

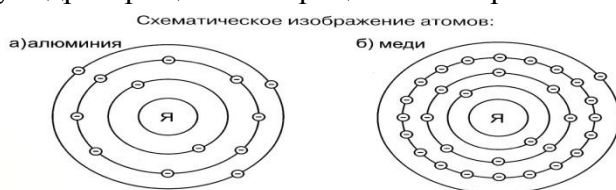
Конспект к уроку

Электронная теория строения вещества

Молекула - предел механического деления вещества. Молекула состоит из атомов.

Центральная часть атома – ядро. В ядре расположены положительно заряженные протоны.

Вокруг ядра вращаются отрицательно заряженные электроны.



Протон – частица, обладающая положительным электрическим зарядом. Протон входит в состав атомного ядра, сообщая ему положительный заряд.

Электроны – мельчайшие отрицательно заряженные частицы, которые с огромной скоростью вращаются по орбитам вокруг ядра атома.

Заряд электрона $e = 1,6 \times 10^{-20}$ Кл. это наименьшая возможная (неделимая) частица электричества.

Тело, приобретая электроны, получает отрицательный заряд «-»

При потере электронов тело приобретает положительный заряд «+»

Атомы различных химических веществ отличаются друг от друга количеством протонов и электронов.

Атом нейтрален если число протонов равно числу электронов.

Отрицательный ион- атом, в котором число электронов больше числа протонов.

Положительный ион – атом, в котором число протонов больше числа электронов.

Свободный электрон - электрон, оторвавшийся от ядра. Он имеет свободное движение.

Классификация веществ по электропроводности

Электропроводность определяется наличием свободных заряженных частиц. Способность атома терять или приобретать электроны зависит от числа электронов в наиболее удаленном от ядра внешнем слое. Для отрыва электрон должен извне получить дополнительную энергию (тепловую, световую, механическую). Все вещества в зависимости от электропроводности делятся на проводники, полупроводники и диэлектрики.

1. **Проводники** (на последней орбите до 3 электронов) бывают первого и второго рода.
К проводникам первого рода относятся все металлы и их сплавы. К проводникам второго рода относятся водные растворы солей, кислот, щелочей, которые называются электролитами.
По проводникам первого рода могут перемещаться свободные электроны. По проводникам второго рода – ионы.
2. **Диэлектрики.** В диэлектриках при нормальных условиях свободные, электрически заряженные частицы отсутствуют, поэтому они обладают ничтожной электропроводностью. К диэлектрикам относятся: керамика, стекло, кварц, пластмассы, асбест, каучук, резина, слюда, минеральные масла, лаки, эмали, воздух.
3. **Полупроводники** по электропроводности занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.
Полупроводниками являются германий, кремний, селен. Закись меди, сернистый свинец и др.

Электрический ток в металлах

Направленное движение электронов в проводнике называется электрическим током в металлах.



Для прохождения электрического тока нужно создать и поддерживать по концам проводника разность потенциалов путем:

- а) периодической смены полярности по концам проводника;
 - б) путем подачи электронов на один конец проводника и снятие их с другого конца.
- Эту работу выполняют источники тока.

Признаки прохождения тока: тепловые, магнитные, химические, биологические.

Величина тока – заряд протекающий через поперечное сечение проводника за единицу времени.

$$I = Q/t$$

Q - заряд, Кл (Кулон)

t - время, сек

$$1A = 1 \text{ Кл} / 1 \text{ сек}$$

$$1 A = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ kA}$$

Для измерения тока используется прибор – амперметр. Амперметр включается в электрическую цепь последовательно.

Электрическое сопротивление

Противодействие, которое оказывает проводник протеканию тока, называется электрическим сопротивлением.

Обозначается – R

Единица измерения - Ом

$$1 \text{ Ом} = 10^{-3} \text{ мОм} = 10^3 \text{ Ком} = 10^6 \text{ МОм}$$

Величина сопротивления зависит от материала проводника, его размеров, температуры. Для сравнения сопротивления различных материалов введено понятие удельного сопротивления.

Удельное сопротивление - это сопротивление проводника длиной 1 м сечением 1 мм², измеренное при температуре 20° С.

Обозначение – ρ

Единица измерения – Ом мм²/м

материал	Удельное сопротивление
Серебро	0.016
Мель	0.0175
Алюминий	0.0293
Сталь	0.13 – 0.25
Свинец	0.22

С увеличением длины сопротивление увеличивается, а с увеличением сечения уменьшается.

$$R = \rho l / S$$

l - длина проводника, м

S- площадь сечения, мм²

$$S = \pi D^2 / 4$$

π=3.14

D- диаметр проводника

Повышение температуры металлического проводника вызывает увеличение числа столкновений свободных электронов с ионами, вследствие чего уменьшается средняя скорость направленного движения электронов, что соответствует увеличению сопротивления. В электролитах, где электрический ток создается ионами, с увеличением температуры сопротивление наоборот уменьшается.

$$R_2 = R_1 + R_1 \alpha (t_2 - t_1)$$

α – температурный коэффициент

У металлических проводников, при температуре близкой к абсолютному нулю, сопротивление резко уменьшается.

Электрическая проводимость

Величина обратная сопротивлению называется проводимостью.

Обозначается- q

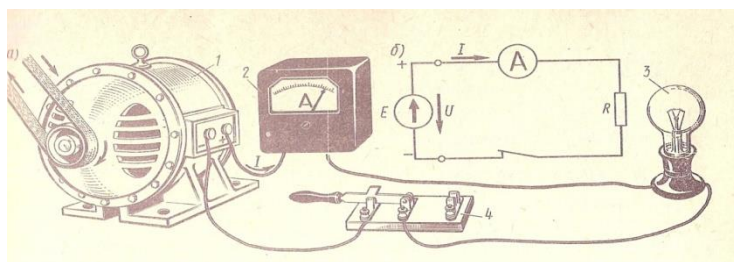
$$q = 1/R$$

Единица измерения $1/\text{Ом} = \text{См}$ (Сименс)

Электрическая цепь

Электрическая цепь это замкнутый контур, по которому проходит ток. Состоит из источника питания, нагрузки, соединительных проводов, измерительных коммутационных, защитных приборов.

Разделяется на внутреннюю и внешнюю. К внутренней цепи относится источник питания, а все остальное к внешней.



Условно за направление тока принято направление от плюса к минусу.

Электродвижущая сила. Напряжение

ЭДС - это работа, совершаемая по переноске положительного пробного заряда по всей цепи.

Напряжение – разность потенциалов между концами однородного проводника.

Обозначение ЭДС – E , напряжения- U .

Единица измерения – вольт.

Прибор вольтметр. Вольтметр для измерения ЭДС включается к зажимам источника питания при выключенной нагрузке, для измерения напряжения параллельно участку цепи на котором производится измерение.

$$E = U_{\text{внутр}} + U_{\text{внеш}}$$

Закон Ома

а) для всей цепи

Сила тока в цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе E источника электрической энергии и обратно пропорциональна полному сопротивлению R цепи

$$I = E / (R_{\text{внеш}} + r_{\text{внут}})$$

б) для участка цепи

Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна падению напряжения на этом участке и обратно пропорциональна его сопротивлению

$$I = U / R$$

Работа и мощность электрического тока

Работа постоянного тока на участке цепи равна произведению силы тока на напряжение и на время, в течении, которого совершается работа

$$A = IUt$$

A- работа электрического тока, Дж
I- электрический ток, А
U- напряжение, В
t - время, с

Признаком работы является вызванный током нагрев проводника.

Работа, совершаемая током за одну секунд, называется мощностью.

$$P = A/t = UI$$

Единица измерения мощности – Вт (ватт).

Прибор для измерения мощности ваттметр.

Независимо от способов подключения потребителей мощность, отдаваемая генератором, равна сумме мощностей отдельных потребителей включенных в данную цепь.

Тепловое действие тока

Сталкиваясь с атомами, электроны передают им часть своей энергии. За счет этой энергии Усиливаются колебания атомов в узлах кристаллических решеток, а это в свою очередь приводит к увеличению температуры проводника.

$$Q = 0.24 I^2 R t, \text{ Кал}$$

$$Q = I^2 R t, \text{ Дж}$$

Q- количество выделяемого тепла

I – электрический ток, А

R- сопротивление, Ом

t- время, с

Тепловое действие тока используется в нагревательных приборах, лампах накаливания, тепловых реле и т.д.

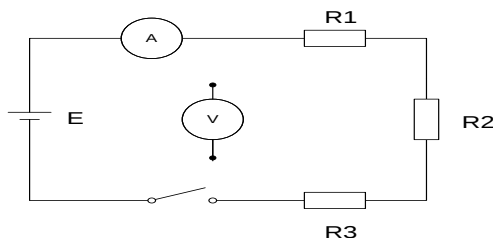
Нагрев проводов, обмоток электрических машин приводит к бесполезному расходу энергии, нагреву и порче изоляции.

Нагрев проводов зависит от величины тока и сопротивления. А также от условий отдачи тепла в окружающее пространство. В зависимости от величины тока выбирается сечение проводов. Выбор сечения производится по таблице.

Для уменьшения нагрева в местах соединений следует производить пайку или чистку концов проводов и их плотное зажатие.

Способы включения потребителей

Последовательное соединение образует неразветвленную цепь, по которой проходит один и тот же ток.



Напряжения между концами отдельных участков цепи составляет;

$$U_1 = I r_1; \quad U_2 = I r_2; \quad U_3 = I r_3.$$

Следовательно,

$$U_1 : U_2 : U_3 = r_1 : r_2 : r_3$$

т.е. падения напряжения в отдельных сопротивлениях пропорциональны величинам сопротивлений.

Сумма падений напряжения в отдельных сопротивлениях равна приложенному к цепи напряжению:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Общее сопротивление равно сумме отдельных сопротивлений:

$$R_{\text{об}} = R_1 + R_2 + R_3$$

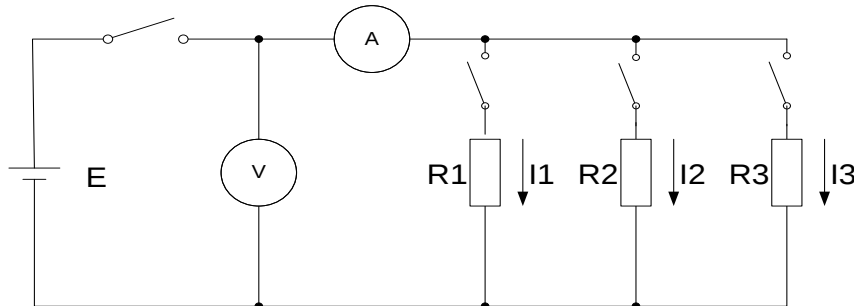
Мощность всей цепи равна сумме мощностей отдельных участков:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

Развиваемая в отдельных участках мощность пропорциональна сопротивлениям участков:

$$P_1 : P_2 : P_3 = r_1 : r_2 : r_3$$

Параллельное соединение образует разветвленную цепь. Все сопротивления включены между одними и теми же двумя узлами А и Б так, что напряжение U на них одинаковое.



По закону Ома токи в отдельных ветвях равны:

$$I_1 = U/r_1 = Uq_1; \quad I_2 = U/r_2 = Uq_2; \quad I_3 = U/r_3 = Uq_3$$

Следовательно,

$$I_1 : I_2 : I_3 = q_1 : q_2 : q_3 = 1/r_1 : 1/r_2 : 1/r_3,$$

т.е. разделение тока между отдельными ветвями прямо пропорционально проводимостям ветвей или обратно пропорционально их сопротивлениям.

Сумма токов, направленных к точке разветвления, равна сумме токов, направленных от нее это первый закон Кирхгофа:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Общая проводимость цепи равна сумме проводимостей отдельных ветвей:

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

$$1/r = 1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_3$$

Мощность всей цепи равна сумме мощностей отдельных участков:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

Мощность всей цепи равна сумме мощностей отдельных участков

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

Магнетизм – это явление, которым сопровождается движение электрических зарядов.

Магнит имеет два полюса: северный и южный. Полюс – это места, где проявляются наибольшие силы взаимодействия. Одноименные полюса отталкиваются, разноименные притягиваются.

Магнитное поле – это особый вид материи, через которую передается действие магнитных сил.

Условно графически магнитное поле изображается в виде силовых линий.

Свойства силовых линий:

- принято считать, что в пространстве силовые линии направлены из северного полюса в южный, внутри магнита из южного в северный оставаясь замкнутыми;
- никогда не пересекаются;
- стараются замкнуться по наикратчайшему пути;
- действуют друг на друга с силой, направленной перпендикулярно к ним.

Все вещества по магнитным свойствам делятся на три группы:

- **ферромагнитные** (хорошо намагничиваются сами и могут намагничивать другие тела)- железо, сталь, чугун, никель, кобальт, специальные сплавы;
- **парамагнитные** (слабо намагничиваются и слабо притягиваются) марганец, алюминий, олово.
- **диамагнитные** (слабо отталкиваются) медь, цинк, свинец, ртуть, серебро.

Величины, характеризующие магнитное поле

1. **Магнитная индукция** – это число силовых линий, приходящееся на единицу площади поперечного сечения, расположенную перпендикулярно силовым линиям.

Обозначается - B .

Единица измерения:

СГС - Гаусс СИ $B \cdot m^2 = Bb \cdot m^2 = Tл$ (Тесла)

$1 Tл = 10^4 Гс$

2. **Магнитный поток**- полное число силовых линий, пронизывающих поверхность

$$\Phi = B S$$

Φ – магнитный поток, Вб (Вебер)

B - магнитная индукция, Тл

S - площадь сечения, m^2

Единицы измерения:

СГС - Гс. cm^2 - Мкс (Максвелл)

СИ- $Bb \cdot m^2 \cdot m^2 = Bb$

$1 Bb = 10^8 MКс$

3. **Магнитная проницаемость**

Абсолютная- способность среды проводить магнитный поток

μ -Ом.с/м

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Ом с/м}$ **постоянная магнитная величина(абсолютная магнитная проницаемость вакуума)**

Относительная – число, показывающее во сколько раз магнитная проницаемость данной среды лучше или хуже проводит магнитный поток, чем вакуум.

$$\mu = \mu_a \mu_0$$

4. **Напряжённость магнитного поля** - интенсивность магнитного поля без учета среды

$$H = B / \mu_a$$

Единица измерения $H = A/m$

Величина напряженности зависит от причин, вызвавших это поле:

- постоянных магнитов - от степени их намагничивания;
- для полей созданных током - от величины тока и формы проводов.

Магнитное поле проводника с током

Вокруг проводника с током возникает магнитное поле по всей его длине. Силовые линии замыкаются по concentрическим окружностям.

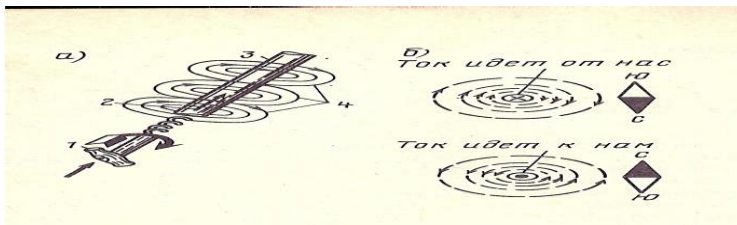
Величина напряженности:

$$H = I / 2\pi a$$

I - электрический ток, А

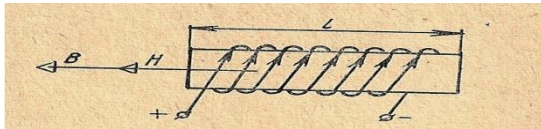
a - расстояние от оси проводника до точки, в которой определяется напряженность, м

Направление силовых линий зависит от направления тока и определяется по правилу буравчика. Буравчик надо вращать так, чтобы его острие двигалось по направлению тока. Тогда направление вращения рукоятки укажет на направление магнитного поля.



Соленоид

Соленоид-это проводник, имеющий вид спирали. Магнитные поля отдельных витков складываются, образуя общее сконцентрированное магнитное поле. Полюса соленоида расположены на его концах. Полярность магнитного поля соленоида зависит от направления тока и определяется по правилу правой руки.



Правой рукой надо обхватить соленоид так, чтобы четыре пальца показали направление тока. Тогда большой отогнутый палец укажет северный полюс.

Напряженность поля внутри соленоида

$$H = I \omega l$$

I - электрический ток

ω число витков

l длина катушки

Намагничивание ферромагнитных материалов

Электроны в атомах образуют круговой ток и создают магнитный поток, перпендикулярный плоскости орбиты. Поля отдельных электронов не намагниченого ферромагнитного материала расположены беспорядочно, тело в целом не проявляет магнитных свойств.

Для намагничивания магнитных материалов тело помещают внутрь катушки, по которой пропускают постоянный ток. В результате поля элементарных магнитиков приходят в упорядочное положение, поля их складываются и тело намагничивается.

Зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля называется кривой первоначального намагничивания.

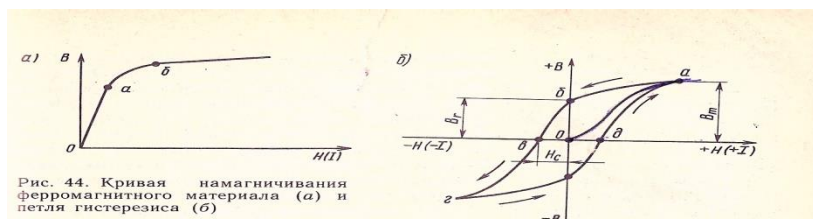


Рис. 44. Кривая намагничивания ферромагнитного материала (а) и петли гистерезиса (б)

ОА - пропорциональный рост индукции при увеличении напряженности;

АБ - при увеличении напряженности возрастание индукции идет замедленно это соответствует установлению всех элементарных магнитов вдоль внешнего поля- магнитное насыщение;

От точки Б при увеличении напряженности магнитная индукция остается постоянной, так как начинает снижаться магнитная проницаемость.

Магнитная проницаемость ферромагнитных материалов величина переменная и зависит от напряжения.

При изменении полярности приложенного напряжения тело сначала размагничивается, а потом перемагничивается.

Процесс намагничивания и перемагничивания ферромагнитных материалов называется **гистерезис**. График, отображающий этот процесс – **петлей гистерезис**.

Величина магнитной индукции при размагничивании соответствующая нулевой напряженности называется **остаточная магнитная индукция**.

Величина напряженности, при которой происходит полное размагничивание, называется **коэрцитивной силой**.

При гистерезисе процесс перемагничивания требует затрат энергии на преодоление коэрцитивной силы. Эта энергия выделяется в виде тепла.

Магнитные материалы разделяются на магнитомягкие и магнитотвердые.

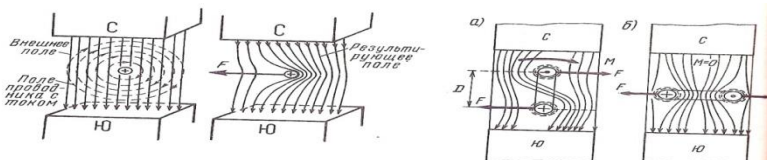
Магнитомягкие имеют небольшую остаточную магнитную индукцию и коэрцитивную силу.

Используются в качестве сердечников и магнитопроводов (железо, электротехническая сталь, пермаллой, альсифер, магнитодиэлектрики).

Магнитотвердые материалы обладают большим остаточным магнетизмом и коэрцитивной силой. Используются для изготовления постоянных магнитов (хромистые, вольфрамистые, кобальтовые стали и специальные сплавы.)

Проводник с током в магнитном поле

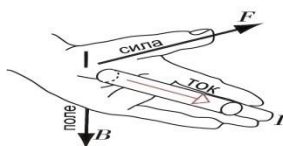
Проводник с током, помещенный в магнитное поле испытывает со стороны поля действие механической силы, которая стремится двигать проводник под прямым углом к магнитным силовым линиям.



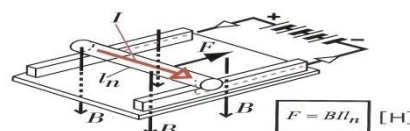
Направление силы зависит от направления тока и магнитных силовых линий и определяется по правилу левой руки.

Если расположить левую руку так, чтобы магнитные силовые линии входили в ладонь, перпендикулярно к ней, а четыре вытянутые пальца, указывали направление тока, то большой отогнутый палец покажет направление силы, действующей на проводник.

ПРАВИЛО ЛЕВОЙ РУКИ



Определение направления механической силы



Сила, действующая на проводник с током

$$F = B I \sin \alpha$$

B - магнитная индукция, Тл

- активная длина проводника, м

I - эл.ток, А

$\sin \alpha$ - синус угла между проводником и силовыми линиями

Если замкнутый контур поместить в магнитное поле и сдвинуть относительно нейтрали контур повернется до нейтрали, пройдет ее по инерции и начнет возвращаться назад. Чтобы создать вращение рамки необходимо при достижении контуром нейтрали менять в нем направление тока или полюса магнита.

Движение проводников с током в магнитном поле положено в основу устройства электродвигателей, магнитоэлектрических измерительных приборов.

Электромагнитная индукция

Явление электромагнитной индукции открыто английским физиком Фарадеем в 1831 году.

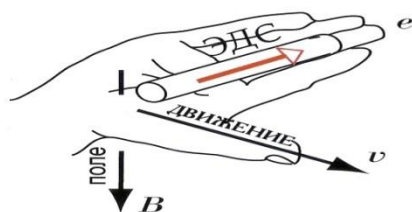
Получить индуцированную ЭДС возможно:

- а) при пересечении проводника магнитным полем;
- б) при пересечении магнитного поля проводником.

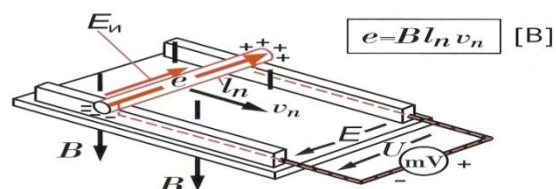
Электроны проводника испытывают со стороны магнитного поля действие магнитной силы.

Под действием этой силы электроны смещаются в одну сторону, и на концах проводника появляется разность потенциалов.

ПРАВИЛО ПРАВОЙ РУКИ



Определение направления индуцируемой ЭДС



ЭДС, индуцируемая в проводнике, движущемся нормально к полю

Направление индуцированной ЭДС зависит от положения полюсов магнита и направления движения, определяется по правилу правой руки. l

Если правую руку расположить так чтобы силовые линии входили в ладонь, а большой отогнутый палец показал направление движения, то четыре вытянутых пальца укажут направление ЭДС.

Величина индуцированной ЭДС тем больше, чем больше силовых линий пересекается в единицу времени.

$$E = B l V \sin \alpha$$

B - магнитная индуктивность, Тл

l - активная длина проводника

V - скорость, м/с

$\sin \alpha$ – синус угла между вектором скорости и силовыми линиями

Если проводник пересекает силовые линии под прямым углом ЭДС максимальна.

Если проводник движется вдоль силовых линий ЭДС равна нулю.

При вращении рамки в магнитном поле за один оборот ЭДС от нулевого значения возрастает до максимального, снижается до нуля и потом снова возрастает до максимального значения и снижается до нуля, но в другом направлении.

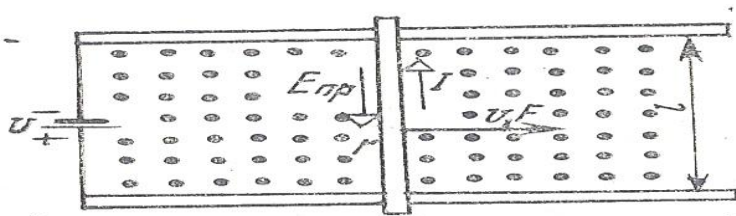
На явлении электромагнитной индукции основана работа генераторов.

Генераторы могут быть:

- а) с неподвижным якорем
- б) с подвижным якорем

Противо - ЭДС

К проводнику подключить источник питания и поместить его в однородное магнитное поле на параллельно расположенные направляющие, по которым проводник может перемещаться без трения перпендикулярно к направлению силовых линий магнитного поля (режим работы двигателя).



При этом ток в неподвижном проводнике равен:

$$I_{\text{н}} = U/R$$

На проводник с током, помещенный в магнитное поле действует электромагнитная сила, под действием которой проводник перемещается в направлении определенном по правилу левой руки со скоростью V

$$F = B l I$$

Перемещаясь проводник пересекает силовые линии, поэтому в нем наводится ЭДС, направленная навстречу приложенному напряжению

$$E = B l V$$

В результате ток в подвижном проводнике уменьшается и равен

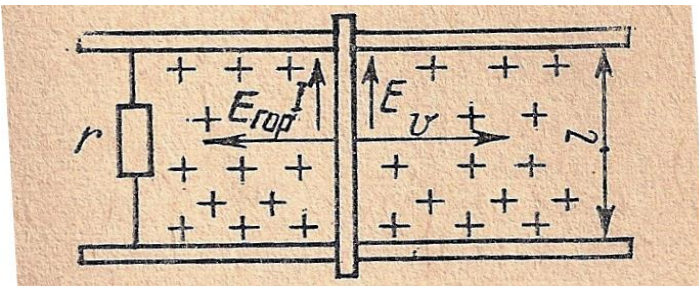
$$I_{\text{н}} = U - E/R$$

Это необходимо учитывать при работе электрических двигателей постоянного тока.

Наибольшее значение тока приходится на момент пуска. Кроме того при увеличении механической нагрузки и снижении скорости вращения двигателя ток в обмотке якоря возрастает. Величина индуцированной в проводнике ЭДС меньше величины приложенного напряжения на величину внутреннего падения напряжения. Но в отдельные моменты, например при движении электроваза на затяжном спуске, когда снижается приложенное напряжение, а скорость по инерции остается прежней, величина ЭДС оказывается больше приложенного напряжения. Двигатель начинает работать в режиме генератора (процесс рекуперации).

Тормозящая электромагнитная сила

Проводник поместить в однородное магнитное поле на параллельно расположенные направляющие, по которым проводник может перемещаться без трения перпендикулярно к направлению силовых линий магнитного поля и сторонней силой привести в движение (режим работы генератора).



В проводнике будет индуцироваться ЭДС, направление которой можно определить по правилу правой руки

$$E = B l V$$

и при замыкании цепи начнет проходить ток, направление которого совпадает с направлением ЭДС

$$I = E/R_0 + R_{\text{вн}}$$

В результате взаимодействия магнитных полей постоянного магнита и поля, созданного током, проходящим по проводнику, на проводник начнет действовать электромагнитная сила, направление которой определяется по правилу левой руки. Действие силы всегда направлено встречно вектору скорости, поэтому это сила называется тормозящей.

$$F = B l I$$

При выборе мощности приводного двигателя, обеспечивающего работу генератора необходимо учитывать действие тормозной электромагнитной силы.

Самоиндукция

ЭДС самоиндукции создается в проводнике за счет пересечения его магнитным полем, созданным изменяющимся по величине током, проходящим по этому же проводнику.

Величина ЭДС самоиндукции зависит от скорости изменения магнитного потока и определяется

$$E = - \Delta \Phi / \Delta t \cdot L$$

$\Delta \Phi / \Delta t$ – Скорость изменения тока

L – индуктивность катушки или проводника

Индуктивность – это способность катушки или проводника создавать ЭДС самоиндукции

Если при скорости изменения тока 1 А за 1 с в проводнике создается ЭДС равная 1 В индуктивность равна 1 Гн (генри).

Индуктивность зависит:

Для цилиндрической катушки:

$$L = \mu_a \omega^2 S l$$

μ_a – абсолютная магнитная проницаемость

ω – число витков

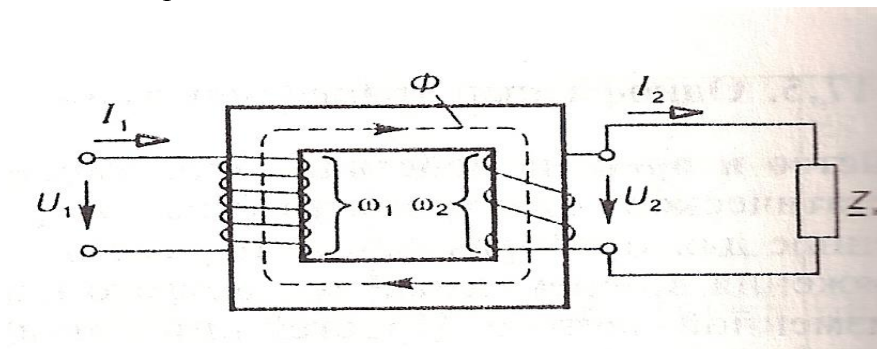
S – сечение

l – длина магнитопровода (для кольцевых катушек – длина средней силовой линии)

Взаимоиндукция

Возникновение в проводнике индуцированной ЭДС вследствие изменения тока в другом проводнике называется взаимной индукцией.

Две катушки (электрически не связанные) располагают рядом. К одной подключается источник тока, к другой измерительный прибор. В момент изменения тока в первой катушке появляется ЭДС во второй.



$$E_{в} = - M_{1-2} \cdot \Delta I_1 / \Delta t$$

M_{1-2} – взаимная индуктивность между первой и второй катушками, Гн

$\Delta I_1 / \Delta t$ скорость изменения тока в первой катушке, А/с

На величину взаимной индуктивности влияет индуктивность каждой катушки, их взаимное расположение, а также магнитная проницаемость разделяющей их среды.

Вихревые токи

При пересечении проводников магнитным полем в них наводится ЭДС, которая создает между различными точками массивного проводника разность потенциалов, за счет которых возникают вихревые токи.

Так как массивные проводники имеют малое сопротивление, то даже малые ЭДС создают большие токи.

В магнитных сердечниках вихревые токи вызывают нагрев, это приводит к ухудшению изоляции обмоток, снижению магнитной проницаемости, создают противодействующее магнитное поле.

Для уменьшения вихревых токов:

- сердечники набирают из отдельных листов электротехнической стали (0.35-0,5 мм), расположенных параллельно магнитному потоку и изолированных друг от друга лаком, тонким слоем бумаги или их окаливают;
- листы стали изготавливают с повышенным содержанием кремния до 4%, это увеличивает электрическое сопротивление;
- сердечники изготавливают из магнитодиэлектриков.

Полезное применение вихревых токов:

- замедление работы реле, для этого на сердечник надевают медные гильзы, в которых при нарастании или убывании тока в обмотке создается вихревой ток. При нарастании тока в обмотке магнитное поле вихревого тока препятствует нарастанию, а при убывании препятствует убыванию. Вместо медных гильз могут использоваться короткозамкнутые обмотки;
- электромагнитные замедлители для механических горючих;
- экранирование;
- асинхронные двигатели и т.д.

Переменный ток

Переменный ток - это ток, который каждое мгновение изменяет свою величину и периодически направление. Для получения переменного тока используют генераторы переменного тока. Простейшим генератором переменного тока является виток, вращающийся в равномерном магнитном поле.

Параметры переменного тока

Мгновенное значение – значение переменной величины в конкретный момент времени

$$i, u, e$$

Амплитуда – наибольшее значение переменных величин

$$I_m, U_m, E_m$$

Действующее значение – под действующим значением переменного тока понимают силу такого постоянного тока, который проходя по проводнику в течение некоторого времени, выделит в нем такое же количество тепла, как и данный переменный ток.

$$I, U, E$$

$$I = I_m \sqrt{2} = 0.707 I_m$$

Период- промежуток времени в течении которого ЭДС, напряжение и ток совершают полный цикл изменений.

$$T, c$$

Частота – число полных периодов изменения ЭДС, напряжения, тока

$$f = 1/T$$

Угловая скорость - угол изменения тока за 1 секунду

$$\omega = 2\pi f$$

Фазный угол- угол характеризующий переменную величину в начальный момент времени

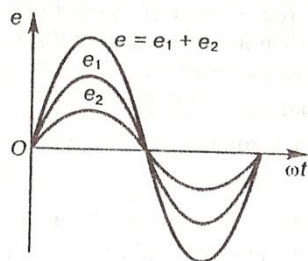
$$\alpha = \omega t$$

Начальный фазный угол - угол, характеризующий значение переменной величины в начальный момент времени

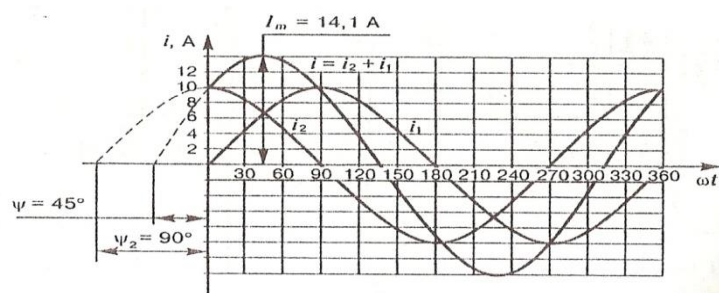
$$\psi$$

Угол сдвига фаз – γ

Если у двух переменных величин нулевые и максимальные значения приходятся на одно время, считается, что эти величины совпадают по фазе.



Если у двух переменных величин одинаковой частоты нулевые и максимальные значения приходятся на разное время, считается, что они сдвинуты по фазе. При этом опережает та величина, которая раньше входит или выходит из положительного полупериода.



Виды сопротивлений в цепях переменного тока

Сопротивление препятствие на преодоление, которого затрачивается определенное количество энергии.

Активное сопротивление – при включении в цепь переменного тока энергия преобразуется в тепловую.

Реактивное сопротивление – в цепи переменного тока возникает обмен энергией между ним и источником тока. Подразделяется на индуктивное и емкостное.

Трехфазный ток

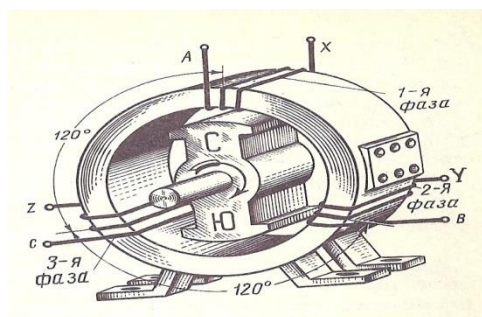
Трехфазный ток это совокупность трех однофазных токов одинаковой частоты, но сдвинутых по фазе на 120° .

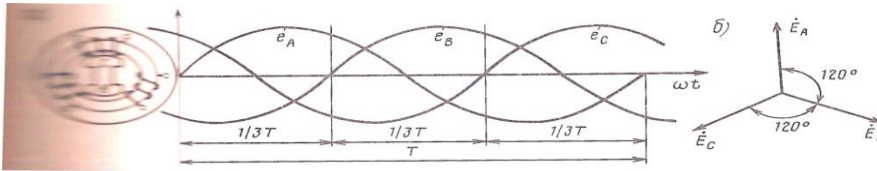
Трехфазные системы по сравнению с однофазными имеют следующие преимущества:

1. Наиболее выгодная передача электрической энергии. Сокращается количество линейных проводов.
2. Возможность подключения нагрузки к фазному и линейному напряжению.
3. Создание вращающего магнитного поля, которое используется при работе асинхронных и синхронных двигателей.

У трехфазного генератора на статоре расположены три обмотки, оси которых сдвинуты одна относительно другой на угол 120° . Ротор генератора представляет электромагнит, который вращается за счет приводной системы с постоянной частотой вращения.

Такая система называется симметричной. Сумма ЭДС всех трех фаз в любой момент времени равна нулю.





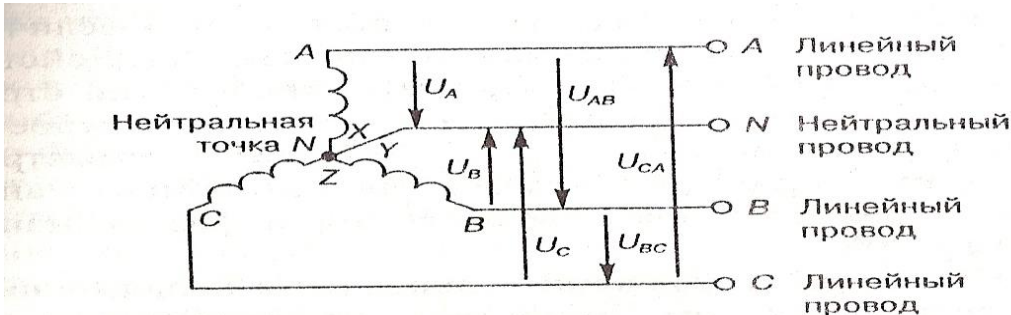
Способы соединения обмоток генератора

Схема соединения «звездой»

Концы трех обмоток генератора соединяют в общий узел, который называют нулевой точкой.

К нулевой точке подключают нулевой провод.

Провода подсоединенные к началам фазных обмоток называют линейными.



Фазное напряжение это напряжения между началами и концами обмоток отдельных фаз источника или фаз нагрузки .

Фазными токами называют токи, протекающие по обмоткам источника или фазам нагрузки.

Линейное напряжение – это напряжение между линейными проводами.

Линейный ток- токи протекающие по линейным проводам.

При соединении обмоток генератора по схеме «звезда» линейные и фазные токи равны

$$I_L = I_\phi$$

Линейное напряжение равно разности векторов соответствующих фазных напряжений.

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

$$U_{BC} = U_B - U_C$$

$$U_{AC} = U_A - U_C$$

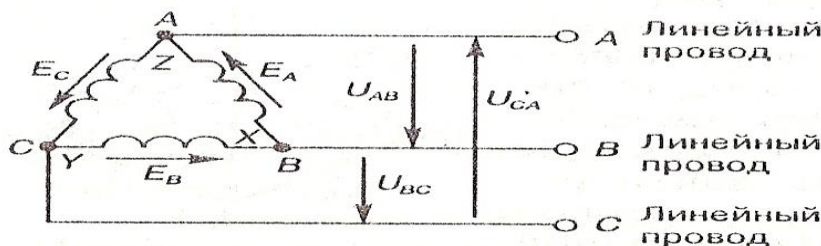
В векторной диаграмме линейное напряжение является основанием равнобедренного треугольника.

Из построенной векторной диаграммы видно, что линейное напряжение больше фазного.

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi$$

Шкала номинальных напряжений 127\220, 220\380, 380\660.

Схема соединения «треугольником»



При соединении обмоток генератора треугольником Конец каждой обмотки соединяют с началом следующей. К точкам соединения подключают три линейных провода А В С.

При таком соединении обмоток, между линейными проводами получается, включена только одна обмотка, поэтому линейное напряжение равно фазному напряжению.

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$$

Линейный ток равен векторной разности соответствующих фазных токов

$$I_{\text{AB}} = I_{\text{A}} - I_{\text{B}}$$

$$I_{\text{BC}} = I_{\text{B}} - I_{\text{C}}$$

$$I_{\text{AC}} = I_{\text{A}} - I_{\text{C}}$$

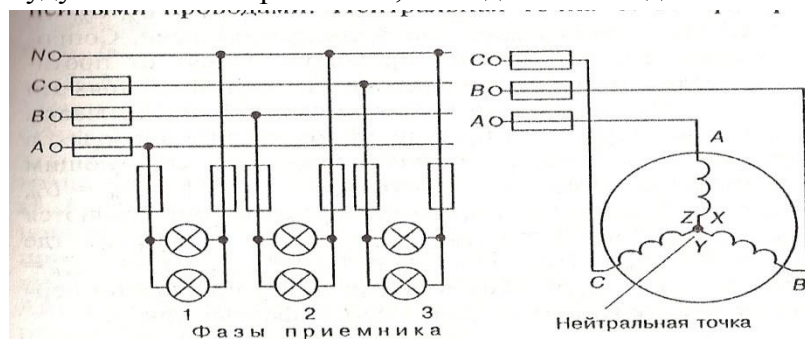
При равномерной загрузке фаз в схеме «треугольник» линейный ток больше фазного в 3 раза

$$I_{\text{л}} = \text{Место для формулы. } \sqrt{3} I_{\text{ф}}$$

Схемы подключения потребителей к трехфазным системам

Схема соединения «звездой» с нулевым проводом

Такое соединение применяют в том случае, когда каждая фаза приемника рассчитана на напряжение в 3 раз меньше линейного, в основном для осветительных сетей. При этом нагрузку разделяют на три приблизительно одинаковые по мощности группы – фазы приемника. Каждую фазу подключают между линейным и нулевым проводом. Поэтому обмотки генератора, к которым будут включены приемники, тоже должны соединяться по схеме «звезда».



Фазные токи приемника линейные токи и фазные токи генератора равны.

Фазные напряжения приемника равны соответствующим фазным напряжениям генератора за минусом падения напряжения в проводах.

Ток в нулевом проводе равен геометрической сумме токов в фазах.

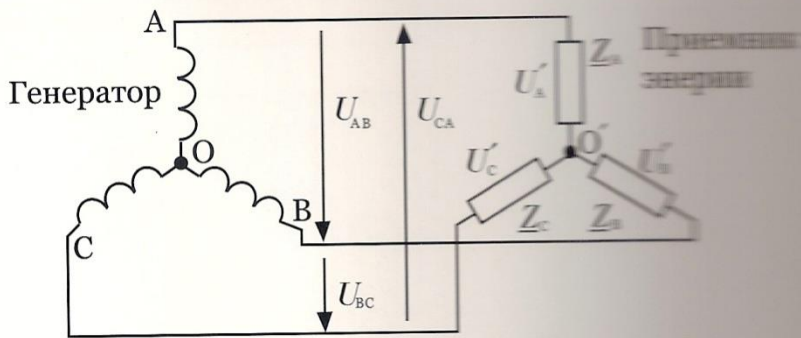
При нормальном режиме работы значение тока в нулевом проводе незначительное, сечение нулевого провода меньше сечения линейных проводов в 2-3 раза. Увеличение тока в нулевом проводе может произойти при обрыве одного из линейных проводов или значительной неравномерной загрузки фаз (коротком замыкании).

При обрыве нулевого провода две фазы оказываются включенными последовательно и находятся под линейным напряжением. Более загруженные фазы приемника (с меньшим полным сопротивлением) оказываются под меньшим фазным напряжением, а менее загруженные (с большим полным сопротивлением) – под большим напряжением. В нулевой провод никогда не устанавливают предохранители.

При обрыве фазного провода, или обратном (ошибочном) включении третьей фазы источника ток в нулевом проводе возрастает.

Схема соединения «звездой» без нулевого провода

Такую схему включения можно использовать при равномерной загрузке фаз, когда во всех фазах включены одинаковые активные и реактивные сопротивления. При этом фазные токи будут равны и сдвинуты относительно напряжения на равные углы. Получится симметричная система при которой фазные токи сдвинуты относительно друг друга на 120° и ток в нулевом проводе равен нулю. Обычно по такой схеме включают трехфазные двигатели.



Фазное напряжение

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} \sqrt{3}$$

Фазный и линейный токи

$$I_{\phi} = I_{\text{л}} = U_{\text{л}} / Z$$

Активная мощность фазы

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}$$

Реактивная мощность фазы

$$Q_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi_{\phi}$$

Активная мощность цепи

$$P = \sqrt{3} U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi} = \sqrt{3} I_{\text{л}} U_{\text{л}} \cos \varphi_{\phi}$$

Реактивная мощность цепи

$$Q = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi_{\phi}$$

Полная мощность цепи

$$S = \sqrt{3} U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}$$

При обрыве одного из линейных проводов (перегорании предохранителя), например в проводе А, напряжение на фазе приемника А равно нулю, так как при обрыве провода ток равен нулю. Между зажимами перегоревшего провода появится напряжение :

$$U_{\text{между концами оборванного провода}} = \sqrt{3} E_{\text{а}} / 2$$

Напряжение на фазе В

$$U_{\text{В}} = U_{\text{ВС}} / 2$$

Напряжение на фазе С

$$U_{\text{С}} = U_{\text{ВС}} / 2$$

При коротком замыкании на одной из фаз (например А):

Напряжение на фазе приемника А равно нулю

Напряжение на фазе приемника В

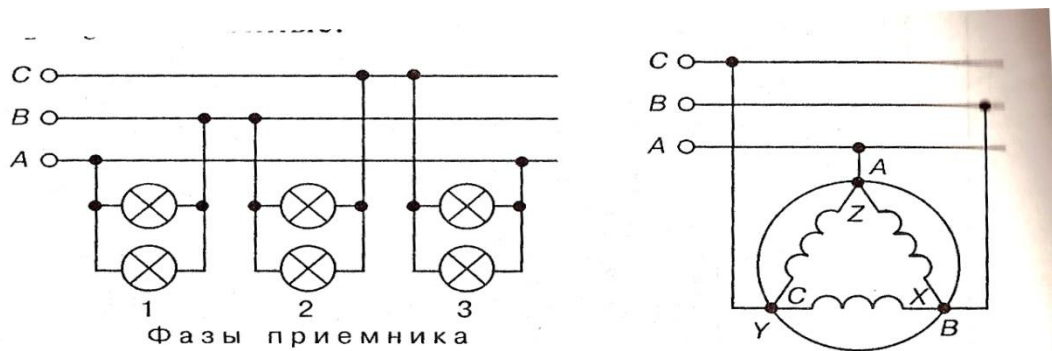
$$U_{\text{В}} = - U_{\text{АВ}}$$

Напряжение на фазе приемника С

$$U_{\text{С}} = U_{\text{СА}}$$

То есть при коротком замыкании приемника в одной фазе напряжения на других фазах приемника возрастают в $\sqrt{3}$ раз.

Схема соединения «треугольником»



Каждая фаза нагрузки присоединяется к двум линейным проводам идущих от источника, т.е. включается на линейное напряжение, которое одновременно также будет и фазным напряжением

$$U_{\text{ф.пот}} = U_{\text{л}}$$

Фазные напряжения равны линейным, и не зависят от сопротивления в фазах. При отсутствии нагрузки тока нет.

Линейные токи Согласно первому закону Кирхгофа для узлов А, В и С соответственно равны:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} \quad I_B = I_{BC} - I_{AB} \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

При равномерной нагрузке фаз в схеме «треугольник» линейный ток больше фазного тока в $\sqrt{3}$ раз.

Следовательно при переключении приемников со «звезды» на «треугольник» фазные токи возрастают $\sqrt{3}$ раз, линейные токи в 3 раза, активная мощность в 3 раза.

В трехпроводной трехфазной сети (при схемах «звезда» без нулевого провода и «треугольник») алгебраическая сумма мгновенных значений токов в любой момент времени равна нулю поэтому такие токи совместно не создают магнитного поля. Это дает возможность такие системы прокладывать в металлических трубах или использовать кабели с металлической броней. Так как в металлических конструкциях не будут создаваться вихревые токи, а значит и не будет перегрева.

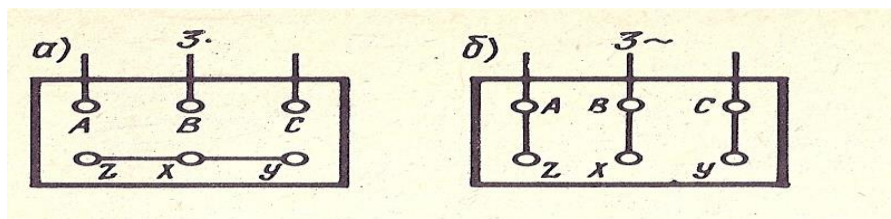
Включение в трехфазную сеть двигателей

Обмотки трехфазных двигателей изготавливаются на номинальные фазные напряжения 127, 220 и 380 В. Каждый трехфазный двигатель может быть включен или «звездой» в трехфазную сеть с линейным напряжением, превышающим его фазное в 3 раз, или треугольником, если линейное напряжение сети равно номинальному фазному напряжению его обмотки. На паспорте указывают

Треугольник - 220 В

Звезда 380 В

Установка перемычек на клеммной щитке двигателя в зависимости от схемы соединения:



Электрические измерения

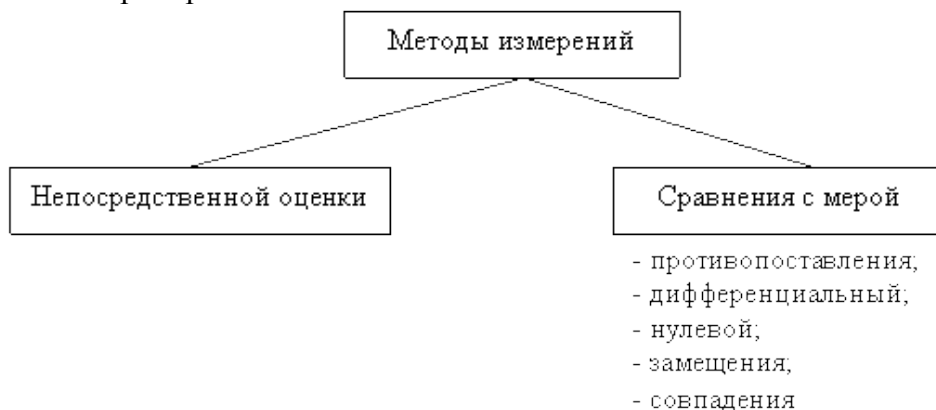
Измерить какую-либо величину – это значит сравнить ее с другой условно принятой за единицу.

Методы измерений

Метод измерения – это способ экспериментального определения значения физической величины, т. е. совокупность используемых при измерениях физических явлений и средств измерений.

Метод непосредственной оценки заключается в определении значения физической величины по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия. Например – измерение напряжения вольтметром.

Этот метод является наиболее распространенным, но его точность зависит от точности измерительного прибора.



Метод сравнения с мерой – в этом случае измеряемая величина сравнивается с величиной, воспроизводимой мерой. Точность измерения может быть выше, чем точность непосредственной оценки.

Средства измерений

Средство измерений – техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений

1. **Мера** – вещественное воспроизведение единицы измерения или ее дробного или кратного. Меры разделяются на эталонные, образцовые и рабочие.
2. **Измерительные приборы.**

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия человеком

В приборах непосредственной оценки (показывающих) измерительная величина вызывает угловое или линейное перемещение подвижной части, и отсчет производится непосредственно по шкале.

В приборах сравнения измерения осуществляются путем сравнения измеряемой величины с какой либо образцовой мерой или эталонной (мосты для измерения сопротивлений).

3. **Вспомогательные приборы** (выпрямители, шунты, добавочные резисторы и т.д.).

Действие показывающих измерительных приборов основано на различных действия электрического тока (магнитных, тепловых).

В зависимости от принципа действия приборы относятся к различным системам: магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, тепловые и т.д.

Точность приборов – степень приближения измеряемой величины к ее действительному значению.

Для оценки точности приборов используют понятия:

Абсолютная погрешность - разность между найденным и действительным значениями

$$\Delta = A_d - A_n$$

Относительная погрешность –отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, взятое в процентах

$$\beta = \frac{\Delta}{A} 100\%$$

Приведенная погрешность - отношение абсолютной погрешности к пределу измерения прибора

$$\gamma = \frac{\Delta}{|A_{max}| - |A_{min}|} 100\%$$

Класс точности – наибольшая приведенная погрешность:

0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4

Дополнительные погрешности могут возникать за счет:

1. Отклонения от предусмотренной температуры
А- (+10 - +35 °С) закрытые отапливаемые помещения
Б- (-30 - +40°С) закрытые неотапливаемые помещения
В₁ – (-40 - + 50°С)
В₂ – (-50 - + 60°С)

Буква А на шкале прибора не ставится.

2. Влияния внешних магнитных полей
I II III
3. Влияния частоты измеряемых величин от частоты 50 Гц.
4. Неправильной установки прибора

Общие детали измерительных приборов

Корпус- для защиты прибора от механических воздействий. Если корпус металлический то он дополнительно является экраном.

Шкала

На ней наносятся отметки, вдоль которой перемещается стрелка или другой указатель. Изготавливается из цинк, латуни, оклеивается бумагой или покрывается краской. А затем наносятся отметки. Может быть равномерная или неравномерная. Для устранения параллакса зрения дополняется зеркальной полосой.

На шкале даются краткие сведения о приборе:

- Завод изготовитель
- Год изготовления
- ГОСТ по которому выпущен прибор
- Марка прибора
- Система прибора
- Буквенные символы измеряемых величин А (амперметр), V (вольтметр), Ω (омметр), W (ваттметр)
- Род тока, при котором он может применяться
- Испытательное напряжение при котором проверялась изоляция прибора
- Класс точности
- Положение прибора
- Температурный показатель
- степень защиты от внешних магнитных полей
- Частота тока

Отсчетное приспособление – стрелка или световой луч

Стрелки по форме бывают копьевидные или ножевидные. Изготавливаются из стекла или дюралюминия. Крепятся на оси прибора при помощи втулки. Для того чтобы центр тяжести приходился на ось устанавливают балансные грузики.

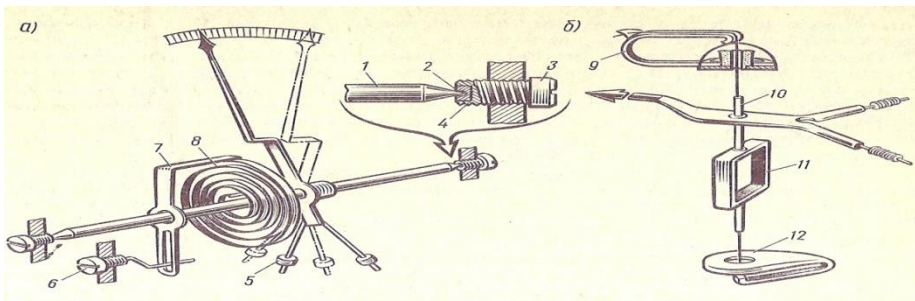
Для увеличения чувствительности применяют световой отсчет. Жестко на корпусе укрепляется лампа небольшой мощности, линзу, а на оси прибора зеркальце.

Крепление подвижной части осуществляют на опорах, подвесках и растяжках.

При креплении на опорах подвижную часть размещают на оси диаметром 1-2 мм. Ось заканчивается керном. Керн упирается в камень подпятника (синтетический рубин). Само тело подпятника представляет собой винт.

Недостаток: наличие трения в опоре.

При креплении на растяжках ось растягивают тонкими бронзовыми нитями из твердых сортов бронзы.



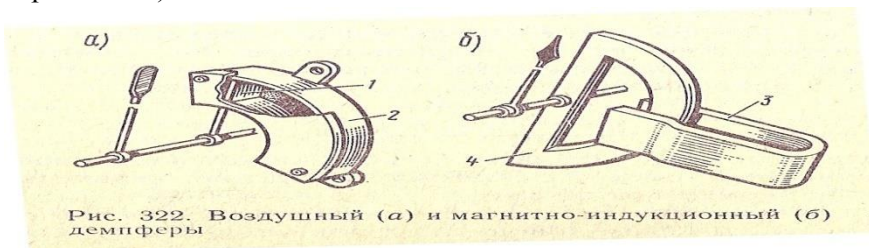
Противодействующий механизм служит для возврата стрелки в исходное положение. Выполняется из пружины, один конец которой жестко соединен с осью, а второй прикреплен к корректору.

Корректор —служит для установки стрелки на нуль.

Успокоители служат для успокоения стрелки. Время успокоения не должно превышать 4 секунды.

Временем успокоения считается с момента подключения к прибору измеряемой величины до момента, когда амплитуда колебаний стрелки не будет превышать 1% длины шкалы.

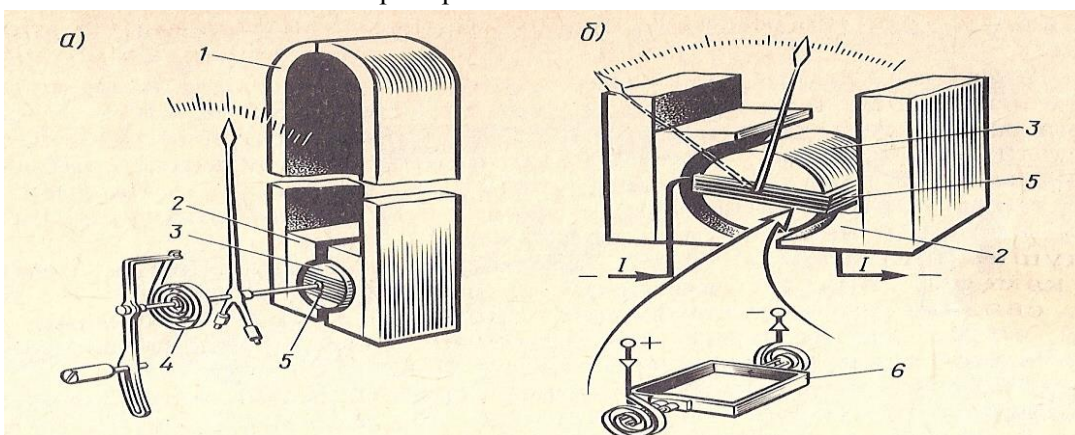
Успокоители бывают воздушные (внутри цилиндрической камеры перемещается поршень, связанный с подвижной системой) и магнитоиндукционные (на подвижной части размещают алюминиевый сектор, который при повороте пересекает полюса неподвижно закрепленного магнита. При этом в секторе создается вихревой ток. При взаимодействии поля постоянного магнита и поля вихревого тока происходит торможение).



Приборы магнитоэлектрической системы

Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и магнитного поля тока протекающего по катушке.

Состоит из постоянного магнита, снабженного полюсными надставками, между которыми укреплен стальной сердечник. Между сердечником и полюсными надставками помещена подвижная катушка, намотанная на алюминиевый каркас, катушка выполнена из тонкого алюминиевого провода и укреплена на оси. Ток на катушку подается через пружины противодействующего механизма. Для успокоения использован алюминиевый каркас рамки.



При прохождении тока по катушке на каждый из ее проводников будет действовать электромагнитная сила. Суммарное действие всех электромагнитных сил создает вращающий момент

$$M_{вр} = B S \omega I$$

B – магнитная индукция

S – площадь сечения рамки

ω – число витков

I – ток

Момент противодействия, созданный пружиной

$$M_{пр} = K \alpha$$

α - угол поворота

K – коэффициент, учитывающий свойства пружины

M момент равновесия

$$M_{вр} = M_{пр}$$

$$\alpha = \frac{B S \omega}{K} I$$

$$\frac{B S \omega}{K} = S_I - \text{чувствительность прибора по току}$$

Применяются в качестве амперметров, вольтметров, омметров.

Достоинства:

1. Шкала прибора равномерная.
2. Температура окружающей среды не влияет на показания прибора (при снижении температуры B увеличивается, а K – снижается).
3. Незначительное влияние внешних магнитных полей, так как сильное собственное магнитное поле.
4. Маленькая потребляемая энергия. Это самые чувствительные приборы.

Недостатки:

1. Возможно применение только в цепях постоянного тока. В цепях переменного тока для измерений необходимо подключать выпрямитель.
2. Чувствителен к перегрузкам. Для расширения предела измерений к прибору необходимо подключать шунты или добавочные сопротивления.
3. Сложные по конструкции и дорогостоящие.

Расширение пределов измерения

Амперметр

Для расширения пределов измерения по току применяют шунты. Шунт это сопротивление которое подключают к прибору параллельно. Изготавливают шунт из манганиновых стержней или пластин.

Шунт имеет четыре зажима. Крайние –токовые , при помощи них подключаются в цепь.

Внутренние- потенциальные, к ним подключается измерительный механизм.

Шунты бывают внутренние на токи до 20 А (индивидуальные для работы с одним прибором), и внешние. На шунте указывается номинальный ток, номинальное напряжение и класс точности



$$I_A / I_{ш} = R_A / R_{ш}$$

$$I = I_A + I_{ш}$$

$$I_A / I - I_A = R_{ш} / R_A$$

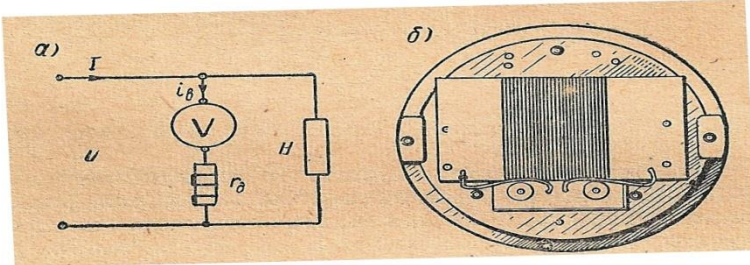
$$I = I_A (R_A + R_{ш}) \setminus R_{ш} = I_A K_{ш}$$

$$K_{ш} = R_A + R_{ш} \setminus R_{ш} = I / I_A$$

Вольтметр

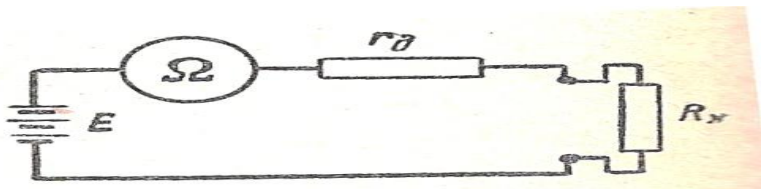
Для расширения пределов измерения по напряжению применяются добавочные сопротивления. Добавочное сопротивление включают последовательно с измерительным механизмом и изготавливают из манганиновой проволоки.

$$U = U_v (R_d + R_v) / R_v$$



Омметр

Прибор для измерения сопротивления. К измерительному механизму подключается источник питания (сухая батарея). В цепь последовательно включены: измеряемое сопротивление, добавочное сопротивление, ограничивающее ток и прибор магнитоэлектрической системы.



Из схемы имеем :

$$I = U / R_v + R_d + R_x$$

$$R_v + R_d = R$$

$$I = \alpha C_i$$

$$U R + R_x C_i \alpha$$

$$\alpha = U / C_i \cdot 1 / R + R_x$$

если $U / C_i = \text{const}$ и $R = \text{const}$

$$\text{то } \alpha = f(1/R_x)$$

если $R_x = 0$ то $\alpha = \infty$, а если $R = \infty$ то $\alpha = 0$

Шкала прибора градуирована в омах.

Величина напряжения непостоянная. Для того чтобы величина U / C_i оставалась постоянной применяют регулируемое сопротивление или магнитный шунт. Перед каждым измерением сначала при помощи регулятора «Установка нуля» при замкнутом внешнем сопротивлении стрелка прибора устанавливается в нулевую позицию. Этим устраняются погрешности, возникающие по причине изменения ЭДС батареи.

Приборы электромагнитной системы

Принцип действия основан на взаимодействии магнитного поля, созданного током, проходящим по катушке с ферромагнитным сердечником.

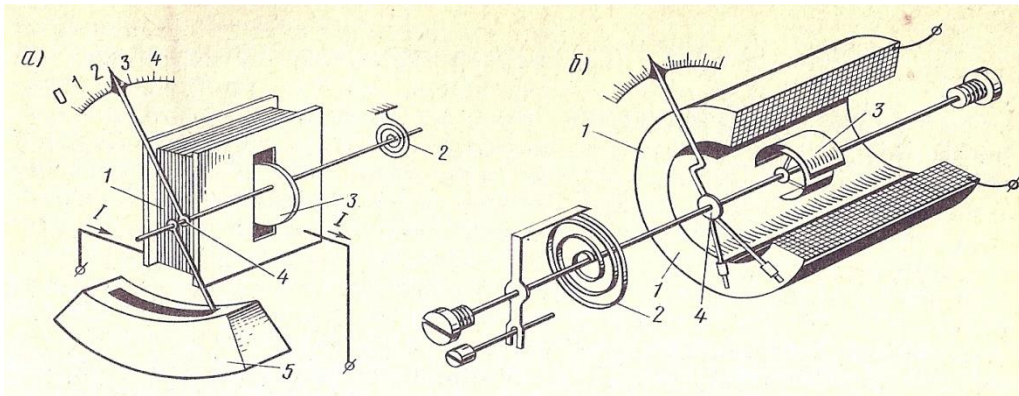
Основными элементами являются катушка и стальной сердечник, эксцентрично насаженный на ось.

Приборы бывают двух видов с плоской и круглой катушками.

В приборах с плоской неподвижной катушкой против выреза на оси расположен сердечник (из электротехнической стали). На этой же оси находится стрелка с противовесом, пружина, поршень воздушного успокоителя. При прохождении тока сердечник втягивается внутрь катушки.

В приборах с круглой катушкой внутри проходит ось, на которой расположен подвижный сердечник закрепленный неподвижно, а другой сердечник жестко соединен с катушкой. При прохождении тока сердечники намагничиваются одинаковой полярностью и отталкиваются. Угол отклонения

$$\alpha = C I^2$$



Используются в качестве амперметров и вольтметров.

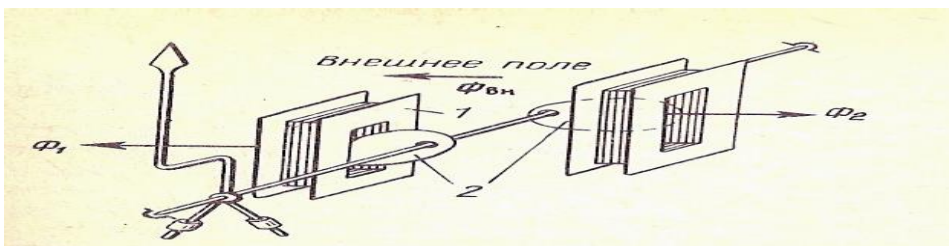
Достоинства:

1. Простота конструкции и небольшая стоимость.
2. Возможность применения в цепях постоянного и переменного тока.
3. Способность к перегрузкам.

Недостатки:

1. Неравномерная шкала.
2. Большая потребляемая мощность.
3. Значительное влияние внешних магнитных полей.

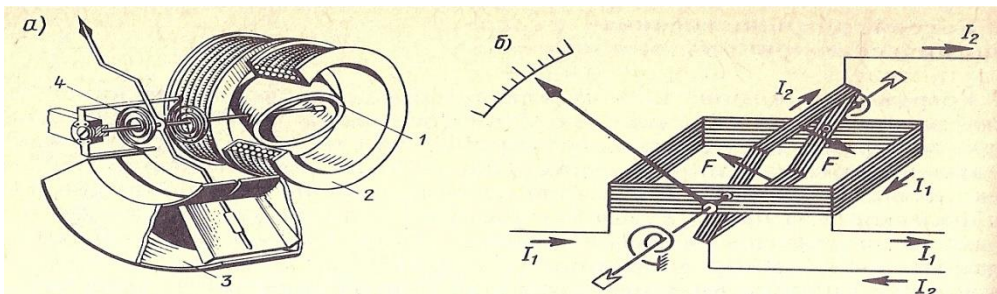
Для устранения влияния внешних магнитных полей используют экранирование или астатический механизм.



Две катушки соединяют последовательно и располагают по разным сторонам оси. Против выреза каждой катушки находится по сердечнику. Намотка катушек осуществляется таким образом, что магнитные поля катушек направлены в разные стороны, а вращающие моменты действуют в одну сторону. При этом равномерное внешнее магнитное поле в одной катушке усиливает магнитный поток, а в другой ослабляет.

Приборы электродинамической системы

Принцип действия основан на взаимодействии магнитных полей двух катушек с током. Измерительный механизм состоит из двух катушек



Неподвижная катушка разделена на две, для того чтобы внутри создавалось более равномерное магнитное поле. Внутри на оси располагается бескаркасная подвижная катушка, концы которой выводятся через спиральные пружины, которые одновременно служат противодействующим механизмом и токоподводящих проводников. Противоположные концы пружин соединены с неподвижной катушкой. Схема соединения катушек зависит от назначения прибора. На этой же оси прикреплена указательная стрелка на нижнем конце которой находится крыло воздушного успокоителя.

По принципу действия приборы электродинамической системы похожи на приборы магнитоэлектрической системы, а отличие состоит в том что магнитное поле создается не постоянным магнитом а измеряемым током, проходящим по неподвижной катушке.

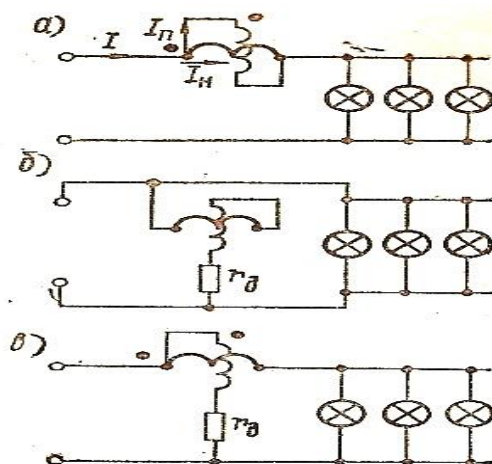
Достоинства прибора:

1. Высокая степень точности.
2. Возможность применения в цепях постоянного и переменного тока.
3. Возможность приближения шкалы к равномерной.

Недостатки прибора:

1. Зависимость показаний прибора от действия внешних магнитных полей.
2. Чувствительность к перегрузкам.
3. Высокая стоимость.

Приборы применяются в качестве амперметров, вольтметров и ваттметров.



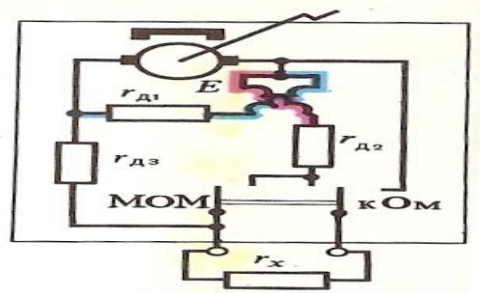
Измерение мощности

Используются приборы электродинамической системы, имеющей две измерительные цепи: цепь тока- неподвижную катушку, включаемую как амперметр последовательной цепь напряжения- состоящих из подвижной катушки и добавочного сопротивления соединенных последовательно и включенных в измерительную цепь параллельно. При таком соединении ток неподвижной катушки равен измеряемому току, а на подвижной катушке создается напряжение равное измеряемому. В результате этого вращающий момент ваттметра пропорционален

Мегомметр применяют для измерения сопротивления изоляции. Эти приборы снабжаются собственными генераторами- индукторами. Индуктор состоит из постоянного магнита, между полюсами которого вращается якорь за счет рукоятки и редуктора, повышающего обороты.

Напряжение, вырабатываемое генератором, подается на измеритель, состоящий из двух жестко скрепленных катушек, расположенных под углом 90° друг к другу. Электрические цепи катушек параллельны. В цепь катушки 1 включено сопротивление R . В цепь катушки 2 измеряемое

сопротивление. На подвижную часть прибора действуют два вращающих момента, направленные в разные стороны.



Трансформаторы

1. Назначение и область применения

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две и более индуктивно связанные обмотки и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции первичной системы переменного тока во вторичную систему переменного тока.

Трансформаторы могут преобразовывать напряжение, ток, число фаз, формы кривых напряжения и тока, частоту.

Классифицируют трансформаторы по нескольким признакам:

по назначению разделяются на силовые общего назначения и трансформаторы специального назначения;

по виду охлаждения – с воздушным (сухие трансформаторы) и масляным охлаждением;

по числу трансформируемых фаз – однофазные и трехфазные;

по числу обмоток на фазу – двухобмоточные и многообмоточные;

по форме магнитопровода – стержневые, броневые, бронестержневые, тороидальные.

Силовые трансформаторы общего назначения применяются в линиях передачи и распределения энергии, а также в различных электроустройствах для получения требуемого напряжения.

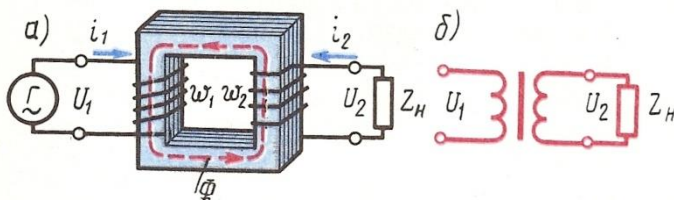
Передача электроэнергии на дальние расстояния осуществляется при высоком напряжении, благодаря чему значительно уменьшаются электрические потери в линии электропередачи.

Получить такое высокое напряжение в генераторе невозможно, поэтому электроэнергия после генератора подается на повышающий трансформатор, а котором напряжение увеличивается до требуемого значения. Это напряжение должно быть тем выше, чем больше протяженность линии и чем больше передаваемая по этой линии мощность. В местах распределения электроэнергии между потребителями устанавливают понижающие трансформаторы, которые понижают напряжение до требуемого значения. И наконец, в местах потребления электроэнергии напряжение еще раз понижают посредством трансформаторов до 220, 380 В.

К специальным трансформаторам относятся сварочные, умножители частоты, измерительные и.д.

2. Принцип действия трансформаторов

Простейший силовой трансформатор состоит из магнитопровода, выполняемого из ферромагнитного материала (обычно листовая электротехническая сталь), и двух обмоток, расположенных на стержнях магнитопровода. Одна из обмоток, которую называют первичной, присоединена к источнику переменного тока с напряжением U_1 . К другой обмотке подключен потребитель.



Первичная и вторичная обмотки трансформатора не имеют электрической связи друг с другом, и мощность с одной обмотки в другую передается электромагнитным путем. Магнитопровод, на котором расположены обмотки, служит для усиления индуктивной связи между обмотками.

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции.

При прохождении переменного тока по первичной обмотке создается переменный магнитный поток, который замыкаясь по магнитопроводу пересекает эти обмотки, создавая в них индуцируемые ЭДС:

В первичной обмотке ЭДС самоиндукции $E_1 = e w_1$

Во вторичной обмотке ЭДС взаимоиндукции $E_2 = e w_2$

e — ЭДС создаваемая в одном витке

$w_1 w_2$ — число витков в первичной и вторичной обмотках

$$E_1 / E_2 = w_1 / w_2 = K$$

K — коэффициент трансформации может быть выражен как отношение числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки.

Если пренебречь падениями напряжения в первичной и вторичной обмотках трансформатора (не превышают 2-5% номинальных напряжений), то можно считать, что отношений напряжения первичной обмотки к напряжению вторичной обмотки, приблизительно равно отношению чисел их витков. Таким образом, подбирая число витков первичной и вторичной обмоток можно увеличить или уменьшить напряжение на приемнике.

При нормальной нагрузке трансформатора КПД составляет от 95% до 98%.

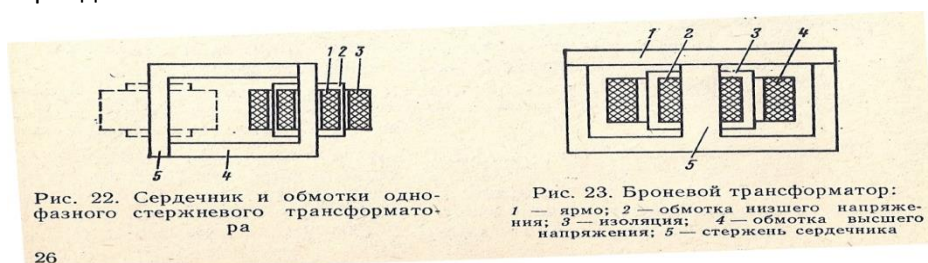
Поэтому мощность, получаемая первичной обмоткой от источника электроэнергии, не намного больше мощности отдаваемой вторичной обмоткой потребителю.

Напряжение на зажимах обмоток трансформаторов пропорционально числу витков обмоток, а отношение токов обратно пропорционально.

Поэтому в трансформаторах обмотки высшего напряжения выполняются из более тонких проводов, чем обмотки высокого напряжения.

3. Устройство трансформатора

Магнитопровод. Трансформаторы в зависимости от магнитопровода делятся на стержневые, броневые и тороидальные.



У стержневых более простая конструкция, легче осуществляется изоляция и ремонт обмоток, лучшие условия для охлаждения.

У броневых меньше масса и стоимость.

Магнитопроводы трансформаторов для уменьшения потерь от вихревых токов собирают из листов электротехнической стали толщиной 0,35 или 0,5 мм. Листы изолируют друг от друга тонкой бумагой, лаком или окаливают. Сверху сердечник перекрывается ярмом, который выполняют также из электротехнической стали. Активная часть стягивается в пакет при помощи крепежных и ярмовых валов, а также изолированными шпильками.

Обмотки. Первичную и вторичную обмотки для лучшей магнитной связи располагают как можно ближе друг к другу. На каждом срезе магнитопровода размещают либо обе обмотки концентрически одну поверх другой, либо обмотки выполняют в виде чередующихся дисковых секций. Непосредственно на сердечник накладывают обмотку низкого напряжения, далее через изолятор обмотку высокого напряжения.

Выводы от обмоток закрепляют на изоляторах и маркируют.

Обмотки низкого напряжения: начало а б с, конец х у z.

Обмотки высокого напряжения: начало А В С, конец X Y Z.

Система охлаждения. Способ охлаждения трансформатора зависит от его номинальной мощности. Естественное воздушное охлаждение применяют в трансформаторах малой мощности. В трансформаторах средней и большой мощности сердечник с обмотками помещают в бак, заполненный трансформаторным маслом. Оно обладает более высокой теплопроводностью, чем воздух, и создает дополнительную изоляцию. Масло во время работы нагревается и расширяется. Поэтому масляные трансформаторы дополняются расширителем, с масломерным стеклом. Бак связан с расширителем при помощи патрубка. Для увеличения площади охлаждения, в стенки бака вваривают радиаторы. Сверху бак закрывают крышкой. На крышке устанавливают изоляторы выводные от обмоток высокого и низкого напряжения.

4. Режимы работы трансформатора

Режим холостого хода. При разомкнутой вторичной обмотке трансформатор работает в режиме холостого хода. В первичной обмотке создается ЭДС самоиндукции, направленная встречно приложенному напряжению и почти равная приложенному напряжению. Ток в первичной обмотке маленький. С ростом приложенного напряжения ток пропорционально нарастает, но при определенном значении напряжения магнитная цепь трансформатора насыщается, и ток начинает быстро расти. Значительное увеличение напряжения выше номинального недопустимо.

Короткое замыкание.

Вторичная обмотка трансформатора накоротко закорачивается. При этом в ней начинает протекать большой ток, который в первичной обмотке создает ЭДС взаимоиндукции, совпадающей по направлению с приложенным напряжением. В результате ток в первичной обмотке резко увеличивается. Если короткое замыкание происходит в процессе эксплуатации трансформатора при номинальном напряжении, то в обеих обмотках возникают большие токи, превышающие номинальное значение в 10-20 раз, при этом повышается температура обмоток. Такое замыкание считается аварийным.

Нагрузочный режим.

При подключении нагрузки к вторичной обмотке он начинает отдавать нагрузке некоторую мощность. Соответственно увеличивается и мощность, получаемая первичной обмоткой. Следовательно, при увеличении тока во вторичной обмотке автоматически возрастает ток в первичной обмотке.

5. Регулирование напряжения трансформаторов

Ступенчатое регулирование. Производится путем изменения числа витков первичной или вторичной обмотки. Вторичную обмотку разбивают на ряд ступеней к выводам которых можно подключать приемники электрической энергии. Такой способ называется регулированием на стороне низшего напряжения.

Регулирование напряжения вторичной обмотки путем изменения числа витков первичной обмотки осуществляется только в сравнительно узких пределах.

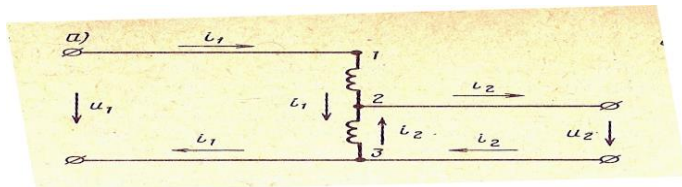
Регулировку напряжения вторичной обмотки можно также регулировать, изменяя напряжение, подаваемое на первичную обмотку. Для этой цели можно использовать автотрансформатор.

Такой способ называют регулирование на стороне высшего напряжения.

Регулирование напряжения путем подмагничивания сердечника. Такие трансформаторы кроме основного магнитопровода имеют шунт. Шунт подмагничивается постоянным током. За счет этого меняется магнитное сопротивление для переменного потока, создаваемого первичной обмоткой.

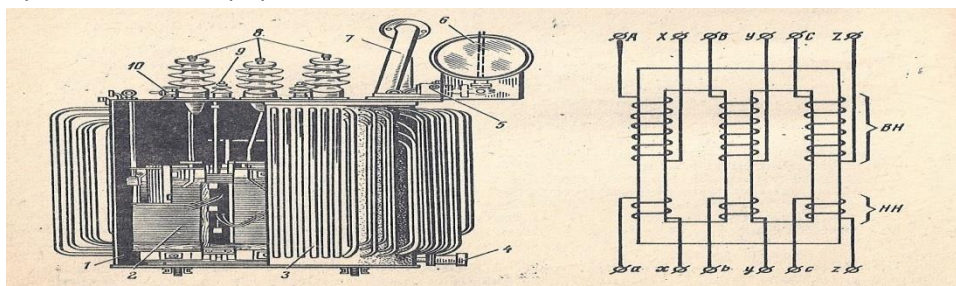
Автотрансформатор

Обмотка низшего напряжения составляет часть обмотки высокого напряжения. Основной недостаток заключается в том, что обмотки электрически связаны между собой и должны иметь одинаковую изоляцию по отношению к земле. Используются в случае, когда напряжения первичной и вторичной обмоток мало отличаются. Нельзя применять для связи цепей низкого и высокого напряжения.



Трехфазный трансформатор

Магнитопровод обычно имеет Ш-образную форму. На каждый стержень наносятся две обмотки высшего и низшего напряжения. Обмотки могут соединяться по схемам звезда, Звезда с выведенной нулевой точкой, треугольником.



Вращающееся магнитное поле

Электрические машины переменного тока подразделяются: асинхронные и синхронные. Принцип действия этих машин основан на использовании вращающегося магнитного поля. Если три обмотки, расположенные на статоре и сдвинутые по окружности на 120° подключить к сети трехфазного переменного тока возникнет неизменное по величине круговое двух полюсное магнитное поле, вращающееся в пространстве с постоянной частотой вращения равной частоте тока.

Для построения магнитного поля примем условие:

ток положительный - движение от начала к концу;

ток отрицательный - движение от конца к началу.

Картины магнитных полей, созданных токами в фазах обмотки статора в различные моменты времени: (работа выполнена на уроке)

При увеличении катушек на фазу (например, шести катушек, оси которых сдвинуты на 60° и включении их по приведенной ниже схеме) возникнет четырехполюсное магнитное поле. При этом частота вращения уменьшится в два раза.

В общем случае когда каждая фаза состоит из p катушек, оси которых сдвинуты друг от друга по окружности статора на угол $360^\circ/p$, а оси катушек разных фаз расположены под углами $120^\circ/p$ Возникает магнитное поле с частотой вращения

$$n_1 = 60 f_1 / p$$

f_1 – частота тока, Гц

p – число пар полюсов

При частоте трехфазного тока равной 50 герц синхронная частота вращения машин с различным числом полюсов будет равна

Число катушек на фазу	Число пар полюсов	Частота вращения n_1 , об/мин
1	1	3000
2	2	1500
3	3	1000
4	4	750
5	5	600
6	6	500

Если при подключении трехфазных обмоток статора поменять местами два фазных провода от катушек к зажимам магнитное поле будет вращаться в противоположную сторону.

Вращающееся магнитное поле можно получить также с помощью двух обмоток, сдвинутых по окружности на 90° , если пропустить по ним токи, сдвинутые по фазе на 90° . Такое магнитное поле используется в двухфазных двигателях.

Асинхронный двигатель

1. Принцип действия. Основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля, созданного трехфазным током статора и магнитным полем короткозамкнутого витка. Вращающееся поле статора индуцирует вихревой ток в короткозамкнутом витке, вокруг витка создается магнитное поле, которое сцепляется с магнитным полем статора. Суммарная сила приложенная к ротору образует электромагнитный момент увлекающий ротор за вращающимся магнитным полем. ЭДС индуцируемая в проводниках ротора, зависит от частоты их пересечения вращающимся полем т.е. от разности частот вращения магнитного поля n_1 и ротора n . Для характеристики отставания частоты вращения ротора двигателя от частоты вращения магнитного поля служит скольжение

$$S = \frac{(n_1 - n)}{n_1} \cdot 100\%$$

$$n = n_1 (1 - S)$$

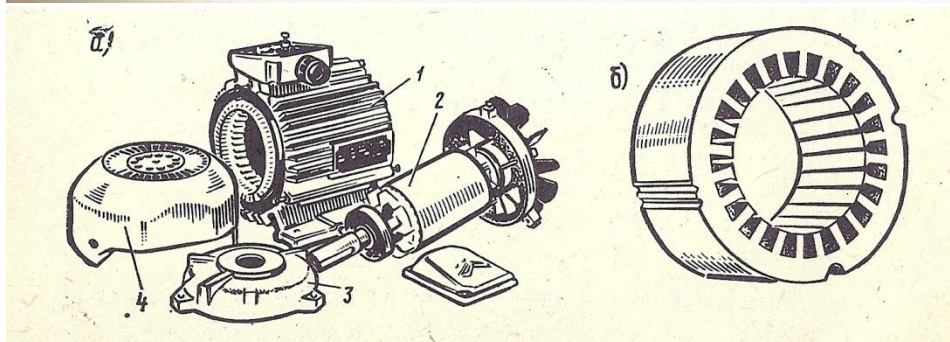
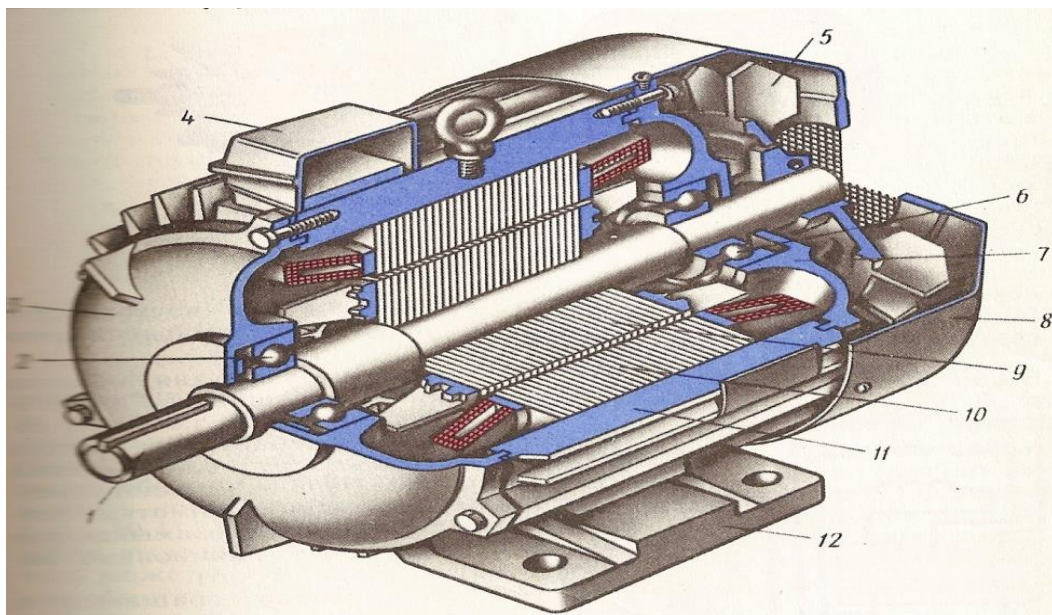
При номинальной нагрузке скольжение для двигателей:

средней мощности -2-4 %;

малой мощности 5-7,5 %.

2. Устройство асинхронных двигателей

а) асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором



Двигатель с короткозамкнутым ротором состоит из следующих частей: статор с трехфазной обмоткой, ротор с короткозамкнутой обмоткой и остов.

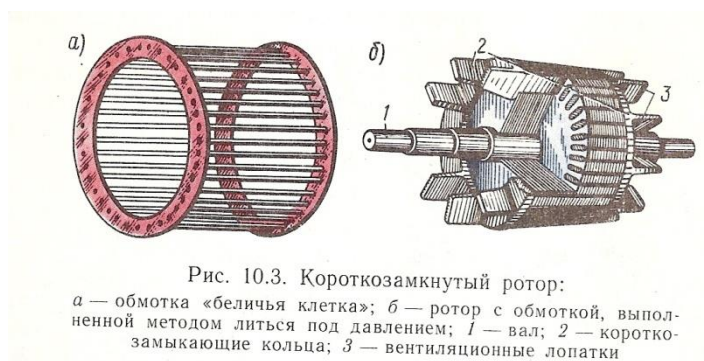
Статор состоит из сердечника, обмотки и корпуса. Сердечник статора, являющийся магнитопроводом. Имеет форму полого цилиндра с равномерно расположенными на внутренней стороне поверхности пазами осевого направления. Он представляет собой пакет, набранный и спрессованный из отдельных листов электротехнической стали изолированных друг от друга.

В пазах сердечника размещена трехфазная обмотка. Обмотка статора выполнена в виде ряда катушек из проволоки круглого сечения, Проводники, находящиеся в пазах, соединяются, образуя ряд катушек. Катушки разбивают на одинаковые группы по числу фаз, которые располагают симметрично вдоль окружности статора. В каждой такой группе все катушки электрически соединяются, образуя одну фазу обмотки. Проводники обмотки статора укрепляют в пазах текстолитовыми клиньями, которые закладывают у головок зубцов. Концы обмоток выводят на клемный щиток.

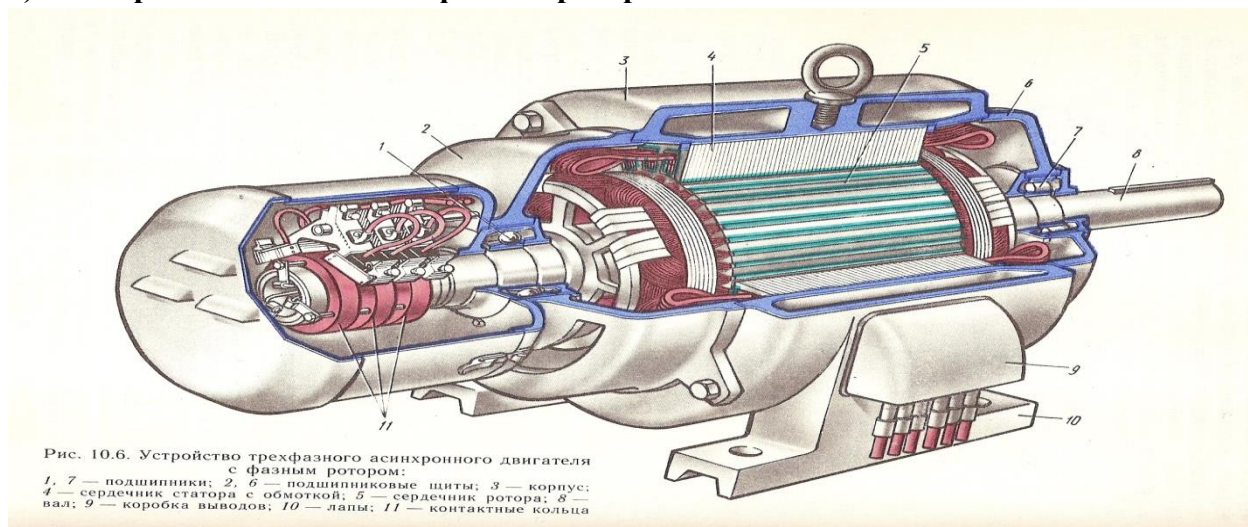
К корпусу статора крепят два подшипниковых щита с центральными отверстиями – гнездами для подшипников и крышками, в которых вращается вал ротора.

Остов имеет полый корпус. Его изготавливают из алюминиевого или чугунного сплава, в который запрессовывают сердечник статора

Ротор состоит из сердечника, обмотки и вала. Сердечник выполнен из листовой электротехнической стали, имеет форму цилиндра. Короткозамкнутую обмотку ротора выполняют заливкой под давлением расплавленного алюминия в пазы роторного пакета. Шины короткозамкнутой обмотки с двух сторон замыкают кольцами, также отлитыми из алюминия.



б) асинхронный двигатель с фазным ротором



Отличается от двигателя с короткозамкнутым ротором только конструкцией ротора. В пазы сердечника ротора укладывается трехфазная обмотка из изолированного медного провода, выполняемая по таким же схемам, что и обмотка статора. Обмотка ротора обычно соединяется в звезду, а три ее свободных конца выводят к укрепленным на валу трем медным или латунным контактным кольцам электрически изолированным между собой и от вала. С контактными кольцами, вращающимися при работе машины, соприкасаются подвижные щетки, установленные в щеткодержателях, которые закреплены на подшипниковом узле.

Режимы работы

- длительный режим
- повторно- кратковременный

Мощность, которую способен развивать приводной электродвигатель в изменившихся условиях (при этом чрезмерно не перегреваясь) с повторно- кратковременного режима на длительный снижется.

Механическая характеристика- зависимость между вращающим моментом на валу и частотой вращения. Двигатель при работе в номинальном режиме развивает номинальный вращающий момент, который полностью уравнивает момент сопротивления вращению, вызванный нагрузкой, ротор двигателя вращается с постоянной частотой. При возрастании нагрузки на двигатель момент сопротивления вращению увеличивается и становится больше чем вращающийся. Это приводит к постепенному снижению частоты вращения, но при этом вращающий момент растет. Оба момента опять уравниваются, и двигатель работает с постоянной частотой вращения, но несколько меньшей относительно номинальной.

Механическая характеристика двигателя в своей устойчивой части жесткая, т. е. частота вращения двигателя при изменении нагрузки меняется мало, а потребляемый двигателем ток быстро возрастает. Перегрузочная способность двигателей находится в пределах от 2 до 5.

Но если двигатель нагрузить так, что момент сопротивления вращению вала будет больше, чем максимальный момент вращения двигатель остановится (опрокинется). Это для двигателя опасно, так как сопровождается потреблением большого тока и быстрым нагревом. Двигатель необходимо немедленно отключить.

Чувствительность к изменению напряжения

Асинхронные двигатели очень чувствительны к изменению напряжения сети. Даже небольшое снижение напряжения на зажимах двигателя при его работе приводит к значительному уменьшению вращающего момента, который у асинхронных двигателей пропорционален квадрату напряжения. Если нагрузку при этом не снизить, потребляемый ток возрастет и двигатель перегреется. При чрезмерном повышении напряжения, также существенно возрастает ток. Поэтому при эксплуатации АД напряжение сети не должно отклоняться от номинального.

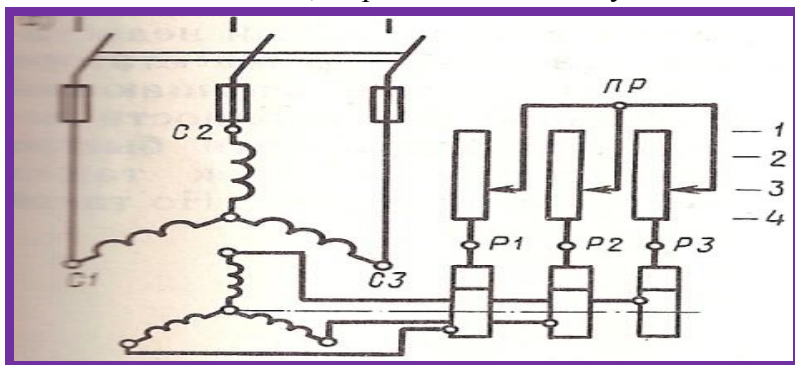
Пуск в ход асинхронных двигателей

В момент пуска ротор неподвижен, поэтому пересекается с максимальной скоростью что приводит к увеличению тока ротора, а за счет индуктивных связей и потребляемого тока статора. В результате пусковой ток больше номинального в 5-7 раз.

Используются следующие способы пуска: непосредственное подключение обмотки статора к сети, понижение напряжения, подводимого к обмотке статора при пуске, подключение к обмотке ротора пускового реостата.

-включения в цепь ротора пусковых реостатов

За счет включения в цепь ротора пусковых реостатов увеличивается активное сопротивление. В процессе пуска двигателя ступени ПР переключают таким образом, чтобы ток ротора оставался приблизительно неизменным, а среднее значение пускового момента было близко к наибольшему.



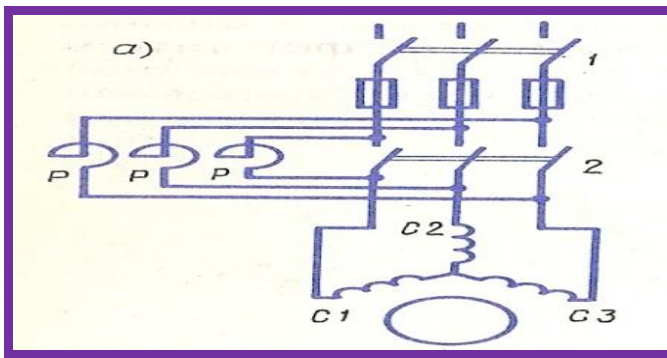
Пуск двигателей с короткозамкнутым ротором с глубокими пазами на роторе

Высота паза в 10-12 раз больше его ширины, наиболее эффективна бутылочная форма стержня ротора.

в момент пуска частота тока в роторе имеет наибольшее значение, возникает поверхностный эффект, и ток проходит по верхней части стержня, поперечное сечение которого намного меньше сечения всего стержня. Это увеличивает активное сопротивление при пуске. Что способствует росту пускового момента и снижает пусковой ток. По мере нарастания частоты вращения, частота тока в роторе убывает ($f_2 = S f_1$), ток распределяется по всему стержню.

Включение реакторов

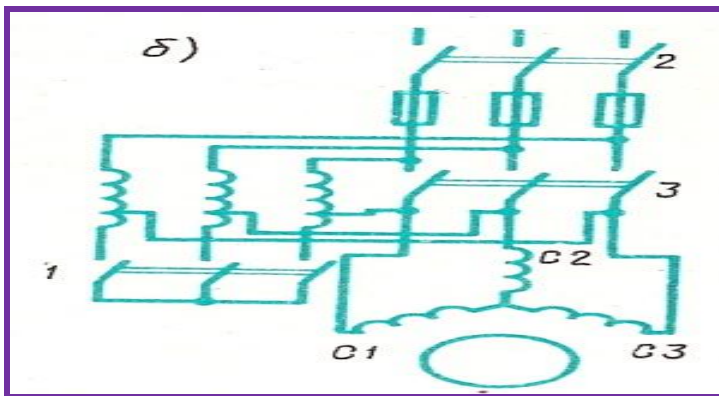
При разомкнутом рубильнике « включают рубильник 1. При этом ток из сети поступает в обмотку статора через реакторы, на которых происходит падение напряжения. После разгона ротора двигателя включают рубильник 2, и подводимое к обмотке статора напряжение оказывается номинальным.



Через понижающий автотрансформатор

Сначала замыкают рубильник 1, соединяющий обмотки автотрансформатора звездой, а затем включают рубильник 2 и двигатель оказывается включенным на пониженное напряжение. После первоначального разгона ротора рубильник 1 размыкают, и автотрансформатор превращается в реактор. Напряжение на обмотках статора повышается, но все же остается ниже номинального. После замыкания рубильника 3 на обмотках статора устанавливается номинальное напряжение.

Этот способ лучше предыдущих, но все же связан с уменьшением напряжения, а значит уменьшением и пускового момента.



Частота вращения ротора асинхронного двигателя

$$n_2 = n_1 (1 - S) = (f_1 60/p) (1 - S)$$

n_1 - скорость вращения магнитного поля

n_2 -скорость вращения двигателя

S - скольжение

f - частота тока

p - число пар полюсов

Регулирование частоты вращения АД

путем изменения подводимого напряжения

Диапазон регулирования небольшой, так как устойчивая зона работы двигателя. С увеличением номинального напряжения возникает перегрев, вызванный резким увеличением электрических и магнитных потерь. С уменьшением напряжения двигатель утрачивает перегрузочную способность.

Подводимое к двигателю напряжение изменяют либо регулировочным автотрансформатором, либо реакторами, включенными в разрыв линейных проводов

Используется только для двигателей с фазным ротором.

Изменением активного сопротивления в цепи ротора

С увеличением активного сопротивления возрастает скольжение, а частота вращения при этом уменьшается. Регулировочный реостат в цепи ротора включается также как пусковой, но рассчитан на длительный режим работы. Недостаток: понижение мощности, ухудшением условий вентиляции из-за снижения частоты вращения

Изменением частоты тока в статоре

Необходим источник питания с регулируемой частотой. Для сохранения неизменными перегрузочную способность, коэффициент мощности и КПД одновременно с изменением частоты необходимо изменять напряжение питания. Частотное регулирование позволяет плавно изменять частоту вращения в широком диапазоне

Изменением числа полюсов обмотки статора

Дает ступенчатое регулирование. Изменять число полюсов в обмотке статора можно либо укладкой на статоре двух обмоток с разным числом полюсов, либо укладкой на статоре одной обмотки, конструкция которой позволяет путем переключения катушечных групп получить разное число полюсов. При последовательном согласованном соединении двух катушек магнитное поле образует четыре полюса, при последовательном встречном или параллельном соединениях - два полюса. Применяется только в двигателях с короткозамкнутым ротором, так как число полюсов в обмотке ротора всегда равно числу полюсов в обмотке статора и для изменения частоты вращения достаточно изменить число полюсов в обмотке статора. В двигателях с фазным ротором пришлось бы применять полюсно переключаемую обмотку на роторе. Это усложнило бы конструкцию двигателя.

Реверсирование

Для изменения вращения двигателя необходимо изменить направление вращения магнитного поля статора, для чего поменять местами два фазных провода.

Синхронные машины

Синхронные машины – это бесколлекторные машины переменного тока. По своему устройству они отличаются от асинхронных машин лишь устройством ротора. Имеют синхронную частоту вращения при любой нагрузке. Синхронные машины обратимы и могут работать в режиме генератора и двигателя.

Принцип действия

На статоре располагается трехфазная обмотка, выводы которой выведены на клемный щиток. Эта часть машины называется якорем. А на роторе - полюсы с обмоткой, на которую через контактные кольца и щетки подается постоянный ток. Обмотка полюсов, создающая магнитный поток называется обмоткой возбуждения (индуктор).

С помощью приводного двигателя ротор генератора приводится во вращение с синхронной частотой. При этом магнитное поле ротора, также вращаясь, пересекает обмотку статора и наводит в ней ЭДС.

Возбуждение синхронных машин

Система возбуждения от генератора постоянного тока

В качестве источника постоянного тока для питания обмотки возбуждения может служить генератор постоянного тока с параллельным возбуждением (возбудитель), установленный на валу ротора синхронной машины.

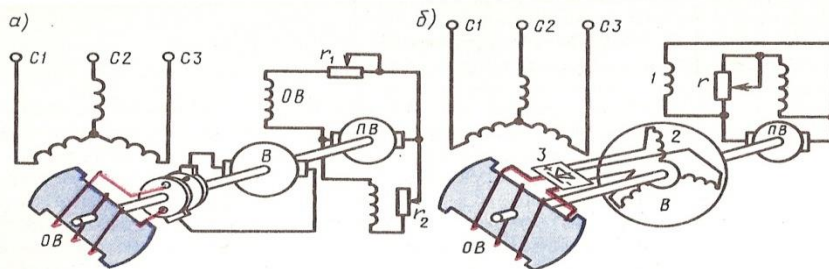


Рис. 19.1. Контактная (а) и бесконтактная (б) системы электромагнитного возбуждения синхронных генераторов

Система возбуждения от генератора переменного тока

Бесконтактная система. В качестве возбудителя применяют генератор переменного тока, у которого якорная обмотка расположена на роторе, а обмотка возбуждения на статоре. В результате обмотка якоря возбудителя и обмотка возбуждения синхронной машины оказываются вращающимися и их электрическое соединение осуществляется непосредственно без контактных колец и щеток. Так как для возбуждения требуется постоянный ток включение производят через выпрямитель.

Система самовозбуждения. Обмотка возбуждения получает питание от обмотки статора синхронного генератора через понижающий трансформатор и полупроводниковый выпрямительный преобразователь. При этом первоначальное возбуждение генератора происходит за счет остаточного магнетизма.

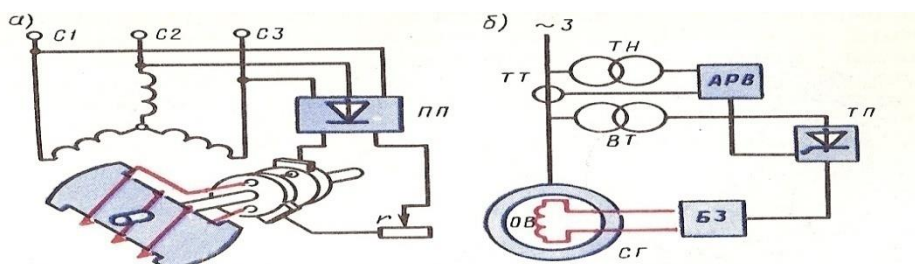


Рис. 19.2. Принцип самовозбуждения синхронных генераторов

Система возбуждения от дополнительной обмотки. На статоре кроме основной трехфазной обмотки располагают дополнительную обмотку, с меньшим числом витков. Концы дополнительной обмотки соединяют звездой, а начала подключают к выпрямителю. Постоянный ток с выпрямителя через щетки и контактные кольца подается на обмотку возбуждения.

Система автоматической системы самовозбуждения.

При этом используется выпрямительный трансформатор и тиристорный преобразователь, через которые энергия переменного тока из цепи статора после преобразования в постоянный ток подается в обмотку возбуждения. Управление тиристорным преобразователем осуществляется посредством автоматического регулятора возбуждения, на вход которого поступают сигналы напряжения на выходе СГ(через трансформатор напряжения ТН) и тока нагрузки СГ(от трансформатора тока ТТ). Схема содержит блок защиты, обеспечивающий защиту обмотки возбуждения и тиристорного преобразователя ТП от перенапряжений и токовой перегрузки.

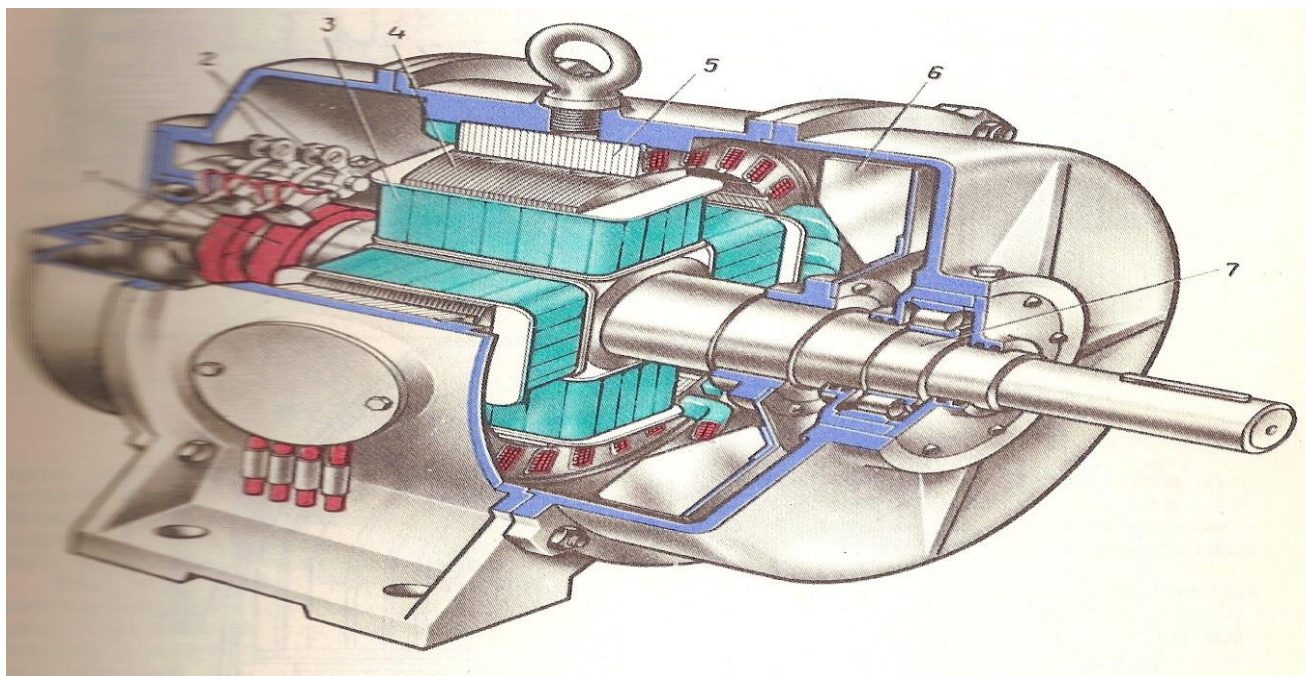
Устройство синхронной машины

Статор синхронной машины(если он является якорем) по конструкции не отличается от статора асинхронных машин.

Ротор бывает двух видов: явнополусный и неявнополусный.

Явнополусный используется с четырьмя и большим числом полюсов. Обмотка возбуждения выполняется в виде цилиндрической катушки прямоугольного сечения, которую укрепляют на сердечниках полюсов и укрепляют полюсными надставками. Сердечники полюсов и полюсные надставки выполняют из листовой электротехнической стали

Недостаток: низкая механическая прочность крепления полюсов и обмотки возбуждения.



В неявнополюсном роторе обмотка возбуждения размещается в пазах сердечника ротора, изготовленного из массивной стальной поковки, и укрепляется в них немагнитными металлическими клиньями. Лобовые части обмотки, на которые действуют значительные центробежные силы, крепят массивными стальными бандажами. Примерно 1/3 каждого полюсного деления ротора не имеет пазов, эти части образуют большие зубцы, через которые входит и выходит поток возбуждения.

Режимы работы генератора

Холостой ход

Характеристика холостого хода представляет собой график зависимости напряжения на выходе генератора от тока возбуждения при постоянной скорости вращения ротора.

$$E_0 = C_E \Phi_B n_1$$

C_E – постоянная величина, зависящая от конструкции машины;

Φ_B – магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения;

n_1 – частота вращения ротора

Регулирование напряжения и частоты

ЭДС регулируется двумя способами:

- изменением частоты вращения;
- изменением магнитного потока возбуждения.

Частота индуцированной ЭДС зависит:

$$f_1 = \frac{p n}{60}$$

p – частота вращения ротора

P – число пар полюсов

Работа машины при нагрузке

При подключении к якору нагрузки, в цепи якоря появляется ток, который создает вращающееся магнитное поле. При этом поток якоря и поток обмоток возбуждения вращаются с одинаковой скоростью и создают результирующий поток.

Поэтому ЭДС будет отличаться от ЭДС при холостом ходе

$$E = C_E \Phi_{рез} n_1$$

Реакция якоря

Воздействие потока якоря на результирующий поток синхронной машины называется реакцией якоря. Так как под действием реакции, изменяется результирующий поток, то происходит изменение напряжения. Напряжение генератора будет зависеть от тока якоря и его

сдвига фаз относительно напряжения. Синхронные генераторы работают, как правило, на смешанную нагрузку.

-активная нагрузка

При активной нагрузке магнитный поток якоря размагничивает одну половину каждого полюса и подмагничивает другую. Результирующий магнитный поток из-за насыщения магнитной цепи ослабляется, это ведет к уменьшению ЭДС машины.

- индуктивная нагрузка

Реакция якоря оказывает продольно-размагничивающее действие. Напряжение генератора уменьшается.

- емкостная нагрузка

Реакция якоря оказывает продольно – намагничивающее действие.

Напряжение генератора увеличивается.

- смешанная нагрузка

При токе нагрузки отстающим по фазе от ЭДС создается размагничивающее действие и уменьшение напряжения. При токе нагрузки, опережающем по фазе ЭДС - подмагничивающее, и увеличение напряжения.

Из-за значительной реакции якоря изменение напряжения в синхронных генераторах может составлять 25-35% от номинального напряжения. Поэтому требуется применение специальных устройств, для стабилизации выходного напряжения.

Потери мощности

Электрические потери в обмотках статора и ротора

Магнитные потери в стальных сердечниках

Механические потери в трущихся элементах (подшипниках, вентиляторах)

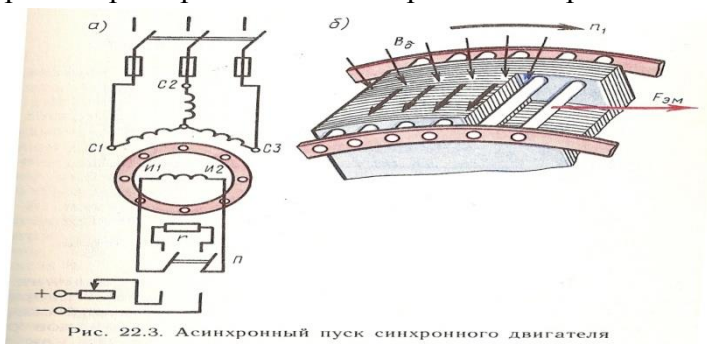
Синхронный двигатель

Принцип действия основан на взаимодействии вращающего магнитного поля, созданного током, проходящим по трехфазной статорной обмотке якоря и поля, созданного током обмотки возбуждения.

Скорость вращения двигателя равна скорости вращения магнитного поля и остается всегда постоянной независимо от нагрузки.

Пуск в ход

Синхронный двигатель не имеет пускового момента. При подключении трехфазного тока к статору создается вращающее магнитное поле, которое пересекая неподвижный ротор. К ротору подключен постоянный ток и за счет вращающегося магнитного поля в нем создается вихревой ток. Для пуска двигателя его необходимо разогнать с помощью внешнего момента до частоты вращения близкой к синхронной. Для этого применяют метод асинхронного пуска, т.е на роторе размещают асинхронную обмотку виде беличьей клетки. Двигатель запускается как асинхронный и только после его разгона к обмотке ротора подключают источник постоянного тока. Для того чтобы в момент пуска в обмотке возбуждения не произошел пробой изоляции за счет индуцированной ЭДС ее замыкают на резистор сопротивление которого в 8-12 раз



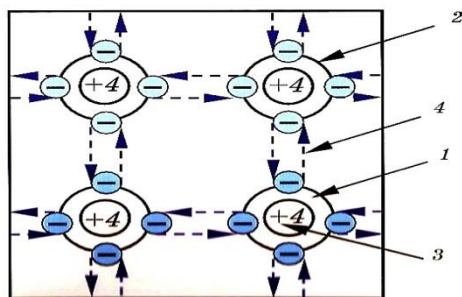
больше сопротивления обмотки.

Полупроводники – это элементы занимающие среднее место между диэлектриками и проводниками. Удельное сопротивление полупроводников убывает с повышением температуры, наличием примесей, изменением освещенности. По этим свойствам они разительно отличаются от металлов. Типичными полупроводниками являются кристаллы германия и кремния, селена арсенида галлия, фосфита галлия и др.

У диэлектриков запрещенная зона больше, чем у полупроводников, а у проводников разрешающие зоны сливаются.



Полупроводники как и металлы имеют кристаллическую решетку. Связь атомов возникает при парном объединении валентных электронов. Для примера рассмотрим кристалл кремния. Кремний—четырехвалентный элемент. Это означает, что во внешней оболочке атома имеются четыре электрона, сравнительно слабо связанные с ядром. Число ближайших соседей каждого атома кремния также равно четырем. Взаимодействие пары соседних атомов осуществляется с помощью ковалентной связи. В образовании этой связи от каждого атома участвуют по одному валентному электрону, которые отщепляются от атомов и при своем движении большую часть времени проводят в пространстве между соседними атомами. Их отрицательный заряд удерживает положительные ионы кремния друг возле друга. Каждый атом образует четыре связи с соседними, и любой валентный электрон может двигаться по одной из них. Дойдя до соседнего атома, он может перейти к следующему, а затем дальше вдоль всего кристалла.



Валентные электроны принадлежат всему кристаллу. Ковалентные связи кремния достаточно прочны и при низких температурах не разрываются. Поэтому кремний при низкой температуре не проводит электрический ток. Участвующие в связи атомов валентные электроны прочно привязаны к кристаллической решетке, и внешнее электрическое поле не оказывает заметного влияния на их движение.

В полупроводниках носителями заряда являются отрицательно заряженные электроны и положительно заряженные «дырки». «Дырка»- это место откуда ушел электрон.

В полупроводниках носители заряда возникают лишь при воздействии дополнительной энергии (тепловой, лучистой, механической и т.д.). При этом ковалентные связи разрушаются.

Виды проводимости полупроводников

-электронная проводимость

При нагревании кремния кинетическая энергия частиц повышается, и наступает разрыв отдельных связей. Некоторые электроны покидают свои орбиты и становятся свободными, подобно электронам в металле. В электрическом поле они перемещаются между узлами решетки, образуя электрический ток. Проводимость полупроводников обусловленную наличием свободных электронов, называют электронной

проводимостью. При повышении температуры число разорванных связей, а значит, и свободных электронов увеличивается.

-дырочная проводимость.

При разрыве связи образуется вакантное место с недостающим электроном.

Его называют дыркой. В дырке имеется избыточный положительный заряд по сравнению с остальными, нормальными связями. Положение дырки в кристалле не является неизменным. Непрерывно происходит следующий процесс. Один из электронов, обеспечивающих связь атомов, перескакивает на место образовавшейся дырки. А там, откуда перескочил этот электрон, образуется новая дырка. Таким образом, дырка может перемещаться по всему кристаллу.

Если напряженность электрического поля равна нулю, то перемещение дырок, равноценное перемещению положительных зарядов, происходит беспорядочно и поэтому не создает электрического тока. При наличии электрического поля возникает упорядоченное перемещение дырок, и, таким образом, к электрическому току свободных электронов добавляется электрический ток, связанный с перемещением дырок. Направление движения дырок противоположно направлению движения электронов.

В идеальном кристалле ток создается равным количеством электронов и «дырок». Такой тип проводимости называют **собственной проводимостью** полупроводников.

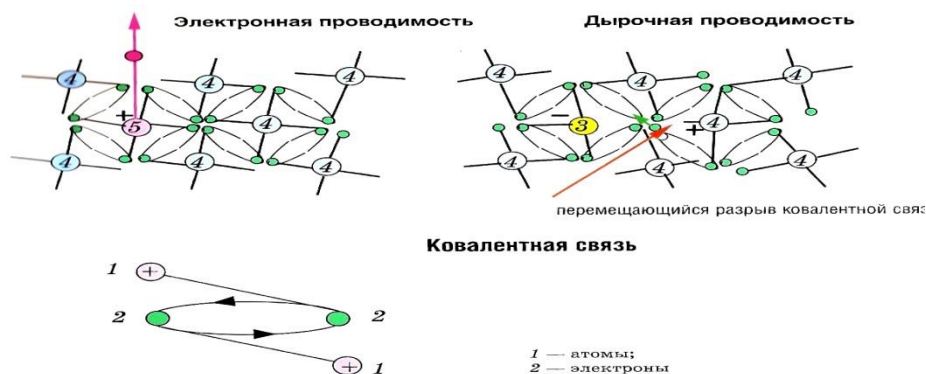
Существенная особенность полупроводников состоит в том, что в них при наличии примесей наряду с собственной проводимостью возникает дополнительная — **примесная проводимость**. Изменяя концентрацию примеси, можно значительно изменять число носителей заряда того или иного знака. Благодаря этому можно создавать полупроводники с преимущественной концентрацией либо отрицательно, либо положительно заряженных носителей.

Донорные примеси.

Оказывается, что при наличии примесей, например атомов мышьяка, даже при очень малой их концентрации, число свободных электронов возрастает во много раз. Происходит это по следующей причине. Атомы мышьяка имеют пять валентных электронов, четыре из них участвуют в создании ковалентной связи данного атома с окружающими, например с атомами кремния. Пятый валентный электрон оказывается слабо связан с атомом. Он легко покидает атом мышьяка и становится свободным. Концентрация свободных электронов значительно возрастает, и становится в тысячу раз больше концентрации свободных электронов в чистом полупроводнике. Примеси, легко отдающие электроны, называют донорными, и такие полупроводники являются полупроводниками n-типа. В полупроводнике n-типа электроны являются основными носителями заряда, а дырки — неосновными.

Акцепторные примеси.

Если в качестве примеси использовать индий, атомы которого трехвалентны, то характер проводимости полупроводника меняется. Теперь для образования нормальных парноэлектронных связей с соседями атому индия не хватает электрона. В результате образуется дырка. Число дырок в кристалле равно числу атомов примеси. Такого рода примеси называют акцепторными (принимающими). При наличии электрического поля дырки перемещаются по полю и возникает дырочная проводимость. Полупроводники с преобладанием дырочной проводимости над электронной называют полупроводниками p-типа (от слова *positiv* — положительный).

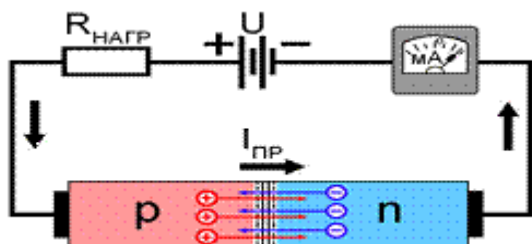


Электронно-дырочный переход

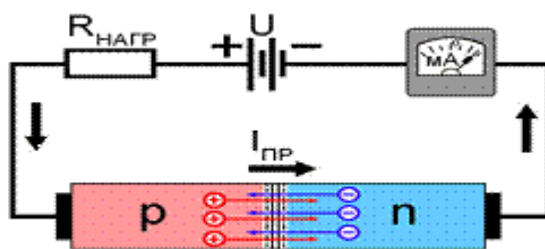
Принцип действия большинства полупроводниковых приборов основан на свойствах $p-n$ перехода. При приведении в контакт двух полупроводниковых приборов p -типа и n -типа вместе контакта начинается диффузия электронов из n -области в p -область, а «дырок» — наоборот, из p - в n -область. Этот процесс будет не бесконечным во времени, так как образуется запирающий слой, который будет препятствовать дальнейшей диффузии электронов и «дырок».

Для изменения ширины запирающего слоя подключают внешнее напряжение.

Если к p -области подключить «+» источника тока, а к n -области «-» источника тока, то запирающий слой разрушится и $p-n$ -контакт будет проводить ток, электроны из n -области пойдут в p -область, а «дырки» из p -области в n -область. Будет протекать ток. Такое напряжение и ток называют прямыми.

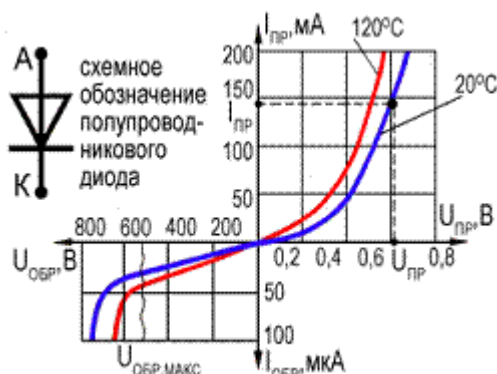


Если к p -области подключить «-» источника, а к n -области — «+» источника тока, то запирающий слой расширится и ток почти не будет. Такое напряжение и ток называют обратными.



Вольт-амперная характеристика $p-n$ перехода

При увеличении прямого напряжения прямой ток через переход возрастает, в связи с уменьшением сопротивления перехода. При определенных значения прямого напряжения может наступить тепловой пробой.



Обратная ветвь ВАХ $p-n$ перехода определяется обратным током, который, как, обычно довольно сильно возрастает при повышении температуры. При подключении обратного напряжения сопротивление перехода возрастает, а ток становится малым так как он создается неосновными носителями заряда. При рабочих величинах обратных напряжений ток невелик. Однако при превышении определенного уровня U обратный ток $p-n$ перехода быстро увеличивается, т. е. наступает электрический пробой. Под пробоем $p-n$ перехода понимается явление резкого увеличения обратного тока при достижении обратным напряжением определенного критического значения. При дальнейшем увеличении обратного напряжения происходит тепловой пробой. тепловой пробой является крайне нежелательным явлением, поскольку он приводит к выходу $p-n$ перехода из строя.

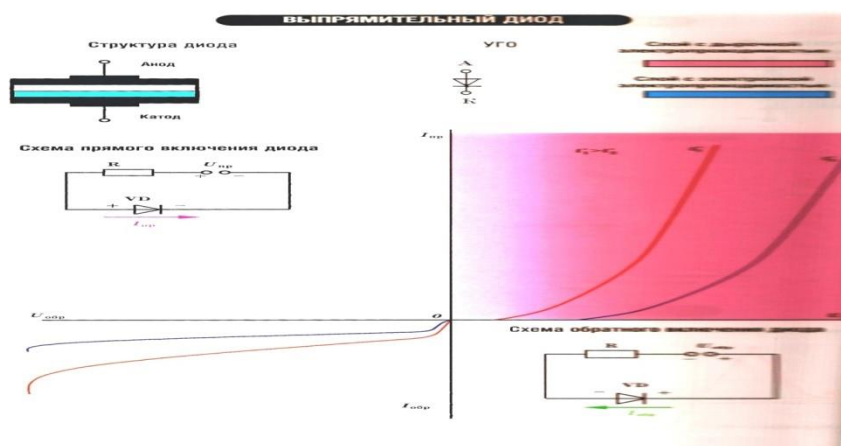
Таким образом, *p-n* переход характеризуется свойством односторонней электропроводности, т. е. хорошо проводит ток в прямом направлении и плохо в обратном.

В технике применяются также полупроводниковые приборы без *p-n*-перехода. Например, терморезисторы (для измерения температуры), фоторезисторы (в фотореле, аварийных выключателях, в дистанционных управлениях).

Диод

Это полупроводниковый прибор с одним *p-n* переходом. В *p-n* переходе носители заряда образуются при введении в кристалл акцепторной или донорной примеси.

Полупроводниковые диоды изготавливают из германия, кремния, селена и других веществ. *p-n* переход не удастся получить путем механического соединения двух полупроводников различных типов, т.к. при этом получается слишком большой зазор между полупроводниками. Эта толщина должна быть не больше межатомных расстояний. По этому, в одну из поверхностей вплавляют индий. Вследствие диффузии атомов индия поверхность германия преобразуется в область с проводимостью *p*-типа. Остальная часть образца германия, в которую атомы индия не проникли, по-прежнему имеет проводимость *n*-типа. Между областями возникает *p-n* переход. В полупроводниковом диоде германий служит катодом, а индий - анодом. На рисунке 1 показано прямое и обратное подключение диода.

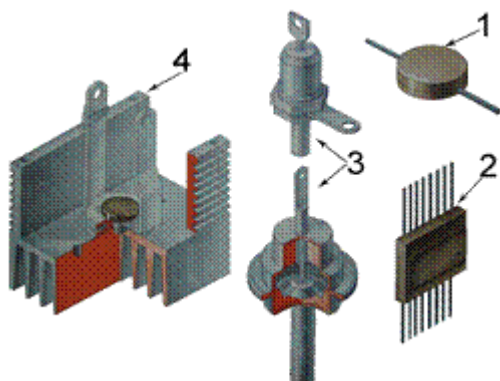


Маркировка (обозначение) диодов

В обозначении диода используют буквы и цифры:

Г (или 1) – германиевый диод; К (или 2) – кремниевый диод.

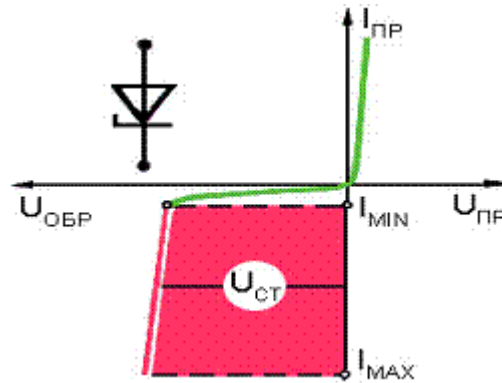
Далее идут цифры: 101-399 – выпрямительные диоды; 401-499 – универсальные диоды.



Стабилитрон

Повышая концентрацию примесей в кремниевых диодах можно добиться обратимости процесса электрического пробоя. При этом на обратной ветви ВАХ образуется участок, на

котором большие изменения тока через переход вызывают небольшие изменения напряжения. Диоды, имеющие такую ВАХ, называются стабилитронами, или опорными диодами, так как они используются для стабилизации напряжения.



Вольт амперная характеристика стабилитрона

Основными параметрами стабилитронов являются: $I_{мин}$, $I_{макс}$ соответственно минимальный и максимальный токи стабилизации, определяющие рабочий участок ВАХ. Обычно значение $I_{мин}$ лежит в пределах от 3 мА до 100 мА, а $I_{макс}$ - от 10 мА до 3 А.

$U_{стаб.ном}$ - номинальное напряжение стабилизации, обычно от 1 до 200 В;

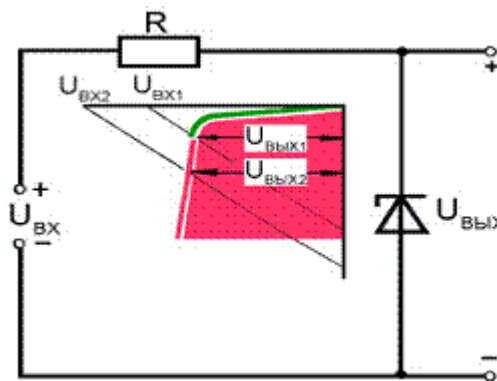
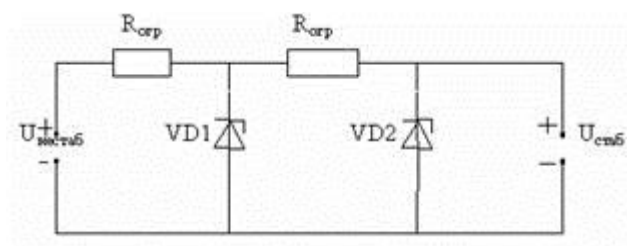


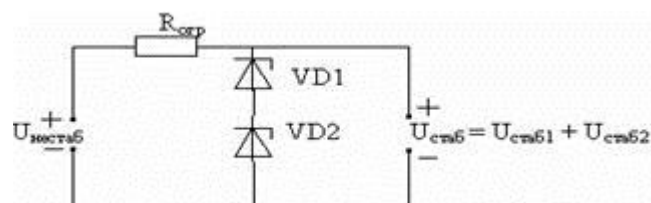
Схема включения стабилитрона

Для повышения коэффициента стабилизации применяется каскадное соединение стабилизирующих ячеек.



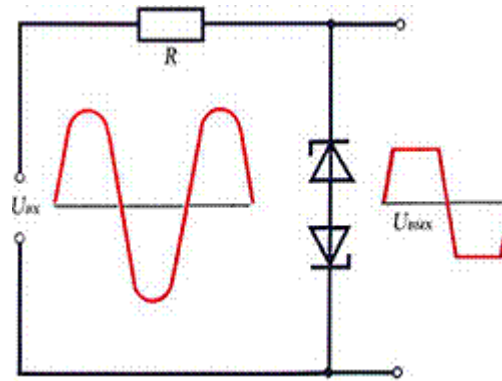
Каскадное соединение стабилитронов

Недостаток многоступенчатого стабилизатора - большие потери напряжения на ограничительных резисторах. Для увеличения стабилизированного напряжения применяется последовательное соединение стабилитронов.



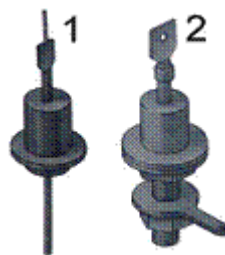
Последовательное соединение стабилитронов

Если стабилитроны включить встречно, то при подаче на них переменного напряжения происходит двустороннее ограничение выходного напряжения (рис).



Встречное соединение стабилитронов

Параллельное соединение стабилитронов не применяется т.к. в момент включения всегда открывается стабилитрон с наименьшим $U_{\text{стаб}}$ и остальные стабилитроны остаются закрытыми.



Внешний вид стабилитронов

1-маломощный стабилитрон;

2-мощный стабилитрон с креплением на теплоотводе

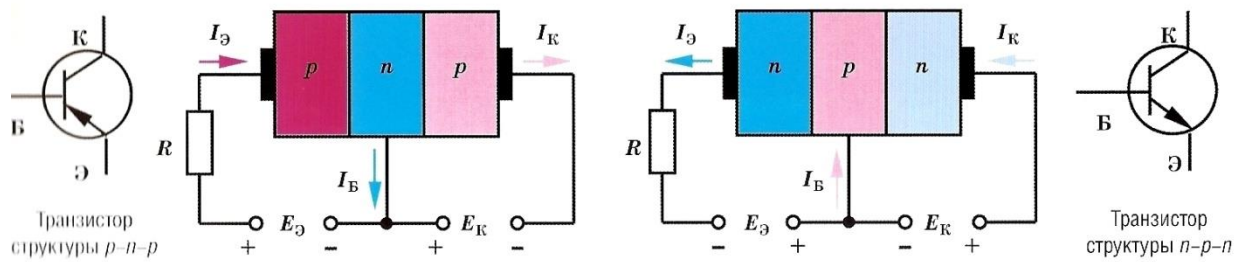
Транзистор-это полупроводниковый прибор с двумя p-n переходами.

Биполярным транзистором называют трехэлектродный полупроводниковый прибор, имеющий два взаимодействующих электронно-дырочных перехода. В транзисторе чередуются по типу электропроводности три области полупроводника. В зависимости от порядка чередования областей различают транзисторы типов *p-n-p* и *n-p-n*; принцип действия их одинаков. Одну из крайних областей транзисторной структуры легируют сильнее; ее используют обычно в режиме инжекции и называют *эмиттером*. Промежуточную область называют *базой*, а другую крайнюю область — *коллектором*. Основным назначением коллектора является экстракция носителей заряда из базовой области, поэтому размеры у него больше, чем у эмиттера. Электронно-дырочный переход между эмиттером и базой называют эмиттерным, а между коллектором и базой- коллекторным.

В кристалле образуются два p-n-перехода, прямые направления которых противоположны.

БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Структура биполярного транзистора

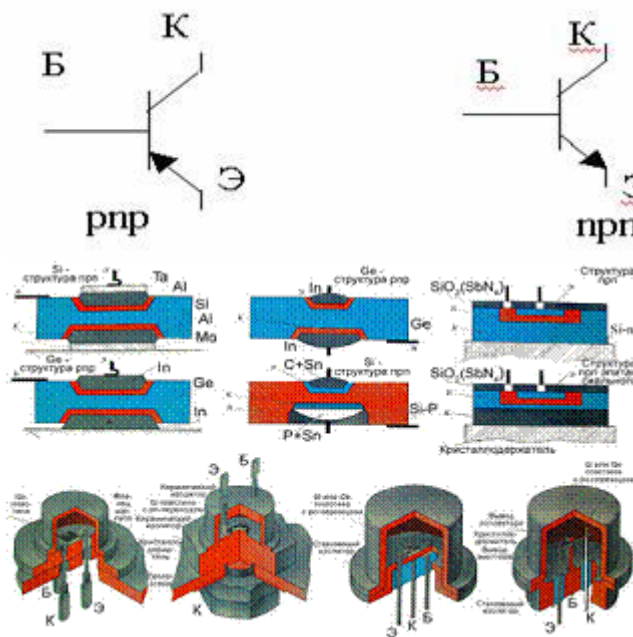


Биполярный транзистор в ключевом режиме

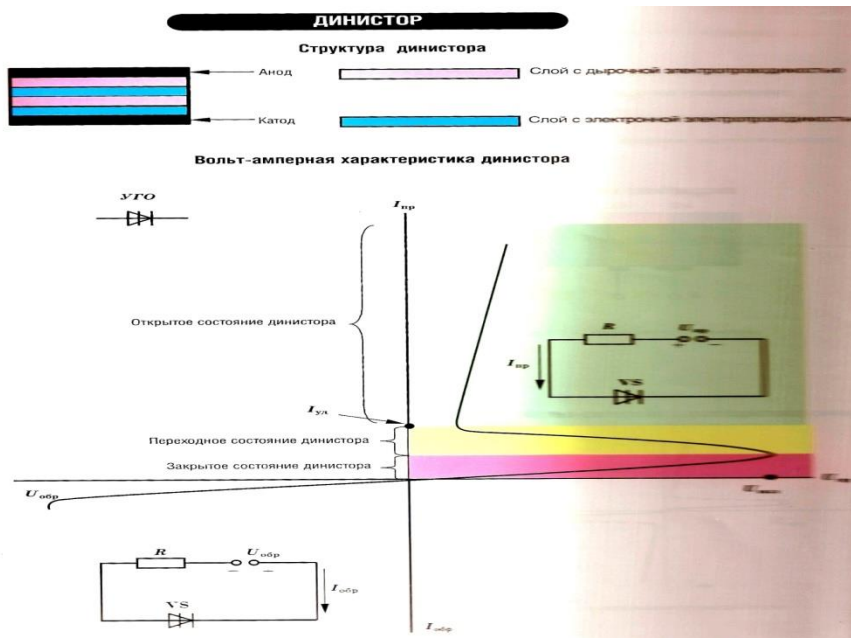
На эмиттер для обеспечения режима инжекции подается прямое напряжение $U_{ЭБ}$, а на коллектор, работающий в режиме экстракции, — обратное напряжение $U_{КБ}$. Общая точка эмиттерной и коллекторной цепей соединена с базовым электродом. Такое включение транзистора носит название *Схемы с общей базой*.

Толщина базы ω в транзисторе значительно меньше диффузионной длины дырок, благодаря этому основная часть дырок, инжектируемых эмиттером, пролетает сквозь базу до коллекторного перехода. Здесь дырки увлекаются полем коллекторного перехода, включенного в обратном направлении, и создают в его цепи ток, величина которого пропорциональна эмиттерному току

Транзистор представляет собой управляемый прибор, его коллекторный ток зависит от тока эмиттера. Изменение тока коллектора при изменении эмиттерного тока происходит с очень малой инерцией, если база достаточно тонкая. Это позволяет использовать транзистор не только на низких, но и на высоких частотах.



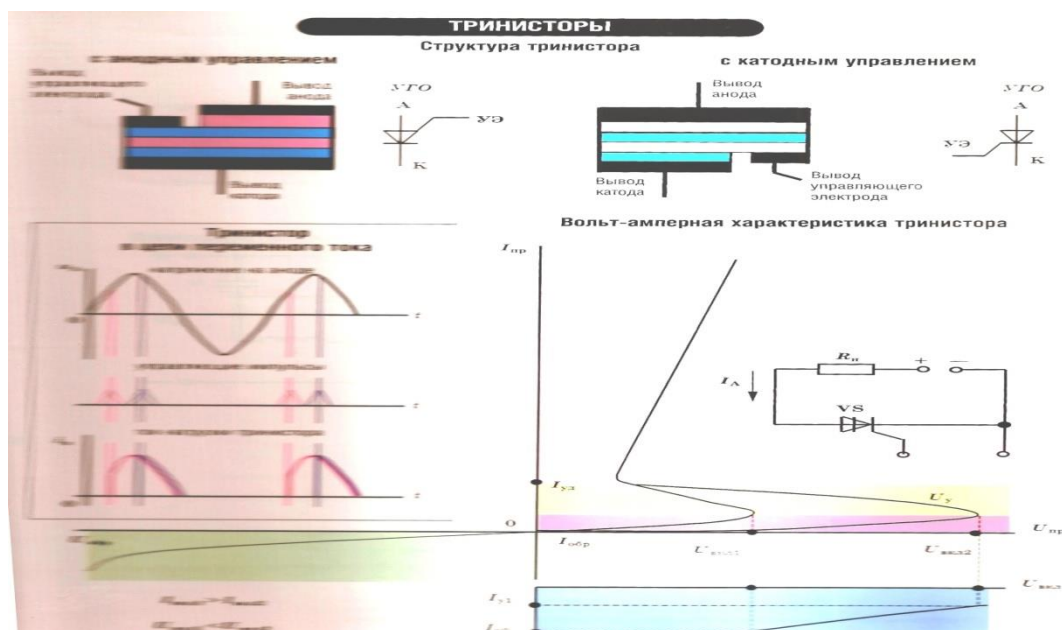
Тиристор — полупроводниковый прибор, выполненный на основе монокристалла полупроводника с четырёхслойной структурой $p-n-p-n$ -типа, обладающий в прямом направлении двумя устойчивыми состояниями — состоянием низкой проводимости (тиристор заперт) и состоянием высокой проводимости (тиристор открыт). В обратном направлении тиристор обладает только запирающими свойствами. Т.е тиристор — это управляемый диод. Тиристоры подразделяются на тринисторы, динисторы и симисторы. Перевод тиристора из закрытого состояния в открытое в электрической цепи осуществляется внешним воздействием на прибор: либо воздействие напряжением (током), либо светом (фототиристор). Тиристор имеет нелинейную разрывную вольтамперную характеристику (BAX).

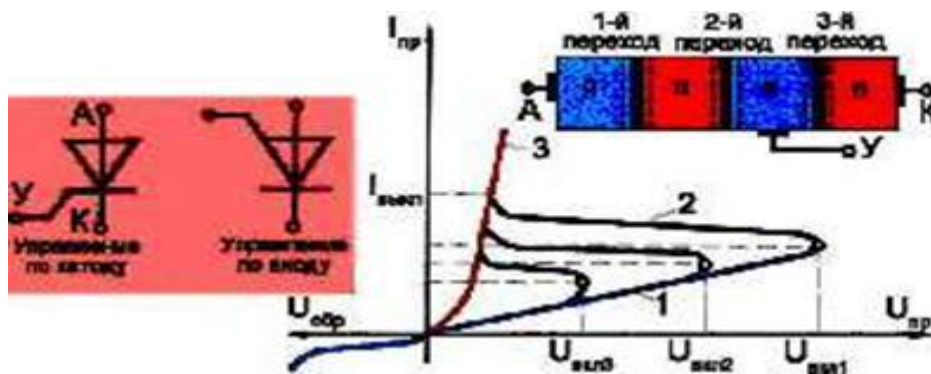


Принципиальных различий между динистором и тринистором нет, однако если включение динистора происходит при достижении между выводами анода и катода определённого напряжения, зависящего от типа данного динистора, то в тринисторе напряжение включения может быть специально снижено, путём подачи импульса тока определённой длительности и величины на его управляющий электрод при положительной разности потенциалов между анодом и катодом, и конструктивно тринистор отличается только наличием управляющего электрода. Тринисторы являются наиболее распространёнными приборами из «тиристорного» семейства.

Применение:

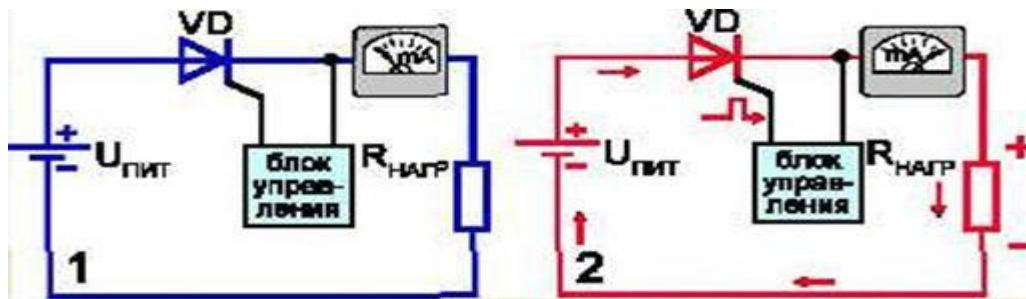
- Электронные ключи
- Управляемые выпрямители
- Преобразователи (инверторы)
- Регуляторы мощности (триммеры)





К среднему р (или n) слою подключен вывод управляющего электрода У. Прикладывая к нему небольшое напряжение $U_{упр}$ можно уменьшить напряжение включения $U_{вкл}$.

Между источником и нагрузкой $R_{нагр}$ включен тиристор. Так как $U_{пит} < U_{вкл}$, то тиристор закрыт, тока в нагрузке нет. При подаче короткого положительного импульса от блока управления тиристор включается и дальше становится неуправляемым. Выключить его можно только снизив ток до величины $I_{уд}$. При работе тиристора в цепи переменного тока это происходит автоматически.



Семистор представляет собой тиристор, эквивалентный двум встречно-параллельным тринисторам и который может проводить электрический ток в обоих направлениях. Конструктивно это более сложный прибор, чем динистор или тринистор.

Микросхема - это конструктивно законченное микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования информации, содержащее совокупность электрически связанных между собой электрорадиоэлементов (транзисторов, диодов, резисторов, конденсаторов и др.), изготовленных в едином технологическом цикле.

Микросхемы изготавливают групповым методом, тиражируя одновременно в одной партии от нескольких десятков до нескольких десятков тысяч микросхем.,.

В зависимости от технологии изготовления интегральные микросхемы могут быть полупроводниковыми, пленочными и гибридными.

В полупроводниковой микросхеме все элементы и межэлементные соединения выполнены на одном кристалле полупроводника. Все элементы и межэлементные соединения выполнены в объеме и на поверхности полупроводниковой подложки. На пластинке 1 мм квадратный по единой технологии изготавливаются транзисторы, диоды и резисторы.

В пленочных интегральных микросхемах элементы выполнены в виде различных пленок, нанесенных на изолирующую пластинку. Таким образом получают пассивные элементы, не усиливающие сигнала: конденсаторы, резисторы, катушки индуктивности.

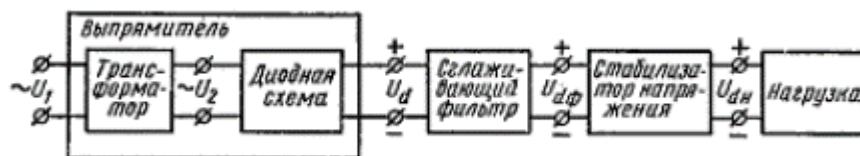
Гибридные интегральные микросхемы состоят из пленочных резисторов и конденсаторов, а также соединительных проводников и контактных площадок, к которым припаиваются миниатюрные радиодетали. Вся схема помещается в пластмассовый корпус и имеет большие размеры, чем размеры полупроводниковых

ВЫПРЯМИТЕЛИ

Выпрямительное устройство, предназначенное для преобразования энергии источника переменного тока в постоянный ток называется выпрямителем. Выпрямитель может быть представлен в виде структурной схемы.

Основные элементы схемы:

- а) **силовой трансформатор** служит для согласования входного и выходного напряжения выпрямителя и электрического разделения отдельных цепей выпрямителя (т.е. разделяет питающую сеть и сеть нагрузки);
- б) **блок вентилялей** обеспечивает одностороннее протекание тока в цепи нагрузки, в результате чего переменное напряжение преобразуется в пульсирующее;
- в) **сглаживающий фильтр** предназначен для уменьшения пульсации напряжения на нагрузке до требуемого значения;
- г) **стабилизатор напряжения**, служащий для стабилизации среднего значения выпрямленного напряжения при колебаниях напряжения питающей сети или при изменении тока нагрузки.



Структурная схема выпрямителя

Соотношения между параметрами в выпрямительном устройстве во многом зависят от схемы выпрямления. Под **схемой выпрямления** понимают схему соединения обмоток трансформатора и порядок присоединения вентилялей ко вторичным обмоткам трансформатора

Схемы выпрямления (выпрямители) классифицируют по следующим основным признакам:

1. По числу фаз источника питания переменного напряжения различают выпрямители однофазного тока и выпрямители трехфазного тока.
2. По способу подключения вентилялей ко вторичной обмотке трансформатора – нулевые схемы, с использованием нулевой (средней) точки вторичной обмотки трансформатора и мостовые схемы, в которых нулевая точка изолирована или вторичные обмотки трансформатора соединены в треугольник.
3. По потребляемой нагрузкой мощности выпрямители делятся на маломощные (единицы кВт), средней мощности (десятки кВт) и большой мощности ($P_{\text{пот}} > 100 \text{ кВт}$).
4. Независимо от мощности выпрямителя все схемы делятся на **однотактные или однополупериодные и двухтактные (двухполупериодные)**.

Однотактные – это схемы, у которых ток протекает по вторичным обмоткам трансформатора один раз за период (полупериод или его часть). Все нулевые схемы являются однотактными

Схемы для однофазного тока

1. Однополупериодная

К первичной обмотке трансформатора Tr подключен источник переменного тока. Последовательно со вторичной обмоткой включены полупроводниковый диод и приемник постоянного тока.

Через первичную обмотку в течение одного полупериода протекает переменный ток в направлении от точки 1 к точке 2, в течение второго полупериода—в обратном направлении, т. е. от точки 2 к точке 1. Когда в точке 3 вторичной обмотки будет положительный потенциал относительно точки 4, через диод и приемник r будет протекать ток в направлении, показанном на схеме стрелкой (от «+» к «—»). В следующий полупериод, когда в точке 3 вторичной обмотки будет отрицательный потенциал относительно точки 4, ток через приемник протекать не будет (поскольку диод обладает односторонней проводимостью). В следующие полупериоды процесс повторится.

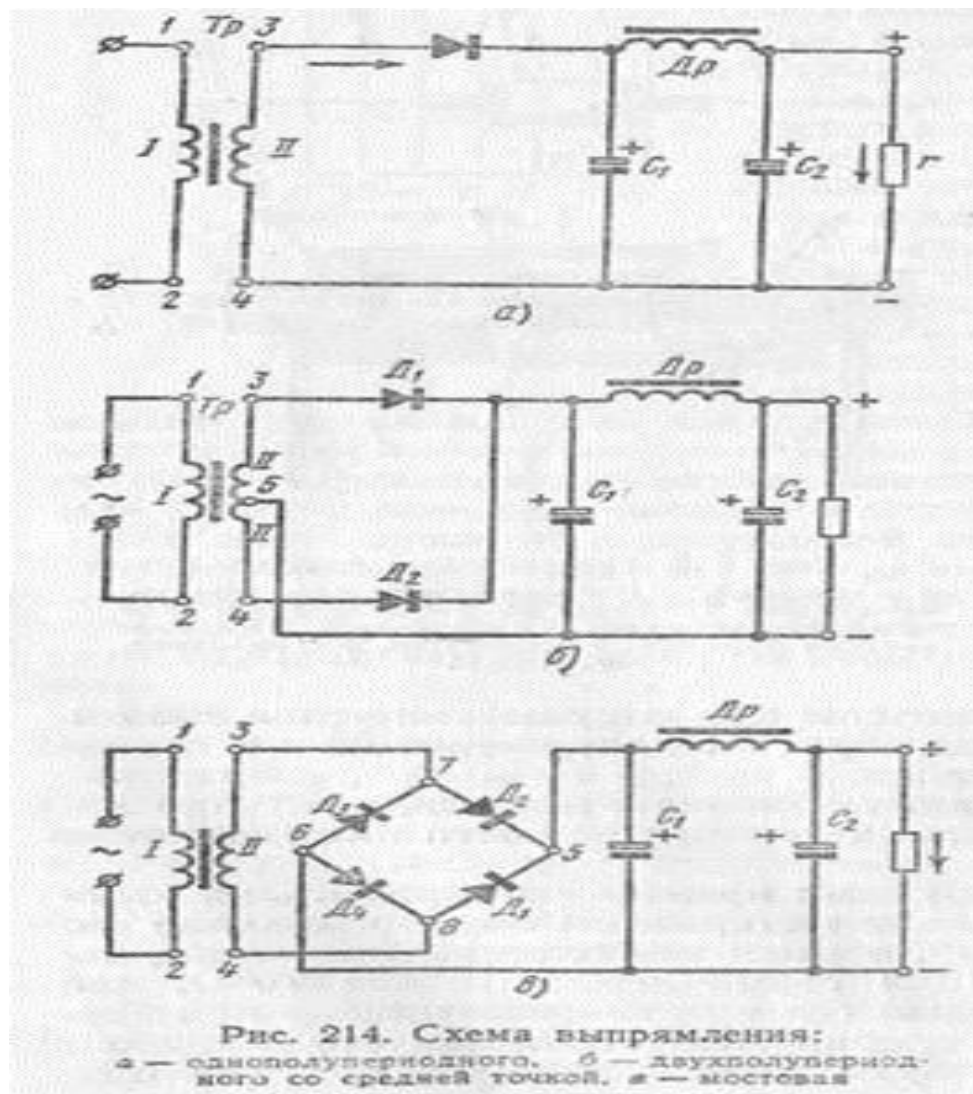


Рис. 214. Схема выпрямления:
 а — однополупериодного, б — двухполупериодного со средней точкой, в — мостовая

2. Двухполупериодная

Схема двухполупериодного выпрямления показана на рис. 214, б. К первичной обмотке трансформатора, Tr подключен источник переменного тока. В цепь вторичной обмотки включены два полупроводниковых диода. К средней точке этой обмотки присоединена нагрузка. Допустим, что в точке 3 вторичной обмотки в первый полупериод будет положительный потенциал относительно точки 5, а в точке 4 — отрицательный. Тогда ток пройдет через диод $Д_1$, дроссель $Др$ и приемник в точку 5 трансформатора. В это время диод $Д_2$ тока не пропускает. В течение второго полупериода потенциал на концах вторичной обмотки трансформатора изменится, в точке 3 будет отрицательный потенциал, а в точке 4 — положительный. Ток пройдет через диод $Д_2$, дроссель $Др$ и приемник в точку 5. В это время диод $Д_1$ тока пропускать не будет.

В следующие полупериоды процесс повторится. Таким образом, через приемник будет проходить ток в одном и том же направлении в течение каждого полупериода.

3. Мостовая

В этой схеме общее напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора равно половине общего напряжения на зажимах вторичных обмоток (двух половин) обычной двухполупериодной схемы. В связи с этим на изготовление трансформатора для мостовой схемы затрачивается меньше материалов и он получается более легким и дешевым. Первичная обмотка I трансформатора Tr включена в сеть переменного тока. В цепь вторичной обмотки II включены четыре диода, а к точкам 5 и 6 присоединен приемник.

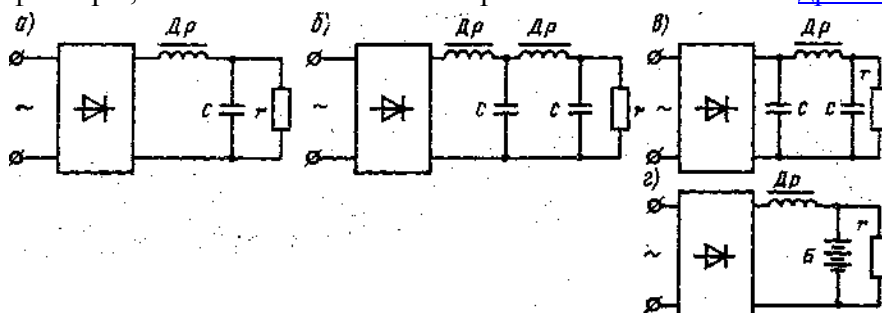
Допустим, что в точке 3 вторичной обмотки в первый полупериод потенциал положительный, а в точке 4 — отрицательный. Тогда электрический ток пройдет от точки 3 через точку 7, диод Д2, точку 5, приемник (в направлении, указанном стрелкой), точку 6 и диод Д4 через точку 8 к точке 4 вторичной обмотки.

В течение второго полупериода полярность в точках 3 и 4 вторичной обмотки изменится: в точке 3 будет отрицательный потенциал, а в точке 4 — положительный. Тогда ток пройдет от точки 4 через точку 8, диод Д1, точку 5, приемник (в том же направлении), точку 6, диод Д3 и через точку 7 к точке 3.

В каждый полупериод через приемник будет протекать ток в одном и том же направлении. Мостовая схема выпрямления может быть собрана и без трансформатора.

Сглаживающие фильтры

Для однофазных схем выпрямления характерны значительные пульсации выпрямленного напряжения. Для уменьшения пульсаций напряжения на нагрузке используют сглаживающие фильтры, выполняемые на основе реактивных элементов [дросселей](#) (L) и конденсаторов (C).



Схемы для трехфазного тока

1. Трехфазная схема с выводом нуля трансформатора

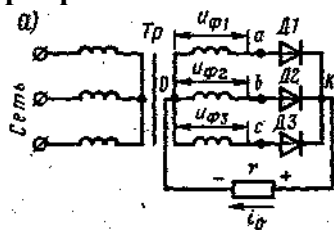
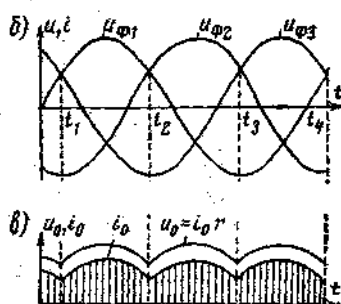


Рис. 74. Трехфазная однополупериодная схема выпрямления и диаграммы напряжений и токов



Первичную обмотку трансформатора Tr в зависимости от напряжения сети соединяют звездой или треугольником, а вторичную для получения нулевой точки O — всегда звездой.

Начало вторичных обмоток а, в и с соединяют с анодами вентилей Д1, Д2 и Д3. Нагрузка $г$ включается между общей точкой К катодов вентилей и нулевой точкой вторичной обмотки трансформатора O . Ток через каждый диод может проходить только тогда, когда потенциал на аноде выше потенциала на катоде. Это возможно в течении одной трети периода, тогда напряжение в данной фазе, выше напряжения в двух других фазах. Так например, когда открыт диод Д1, через него на нагрузку $Р$, течёт ток. В это время диоды Д2 и Д3 заперты.

2. Трехфазная мостовая схема

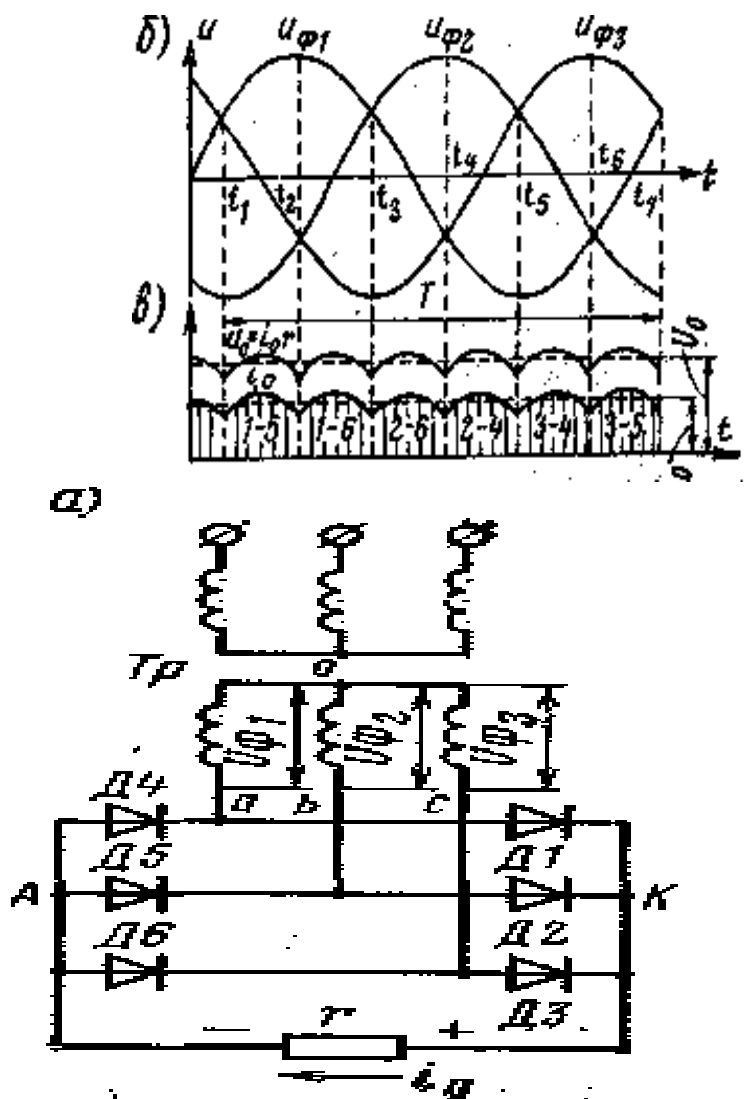


Схема состоит из трехфазного трансформатора, первичные и вторичные обмотки которого можно соединять звездой и треугольником, и шести вентилях. Катоды вентилях Д1, Д2 и Д3 соединяются в общую точку К, которая является положительным полюсом выпрямительного устройства. Общая точка анодов А вентилях Д4, Д5 и Д6 является отрицательным полюсом выпрямительного устройства.

По вторичным обмоткам трансформатора токи проходят как в положительную так и в отрицательную часть периода. В результате отсутствует вынужденное намагничивание сердечника трансформации. Выпрямленный ток в трехфазной мостовой схеме достигает максимума 6 раз за период.

Пример:

Для питания постоянным током потребителя мощностью $P=300$ Вт при напряжении $U=20$ В необходимо собрать схему однополупериодного выпрямителя, используя имеющиеся стандартные диоды типа Д 242 А.

Решение:

1. Выписываем из таблицы параметры диода: $I_{доп}=10$ А; $U_{обр}=100$ В.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{300}{20} = 15 \text{ А}$$

2. Определяем ток потребителя из формул $P=UI$;

3. Определяем напряжение, действующее на диод в не проводящий период;

$$U_v = 3,14 \cdot 20 = 63 \text{ В.}$$

3. Проверяем диод по параметрам $I_{\text{доп.}}$

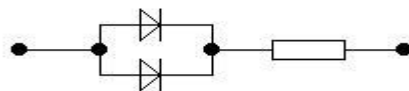
Для данной схемы диод должен удовлетворять условию: $I_{\text{доп.}} > 0.5 I_n$

В данном случае это условие не соблюдается, т.к. $10 \text{ А} < 15 \text{ А}$.

4. Проверяем диод по напряжению

Для данной схемы диод должен удовлетворять условию $U_{\text{обр}} > U_v$

Это условие выполняется т.к. $100 \text{ В} > 63 \text{ В}$.



5. Составляем схему выпрямителя. Для того чтобы выполнить условие, надо два диода соединить параллельно, тогда $I_{\text{доп.}} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ А}$; $20 > 15 \text{ А}$.

Коэффициент трансформации

$$\mathcal{E}_i = -\dot{\Phi}_i$$

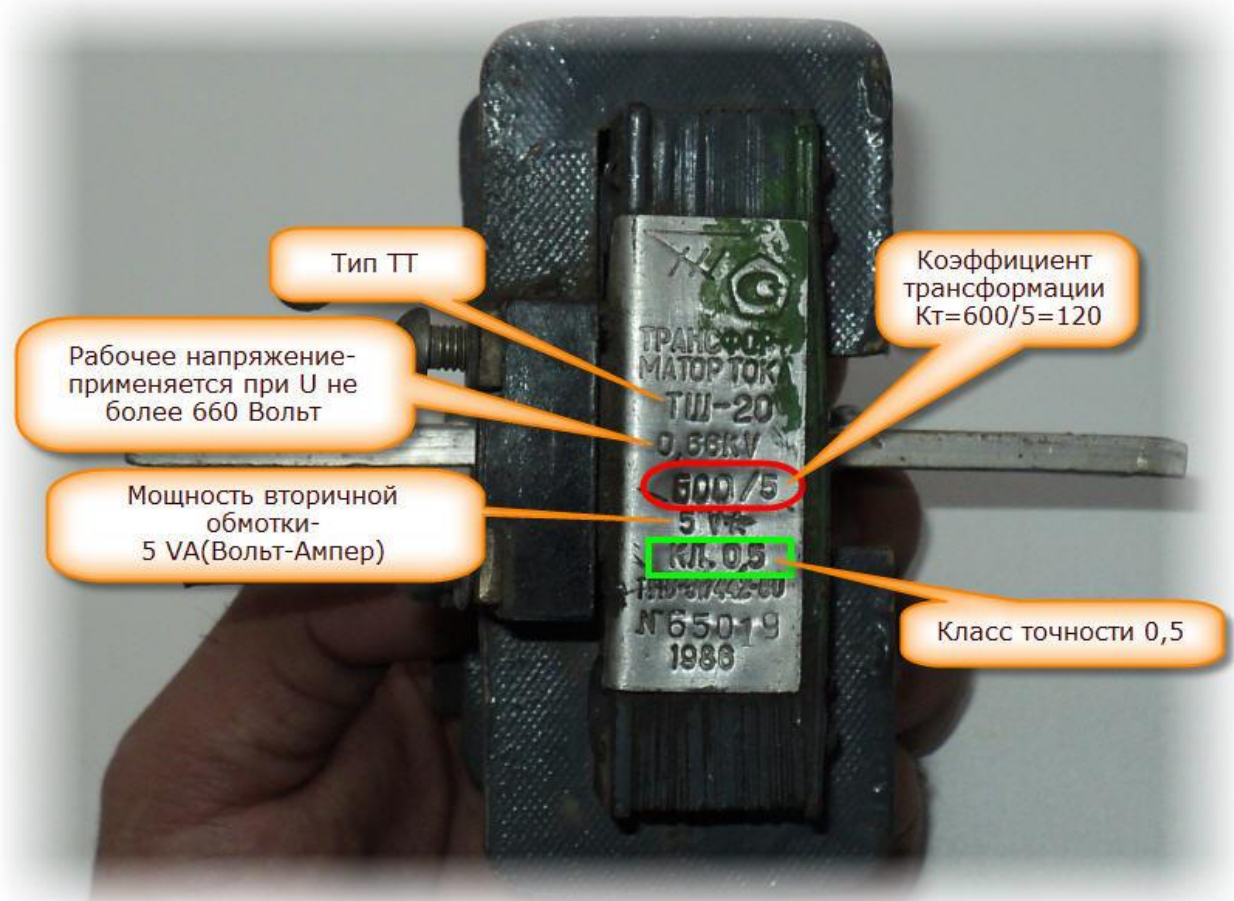
$$\mathcal{E}_1 = -N_1 \dot{\Phi}; \mathcal{E}_2 = -N_2 \dot{\Phi}$$

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Как определить коэффициент трансформатора тока

Иногда бывает так, что попадает в руки трансформатор тока “без всяких опознавательных знаков”, а нужно узнать какой у него коэффициент.



Для начала расскажу что такое коэффициент трансформатора тока?- попробую объяснить “на пальцах”. По своему принципу действия трансформатор тока (далее ТТ) “трансформирует”, то есть понижает ток.

И есть специальный термин “коэффициент трансформации ТТ”- именно он определяет во сколько раз уменьшается электрический ток.

Э т о и есть коэффициент ТТ (обозначается K_t).

П о э т о м у если у нас есть ТТ с неизвестным K_t то необходимо через его первичную обмотку пропустить ток (закоротив при этом обязательно вторичную обмотку) и измерить прибором какой величины электрический ток проходит при этом по вторичной обмотке.

З а т е м первичный ток (который подавали на первичную обмотку) делим на ток, измеренный во вторичной обмотке и получим искомое значение- коэффициент ТТ.

Д л я подключения измерительных приборов (амперметров, ваттметров, электросчетчиков) в основном используется значение вторичного тока 5 Ампер.

Э т о означает что в пределе до 5 Ампер ТТ измеряет ток пропорционально изменению первичного тока с заданной погрешностью измерения- для этого у ТТ есть такое понятие “класс точности”.

Е с л и вторичный ток будет выше 5 ампер- точность измерения резко снижается. Для подключения электросчетчиков используют стандартные значения K_t : 25/5, 50/5, 75/5, 100/5 и так далее. Первая цифра обозначает номинальный первичный ток, на который рассчитан ТТ, вторая- номинальный вторичный ток.

В о з ь м е м для примера ТТ 100/5. $K_t=100:5=20$.

П р и первичном токе в 100 Ампер на вторичной обмотке ТТ будет протекать ток 5 Ампер.

Т о есть значение тока понижается в 20 раз. При токе в первичной обмотке 60 Ампер- ток во вторичной будет снова меньше в 20 раз и составит 3 Ампера, соответственно при 20 Амперах будет 1 Ампер ну и так далее.