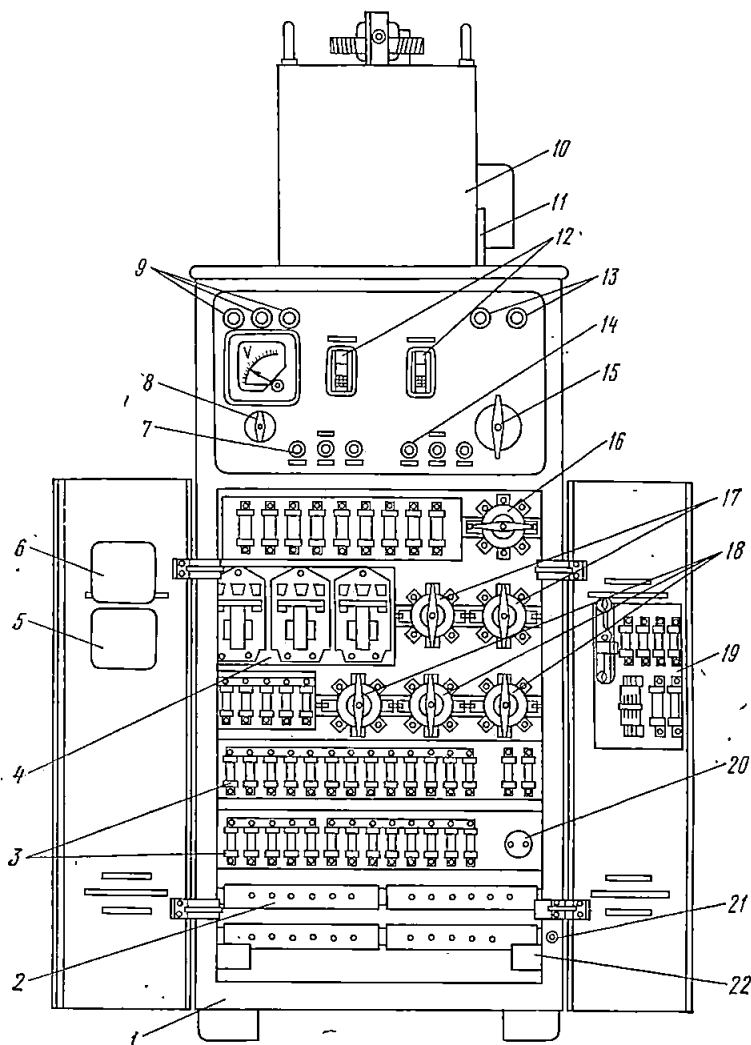


Рис. 217. Внешний вид шкафа 29-РВ-60:

1 — корпус, 2 — панель зажимов, 3 — панели с предохранителями, 4 — магнитные пускатели, 5 — таблица коммутации цепей, 6 — принципиальная схема 29-РВ-60, 7 — кнопочная станция управления лебедкой занавеса, 8 — переключатель P_1 , 9 — сигнальные лампы, L_1, L_2, L_3 в цепи силового ввода, 10 — темнитель света, 11 — панель зажимов темнителя, 12 — автоматы A_1 и A_2 , 13 — сигнальные лампы контроля включения выпрямителей, 14 — кнопочная станция управления темнителем, 15 — переключатель P_2 , 16 — пакетный выключатель темнителя света, 17 — переключатели P_3 и P_4 резервирования выпрямителей, 18 — переключатели P_5, P_6 и P_7 резервирования дуговых ламп кинопроекторов, 19 — панель с запасными предохранителями, 20 — штепсельная розетка, 21 — блок-контакт, 22 — лампа вспомогательного освещения

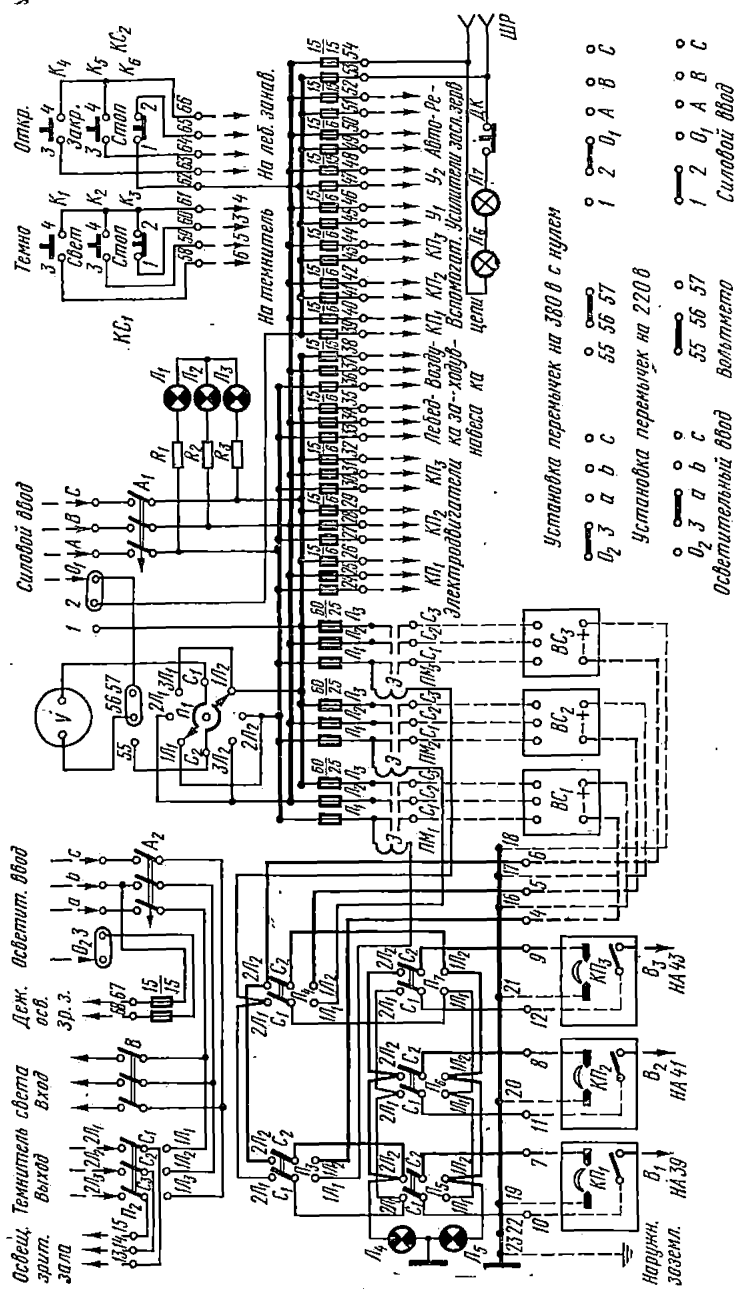


Рис. 218. Принципиальная схема распределительного устройства 29-РУ-60

управления основным и вспомогательным оборудованием киноустановки: вольтметр с переключателем 8, кнопочные станции 7 и 14, сигнальные лампы 9 и 13, а также автоматы 12 в цепи силового и осветительного вводов.

Распределительное устройство (рис. 218) имеет два самостоятельных ввода: силовой и осветительный. Оба ввода рассчитаны на подключение к сети трехфазного переменного тока напряжением 3×220 или 3×380 в с нулем.

Силовой ввод подключают к контактам *A, B, C*, а осветительный — к контактам *a, b, c* панелей зажимов, расположенных в нижней части шкафа. В зависимости от напряжения трехфазной сети в электрической схеме РУ следует сделать переключения, приведенные на принципиальной схеме устройства. В цепи силового и осветительного вводов установлены трехфазные автоматы A_1 и A_2 , с помощью которых осуществляются коммутация и защита устройства от токов перегрузки и короткого замыкания. При коротком замыкании или перегрузке автоматы, рассчитанные на ток 100 а, разрывают цепь.

Следует отметить, что в случае срабатывания автомата его можно вернуть в исходное положение перемещением ручки вниз, а затем вверх через 1—3 мин, т. е. после остывания биметаллической пластины.

- Для контроля напряжения во всех фазах силового ввода используются вольтметр с переключателем Π_1 и сигнальные лампы L_1 , L_2 и L_3 . Схема распределительного устройства рассчитана на дистанционное включение выпрямителей BC_1 , BC_2 и BC_3 с помощью магнитных пускателей PM_1 , PM_2 и PM_3 и выключателей B_1 , B_2 и B_3 на колонках кинопроекторов.

Обмотки магнитных пускателей получают питание через пакетные переключатели Π_3 , Π_4 , Π_5 , Π_6 и Π_7 , которые одновременно переключают отрицательные зажимы выпрямителей на соответствующие зажимы дуговых ламп проекторов. Электрическая схема соединения этих переключателей позволяет подключать дуговые лампы рабочих проекторов к любым двум выпрямителям. О включении выпрямителей сигнализируют лампы L_4 и L_5 , установленные на лицевой панели шкафа.

На лицевой дверце шкафа размещены принципиальная схема и таблица коммутации цепей, облегчающие выполнение переключений при эксплуатации устройства.

Распределительное устройство укомплектовано двумя кнопочными станциями KC_1 и KC_2 для дистанционного управления, темнителем и лебедкой предэкранного занавеса.

Лампы освещения зала питаются от осветительного ввода через пакетный переключатель Π_2 и пакетный выключатель B . Правое положение переключателя Π_2 соответствует питанию ламп непосредственно от сети. Чтобы перевести лампы на питание через темнитель, необходимо включить темнитель выключателем B , а переключатель Π_2 поставить в левое положение. В данном случае

управление темнителем и, следовательно, лампами зала осуществляют с помощью кнопочной станции КС₁.

Все линии, подходящие к устройству, подключаются к зажимам предохранителей, переключателей и магнитных пускателей только с лицевой стороны. Линии, относящиеся к внешнему монтажу, на

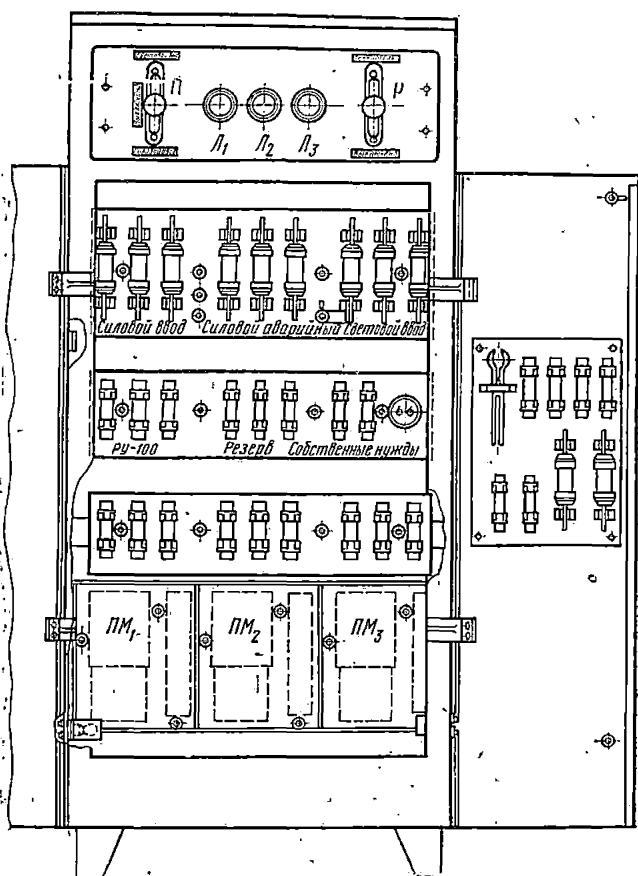


Рис. 219. Общий вид фидерного щита 17-РУ-1 с открытыми дверцами

схеме показаны штрихами. Для подключения заземляющих проводов всех групп в нижней части устройства имеется панель с болтовыми зажимами.

Распределительное устройство 29-РУ-60 выпускается в двух конструктивных вариантах. Второй вариант этого устройства ПИВ-9701-23А2, предназначенный для комплектации с германиевыми или кремниевыми выпрямителями, имеет аналогичные пара-

метры и схему и в основном отличается расположением деталей на панели управления и переключателей в шкафу.

Комплект распределительных устройств для широкоэкранных киноустановок 17-РУ-1, 18-УРУ-1 и 19-ПДУ-1. Этот комплект имеет отдельный фидерный щит 17-РУ-1 для подключения силового и

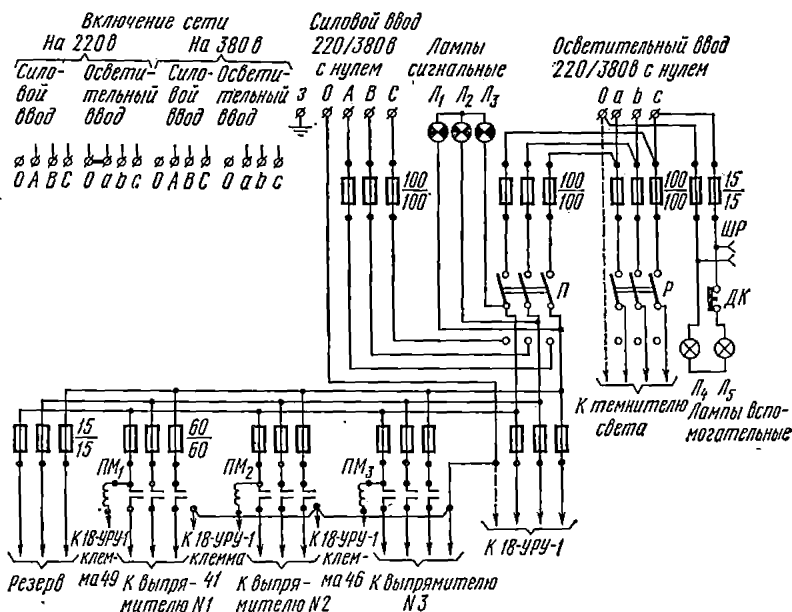


Рис. 220. Принципиальная схема фидерного щита 17-РУ-1

осветительного вводов. Это позволяет устанавливать щит 17-РУ-1, стабилизированные выпрямители питания дуговых ламп и темните-
ли света в отдельном помещении.

В цепь силового ввода включен трехполосный перекидной рубильник P , который может занимать три положения: среднее (выключено), нижнее (включено) и верхнее (аварийное) для переключения силовой нагрузки на осветительный ввод. В цепи осветительного ввода имеется рубильник P .

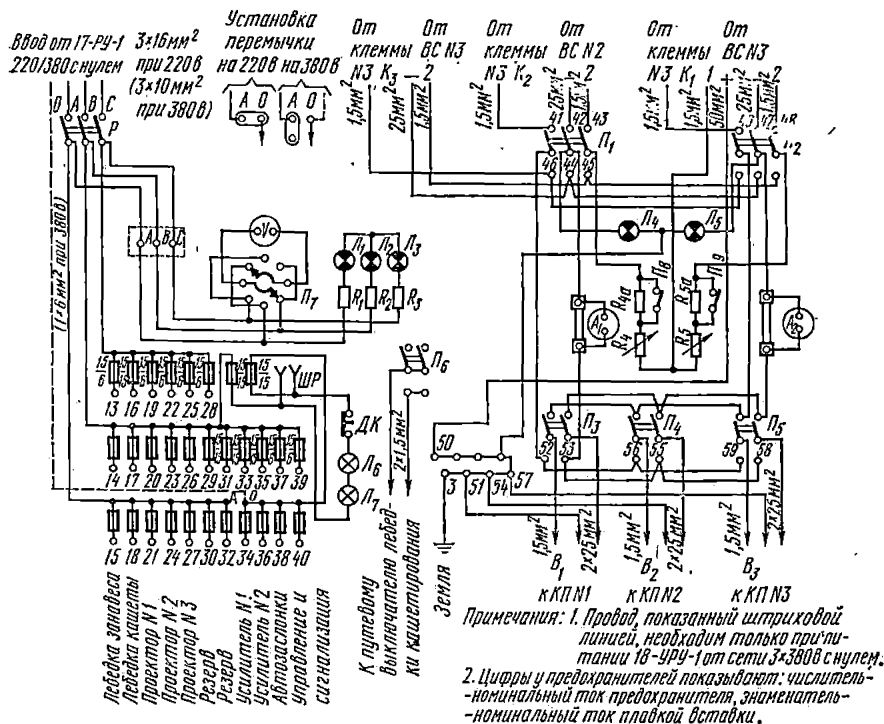


Рис. 221. Принципиальная схема устройства регулировки и управления
18-УРУ-1

Осветительный ввод коммутируется рубильником P , причем верхнее положение этого рубильника соответствует включению, а нижнее — выключению осветительной нагрузки. В случае питания силовой нагрузки от осветительного ввода рубильник P должен находиться в нижнем положении (выключено). В противном случае могут сработать предохранители в цепи осветительного ввода.

Устройство распределения и управления 18-УРУ-1 (рис. 221 и 222) предназначено для коммутации и защиты цепей питания дуговых ламп прокторов, а также кинопроекционной, усилительной, силовой и вспомогательной аппаратуры.

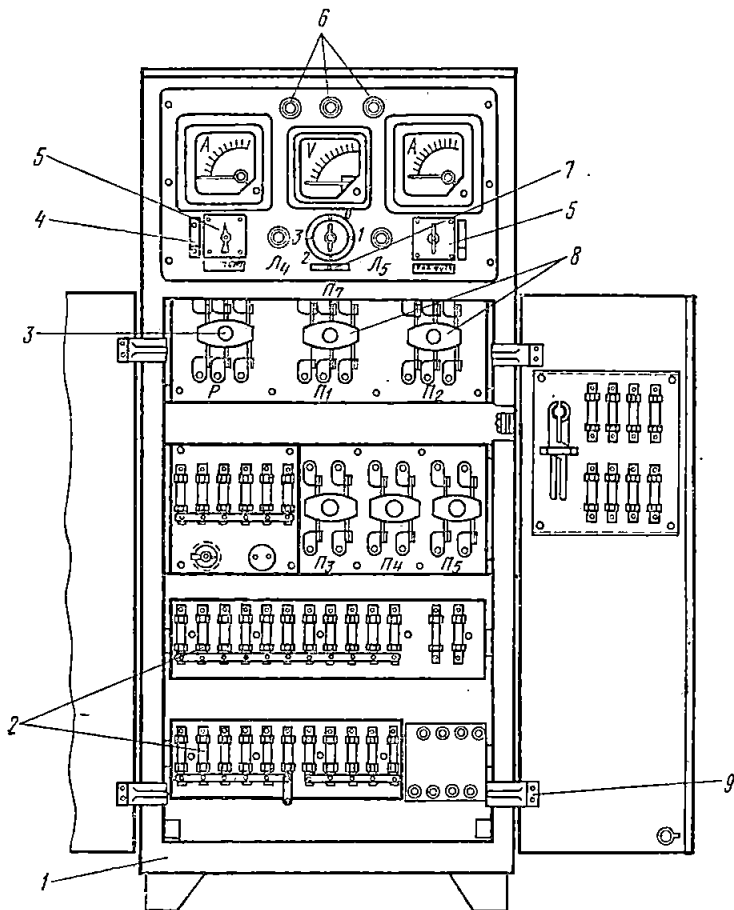


Рис. 222. Общий вид распределительного устройства 18-УРУ-1:
1 — корпус, 2 — панели с предохранителями, 3 — рубильник Р, 4 — выключатели Π_3 и Π_6 , 5 — регуляторы тока дуги, 6 — сигнальные лампы Λ_1 , Λ_2 , Λ_3 , 7 — выключатель лебедки кашетирования, 8 — рубильники Π_1 и Π_2 , 9 — дверной контакт

Схема устройства составлена таким образом, что один нож каждого рубильника (Π_1 , Π_2 , Π_3 , Π_4 , Π_5) переключает минусовый провод цепи постоянного тока, а другие ножи — цепи питания магнитных пускателей и регуляторов тока дуги. Плюсые зажимы всех дуговых ламп заземлены и не переключаются. Если на кино-

установке кроме лебедки занавеса установлена лебедка кашетирования, то последняя может быть включена пакетным выключателем Π_6 с последующим управлением от кнопочной станции на пульте 19-ПДУ-1.

Включают устройство трехполюсным рубильником P , при этом загораются сигнальные лампы Λ_1 , Λ_2 и Λ_3 .

С помощью переключателя Π_7 и вольтметра можно измерить напряжение во всех фазах трехфазной сети.

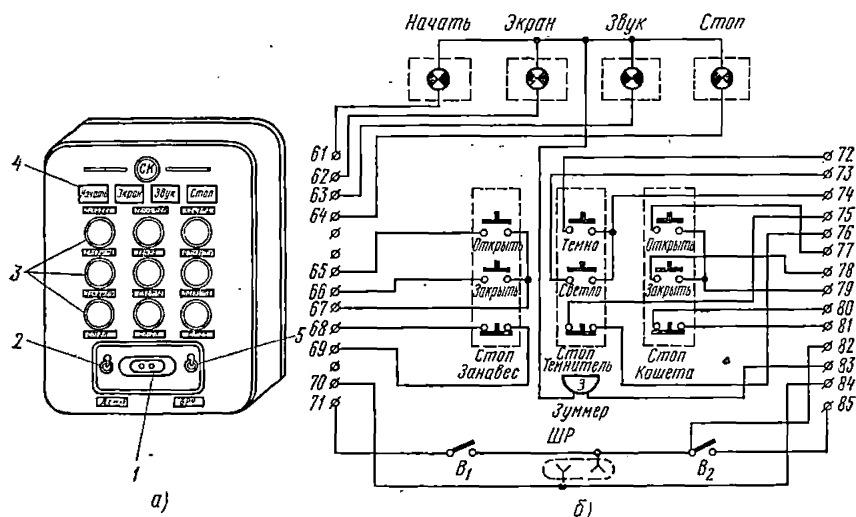


Рис. 223. Пульт дистанционного управления 19-ПДУ-1:

a — общий вид, b — принципиальная схема; 1 — штепсельная розетка, 2 — выключатель дежурного света, 3 — кнопочные станции, 4 — табло свето-звуковой сигнализации, 5 — выключатель рабочей лампы (бра)

В схеме распределительного устройства предусмотрена возможность одновременной работы только двух выпрямителей. Поэтому на лицевой панели устройства 18-УРУ-1 размещены два амперметра и две сигнальные лампы Λ_4 и Λ_5 , предназначенные для контроля исправности цепей и режима работы выпрямителей. Регуляторы 5 (на рис. 221 они обозначены R_4 и R_5) позволяют плавно изменять ток дуги в пределах от 75 до 100 a .

Последовательно с регуляторами тока дуги включены резисторы R_{4a} и R_{5a} , нормально замкнутые контактами выключателей Π_8 и Π_9 . Размыкание выключателей вызывает уменьшение тока дуги с 90 до 60 a , что бывает необходимо при переходе с широкоэкранный проекции на обычную.

Пульт дистанционного управления 19-ПДУ-1. В комплект широкоэкранный киноустановки входят три пульта 19-ПДУ-1, размещаемых на передней стене аппаратной около кинопроекторов,

Пульт изготовлен в виде небольшой металлической коробки с тремя кнопочными станциями (рис. 223) и малогабаритным табло свето-звуковой сигнализации.

Кнопочные станции предназначены для дистанционного управления лебедкой занавеса, темнителем света и лебедкой кашетирования экрана. Во всех кнопочных станциях кнопки *Стоп* имеют нормально замкнутые контакты, а кнопки *Темно*, *Светло*, *Открыть* и *Закрыть* — нормально разомкнутые. Это позволяет объединить электрические цепи всех пультов и управлять лебедками и темнителем с любого рабочего места киномеханика. Свето-звуковая сигнализация предназначена для связи зрительного зала с аппаратной.

На микшерском пульте, размещенном в зрительном зале, имеются четыре кнопки с надписями: *Начать*, *Звук*, *Экран*, *Стоп*. При нажатии на любую из кнопок в пульте 19-ПДУ-1 включается зуммер (звуковой сигнал) и загорается табло с соответствующей надписью.

На каждом пульте установлены два выключателя для включения ламп дежурного освещения в зрительном зале и штепсельная розетка *ШР*

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая аппаратура относится к основному и какая к вспомогательному оборудованию?

2. Для какой цели применяют штепсельные соединения?

3. Каков принцип действия реле электромагнитного типа?

4. Объясните устройство магнитных пускателей

5. Расскажите об устройстве и принципе действия автотрансформаторного темнителя света.

6. Для чего предназначены концевые выключатели в устройствах с дистанционным управлением?

7. С какой целью производят кашетирование экрана?

8. Каково назначение концевых выключателей, теплового реле и блок-контактов?

9. Как регулируют ширину открытия занавеса?

10. Используя рис. 207 и 208, поясните назначение, устройство и принцип действия полуавтоматов.

11. Поясните принцип действия механических и электромеханических заслонок.

12. В чем причина произвольного падения отдельных шторок электромеханических заслонок?

13. Поясните назначение и типы распределительных устройств.

14. Как в устройстве 29-РУ-60 включить освещение зрительного зала на питание от темнителя и непосредственно от сети?

Глава XIV МОНТАЖ И ОБОРУДОВАНИЕ КИНОУСТАНОВОК

§ 94. ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Электрический монтаж киноустановки в основном сводится к соединению отдельных элементов электрического оборудования.

Правильный выбор марки и сечения провода обеспечивает безаварийность в работе и безопасность в пожарном отношении. По способу выполнения электропроводки подразделяют на открытые и скрытые.

Открытая проводка прокладывается по поверхности стен и потолков и может быть стационарной, передвижной или переносной. Скрытая — прокладывается в конструктивных элементах зданий (стене, полу или перекрытиях).

В кинотеатрах, клубах, музеях и других общественных зданиях электрические линии прокладывают проводами с высоким качеством изоляции в стальных, пластмассовых, полутвердых эбонитовых и бумажно-металлических трубах.

Электропроводку в пределах сцены, киноаппаратной и на чердаках необходимо выполнять в стальных трубах, а в зрительном зале — скрытым способом. В технических и вспомогательных помещениях зрелищных предприятий допускается применение открытой электропроводки.

В некоторых случаях при монтаже используют кабели, т. е. провода, имеющие герметичную оболочку из свинца, резины или иную защиту от механических повреждений, действия влаги, кислот и щелочей. Токонесущая часть провода называется жилой. Жилу изготавливают из меди или алюминия, т. е. из металлов, обладающих малым удельным сопротивлением. Жила может быть жесткой (однопроволочной) и гибкой (многопроволочной) сечением 0,5—500 мм².

Жилы сечением свыше 10 мм² изготавливают многопроволочными.

В зависимости от количества жил провода разделяют на одножильные и многожильные, состоящие из нескольких изолированных одна от другой гибких или жестких жил.

Провод, выполненный в виде двух самостоятельных жил, скрученных одна с другой или заключенных в общую хлопчатобумажную оплетку, называется шнуром.

В качестве изоляции токонесущих жил применяют резину или полихлорвиниловый пластикат. Провода с полихлорвиниловой изоляцией выпускают на рабочее напряжение 500 в, а с резиновой — на 500 и 3000 в. Устройство и техническая характеристика проводов и шнуров приведены соответственно на рис. 224 и в табл. 13.

Техническая характеристика проводов и шнуров

Марка	Краткая характеристика	Область применения и способ прокладки	Номинальное напряжение, в	Пределы сечений, мм ²
ПР-500 ПР-3000	Провод с резиновой изоляцией, медный, одножильный в хлопчатобумажной оплетке, пропитанной влагостойким противогнилостным составом (компаундом)	Для неподвижных линий на роликах, изоляторах или в трубах	500 3000	1—400 1—400
ПРГ-500 ПРГ-3000	То же, но гибкий	Для соединения подвижных частей электрических машин и аппаратов	500 3000	0,75—400 1,5—185
ПРТО-500 ПРТО-2000	То же, но гибкий одножильный и многожильный	Для прокладки в металлических трубах, а также для открытой и скрытой проводки	500 2000	Одножильный 1—500 Многожильный 1—120
АПРТО-500 АПРТО-2000	То же	То же	500 2000	Одножильный 2,5—400 Многожильный 2,5—120
АПР-500	То же, но с алюминиевыми жилами	Для неподвижных линий на роликах, изоляторах или в трубах	500	2,5—400
ПРД	Провод медный с резиновой изоляцией в непропитанной оплетке, двухжильный (шнуроподобный)	Для неподвижных линий на роликах в сухих помещениях	380	0,5—6

Таблица 13 (продолжение)

Марка	Краткая характеристика	Область применения и способ прокладки	Номинальное напряжение, в	Пределы сечения, мм ²
ДПРГ	Провод медный с резиновой изоляцией в неопитанной оплетке, двухжильный (шнурообразный), но гибкий	Для зарядки арматуры вне зданий и в сырых помещениях	380	0,5—10
ШР-220	Шнур с резиновой изоляцией, медными жилами, двухжильный в неопитанной оплетке	Для прокладки и присоединения подвесных токоприемников на роликах в сухих помещениях	220	0,5—1,5
АР-220	Провод с медными жилами, резиновой изоляцией, одножильный в неопитанной оплетке	Для зарядки арматуры	220	0,5 и 0,75
АРД-220	То же, но двухжильный в общей оплетке	То же	220	0,5 и 0,75
ГРП	Провод с медными жилами, резиновой изоляцией, в защищенной оплетке из стальной проволоки (панцирный)	Для неподвижных линий, требующих защиты от механических повреждений	500	Одно-, двух- и трехжильный 1—95; четырехжильный 1—35
ГРШП	То же, но в шланговой оболочке	То же	500	То же
ТПРФ	Провод с медными жилами, резиновой изоляцией и трубчатой металлической фальцованной оболочкой	Для прокладки открытых линий, требующих защиты от механических повреждений	500	Одно- и многожильный 1—10

Таблица 13 (окончание)

Марка	Краткая характеристика	Область применения и способ прокладки	Номинальное напряжение, в	Пределы сечения, мм ²
ППВ	Провод установочный с медными жилами, полихлорвиниловой изоляцией	Для открытой и скрытой проводки в сухих и сырых помещениях	500	Двух- и трех-жильный: 0,75—2,5
АПВ	То же, но с алюминиевыми жилами	То же	500	То же
ППГВ	То же, но с медными жилами, гибкий	»	500	»
АПГВ	То же, но с алюминиевыми жилами	»	500	4—95
М	Провод медный голый	Для воздушных линий и линий заземления	—	4—400
А	Провод алюминиевый голый	То же	—	16—625

Установочная арматура применяется для крепления, изоляции и эстетической отделки электрических линий. К ней отно-

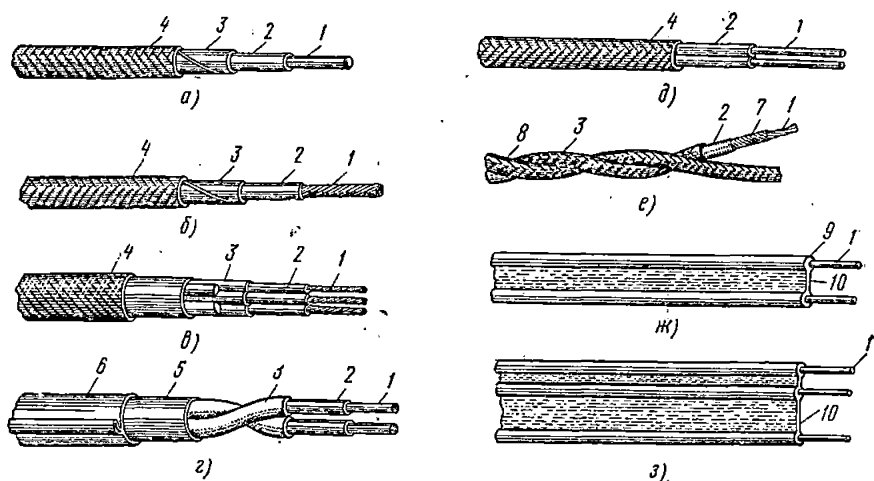


Рис. 224. Провода различных марок:

а — ПР и АПР, б — ПРГ, в — ПРТО, г — ТПРФ, д — АРД, е — ШР, ж — ППВ двухжильный, з — ППВ трехжильный; 1 — жила, 2 — слой резины, 3 — миткалевая лента, 4 — оплетка, 5 — кабельная бумага, 6 — металлическая оболочка, 7 — слой хлопчатобумажных ниток, 8 — цветная нитка, 9 — полихлорвиниловая изоляция, 10 — перемычка

сятся: ролики, изоляторы, втулки, воронки и потолочные розетки (рис. 225).

Фарфоровые ролики выпускают типов РП и РШ. Первые применяют при прокладке линий проводом, а вторые — шнуром или

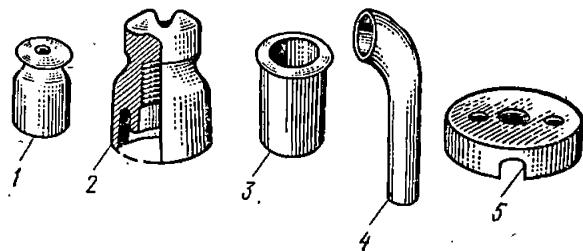


Рис. 225. Установочная арматура:

1 — ролик, 2 — изолятор, 3 — втулка, 4 — воронка, 5 — потолочная розетка

шнуроподобным проводом (например, ПРД). В зависимости от размеров ролики маркируют РП-2; РП-16; РШ-4 и т. д. Цифры указывают максимальные сечения шнуров или проводов, прокладываемых на роликах данного типа.

Изоляторы типа ТФ применяют при прокладке воздушных линий, а также в помещениях с повышенной влажностью, температурой или с химически активной средой.

Втулки и воронки служат для оконцевания электрических линий, проходящих через стены и междуэтажные перекрытия.

Цифры в маркировке втулок (ВФД-9, ВФД-13 и т. д.) и воронок (В-10, В-16) обозначают соответственно наружный диаметр и максимальное сечение провода, для которого они предназначены.

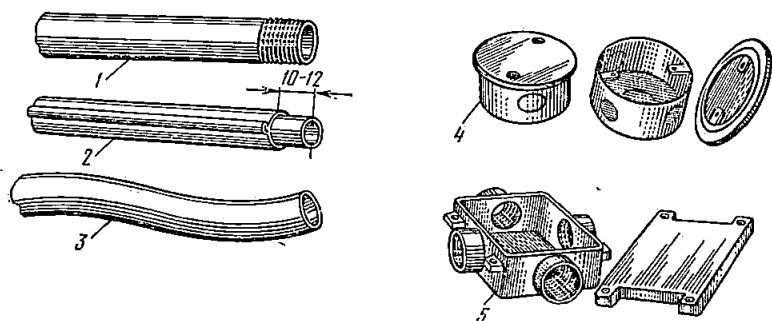


Рис. 226. Трубы и ответвительные коробки:

1 — газовая труба, 2 — тонкостенная металло-бумажная труба, 3 — полутвердая резиновая труба, 4 — коробка круглой формы, 5 — коробка прямоугольной формы

Потолочные розетки применяют для внешней отделки монтажа электрических линий, прокладываемых шнуром или шнуроподобным проводом при спуске линий с потолка к подвесному патрону лампы.

Скрытую электрическую проводку можно выполнять проводом ППВ под слоем штукатурки или проводами ПР, ПРГ и другими, помещенными в газовые толстостенные стальные трубы, тонкостенные металло-бумажные или полутвердые резиновые трубки, стеклянные или асбоцементные трубы. Для скрытой проводки применяют газовые или стеклянные трубы диаметром 0,5—2,5 дюйма (1 дюйм=25,4 мм) или же полутвердые резиновые трубки диаметром 9—36 мм (рис. 226).

В случае прокладки линий открытым способом проводами ТПРФ или ППВ в местах соединения и ответвления линий применяют ответвительные коробки. Внутри ответвительной коробки провода идут без дополнительной механической защиты, что позволяет производить ответвления и контроль исправности линий.

Для крепления электроарматуры и электрических линий применяют самые разнообразные изделия. На деревянных конструкциях ролики крепят с помощью шурупов (рис. 227, а), а на кирпичном или каменном основании — с помощью спиралей или дюбелей. Дюбель (рис. 227, в, г) представляет собой стальной заостренный стержень

или четырехгранник с наружной или внутренней резьбой. Дюбель вбивают в стену вручную или с помощью монтажного пистолета, а затем к нему крепят ролик винтом (если дюбель имеет внутреннюю резьбу) или гайкой (при наличии на дюбеле наружной резьбы).

Крепление роликов или других деталей спиралью производят несколько иначе: в кирпичной и каменной стене электродрелью или шлямбуром делают отверстие глубиной 5—6 см. Это отверстие заполняют разведенным алебастром. На резьбовую часть шурупа

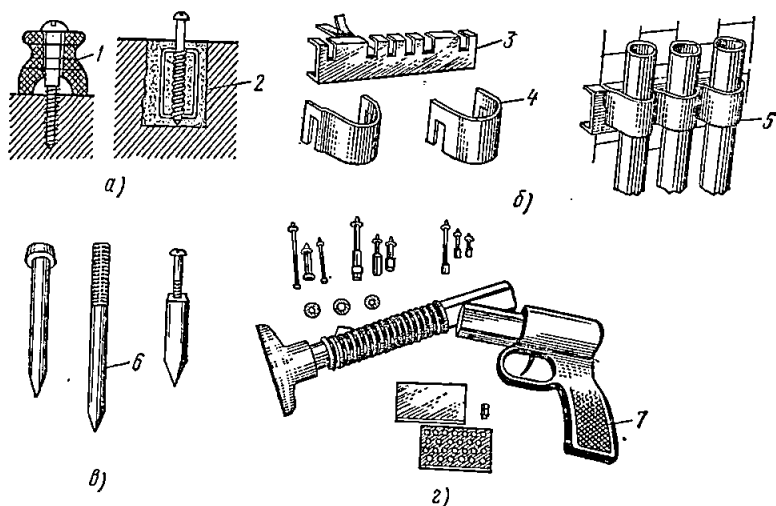


Рис. 227. Детали крепления:

а — шурупы и спирали, б — крепление с помощью реек и хомутиков, в — дюбели, г — монтажный пистолет с принадлежностями; 1 — крепление ролика на деревянной стене, 2 — спираль, 3 — рейка, 4 — хомутики с закрепами, 5 — крепление газовых труб с помощью реек и хомутиков, 6 — дюбели для ручного крепления, 7 — пистолет СПМ-1

навивают спираль — голый медный или железный провод диаметром около 1 мм. Шуруп вместе со спиралью вдавливают в отверстие, заполненное алебастром. Через 10—15 мин алебастр застывает, шуруп вывертывают из спирали и, пропустив через отверстие ролика, снова ввертывают в спираль.

Для прокладки нескольких параллельных линий на роликах или изоляторах последние часто крепят на специальных скобах или кронштейнах, укрепленных в отверстиях несущих конструкций с помощью алебаstra или цемента. Стальные трубы обычно крепят с помощью хомутиков и спиралей или же с применением специальных реек, в прорези которых вставляют концы хомутиков с зацепами на концах (рис. 227).

Сечение токонесущих проводов выбирают по трем основным показателям: допустимому нагреву, допустимым потерям напряжения и механической прочности.

При этом исходят из следующих основных положений: сечение проводов коротких линий выбирают по допустимому нагреву, длинных линий — по допустимым потерям напряжения, а слабых, в которых ток мал, — по механической прочности. В коротких линиях потери напряжения настолько малы, что они не могут сказываться на работе потребителей. Поэтому такие линии рассчитывают по условиям допустимого нагрева, т. е. по плотности тока. Сечение проводов длинных линий, которые могут иметь сравнительно большое сопротивление, наоборот, выбирают с таким расчетом, чтобы потери напряжения не превышали допустимых величин. Если ток в линии незначителен, сечение провода, выбранное по первым двум показателям, может оказаться настолько малым, что не будет обеспечивать механической прочности, необходимой при выполнении монтажных работ.

Минимальное сечение, обеспечивающее необходимую механическую прочность, составляет 1—1,5 мм² для медных и 2,5 мм² для алюминиевых проводов.

При выборе сечения провода по допустимому нагреву и потерям напряжения сначала определяют ток нагрузки, а затем, в зависимости от типа имеющегося провода, способа прокладки и температуры помещения, находят необходимое сечение провода.

Расчет тока нагрузки в однофазной двухпроводной линии (фаза — нуль) производят по формуле

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi},$$

где I — ток, а;

P — мощность нагрузки на линию, вт;

U — фазное напряжение, в.

Так как различные цепи комплекта стационарной киноустановки питаются через распределительные устройства, к линиям подключают однотипные потребители, имеющие одинаковый коэффициент мощности. Это позволяет определять общую мощность нагрузки простым сложением мощностей отдельных потребителей. В случае расчета цепей постоянного тока или линии питания осветительной нагрузки ($\cos \varphi = 1$) приведенная формула приобретает вид:

$$I = \frac{P}{U}.$$

Величину тока в трехфазных цепях рассчитывают по формуле

$$I = \frac{P}{1,73 U_{\text{л}} \cos \varphi}.$$

При расчете сечения нулевого провода исходят из следующих положений: при равномерной нагрузке фаз расчетный ток в нулевом проводе принимают равным половине фазного тока, а при неравномерной — равным фазному току.

Провода не должны нагреваться выше допустимого предела. Несоблюдение этого условия приводит к быстрому высыханию и разрушению изоляции, что в конечном итоге может быть причиной возникновения короткого замыкания.

Таблица 14

Длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и шнуров с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией и медными жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки на провода, проложенные открыто, а	Токовые нагрузки, а, на провода, проложенные в одной трубе				
		два одно- жильных	три одно- жильных	четыре одно- жильных	один двух- жильный	один трех- жильный
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,5	23	19	17	16	18	15
2,5	30	27	25	25	25	21
4	41	38	35	30	32	27
6	50	46	42	40	40	34
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	—	—	—

Степень нагрева проводов определяется величиной проходящего тока. Наибольшие длительно допустимые нагрузки для проводов с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией по условиям нагрева приведены в табл. 14. Эти нагрузки определены исходя из температуры помещения 25°С. При повышении температуры помещения на допустимые токовые нагрузки вводят следующие поправочные коэффициенты: 0,82 — при температуре 35°С; 0,71 — при 40°С; 0,41 — при 50°С.

Проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и аварийных режимов. При проверке проводов на нагрев принимается полчасовой максимум токовой нагрузки.

Выбранные таким образом провода или кабели, имеющие длину

в несколько десятков метров, следует проверить на допустимые потери напряжения.

Однако планировка помещений аппаратного комплекса предусматривает размещение аппаратуры в одном, двух или максимум трех рядом расположенных помещениях. Поэтому при выборе проводов по допустимому нагреву потери напряжения в линиях не проверяют, так как они не превышают максимально допустимых значений, а именно: 5% — для линии главного ввода; 4% — линии питания дуговых ламп кинопроекторов; 3% — линии питания электродвигателей кинопроекторов и 2,5% — для осветительных линий.

§ 96. СПОСОБЫ ПРОКЛАДКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНИЙ И ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Способы прокладки линий. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) предусматривают два типа электропроводок — внутренние и наружные.

Внутренней электропроводкой называют совокупность прокладываемых внутри зданий электрических линий с элементами креплений и защиты.

Наружной называется электропроводка, проложенная по внешним стенам зданий и сооружений, между ними, а также на опорах вне улиц и дорог протяженностью до 100 м.

Наружную и внутреннюю электропроводки можно выполнять как открытым, так и скрытым способами. Открытая проводка прокладывается шнуром или проводом на роликах и изоляторах, в стальных или изоляционных трубах с металлической оболочкой, кабелями, а также защищенными и специальными незащищенными проводами.

Защищенным называется провод, имеющий металлическую или иную оболочку, предохраняющую его от механических повреждений. Обмотка и оплетка провода пряжей такой защитой служить не могут. Незащищенным называется провод, изоляция которого не предохранена специальными оболочками от механических повреждений.

Скрытая проводка по способу выполнения делится на две группы: к первой относится прокладка линий в различных трубах, а ко второй — беструбная прокладка в конструктивных элементах зданий.

При монтаже киноустановок необходимо выполнять следующие основные требования:

1. В киноаппаратной, зрительном зале и фойе электрические линии прокладывают скрытым способом.
2. Электрические линии кинотехнического оборудования, размещенного в зрительном зале, также выполняют скрытым способом.
3. Через киноаппаратную и зрительный зал нельзя прокладывать магистральные линии, не относящиеся к этим помещениям.

4. Линии рабочего и аварийного освещения следует прокладывать различными трассами.

5. Электрические линии в служебных и вспомогательных помещениях выполняют открытым способом.

Прокладка линий в стальных трубах осуществляется как открытым, так и скрытым способами. При этом применяют провода, изоляция которых рассчитана на напряжение 500 в и выше (ПР, ПРГ, ПРТО, ПВ и др.).

При выполнении линий открытым способом стальные трубы прокладывают параллельно карнизам или плинтусам, а крепят хомутами со спиралью, с помощью реек и хомутиков или хомутиков и дюбелей. После придания трубам необходимой конфигурации их тщательно очищают от ржавчины, окрашивают, а внутри покрывают асфальтовым лаком. Монтажные провода протаскивают внутрь труб с помощью голого стального провода с зацепом (кондуктора). Если провода имеют липкую поверхность, то перед затягиванием в трубы их следует натереть тальком или зубным порошком. Чтобы предохранить изоляцию проводов от повреждения острыми краями труб, применяют пластмассовые или силуминовые оконцеватели.

В случае выполнения линий скрытым способом газовые трубы укладывают в борозды, пробитые в полу, потолке или стене, и закрепляют с помощью цементного или алебастрового раствора. Разметку борозд производят по кратчайшим направлениям. Скрытую проводку в газовых трубах обычно выполняют в тех случаях, когда толщина стен не позволяет делать каналы для прокладки проводов. При скрытой проводке необходимая герметичность соединения труб обеспечивается с помощью специальных муфт. Муфты навинчивают на концы соединяемых труб с применением уплотнителей (пакля и сурик). Через каждые 10 м линии, проложенной в трубах, устанавливают смотровые коробки, а в местах соединения и ответвления проводов — ответвительные коробки.

Во избежание попадания пыли и грязи концы труб, подходящих к распределительным устройствам, должны выступать над поверхностью пола не менее чем на 10 мм.

В сетях трехфазного переменного тока с заземленной нейтралью оболочки труб, крепежные скобы и т. д. необходимо заземлять или соединять с нулевым проводом.

После окончания монтажа трубы, проложенные открытым способом, окрашивают вторично, а при скрытой прокладке борозды заделывают штукатуркой.

Прокладка линий в резиновых полутвердых трубках может производиться в сухих помещениях под слоем штукатурки и в бороздах (рис. 228). Глубину борозд выбирают так, чтобы покровный слой штукатурки имел толщину не менее 10—15 мм.

При наличии нескольких параллельно проложенных линий допускается затягивание нескольких проводов в одну трубку, но все трубки следует прокладывать в один слой. Крепление проводов

в бороздах и протаскивание проводов производят, как и при прокладке линий в газовых трубах.

Прокладка линий в каналах. В помещениях аппаратного комплекса электрические линии можно прокладывать в стальных трубах и в каналах, выполненных заранее при строительных работах. Обычно каналы делают в толще пола и стен с помощью железобетонных плит или кирпича. В местах перехода каналов с пола на стены устраивают смотровые люки, закрываемые легкосъемными

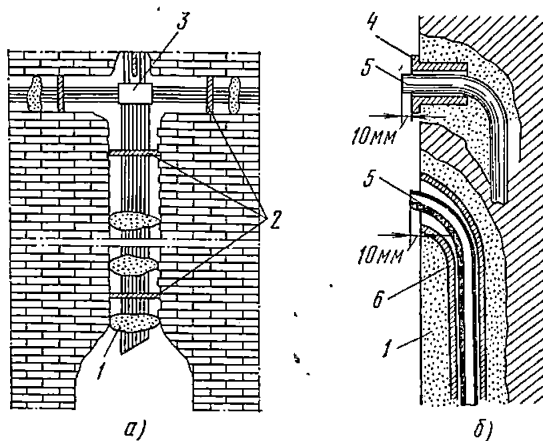


Рис. 228. Прокладка линий в резиновых полутвердых трубках:

а — прокладка основных магистралей, *б* — варианты вывода линии из стены; 1 — алебастр, 2 — деревянные планки, 3 — коробка, 4 — втулка, 5 — трубки с проводами, 6 — воронка

крышками. Провода прокладываемых линий заключают в полутвердые резиновые трубки. Допускается беструбная прокладка линий при условии покрытия проводов, собранных в жгуты, киперной лентой или лакотканью. Прокладка линий в каналах выгодна тем, что имеется возможность замены линии или затягивания в каналы дополнительных проводов.

Прокладка линий в металло-бумажных трубках применяется при монтаже осветительных линий и может производиться открытым и скрытым способами. Открытый способ прокладки допускается только в сухих отапливаемых помещениях, имеющих принудительную вентиляцию.

Трубки с заранее протянутыми в них проводами крепят скобами и прокладывают параллельно архитектурным линиям помещения. Изгибают трубки вместе с проложенными в них проводами специальными клещами, причем радиус изгиба должен быть не менее 8—9 диаметров трубки. Во избежание разрыва шов на металлической оболочке должен располагаться снизу, т. е. на ней-

тральной линии, длина которой во время изгиба не меняется. Трубки соединяют с помощью муфт, тройников и угольников. При ответвлении и соединении линий устанавливают круглые ответвительные коробки. Для предохранения изоляции проводов от повреждения концы трубок, входящие в муфты, угольники, тройники и ответвительные коробки, освобождают от металлической оболочки на участке около 10 мм. Проходы линий через деревянные стены выполняют непосредственно в трубках, а через полы и потолки — в дополнительной защите из стальных труб.

Открытая прокладка линий проводом ТПРФ допускается в сухих помещениях. В кинотеатрах такая проводка может быть выполнена только в служебных помещениях.

Перед прокладкой провод выпрямляют с помощью роликового выпрямителя или любым другим способом. При этом обращают внимание на то, чтобы шов металлической оболочки на протяжении всей длины провода шел прямолинейно, не образуя винтовой линии.

Провод крепят к стене или потолку скобами так, чтобы шов прижимался к стене. При разделке концов провода металлическую оболочку по окружности слегка пропиливают трехгранным напильником, а затем шов разворачивают. После этого оболочка легко отделяется от провода. По внешнему виду и способу крепления прокладка линий проводом ТПРФ аналогична прокладке в металло-бумажных трубках.

Если учитывать экономическую и эстетическую стороны вопроса, то проводка линий проводом ТПРФ лучше проводки в металло-бумажных трубках. Проводка проводом ТПРФ компактна и для ее выполнения требуются меньшие затраты материалов и времени. Кроме того, отсутствие зазора между изоляцией проводника и металлической оболочкой устраняет возможность конденсации влаги внутри трубки.

Прокладка линий проводом с полихлорвиниловой изоляцией. Провода ППВ, АППВ, ППВГ, АПН с полихлорвиниловой изоляцией относятся к плоским, или ленточным, проводам. Плоские провода можно прокладывать открытым и скрытым способами в сухих, сырых, жилых и производственных помещениях, а также на лестничных клетках, чердаках и в подвалах. При этом установлены следующие ограничения: не разрешается открытая проводка плоских проводов в пожароопасных помещениях и на чердаках данных помещений.

Не разрешается прокладка линий проводами ППВ в особо сырых помещениях, а также в помещениях, в которых выделяются газы, действующие разрушающе на полихлорвиниловую изоляцию, например, в помещениях с наличием паров соляной кислоты или бензина. Плоские провода нельзя применять для зарядки подвесной осветительной арматуры, в помещениях с температурой окружающей среды ниже 15°С, а также прокладывать открыто или скрыто по деревянным основаниям. Открытые линии прокла-

дывают, придерживаясь общих принципов выполнения открытой проводки.

Провода крепят гвоздями длиной 20—25 мм с диаметром шляпок не более 3 мм. Гвозди вбивают вдоль средней линии разделительной планки на расстоянии 200—250 мм друг от друга. При открытой проводке по железобетонным конструкциям допускается приклеивание проводов, штепсельных розеток, патронов и выключателей клеем, состоящим из растворителя и перхлорвиниловой смолы. Состав клея: 25 вес. ч. перхлорвиниловой смолы и 75 вес. ч. дихлорэтана.

Перед приклеиванием провод тщательно очищают и выпрямляют. Клей наносят на одну сторону провода по всей длине размеченной линии так, чтобы ширина клеевой полосы была шире провода на 4—5 мм.

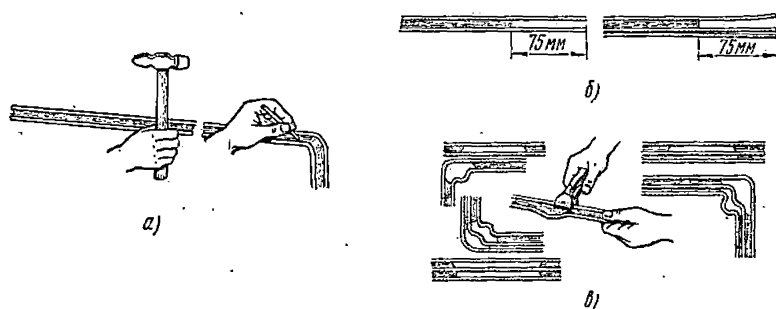


Рис. 229. Прокладка линий проводами ППВ и АППВ:

а — крепление проводов гвоздями при открытой проводке, б — разделка концов проводов, в — выполнение изгибов проводами

Провод прикладывают к клеевой полосе и приглаживают до полного высыхания клея. Арматуру приклеивают аналогичным способом, но склеиваемые поверхности дважды покрывают клеем с последующей выдержкой до высыхания, а затем намазывают третий раз, плотно прижимают и выдерживают 15—20 сек.

Клей огнеопасен и его пары ядовиты. Поэтому необходимо соблюдать все правила обращения с легковоспламеняющимися жидкостями, а в процессе приготовления клея и работы с ним тщательно проветривать помещение. Технология прокладки, разделки концов и крепления проводов ППВ и АППВ приведена на рис. 229.

Скрытую проводку плоскими проводами выполняют в трубках или под слоем штукатурки с соблюдением общих правил.

Провода АГН и шнур ШР-220 можно прокладывать открытым способом на роликах при соблюдении следующих правил:

линии прокладывают по стене или потолку по прямым направлениям;

поворот линий производят под прямым углом; через каждые 60 см прямой линии и на расстоянии 5 см от выключателей, розеток и патронов, а также при поворотах и ответвлениях линий устанавливают ролики;

на каждом ролике шнур или провод привязывают тонким шпагатом или хлопчатобумажной оплеткой — чулком.

Заземление. Заземлением называется соединение корпусов аппаратуры и оборудования с заземляющим устройством, имеющим надежный контакт с землей.

По назначению заземление может быть защитным и техническим, а по способу выполнения — искусственным и естественным.

Защитное заземление служит для защиты обслуживающего персонала от поражения током.

Техническое заземление предназначено для улучшения качества работы звуковоспроизводящих устройств. Так, например, при заземлении радиоприемника уменьшается уровень фона и помех и увеличивается дальность радиоприема. Заземление усилительных устройств также улучшает их качественные показатели. Обычно защитное заземление аппаратуры автоматически выполняет функции технического заземления.

Заземлению подлежат все доступные для прикосновения металлические части, которые не находятся под напряжением, но могут оказаться под ним вследствие повреждения изоляции.

В комплекте стационарной киноустановки заземлению подлежат колонки кинопроекторов, корпуса выпрямительных, усилительных и распределительных устройств, а также корпус электропитающего устройства 12-ЭПУ.

Искусственное заземление. Поблизости от аппаратной, желательно в сыром месте, выкапывают яму глубиной 2—3 м (до уровня грунтовых вод). В яму помещают заземлитель, т. е. лист оцинкованного железа площадью около 1 м². К заземлителю приваривают и дополнительно зажимают под болт медный или алюминиевый провод — заземляющий проводник, который кратчайшим путем вводят в аппаратную. В аппаратной к заземляющему проводнику при помощи отдельных ответвлений болтовым соединением или сваркой присоединяют корпуса аппаратуры, подлежащие заземлению. Последовательное включение в заземляющий проводник нескольких заземляемых частей установки запрещается.

Во избежание появления повышенного уровня помех заземлять усилительную аппаратуру (или соединять ее с глухозаземленной нейтралью) необходимо самостоятельным проводом. Заземлитель располагают на расстоянии не менее 1,5 м от фундамента здания. Сопротивление заземления должно быть не более 4 ом. Под сопротивлением заземления понимают сумму сопротивлений заземляющего проводника и заземлителя относительно земли.

Сопротивление заземления определяют как отношение напря-

жения на заземлителе относительно земли к току, проходящему через заземлитель на землю:

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3}.$$

Таким образом, сопротивление заземления зависит от площади заземлителя, химического состава и влажности почвы. Если сопротивление заземления больше нормы, почву обрабатывают растворами солей или щелочей, которые улучшают ее электропроводность и уменьшают сопротивление заземления. В качестве заземляющего проводника можно применять как голые, так и изолированные провода следующих минимальных сечений: 1,5 мм² — медные изолированные; 2,5 мм² — алюминиевые изолированные; 4 и 6 мм² — голые провода при открытой прокладке соответственно медные и алюминиевые. Следует иметь в виду, что использование голых алюминиевых заземляющих проводников для прокладки в земле запрещается. Допускается применение в качестве заземлителей нескольких стальных толстостенных труб длиной 1,5—2 м, вбитых в землю в шахматном порядке на расстоянии не менее 2,5 м друг от друга. При открытой прокладке заземляющих проводников необходимо предусмотреть их защиту от механических повреждений. В помещениях, за исключением взрывоопасных, допускается применение естественного заземления.

Естественное заземление. Под естественным заземлением понимают использование в качестве заземлителей проводников, стальных труб и металлических конструкций зданий, надежно соединенных с землей.

Исключение составляют: трубопроводы горючих и взрывоопасных смесей, трубы канализации и центрального отопления. Если трубы, используемые в качестве заземляющих проводников, имеют фланцевые соединения с изолирующими прокладками (например, у водомеров и разветвлений главных магистралей), эти участки следует переключать медными перемычками с применением хомутиков или сварки.

Принцип действия защитного заземления заключается в следующем: если в результате повреждения изоляции одной из обмоток электродвигателя корпус кинопроектора окажется под напряжением, то соприкосновение с корпусом может быть причиной поражения током.

Если же корпус кинопроектора будет заземлен, то между землей и корпусом возникнет незначительное падение напряжения и прикосновение к заземленному оборудованию будет практически безопасным.

Заземление оборудования уменьшает опасность поражения электрическим током только при условии, что питание киноустановки осуществляется от трехфазной четырехпроводной сети с изолированной нейтралью и отсутствует замыкание на землю одного из линейных проводов. В этом случае при пробое изоляции обмотки

электродвигателя по заземляющему проводу пройдет ток утечки I_y (порядка 10 а) и корпус кинопроектора относительно земли окажется под напряжением, не превышающим 40 в, т. е.

$$U = I_y R_3 = 10 \cdot 4 = 40 \text{ в},$$

где U — напряжение между корпусом кинопроектора и землей;

I_y — ток утечки линии;

R_3 — сопротивление заземления.

Очевидно, что возрастание сопротивления заземления вызовет увеличение напряжения между корпусом оборудования и землей и повышенную опасность поражения током. В трехфазной четырехпроводной сети 220/380 в с глухозаземленной нейтралью, т. е. заземленным нулевым проводом, пробой одной из обмоток электродвигателя на корпус кинопроектора (рис. 230) вызовет протекание по заземляющему проводу тока короткого замыкания $I_{к.з.-1}$, величиной 27,5 а:

$$U_{к.з.-1} = \frac{U_\phi}{R_0 + R_3} = \frac{220}{4 + 4} = 27,5 \text{ а},$$

где U_ϕ — фазное напряжение сети;

R_0 — сопротивление заземления электростанции;

R_3 — сопротивление заземления киноустановки.

Как видно из приводимого расчета, ток короткого замыкания в цепи с заземленным нулевым проводом (27,5 а) значительно

больше тока утечки в цепи с изолированной нейтралью (10 а).

Этот ток, протекая через сопротивление заземления киноустановки R_3 , создаст на нем падение 110 в:

$$U = I_{к.з.-1} \cdot R_3 = 27,5 \cdot 4 = 110 \text{ в}.$$

Таким образом, корпус кинопроектора относительно земли окажется под напряжением, опасным для человеческого организма, и применение защитного заземления станет нецелесообразным.

Следует отметить, что в большинстве случаев ток короткого замыкания на землю (27,5 а) оказывается недостаточным для

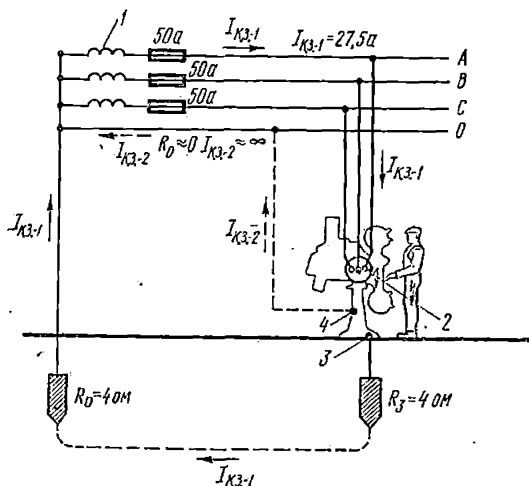


Рис. 230. Схема, поясняющая принцип действия защитного заземления:

$I_{к.з.-1}$ — ток короткого замыкания при заземлении корпуса кинопроектора, $I_{к.з.-2}$ — ток короткого замыкания при соединении корпуса кинопроектора с нулевым проводом; 1 — фазные обмотки генератора, 2 — место пробоя обмотки на корпус, 3 — заземление корпуса кинопроектора, 4 — соединение корпуса кинопроектора с нулевым проводом сети

срабатывания защиты и обесточивания корпуса аппаратуры.

В сетях с глухозаземленной нейтралью защиту обслуживающего персонала от поражения током целесообразно осуществлять соединением корпусов аппаратуры с заземленным нулевым проводом сети. В этом случае при пробое изоляции по цепи пройдет такой ток короткого замыкания на землю ($I_{к.з.-2}$), который вызовет мгновенное срабатывание защиты и полное обесточивание корпуса аппаратуры.

§ 97. КОМПЛЕКС ПОМЕЩЕНИЙ КИНОАППАРАТНОЙ И РАЗМЕЩЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Комплекс помещений. Киноаппаратная современного кинотеатра представляет собой целый комплекс основных и вспомогательных помещений. В основных помещениях находятся аппаратура и

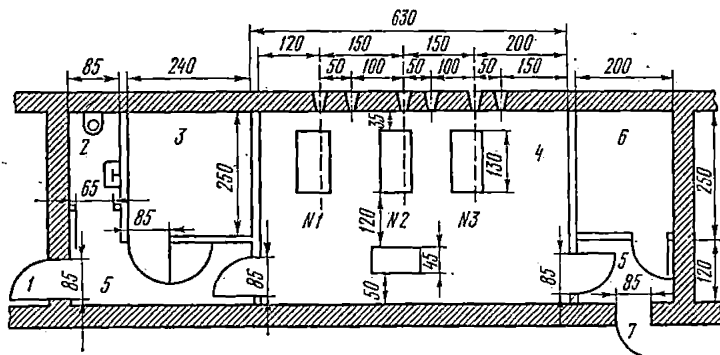


Рис. 231. Вариант планировки киноаппаратной с тремя кинопроекторами:

1 — выход в помещение кинотеатра, 2 — туалет, 3 — комната отдыха, 4 — кинопроекционная, 5 — тамбур, 6 — перемоточная, 7 — выход наружу

оборудование, а вспомогательные помещения обеспечивают нормальные условия работы обслуживающего персонала.

В комплекс киноаппаратной кинотеатров средней и большой вместимости (от 200 и более мест) входят следующие помещения: основные — кинопроекционная, перемоточная, тамбур и силовая; вспомогательные — комната отдыха, радиопункт и туалет, а при отсутствии второго независимого ввода дополнительно кислотная и аккумуляторная. Основные помещения киноаппаратной должны быть расположены на уровне одного этажа, причем кинопроекционная и перемоточная должны сообщаться через тамбур. В некоторых случаях электросиловое оборудование (17-РУ-1, 18-УРУ-1, 20-ВСС-1 и т. д.) размещают непосредственно в кинопроекционной. Тогда отдельная силовая отсутствует, но площадь кинопроекционной увеличивают на 8—10 м².

Во избежание трапецеидального искажения изображения кинопроеccionную располагают по оси зрительного зала. Двери во всех помещениях должны открываться наружу (по ходу эвакуации), а дверь в перемоточной должна быть самозакрывающейся.

На рис. 231 изображен вариант планировки киноаппаратной с тремя кинопроекторами.

Размещение электротехнического оборудования. Рациональное размещение аппаратуры и оборудования облегчает монтаж и эксплуатацию киноустановки. Поэтому при размещении оборудования необходимо придерживаться следующих основных положений и рекомендаций.

Главные электросиловые распределительные устройства, предназначенные для управления всем электрооборудованием кинотеатра и аппаратной, устанавливают в помещении электросиловой. При этом расстояние между лицевой панелью и стеной перед устройством должно быть не менее 1,8 м. В связи с тем что главные распределительные устройства могут иметь большие размеры и приводные рубильники, требуется обеспечить необходимую жесткость конструкции. С этой целью кроме обычного крепления в полу применяют дополнительное крепление верхней части устройства к стене или потолку кронштейнами из угловой стали.

Распределительные устройства 17-РУ-1 и стабилизированные выпрямители питания дуговых ламп можно устанавливать в электросиловой. Однако более целесообразным считается размещение всей электропитающей аппаратуры в проекционной, на расстоянии не менее 0,1 м от стены. В случае устройства прохода сзади оборудования это расстояние должно быть не менее 0,8 м.

Все типовое электрооборудование (если предусмотрено его крепление) крепят к стенам или полу любым способом, обеспечивающим достаточную прочность и неподвижность подводимых к этому оборудованию электрических линий.

Комплект автоматических противопожарных заслонок 12-КПЗ или 16-КПЗ размещают следующим образом: смотровые и проекционные заслонки располагают на передней стене аппаратной так, чтобы расстояние от пола до центра окна заслонки было около 125 см. Это расстояние может меняться в зависимости от угла наклона оптической оси кинопроектора. Электропитающее устройство 12-ЭПУ-1 устанавливают на передней стене между проекторами на высоте 150—175 см от пола. Аварийную кнопку В-16 монтируют около выхода из кинопроеccionной.

Установка кинопроекторов определяется планировкой проекционной и углами горизонтального смещения оптической оси кинопроекторов относительно оси основания станины и осевой линии зрительного зала. Во избежание возможных ошибок кинопроекторы лучше устанавливать по световой ориентировке на экран. Для этой цели не обязательно подключать кинопроектор. Такую ориентировку можно производить с применением маломощного источника света (например, фотолампы мощностью 275 или 500 вт,

питающейся непосредственно от сети). Кинопроекторы устанавливают с учетом размеров, приведенных на рис. 231. Изменение указанных размеров допускается только в сторону их увеличения.

Стационарные типы усилительных устройств по конструктивному оформлению можно разделить на устройства подвесного типа (КУСУ-52С, ЗВУК-1-25, 10-УДС-1-2) и стоечного (10УДС-3-4, 25УЗС-1, КЗВТ-10 и др.).

Усилители подвесного типа размещают на передней или правой стене, а усилители стоечного типа — около правой или задней стены кинопроекционной.

Во всех случаях предварительные усилители и переходные коробки устанавливают на передней стене проекционной в непосредственной близости от кинопроекторов. Входные цепи, линии выносных регуляторов громкости, а также соединительные линии между предварительными и оконечными усилителями комплектов следует тщательно экранировать. Для этого необходимо применять экранированные шланги фабричного изготовления, которые имеют минимальную распределенную емкость и поставляются совместно с комплектом. Применение экранированных шлангов самостоятельного изготовления (с большей распределенной емкостью) может привести к значительным частотным искажениям.

На передней стене кинопроекционной устанавливают также пульта 19-ПДУ-1 для дистанционного управления темнителем, лебедкой занавеса и лебедкой кашетирования.

Электродинамические громкоговорители и микшерский пульт размещают в зрительном зале в соответствии с рекомендациями, приводимыми в описаниях комплектов.

Темнитель света устанавливают в силовой, на полу или на верху распределительного устройства.

Лебедки занавеса и кашетирования (для широкоэкранных киноустановок) желательно размещать с левой стороны экрана, что обеспечивает свободный доступ к ручному приводу. Способ крепления лебедки выбирают в зависимости от местных условий. Однако во избежание проскальзывания приводного троса крепление должно иметь необходимую жесткость.

Соблюдение основных рекомендаций по размещению и эксплуатации аппаратуры и оборудования облегчает электромонтаж и создает предпосылки для длительной и безаварийной работы киноустановок.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется открытой и скрытой проводкой?
2. Перечислите марки шнуров и проводов, применяемых при монтажных работах.
3. В чем особенности выбора сечения проводов для коротких, длинных и слаботоковых линий?
4. Как рассчитать ток нагрузки в однофазной и трехфазной сетях?
5. Что называется внутренней и наружной электропроводкой?

6. Какие способы прокладки линий допускаются в различных помещениях киноустановки?

7. Перечислите основные и вспомогательные помещения киноаппаратной.

8. Какие требования предъявляют к помещениям кинопроекционной и перемоточной?

ЛИТЕРАТУРА

Андерег Г. Ф., Барбанель С. Р. Справочная книга по технике киноустановок. Лениздат, 1964.

Андерег Г. Ф. Справочная книга по технике сельских киноустановок. Лениздат, 1967.

Федосеев П. Г. Электротехника. М., «Искусство», 1963.

Федосеева Е. О., Третьякова А. А. Электропитающие устройства. М., «Искусство», 1968.

Сажин Л. И. Электропитание стационарных киноустановок. М., «Искусство», 1963.

Китаев В. Е., Шляпинтох Л. С. Электротехника с основами промышленной электроники. М., «Высшая школа», 1964.

Правила устройства электроустановок. М., «Энергия», 1966.

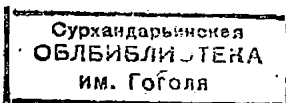
Глаз А. И. Справочник молодого электротехника. М., «Высшая школа», 1967.

Касаткин А. С. Основы электротехники. М., «Энергия», 1966.

Иванов И. М., Мац Я. Д., Могилевский М. М., Росов Ю. Б. Электротехника. М., Воениздат, 1966.

Зохорович А. Е., Крылов С. К. Основы электротехники для локомотивных бригад. М., «Транспорт», 1966.

Врублевский А. В., Григорьянц Г. Н., Жуков Д. П., Княжицкий Г. М. Электротехника. М., Воениздат, 1967.



239394

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Глава I. Постоянный ток	5
§ 1. Электрическая цепь постоянного тока	5
§ 2. Электродвижущая сила	7
§ 3. Электрическое сопротивление	8
§ 4. Закон Ома	10
§ 5. Последовательное соединение сопротивлений	12
§ 6. Первый закон Кирхгофа	14
§ 7. Параллельное соединение сопротивлений	15
§ 8. Смешанное соединение сопротивлений	19
§ 9. Второй закон Кирхгофа	19
§ 10. Работа и мощность электрического тока	21
§ 11. Коэффициент полезного действия или отдача	24
§ 12. Закон Ленца — Джоуля	26
§ 13. Предохранители	27
§ 14. Химическое действие электрического тока	33
Глава II. Электрические источники света	35
§ 15. Основные световые величины и единицы их измерения	35
§ 16. Электрические лампы накаливания	37
§ 17. Электрическая дуга	41
§ 18. Ксеноновые лампы	49
§ 19. Люминесцентные лампы и газосветные лампы высокого напряжения	51
Глава III. Магнетизм и электромагнетизм	55
§ 20. Магниты и их свойства	55
§ 21. Магнитное поле электрического тока	56
§ 22. Проводник с током в магнитном поле	57
§ 23. Магнитная индукция. Магнитный поток	58

	<i>Стр.</i>
§ 24. Взаимодействие проводников с токами	60
§ 25. Напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость	61
§ 26. Гистерезис	63
§ 27. Электромагниты	66
§ 28. Электромагнитная индукция	67
§ 29. Вихревые токи	70
§ 30. Самоиндукция	71
§ 31. Взаимоиндукция	73
Глава IV. Электрическая емкость	76
§ 32. Электрическое поле	76
§ 33. Емкость	77
§ 34. Заряд и разряд конденсатора	79
§ 35. Устройство конденсаторов	82
§ 36. Соединение конденсаторов	84
Глава V. Переменный ток	86
§ 37. Получение переменной электродвижущей силы	86
§ 38. Синусоидальная электродвижущая сила	89
§ 39. Активное сопротивление в цепи переменного тока	91
§ 40. Действующее значение тока и напряжения	94
§ 41. Индуктивность в цепи переменного тока	95
§ 42. Цепь переменного тока, содержащая активное и индуктивное сопротивление	97
§ 43. Емкость в цепи переменного тока	99
§ 44. Цепь переменного тока, содержащая активное и емкостное сопротивление	103
§ 45. Цепь переменного тока, содержащая активное, индуктивное и емкостное сопротивления. Резонанс напряжений	105
§ 46. Параллельное соединение индуктивных сопротивлений. Резонанс токов	108
§ 47. Мощность переменного тока	113
Глава VI. Трехфазная система переменного тока	116
§ 48. Трехфазные генераторы	116
§ 49. Соединение обмоток генератора	117
§ 50. Включение нагрузки в сеть трехфазного тока	121
§ 51. Защита трехфазной сети предохранителями	123
§ 52. Мощность трехфазного тока	126
§ 53. Вращающееся магнитное поле	128
Глава VII. Электрические измерительные приборы	134
§ 54. Общие сведения и классификация приборов	134
§ 55. Приборы электромагнитной системы	141
§ 56. Приборы магнитоэлектрической системы	142

	<i>Стр.</i>
§ 57. Приборы электродинамической системы	144
§ 58. Приборы индукционной системы	145
§ 59. Приборы вибрационной системы	147
§ 60. Понятие о шунтах и добавочных резисторах	148
§ 61. Универсальный измерительный прибор ампервольтметр (авометр) АВО-63	151
Глава VIII. Трансформаторы	156
§ 62. Общие сведения о трансформаторах	156
§ 63. Принцип действия и устройство трансформатора	158
§ 64. Электродвижущая сила обмоток трансформатора	162
§ 65. Рабочий процесс трансформатора	165
§ 66. Регулировка напряжения трансформатора	169
§ 67. Трехфазные трансформаторы	172
§ 68. Автотрансформаторы	175
§ 69. Измерительные трансформаторы	177
§ 70. Автотрансформаторы, применяемые на киноустановках	179
Глава IX. Асинхронные двигатели	182
§ 71. Назначение, типы и принцип действия	182
§ 72. Трехфазные двигатели	185
§ 73. Эксплуатация трехфазных двигателей	188
§ 74. Однофазные асинхронные двигатели	192
Глава X. Стабилизаторы напряжения и регулирующие устройства	199
§ 75. Общие сведения о регулирующих устройствах и ста- билизаторах	199
§ 76. Нелинейные и управляемые приборы	200
§ 77. Устройство и принцип действия феррорезонансного ста- билизатора напряжения	207
Глава XI. Выпрямители	213
§ 78. Принцип действия выпрямителей	213
§ 79. Принцип действия полупроводниковых вентилях	220
§ 80. Устройство полупроводниковых вентилях	225
§ 81. Стабилизированные выпрямители питания дуговых и ксе- ноновых ламп	231
Глава XII. Генераторы переменного тока	248
§ 82. Принцип действия синхронного генератора	248
§ 83. Устройство синхронного генератора	252
§ 84. Рабочие процессы синхронного генератора	255
§ 85. Генераторы передвижных электростанций	259
§ 86. Эксплуатация генераторов	271

Глава XIII. Электрическая аппаратура и вспомогательное оборудование киноустановок	275
§ 87. Выключатели, переключатели и рубильники	275
§ 88. Реле и пускатели	278
§ 89. Темнителн света	280
§ 90. Лебедки занавеса экрана	285
§ 91. Устройство УПП-2 для полуавтоматического перехода с поста на пост	287
§ 92. Автоматические противопожарные заслонки	291
§ 93. Распределительные устройства	298
Глава XIV. Монтаж и оборудование киноустановок	310
§ 94. Электромонтажные материалы	310
§ 95. Выбор сечения проводов	317
§ 96. Способы прокладки электрических линий и заземление	319
§ 97. Комплекс помещений киноаппаратной и размещение оборудования	327
Литература	330

ВАЛЕНТИН ЕВГЕНЬЕВИЧ КИТАЕВ
ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РУЖИЦКИЙ

Электротехника и электротехническое
оборудование киноустановок

Редактор Е. М. Шумилова

Художник В. М. Лукьянов

Художественный редактор Т. В. Павина

Технический редактор Г. Г. Киселева

Корректор Р. И. Самофатова

Т-11924. Сдано в набор 29/XII 1970 г. Подп. к печати 15/VII 1971 г.
Формат 60×90^{1/16}. Объем 21 печ. л. Уч.-изд. л. 20,57. Изд. № ЭГ-83.
Тираж 62 000 экз. Зак. 26. Цена 58 коп.

План выпуска литературы издательства «Высшая школа»
(профтехобразование) на 1971 г. Позиция № 36.

Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,
Издательство «Высшая школа»

Типография изд-ва «Уральский рабочий»
Свердловск, пр. Ленина, 49.