

ОГАПОУ «Старооскольский техникум агробизнеса, кооперации и сервиса»

Курс лекций по дисциплине «Электрические машины»

**Разработала
Преподаватель
О.И.Иващенко**

Тема 1.

Общая теория электрических машин.

Занятие 1

**Общие сведения об электрических
машинах и трансформаторах.**

1.1. Общие определения и принципы работы электромашин.

Действие электрических машин основано на использовании явления электромагнитной индукции.

Электрическая машина, предназначенная для преобразования механической энергии в электрическую, называется генератором.

Электрическая машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую, называется электродвигателем.

Электрическая машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в электрическую энергию другого рода тока, другого напряжения, другой частоты называется электромеханическим преобразователем.

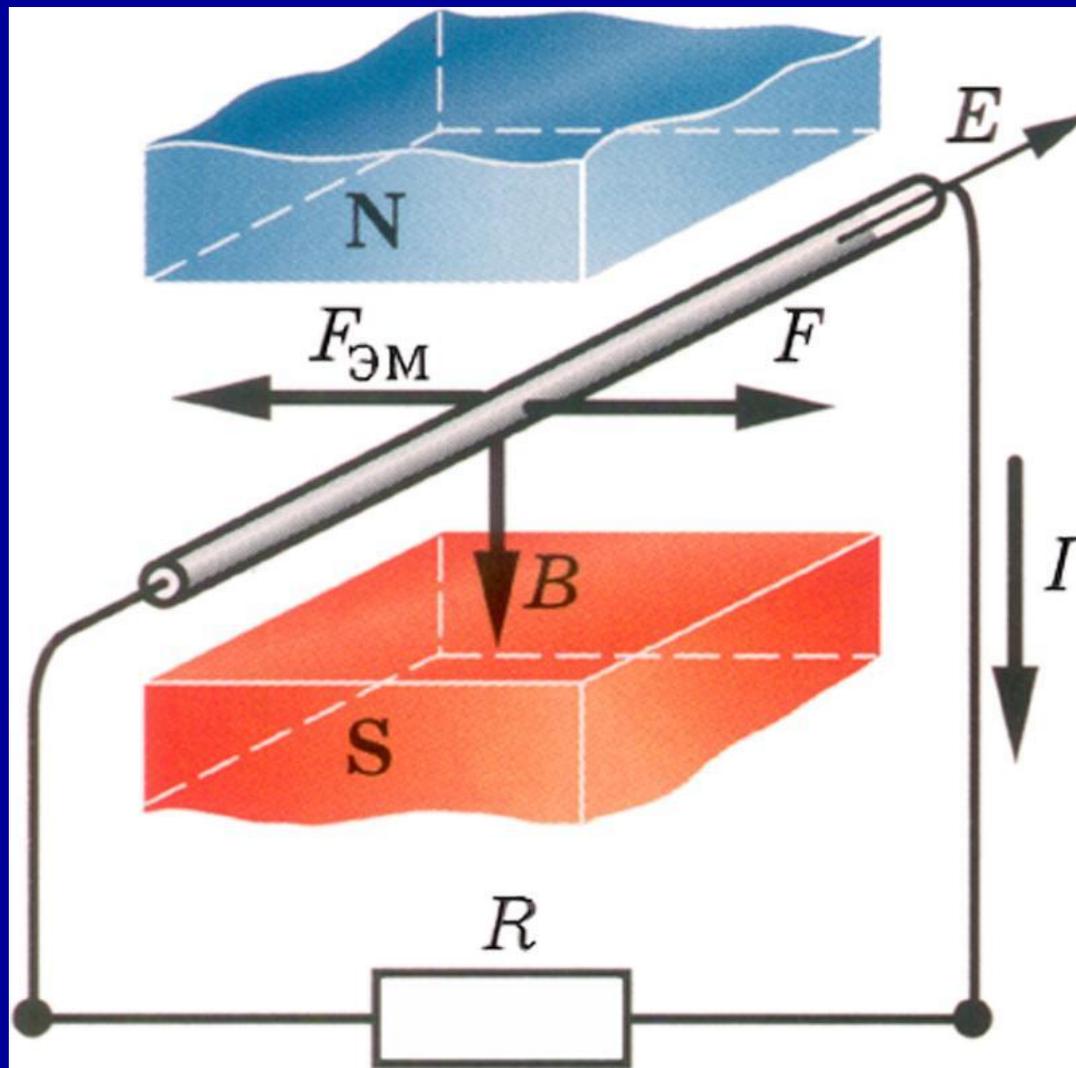


Рис.1.1. Принцип действия электрической машины

- Если в магнитном поле полюсов постоянных магнитов или электромагнитов (рис. 1.1) N и S поместить проводник и под действием какой-либо силы F_1 перемещать его, то в нем возникнет э. д. с

$$e = Blv \cdot \sin \alpha$$

- Где: B - магнитная индукция в месте нахождения проводника;
- l - активная длина проводника (его часть, находящаяся в магнитном поле);
- v — скорость перемещения проводника в магнитном поле;
- α — угол между векторами максимума магнитной индукции и скоростью перемещения проводника (в рассматриваемом случае $\alpha = \pi/2$, т. е. $\sin \alpha = 1$).

Если проводник замкнуть на какое-либо сопротивление приемника энергии, то в образовавшейся цепи под действием э. д. с. протекает ток I , направление которого совпадает с направлением э. д. с. проводника.

В результате взаимодействия тока проводника с магнитным полем полюсов создается электромагнитная сила :

$$F_{\text{эм}} = BIl$$

Эта сила направлена встречно силе F_1 и при $F_{эм} = F_1$ проводник перемещается с постоянной скоростью.

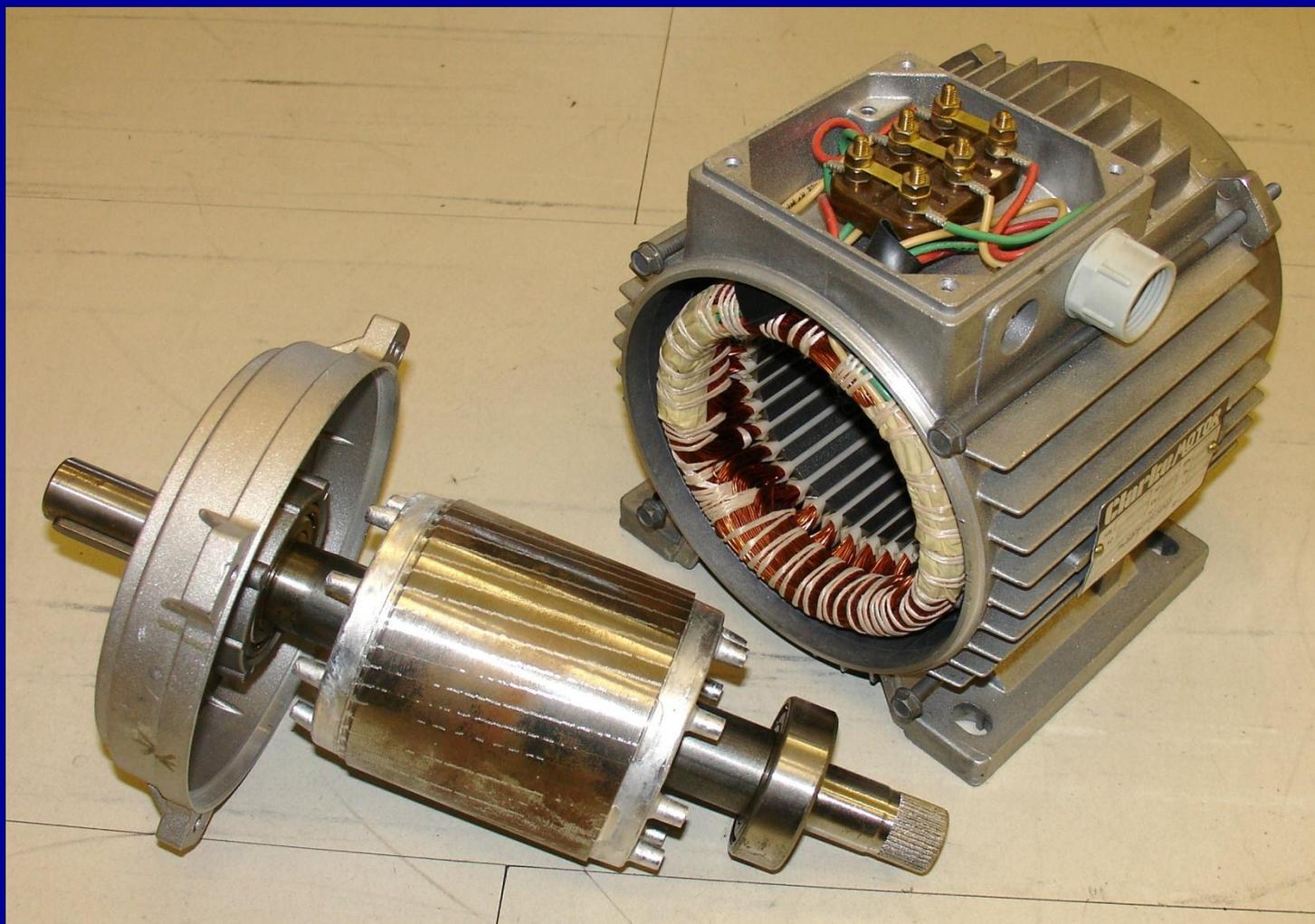
Таким образом, механическая энергия, затрачиваемая на перемещение проводника, преобразуется в электрическую, отдаваемую сопротивлению внешнего приемника электрической энергии, т. е. машина будет работать в режиме генератора.

Если от постороннего источника электрической энергии через проводник пропустить ток, то в результате взаимодействия тока в проводнике и магнитного поля полюсов создается электромагнитная сила *F_{эм}* под действием которой проводник начнет перемещаться в магнитном поле, преодолевая силу торможения какого-либо механического приемника энергии, т. е. машина будет работать как двигатель.

1.2. Общая классификация электромашин.

Электрические машины подразделяют на машины постоянного и переменного тока. В машинах переменного тока возникает вращающееся магнитное поле, частота вращения которого зависит от частоты тока сети.

Любая электрическая машина состоит из двух основных частей:
неподвижной — статора,
вращающейся — ротора.



Статор и ротор электрической машины

Машины переменного тока можно подразделять на:

- однофазные
- многофазные (обычно трехфазные),

в зависимости от принципа действия на:

- синхронные
- асинхронные.

Общая классификация электромашин приведена на рис.1.2.

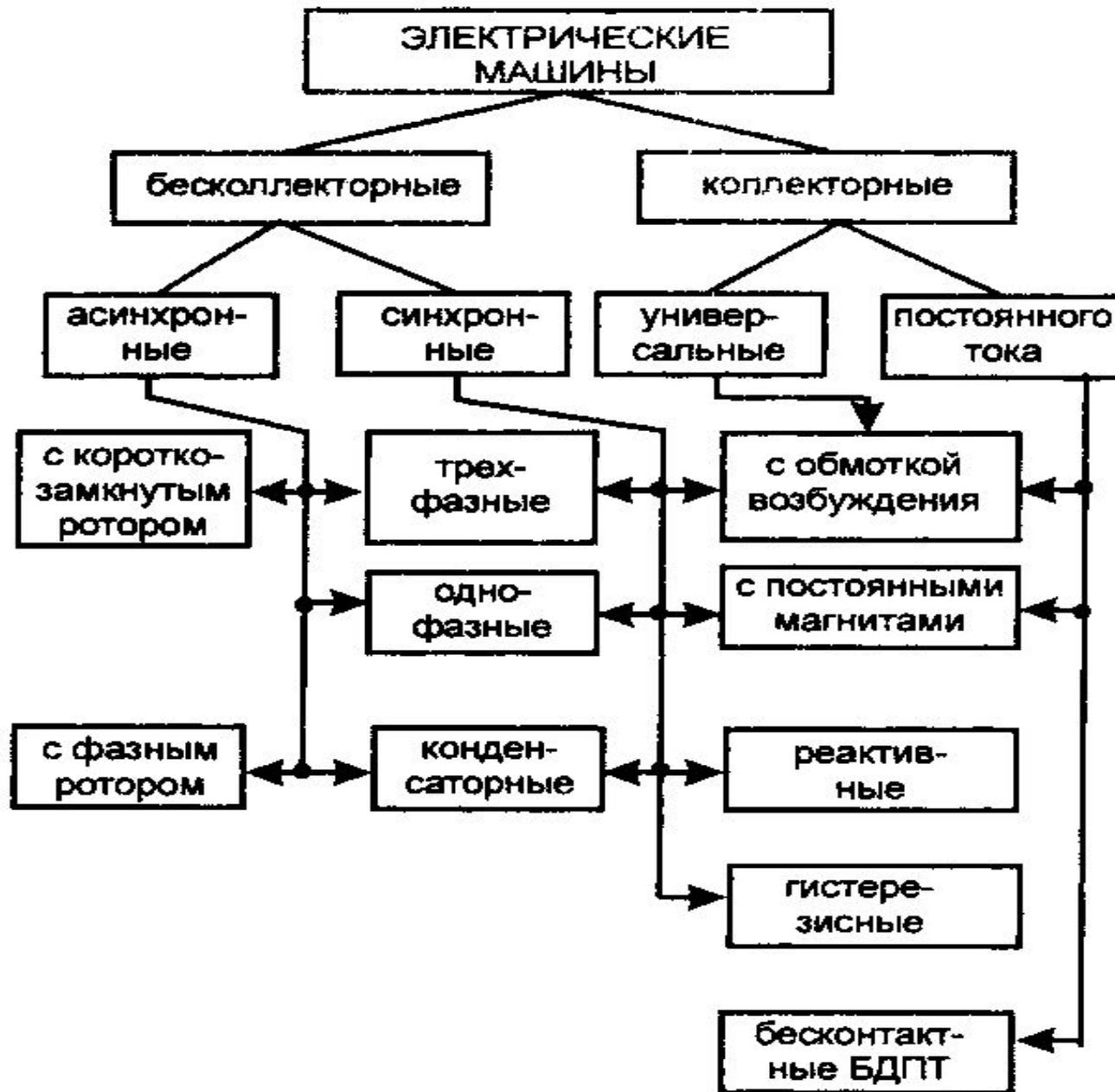


Рис. 1.2. Классификация электрических машин

1.3. Общие сведения о синхронных машинах

В синхронных машинах процесс преобразования энергии происходит при синхронной скорости, т. е. при частоте вращения ротора, равной частоте вращения магнитного поля.

Синхронные машины широко применяют в качестве генераторов, и вся вырабатываемая электрическая энергия производится генераторами этого типа.



Синхронный генератор

1.4. Общие сведения об асинхронных машинах

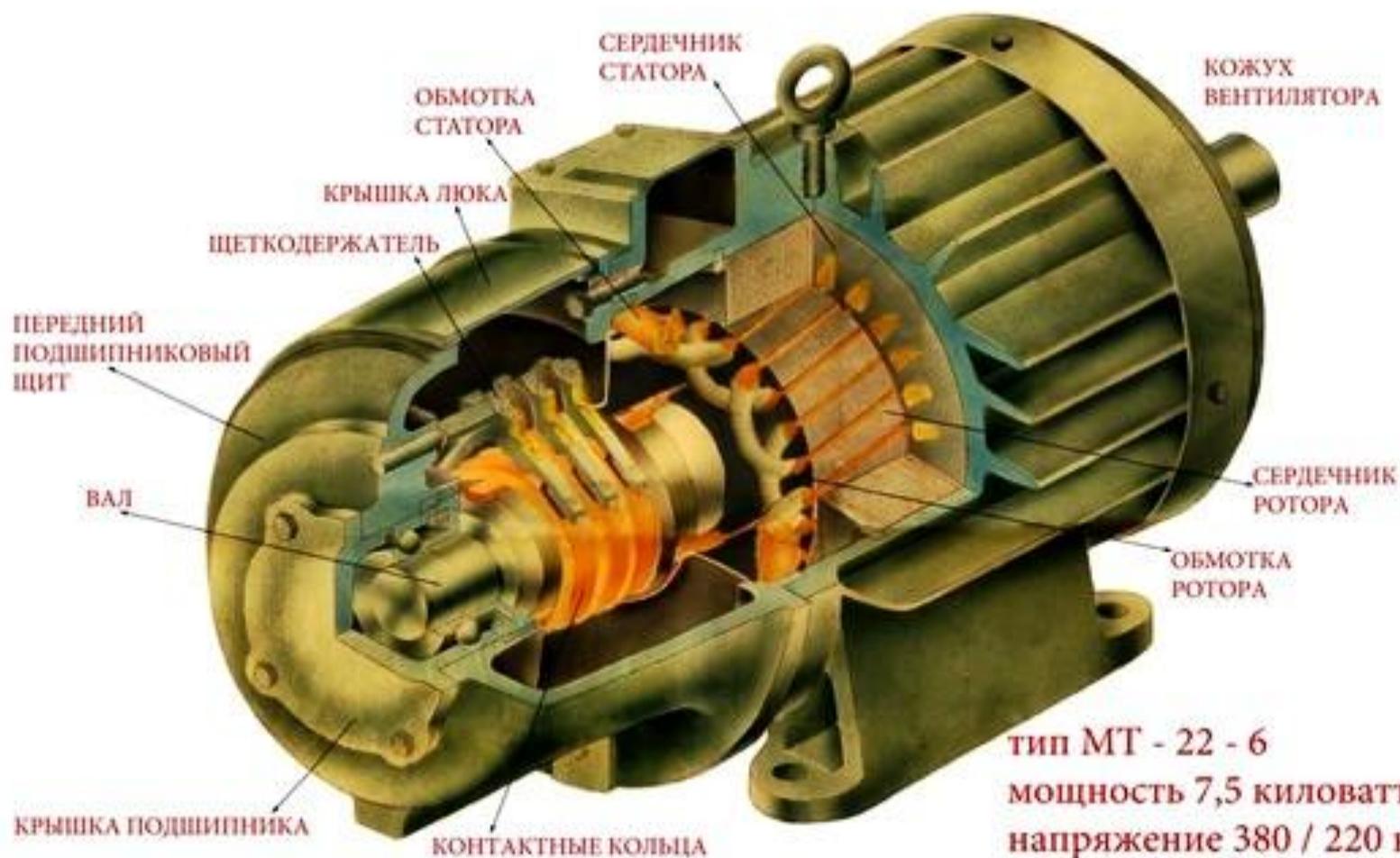
В асинхронных машинах процесс преобразования энергии происходит при несинхронной (асинхронной) частоте, т. е. при частоте вращения ротора, не равной частоте вращения магнитного поля.

В силу ряда существенных достоинств асинхронные машины, применяемые в качестве двигателей, являются наиболее распространенным типом электрических машин.



Электродвигатель трехфазного переменного тока с короткозамкнутым ротором

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ



тип МТ - 22 - 6
мощность 7,5 киловатт
напряжение 380 / 220 вольт
скорость вращения 945 об / мин

1.5. Общие сведения о коллекторных машинах

Кроме синхронных и асинхронных машин переменного тока применяют коллекторные машины, используемые в качестве двигателей переменного тока и допускающие экономичное регулирование скорости в широких пределах, у которых регулировочные характеристики близки к характеристикам двигателей постоянного тока.



Коллекторный двигатель переменного тока

1.6. Общие сведения о трансформаторах.

К электрическим машинам в силу общности физических явлений относят трансформатор, являющийся статическим электромагнитным преобразователем переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

Принцип работы трансформатора основан на использовании явления взаимной индукции между двумя (или несколькими) обмотками, помещенными на замкнутом стальном магнитопроводе.

Трансформаторы применяют при передаче электрической энергии на большие расстояния и распределении ее между потребителями, а также в различных преобразовательных, измерительных, защитных и других устройствах.



Силовой трансформатор

Занятие 2.

Материалы, применяемые для электрических машин и трансформаторов

При изготовлении электрических машин и трансформаторов используют материалы, которые можно подразделить на:

- активные,
- изоляционные
- конструкционные.

2.1 Активные материалы, применяемые для электрических машин и трансформаторов

Таковыми материалами являются магнитные и проводниковые (токопроводящие) материалы, обеспечивающие нормальное протекание электромагнитных процессов при работе электрических машин и трансформаторов.

К проводниковым материалам относят прежде всего медь, обладающую малым удельным сопротивлением.

Из меди изготавливают проводники обмоток, контактные кольца и коллекторные пластины.

Наряду с медью применяют алюминий, а в некоторых случаях сплавы латуни и бронзы. Из меди и алюминия изготавливают провода круглого и прямоугольного сечений для обмоток электрических машин и трансформаторов.



Медная обмотка статора электродвигателя

В качестве магнитных материалов для сердечников электрических машин и трансформаторов применяют электротехнические стали различных марок .



2.2 Изоляционные материалы, применяемые для электрических машин и трансформаторов

Изоляционные материалы - это одни из основных элементов электрической машины и трансформатора, так как надежность их работы в большой степени зависит от качества изоляции.

Изоляция должна обеспечивать надежную работу электрической машины или трансформатора в условиях эксплуатации при значительных колебаниях температуры



Изолированные секции обмотки электродвигателя

В зависимости от нагревостойкости изоляционные материалы разделяют на классы со следующими предельно допустимыми температурами:

- класс Y — 90°C ,
- класс A — 105°C ,
- класс E — 120°C ,
- класс B — 130°C ,
- класс F — 155°C ,
- класс H — 180°C ,
- класс C — более 180°C .

К классу Y относят не пропитанные и не погруженные в жидкий диэлектрик волокнистые электроизоляционные материалы из целлюлозы или шелка, а также полимерные органические диэлектрики (полиэтилен, полистирол и др.) с температурой размягчения не ниже 90—100° С.

К классу А— волокнистые электроизоляционные материалы из целлюлозы или шелка, пропитанные или погруженные в жидкий диэлектрик; изоляцию эмальпроводов на основе масляных или полиамидных лаков; дерево и древесные слоистые пластики. Пропитывающими веществами для материалов класса А являются трансформаторное масло, масляные лаки, битумные составы.

К классу Е - литьевые составы; изоляцию эмальпроводов на основе полиэфирных, эпоксидных и полиуретановых смол и синтетические материалы.

К классу В – электроизоляционные материалы, изготовленные на основе неорганических диэлектриков (слюда, асбест, волокнистое стекло), пропитанных лаками или смолами повышенной нагревостойкости, а также пластмассы с неорганическим наполнителем.

К классу F — электроизоляционные материалы, изготовленные на основе неорганических диэлектриков и пропитанные лаками или смолами, модифицированными кремнийорганическими соединениями.

К классу Н — неорганические электроизоляционные материалы, пропитанные кремнийорганическими лаками или смолами. Такие материалы не содержат связывающих органических материалов с нагревостойкостью ниже 180°C .

К классу С — неорганические изоляционные материалы, изготовленные без применения органических связывающих устройств.

2.3 Конструкционные материалы, применяемые для электрических машин и трансформаторов

Их применяют для изготовления тех частей и деталей электрических машин и трансформаторов, которые служат главным образом для передачи и восприятия механических воздействий.

В электрических машинах применяются :

- чугун,
- сталь,
- цветные металлы
- сплавы цветных металлов
- пластмассы.



Узел с литым
чугунным корпусом



Узел со стальным
штампованным корпусом



Узел с корпусом из
нержавеющей стали



Узел с термопластиковым
корпусом



Чугунная станина электродвигателя

Занятие 3

Нагревание и охлаждение электрических машин и трансформаторов.

3.1. Режимы работы и потери энергии при работе электрических машин

Режим работы электрической машины или трансформатора при условиях, для которых они предназначены заводом-изготовителем, называют номинальным.

Такой режим характеризуется номинальными величинами, указанными на заводском щитке машины или трансформатора.

При работе электрических машин и трансформаторов возникают потери преобразуемой ими энергии.

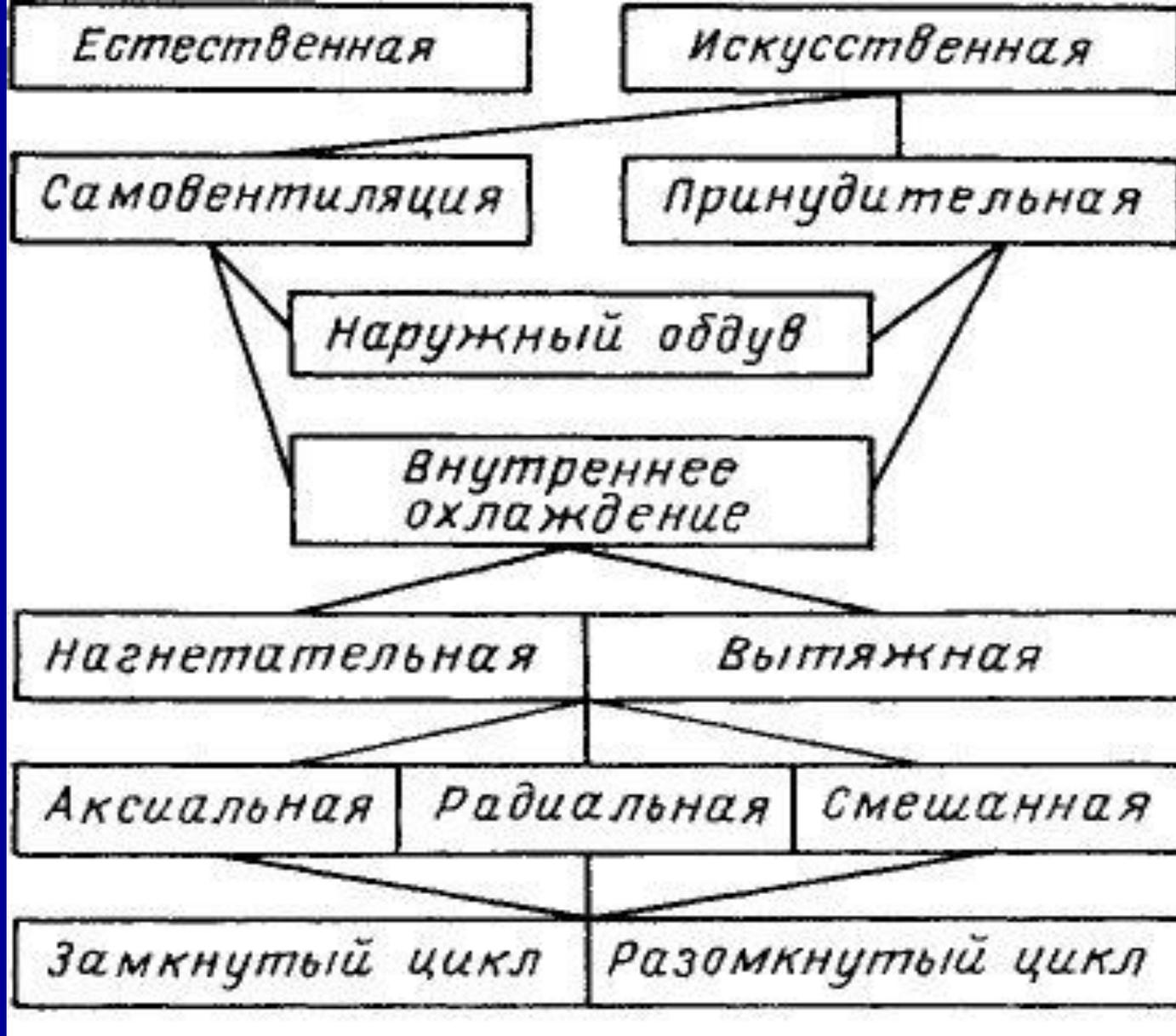
Эти потери складываются из следующих видов:

1. электрические (потери в обмотках), идущие на нагревание протекающими токами проводов обмоток, сопротивлений переходных контактов на коллекторе или контактных кольцах;
2. гистерезисные, возникающие в перемагничиваемых частях машин или трансформатора;
3. механические, идущие на трение в подшипниках, о воздух (или газ), вращающихся частей машины, щеток о коллектор или контактные кольца;
4. потери, затрачиваемые на вращение вентилятора, расположенного на валу машины.

3.2. Способы охлаждения электрических машин.

Возникающие при работе электрических машин и трансформаторов потери энергии превращаются в теплоту, нагревая отдельные их части.

Теплота должна быть рассеяна в окружающую среду, чтобы температура отдельных частей электрических машин и трансформаторов не превышала допустимых пределов.



Системы охлаждения электрических машин

По способу охлаждения электрические машины подразделяются на:

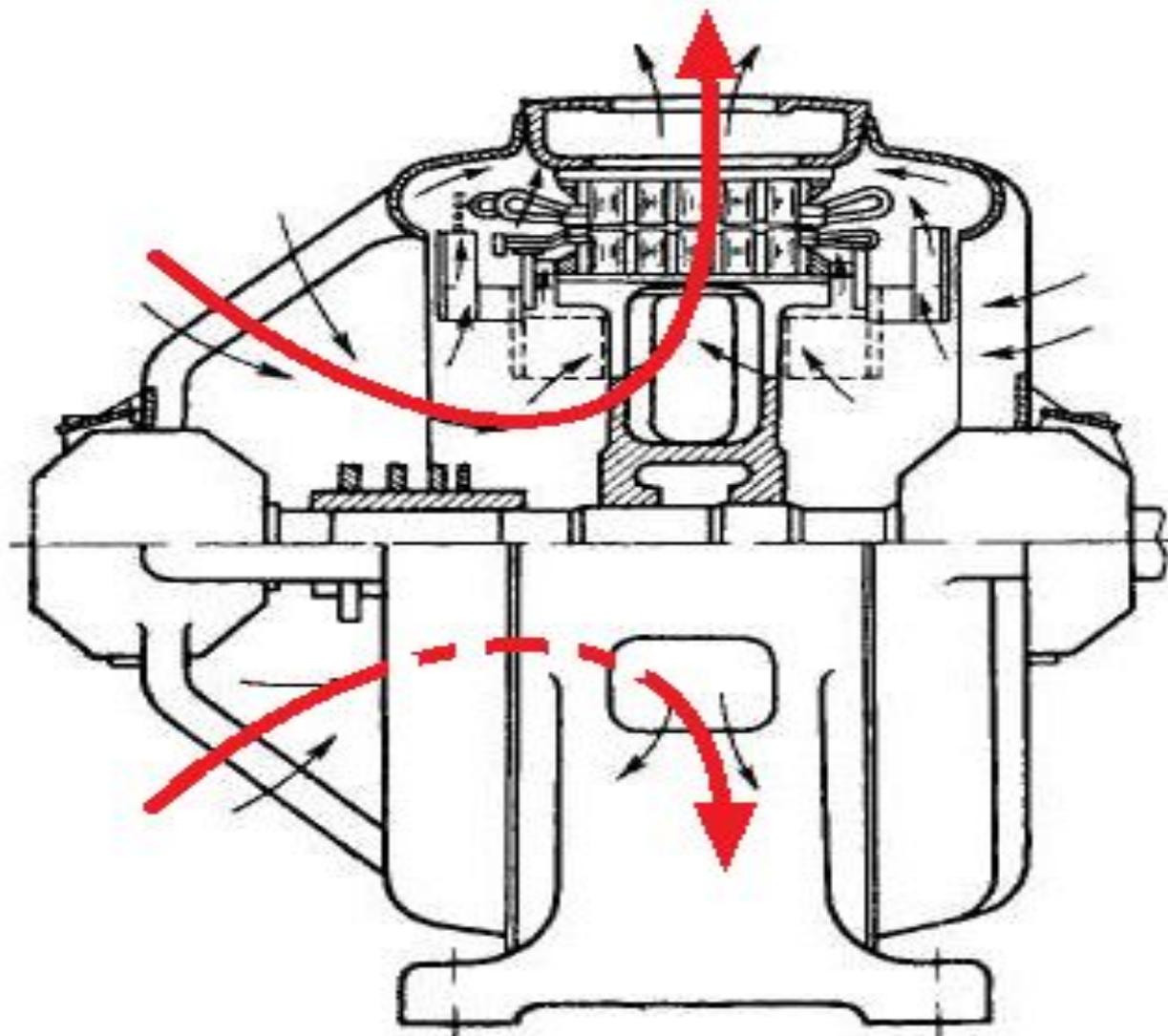
1. машины с естественным охлаждением, не имеющие специальных устройств для охлаждения.
2. машины с самовентиляцией, на валу которых помещают вентилятор, всасывающий или нагнетающий в машину при вращении ротора воздух и прогоняющий его через внутреннюю полость машины.
3. машины с посторонним охлаждением, в которых охлаждающий воздух (или водород) прогоняется по трубам вентилятором.

В зависимости от того, в каком направлении движется охлаждающий воздух по телу ротора, различают две основные системы вентиляции:

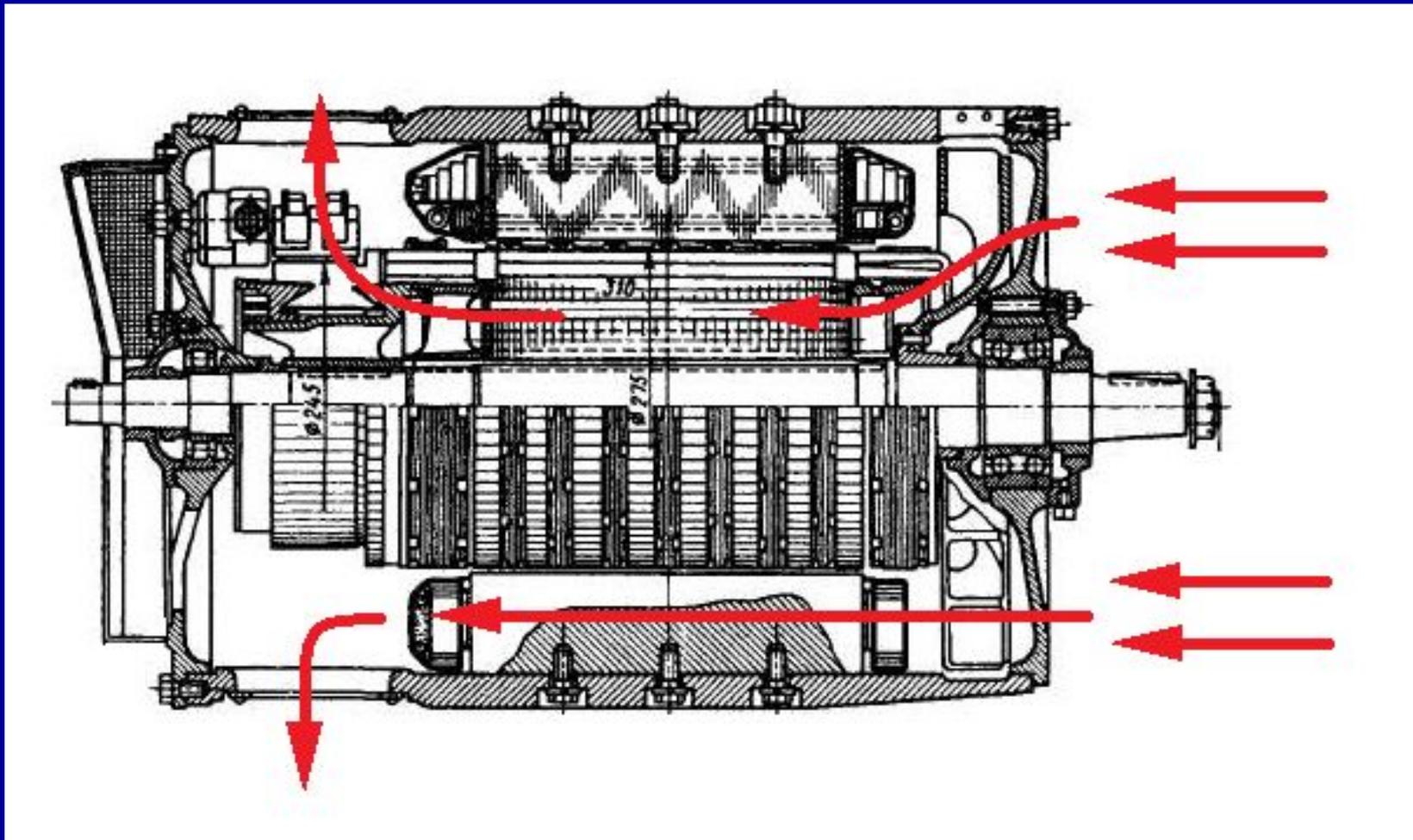
- радиальную
- осевую.

При радиальной вентиляции охлаждающая среда перемещается в радиальном направлении от вала к периферии ротора через промежутки между пакетами стальных листов, образующих сердечник ротора.

При осевой вентиляции в сердечнике ротора устраивают осевые каналы, сквозь которые прогоняется воздух параллельно валу машины.



Радиальная вентиляция асинхронного двигателя



Осевая вентиляция асинхронного двигателя

3.3. Методы охлаждения трансформаторов

В трансформаторах используется:

- воздушное (в сухих)
- масляное охлаждение.

В сухих трансформаторах нагретые поверхности обмоток и магнитопровода отдают тепло омывающему их воздуху путем конвекции и излучения.

В масляных трансформаторах тепловая энергия передается в окружающую среду специальным трансформаторным маслом, заливаемым в металлический бак, в котором помещен трансформатор.



Сухой трансформатор с воздушным охлаждением



Масляный силовой трансформатор

3.4. Способы защиты электромашин от влияния внешней среды.

По способу защиты от влияния внешней среды различают следующие исполнения машин:

- открытое,
- защищенное,
- брызгозащищенное,
- водозащищенное,
- герметическое
- взрывобезопасное

- Открытой считается машина, у которой вращающиеся и токоведущие части не имеют защитных приспособлений.
- В защищенной машине есть специальные защитные приспособления, препятствующие проникновению внутрь машины посторонних предметов, а также защищающие от случайных прикосновений к токоведущим или вращающимся частям.
- В брызгозащищенной машине есть специальные защитные приспособления, предохраняющие от попадания внутрь водяных капель, падающих сверху под углом до 45° к вертикали.

- Водозащищенной считается машина, закрытая со всех сторон (негерметически плотно) и выдерживающая испытание обливанием струей воды.
- В герметической машине плотно закрытый корпус не допускает проникновения влаги внутрь машины при ее погружении в воду.
- Взрывобезопасная машина должна противостоять взрыву газа внутри машины и не передавать его во внешнюю среду.



Защищенный
электродвигатель



Взрывозащищенный
электродвигатель



Брызгозащищенный
электродвигатель



Герметичный
электродвигатель

Тема 2.

Принцип действия и устройство электрических машин постоянного тока

Занятие 4

Принцип действия машин постоянного тока

4.1. Создание переменной эдс в генераторе постоянного тока.

Простейшим генератором постоянного тока может служить виток из проводника в виде рамки, вращающейся в магнитном поле между двумя постоянными магнитами N и S

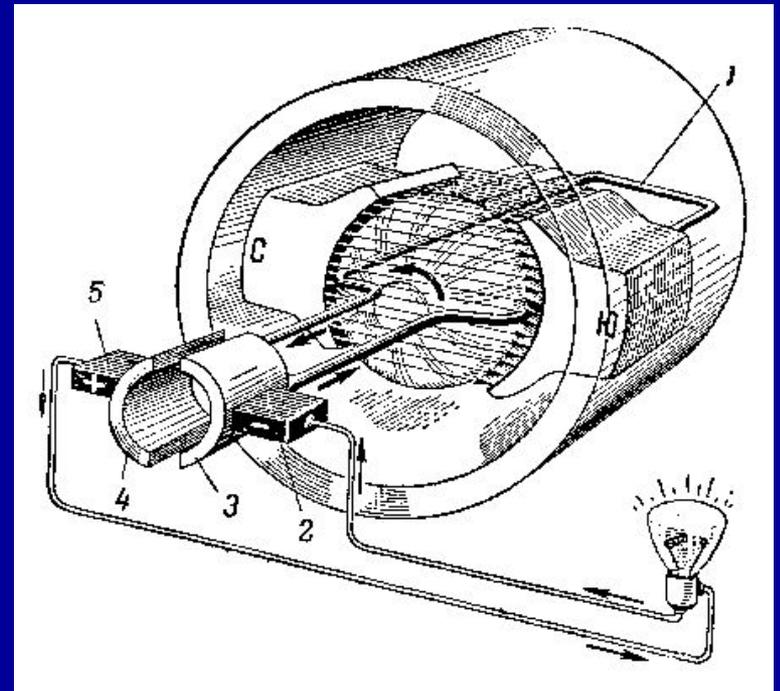


Рис.4.1. Схема работы генератора постоянного тока

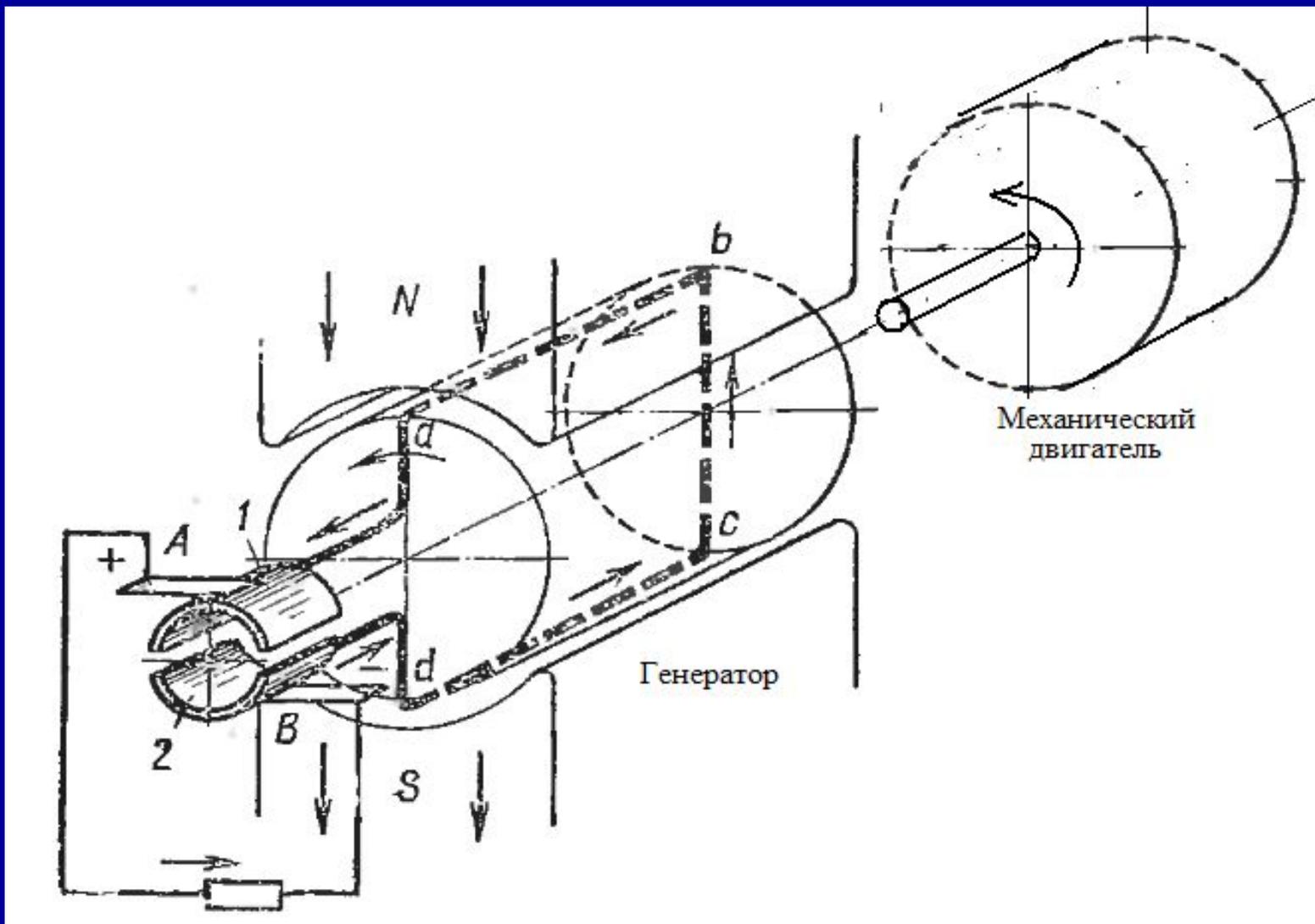


Рис.4.1. Схема работы генератора постоянного тока

Концы витка $abcd$ присоединяются к двум медным пластинам коллектора, изолированным друг от друга и от вала, на котором они помещены.

На пластинах помещены неподвижные щетки A и B , к которым присоединена внешняя цепь, состоящая из каких-либо приемников электроэнергии.

При вращении витка с постоянной частотой проводники ab и cd пересекают магнитные линии, при этом в проводниках индуцируется э. д. с.

При равномерном распределении магнитного поля в пространстве э. д. с. проводника будет равна

$$e = E \sin \omega t = E \sin 2\pi \cdot f \cdot t$$

Где: $\omega = 2\pi f$ — угловая частота; f — частота э. д. с.

Таким образом, при условии равномерного распределения магнитного поля в витке индуцируется переменная синусоидальная э. д. с. (рис.4.2, а).

Время T , за которое изменяется э. д. с, называют периодом.

Число периодов в одну секунду называют частотой.

В общем случае, когда машина имеет p пар полюсов, частота наводимой э. д. с. увеличивается пропорционально p ,

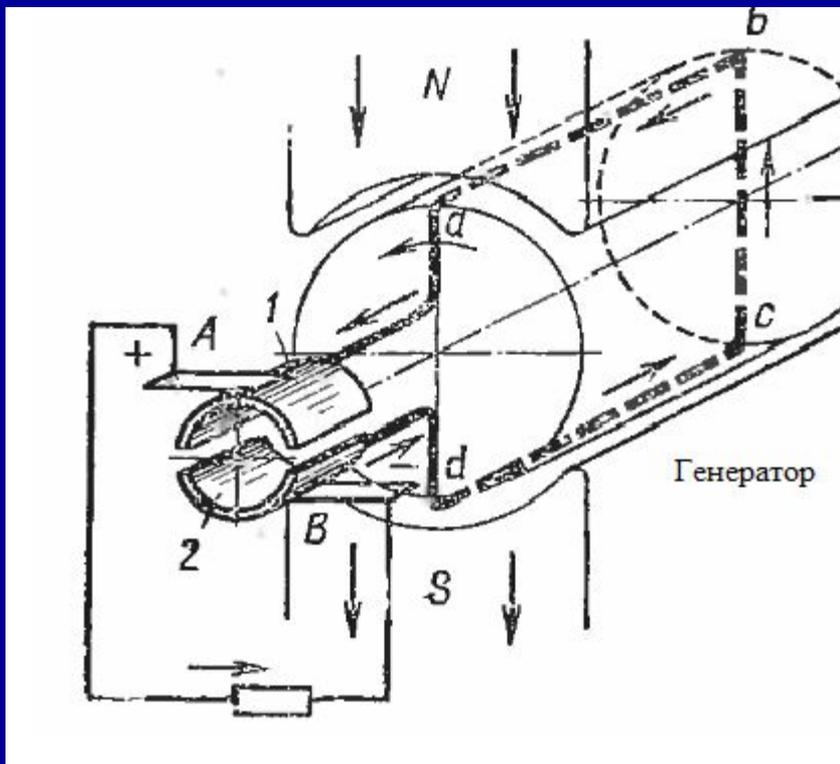
$$f = pn,$$

где: n — частота вращения витка в секунду.

4.2. Принцип работы коллектора в генераторе постоянного тока.

Для нормальной работы генератора нужно установить щетки так, чтобы наводимая в витке з. д. с. была равна нулю в момент перехода щетки с одной пластины на другую.

Каждая из щеток будет соприкасаться только с той коллекторной пластиной и соответственно только с тем из проводников, которые находят под полюсом данной полярности.



В момент времени, показанный на рис. 4.1, щетка А соприкасается с пластиной 1 и имеет положительный потенциал, так как к ней подводится э. д. с. от проводника ab , находящегося под северным полюсом.

При повороте якоря на 90° виток будет расположен так, что его проводники перемещаются вдоль магнитных линий поля, не пересекая их. Поэтому э. д. с, наведенная в витке, равна нулю.

При повороте витка на 180° щетка А соприкасается с пластиной 2, но по-прежнему она имеет положительный потенциал, так как к ней подводится э. д. с. от проводника ей, заменившего проводник **ab** под северным полюсом.

Аналогично можно видеть, что щетка В имеет всегда только отрицательный потенциал.

Таким образом, по витку *abcd* по-прежнему протекает переменный ток; при этом по внешнему участку цепи ток проходит только в одном направлении, а именно от положительной щетки А к отрицательной щетке В, т. е. происходит выпрямление переменной э. д. с, наведенной в витке, в пульсирующую на внешнем участке цепи .

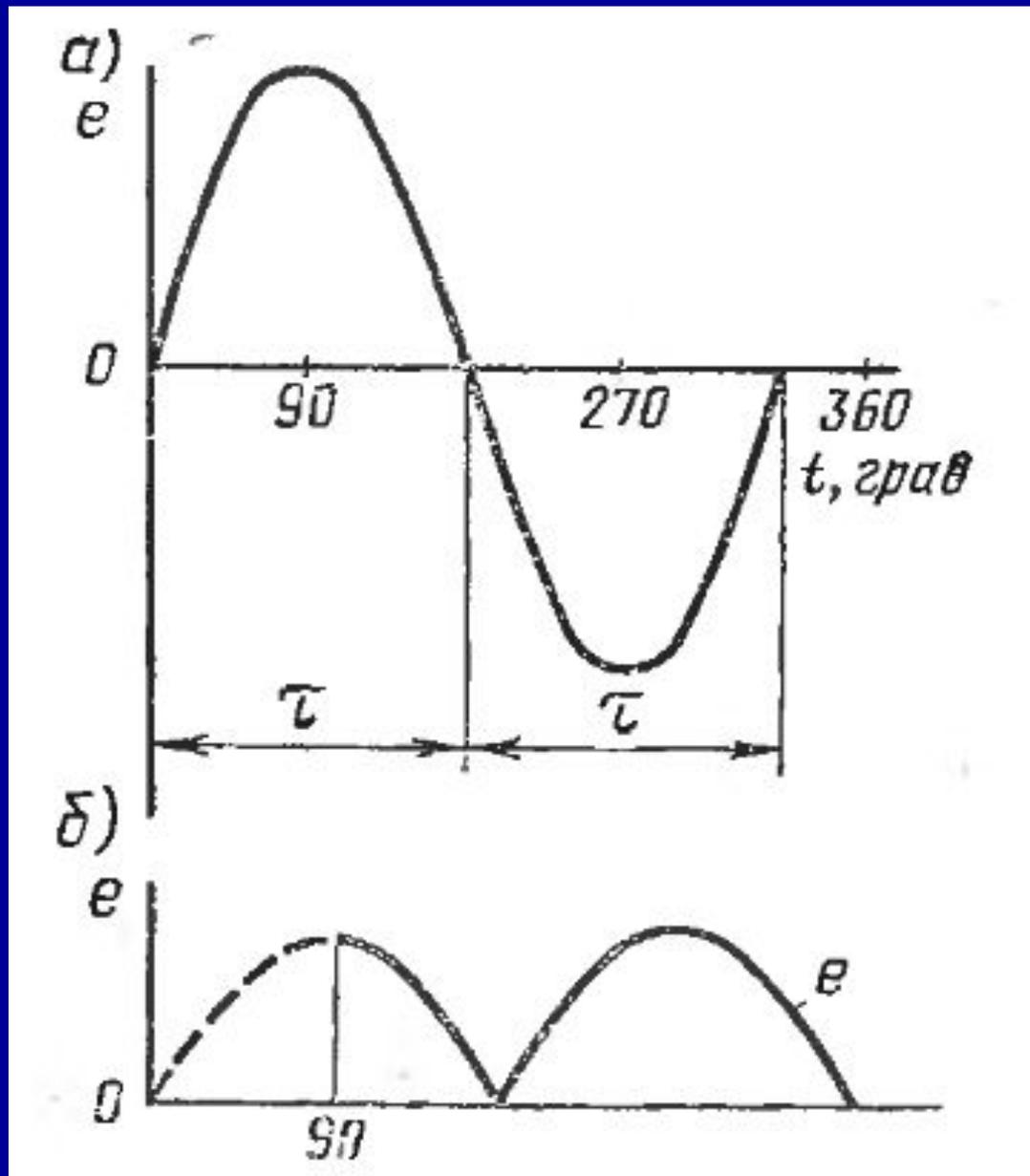


Рис.4.2. График ЭДС в витке (а) и во внешней цепи (б)

Таким образом, коллектор в генераторах постоянного тока выполняет роль преобразователя переменной э. д. с, индуцируемой в обмотке якоря, в постоянную на щетках, т. е. осуществляет выпрямление э. д. с.

Электрические машины чаще изготавливают многополюсными.

На рис. 4.3 изображена схема четырёх - полюсного генератора постоянного тока.

Линию, перпендикулярную оси полюсов и проходящую между разноименными полюсами, называют геометрической нейтралью, а часть окружности якоря, соответствующую одному полюсу, — полюсным делением τ .

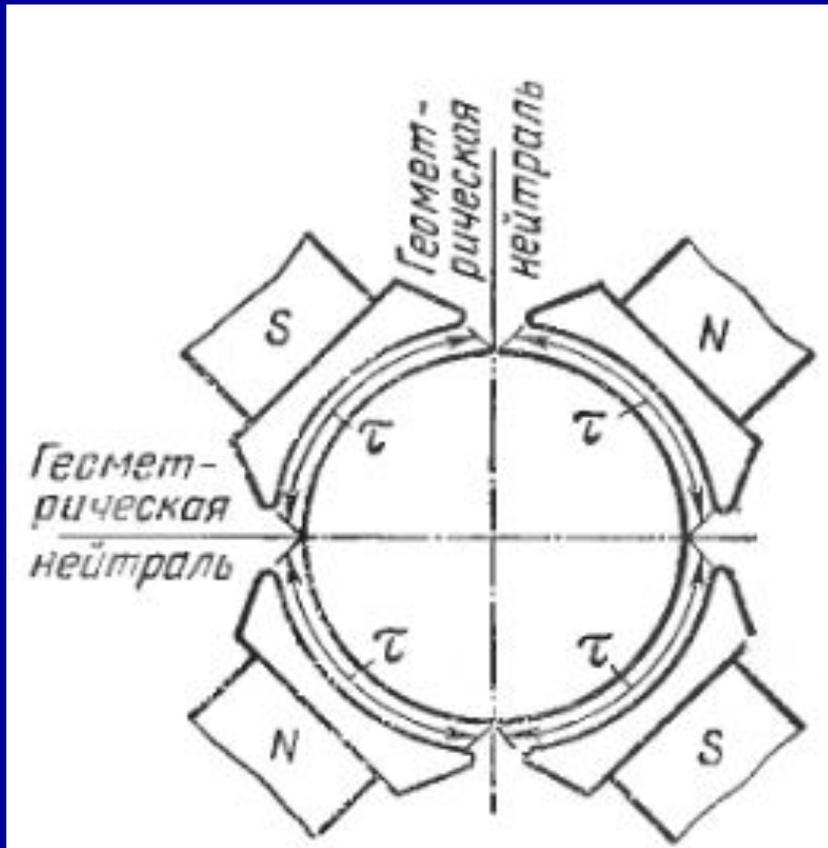


Рис.4.3.
Схема четырёхполюсного генератора.

Занятие 5

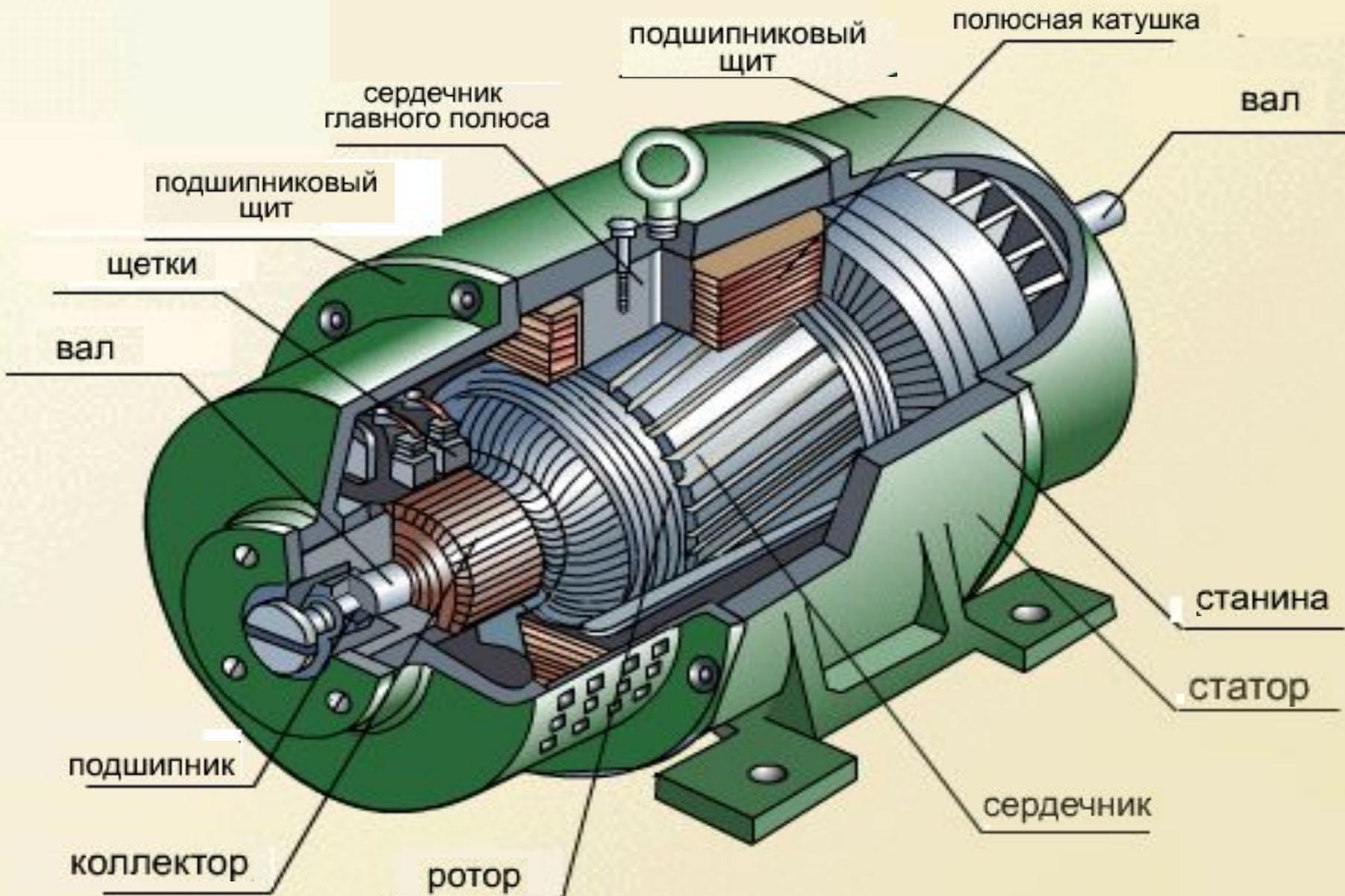
Устройство и основные элементы конструкции машины постоянного тока

5.1. Общее устройство машины постоянного тока.

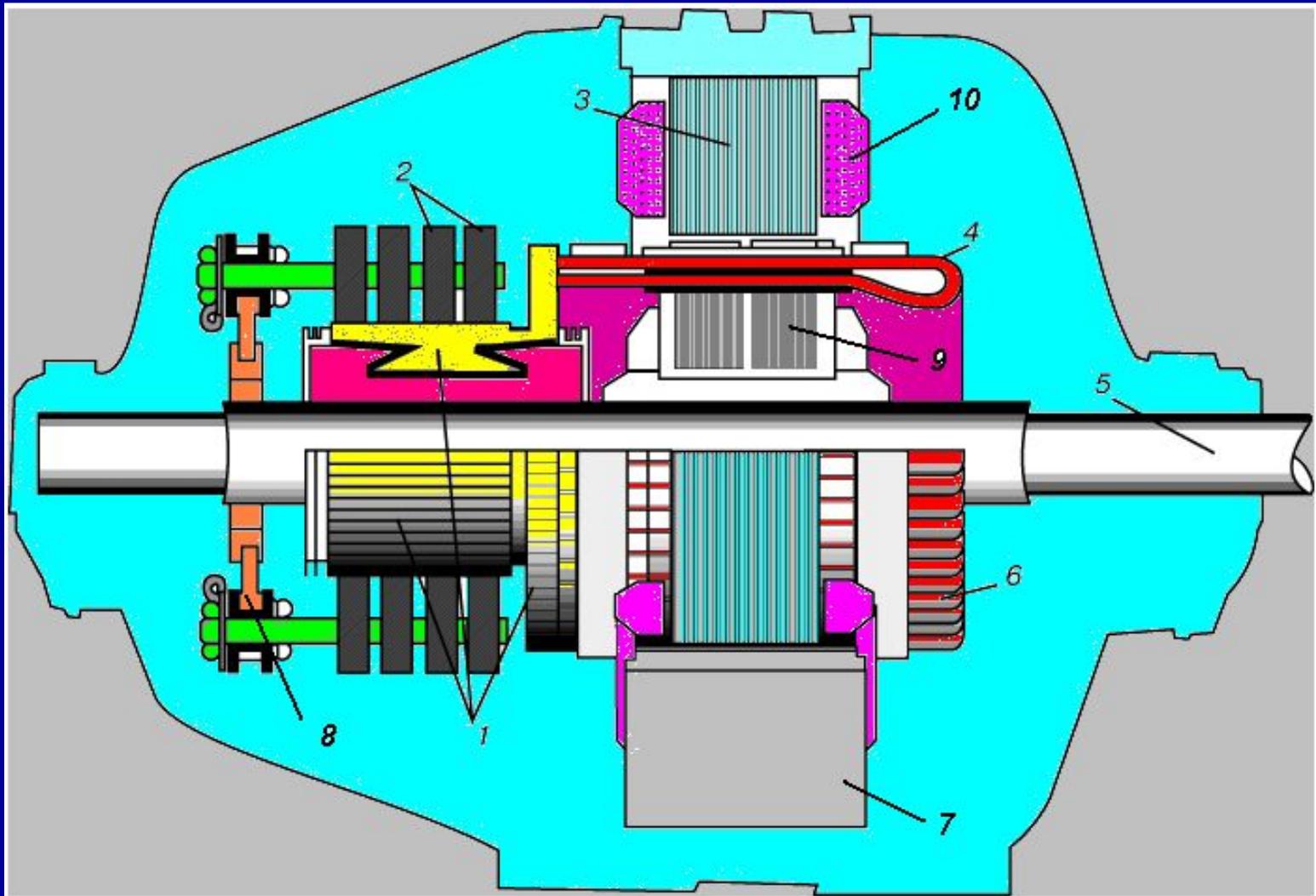
Машина постоянного тока состоит из неподвижной части — статора и вращающейся части - якоря, в котором происходит процесс преобразования механической энергии в электрическую (генератор) или обратно — электрической энергии в механическую (электродвигатель).

Между неподвижной и вращающейся частями имеется зазор.

Рис. 5.1. Общее устройство машины постоянного тока



Конструктивная схема двигателя постоянного тока

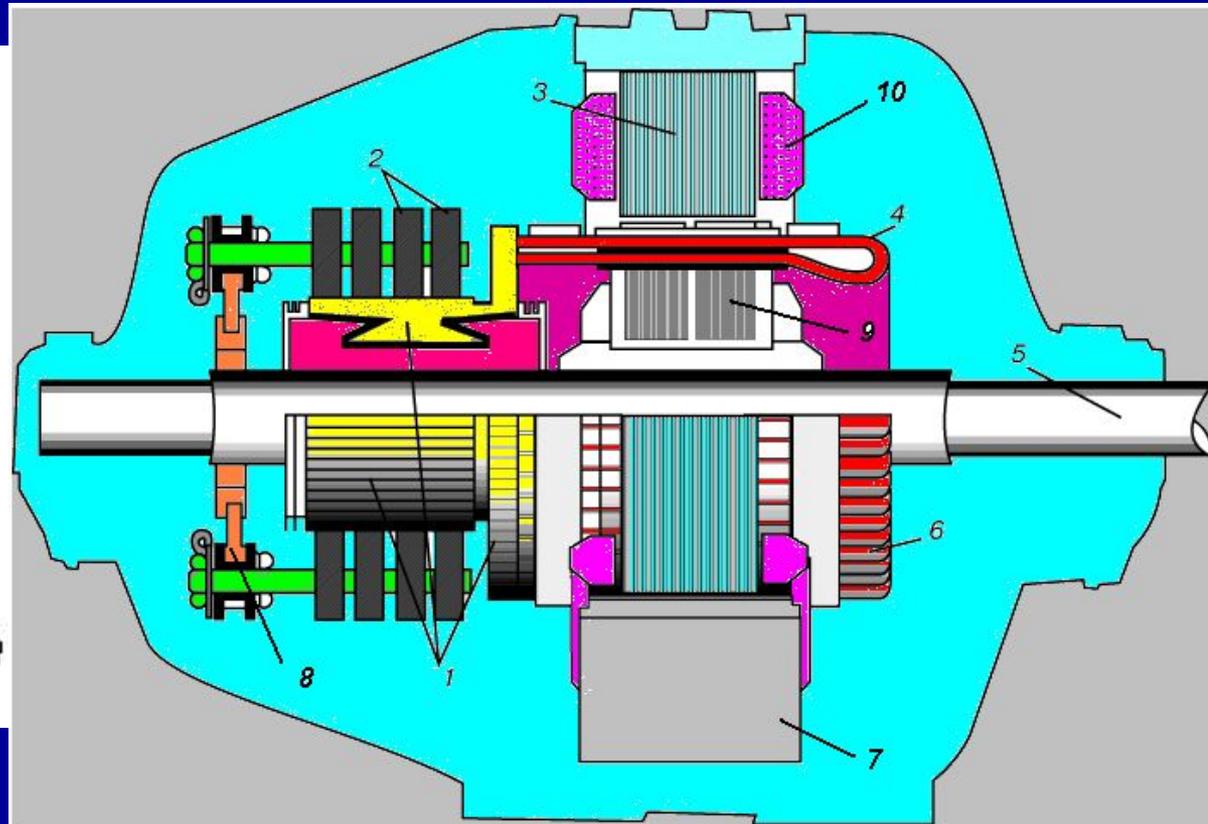


- Магнитная система служит для создания магнитного потока.
- В пазах сердечника якоря располагается обмотка из изолированных медных проводов,
- Обмотка якоря с помощью коллектора и электрических щеток соединяется с внешней электрической цепью.
- Магнитная система состоит из полюсов и станины
- Станина выполняется из стального литья, а полюсы - из листовой электротехнической стали толщиной 0,5-1 мм.
- На сердечниках главных полюсов находятся катушки обмоток возбуждения
- Главные полюсы создают основной магнитный поток машины.

Контрольный опрос :

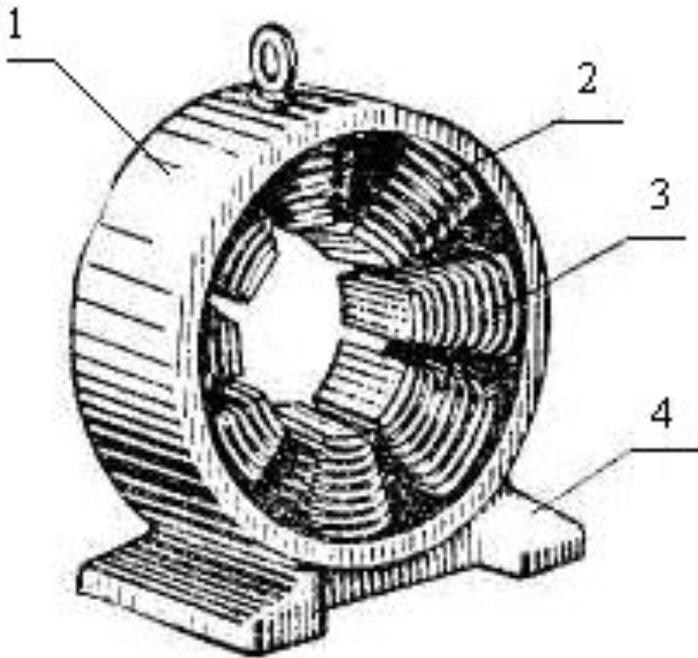
Напишите пары чисел из списка и изображения соответствующие определениям

- 1 - вал
- 2 - якорь
- 3 - обмотка главного полюса
- 4 - станина
- 5 - коллекторные пластины
- 6 - траверса
- 7 - сердечник якоря
- 8 - щетки
- 9 - обмотка якоря
- 10 - сердечник главного полюса



5.2. Устройство статора

- Статор создает магнитный поток, необходимый для работы двигателя.



1. станина
2. главные полюса с обмотками
3. добавочные полюса с обмотками
4. лапы станины



Рис.5.2. Статор двигателя постоянного тока

Станина представляет собой полый цилиндр с внутренними конструктивными элементами для крепления главных и добавочных полюсов .

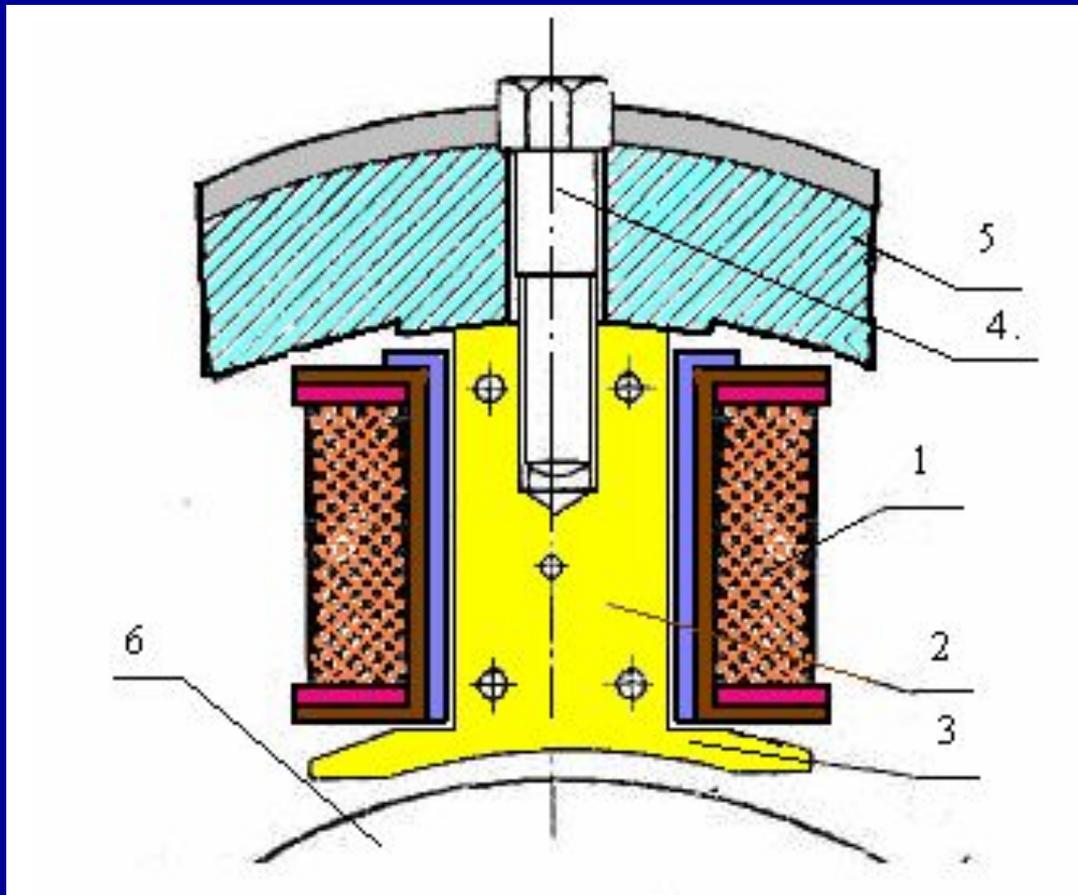
С внешней стороны станина имеет лапы для установки и закрепления двигателя на фундаменте.

В верхней части станины установлен рым-болт для подъема и перемещения двигателя.

5.3. Устройство главных и добавочных полюсов

Главный полюс с обмотками (см. рис.5.3) представляет собой явнополюсный сердечник, набранный из листов электротехнической стали, на который насаживаются катушки последовательной и параллельной обмотками.

Для выравнивания воздушного зазора по окружности якоря главный полюс имеет полюсный наконечник особой формы.



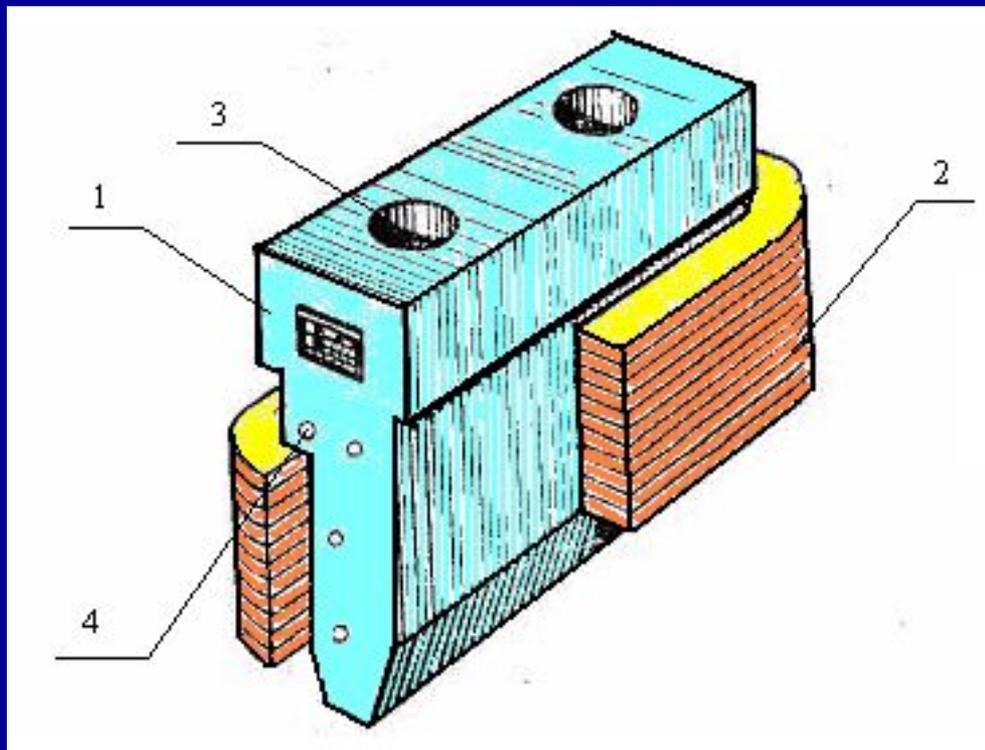
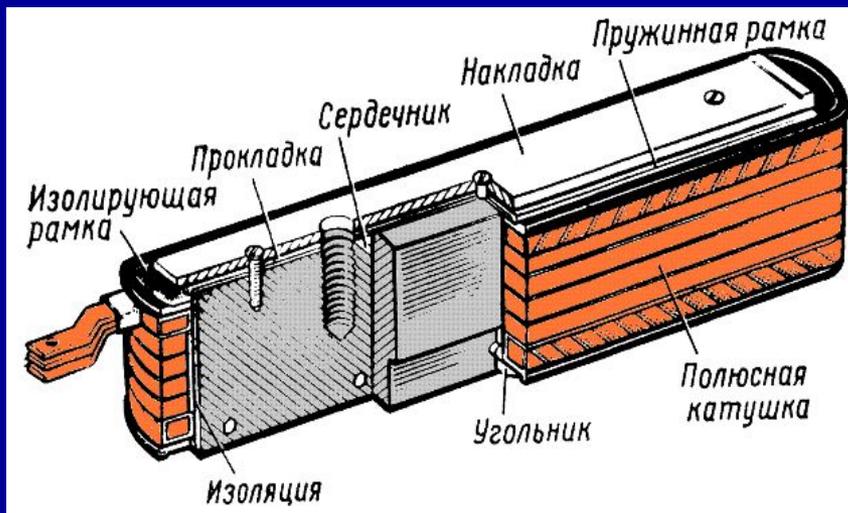
1. обмотка главного полюса
2. сердечник главного полюса
3. полюсный наконечник
4. болт крепления полюса к станине
5. станина
6. якорь

Рис. 5. 3. Главный полюс

Добавочный полюс необходим для создания более равномерного магнитного поля в воздушном зазоре. Добавочные полюса устанавливаются между главными полюсами.

Добавочный полюс содержит :

- 1.сердечник добавочного полюса
- 2.обмотка добавочного полюса
- 3.резьбовые отверстия для болтов крепления
4. стяжные шпильки



5.4. Конструкция щеточного устройства

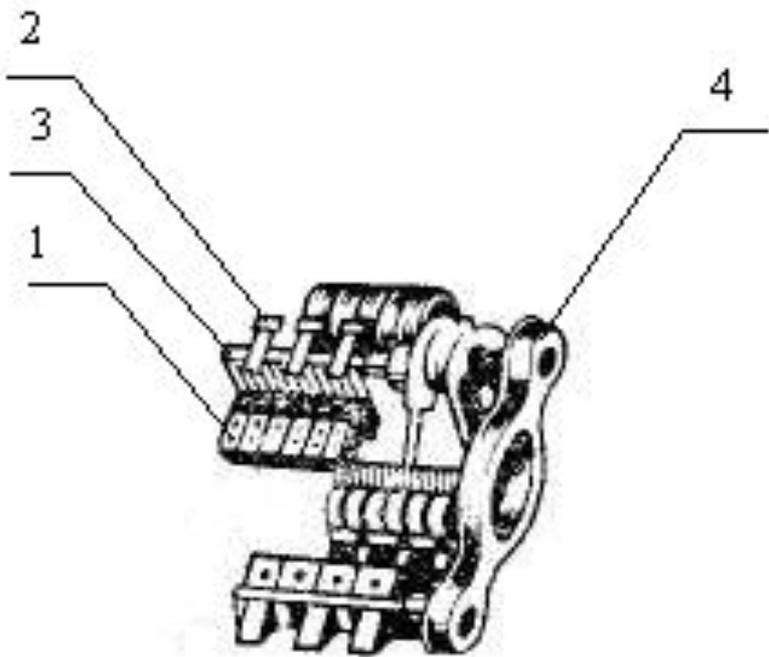
Щеточное устройство представляет собой скользящий контакт между вращающимся якорем и неподвижными обмотками полюсов. (см.рис.5.5).

- Щетки изготавливаются из графита, угля, меднографитового сплава.
- Они устанавливаются в щеткодержатели и удерживаются в них пружинами.

Щеткодержатели закрепляются на специальном стержне, называемым пальцем. Минимальное количество пальцев - два. Они располагаются диаметрально на траверсе.

Траверса представляет собой кольцо, имеющее возможность поворачиваться вместе с пальцами на некоторый угол.

Поворот траверсы осуществляется для выбора лучших условий коммутации щеток. При хорошей коммутации под щетками отсутствует искрение.

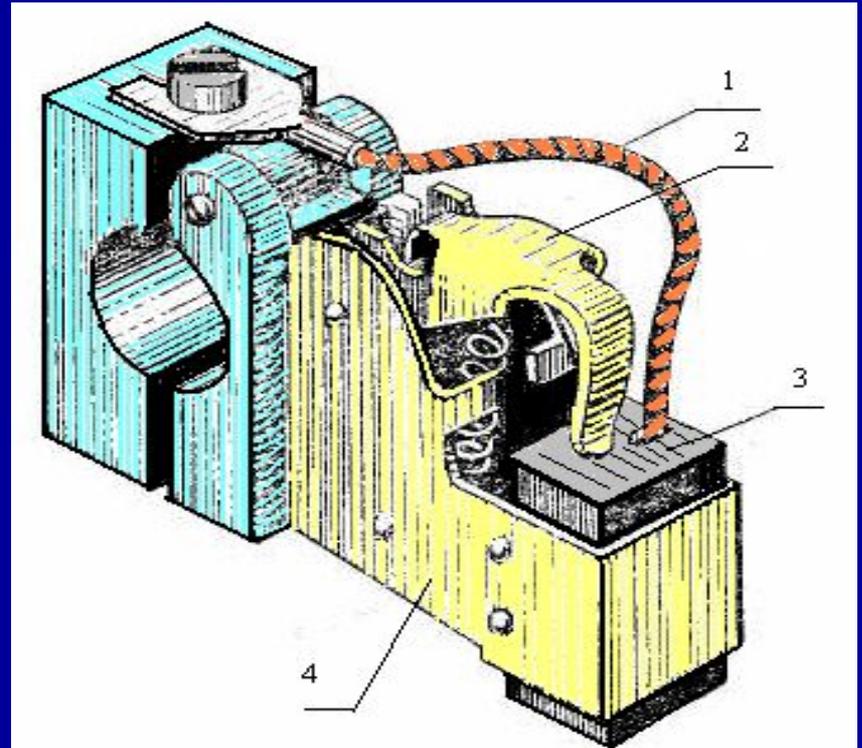


- 1 - Щетки
- 2 -
щеткодержатель
- 3 - палец
- 4 – поворотная
траверса

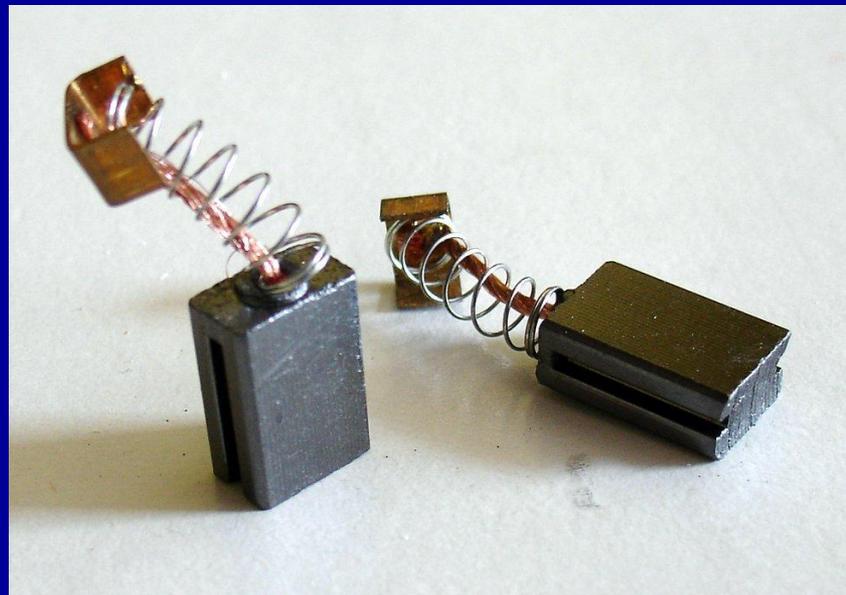
Рис.5.5. Щеточное устройство

- 1 - гибкий медный проводник
- 2 - прижим с пружиной
- 3 - щетка
- 4- обойма щеткодержателя

Щеткодержатель.



Щеткодержатель



Щётки



5.5. Конструкция якоря.

Якорь двигателя постоянного тока показан на рисунке 5.7.

Он содержит:

- 1 - коллектор
- 2 - сердечник якоря
- 3 - обмотка якоря
- 4 - лопатки вентилятора
- 5 - вал

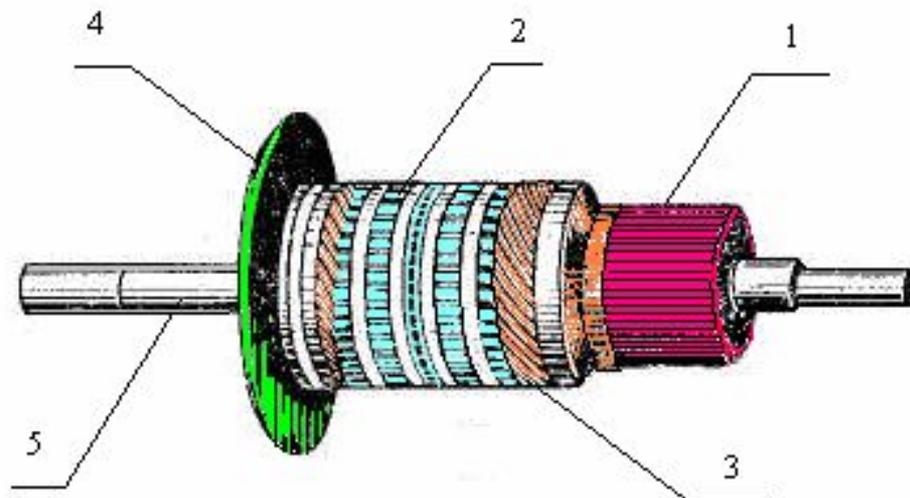
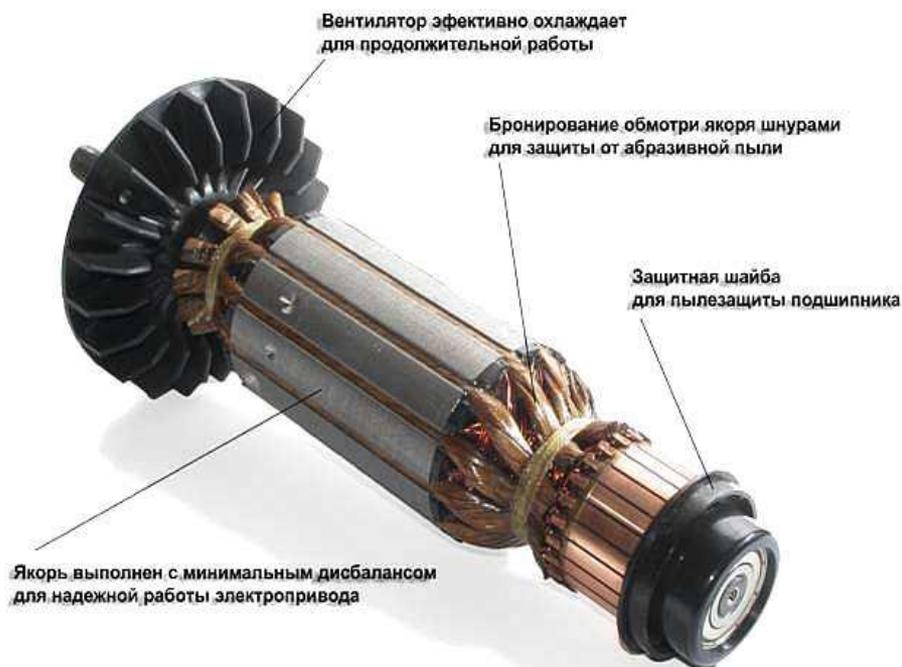


Рис.5.7. Якорь двигателя постоянного тока



Стальной вал является несущей конструкцией, на которой закрепляются все остальные детали якоря. Выходной конец вала имеет шпонку для соединения с приводным механизмом.

Сердечник набран из листов электротехнической стали. Пакет из листов напрессовывается на вал. В сердечнике выполнены пазы, в которых размещается обмотка якоря.

Обмотка якоря выполняется из медного изолированного провода круглого или прямоугольного сечения. Секции обмотки укладываются в пазы сердечника. Концы секции припаиваются к пластинам коллектора

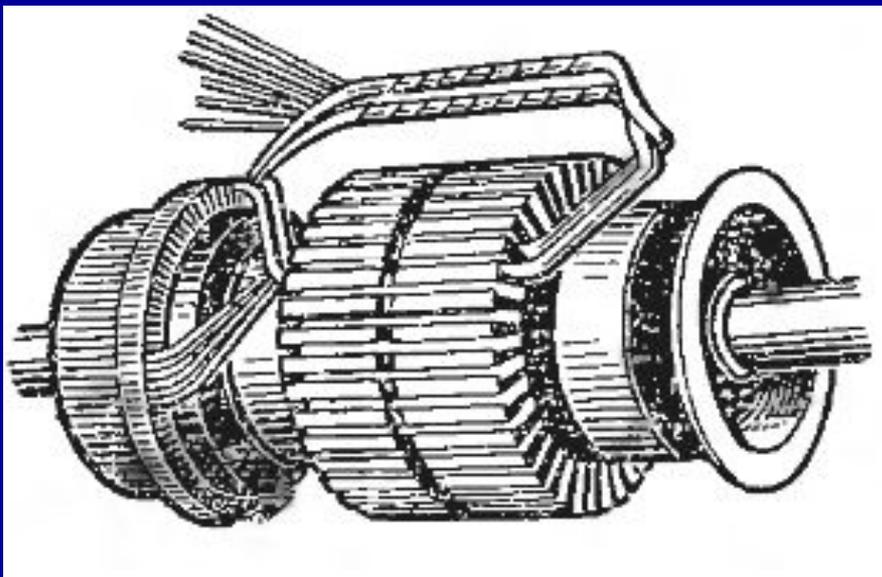
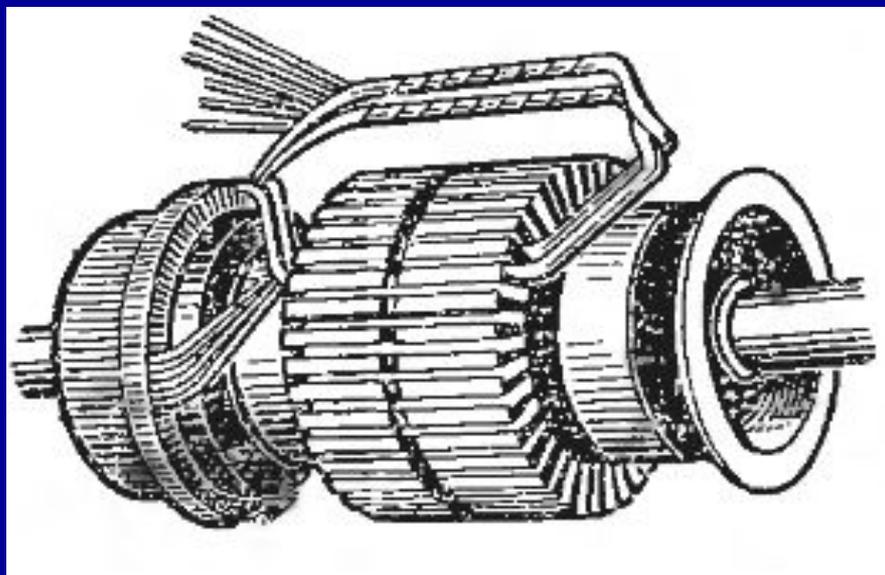
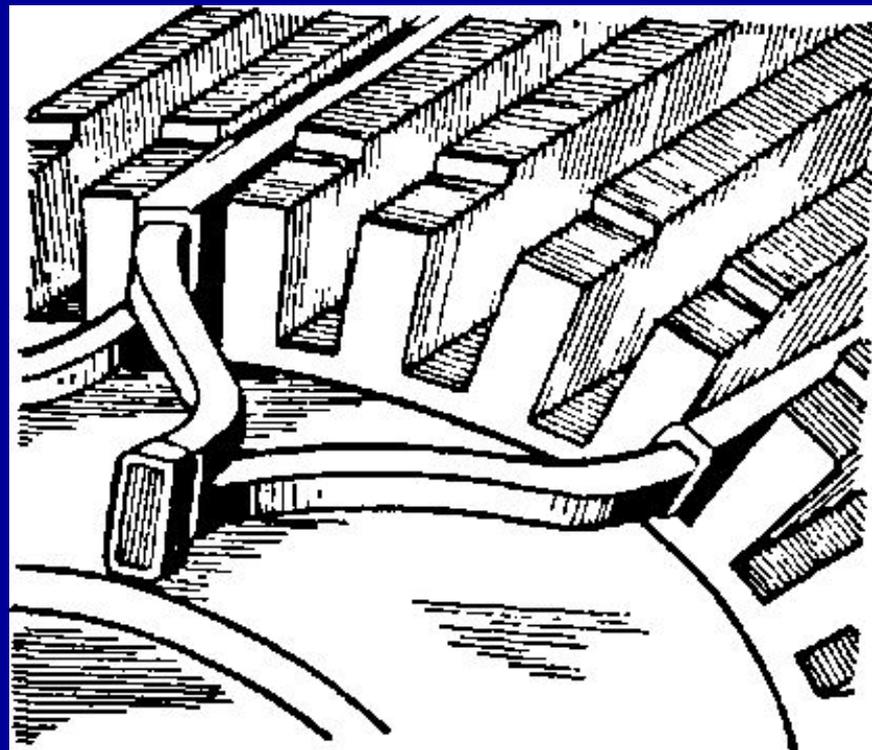


Рис.5.9. Укладка обмотки в пазы якоря.



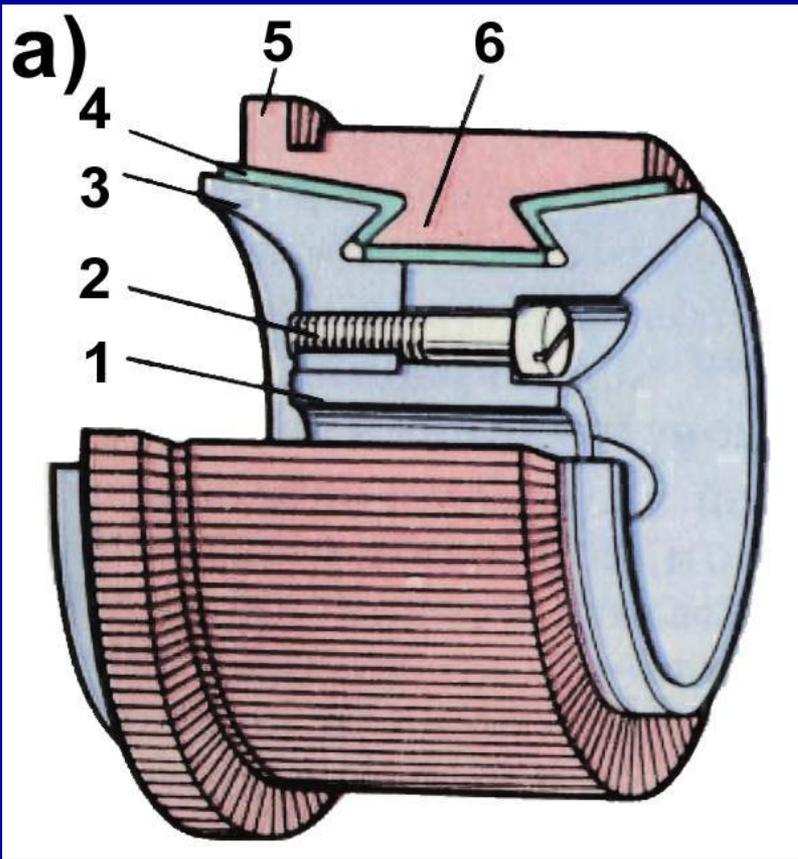
5.6. Конструкция коллектора.

Коллектор (см.рис.5.8.) представляет сложную конструкцию в виде цилиндра , собранного из отдельных медных пластин-ламель. Пластины коллектора изолированы друг от друга миканитовыми прокладками.

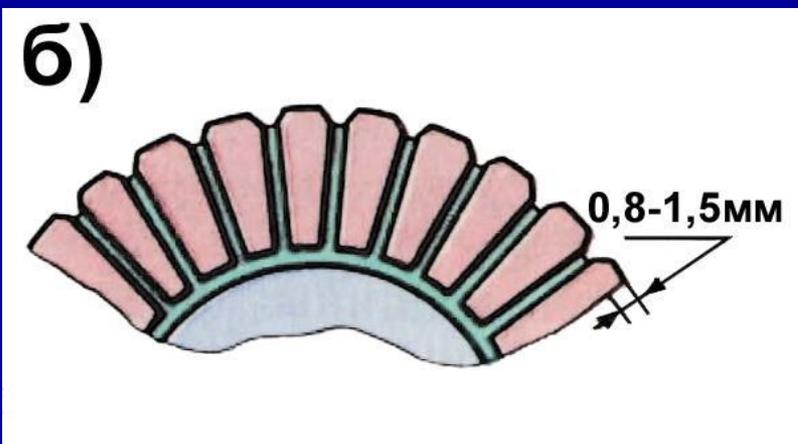
К пластинам коллектора припаиваются концы секций статорной обмотки.



Рис.5.8.Коллектор двигателя постоянного тока



1. корпус коллектора
2. стяжной болт
3. нажимное кольцо
4. изоляционная прокладка
5. петушок
6. коллекторная пластина



Занятие 6

Системы вентиляции электрических машин

Электрические машины подразделяют в зависимости от способа охлаждения на:

- Машины с естественным охлаждением
- Машины с самовентиляцией.
- Машины с независимым охлаждением.

6.1. Машины с естественным охлаждением

- У машин с такой системой вентиляции нет специальных устройств для усиления эффективности охлаждения.

Естественную вентиляцию применяют в машинах малой мощности, так как условия их охлаждения сравнительно легкие

6.2. Машины с самовентиляцией.

У машин с такой системой вентиляции охлаждение достигается с помощью вентилятора

Самовентиляцией может быть внутренняя, когда воздух проходит внутри машины, и наружная, когда вентилятор выносят наружу и он обдувает внешнюю ребристую поверхность станины.

.

6.3. Машины с независимым охлаждением

У машин с такой системой вентиляции воздух поступает от вентилятора, работающего независимо от машины.

Вентиляция у машины с независимым охлаждением может быть:

- протяжной
- замкнутой.

Занятие 7 Якорные обмотки машин постоянного тока

7.1. Требования, предъявляемые к якорным обмоткам машин постоянного тока

Обмотка якоря — важнейший элемент машины, удовлетворяющий следующим требованиям:

1. обмотка должна быть рассчитана на заданные величины напряжения и тока нагрузки, соответствующие номинальной мощности,
2. обмотка должна иметь необходимую электрическую, механическую и термическую прочности,
3. конструкция обмотки должна обеспечить удовлетворительные условия токосъема с коллектора без вредного искрения;
4. расход материала при заданных эксплуатационных показателях (к. п. д. и др.) обмотки должен быть минимальным;
4. технология изготовления обмотки должна быть по возможности простой.

7.2.Размещение обмоток в пазах якоря.

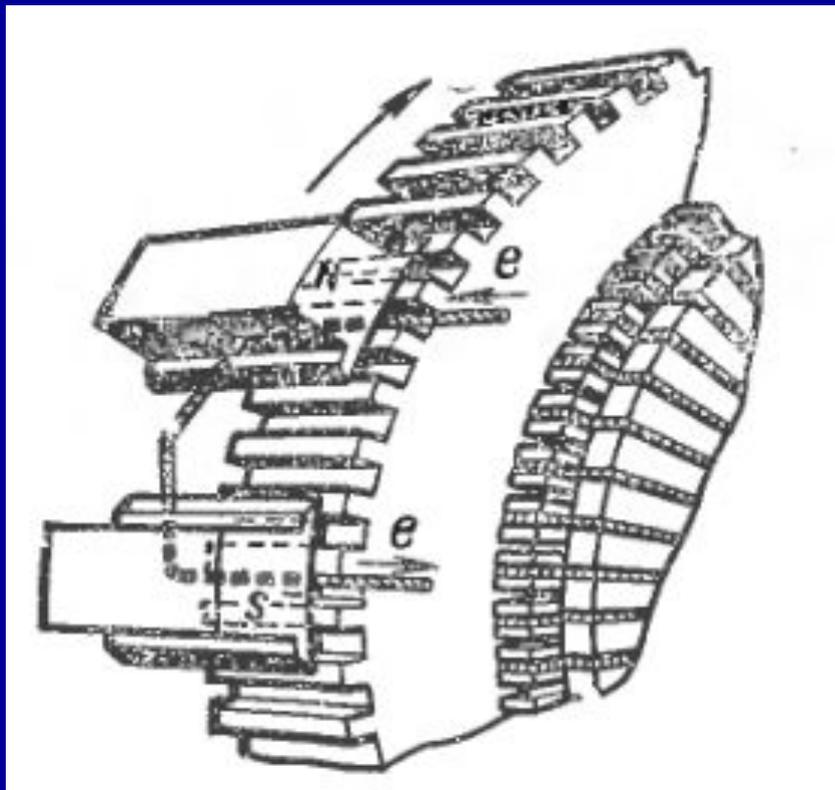


Рис.7.1. Расположение обмотки в пазах сердечника якоря.

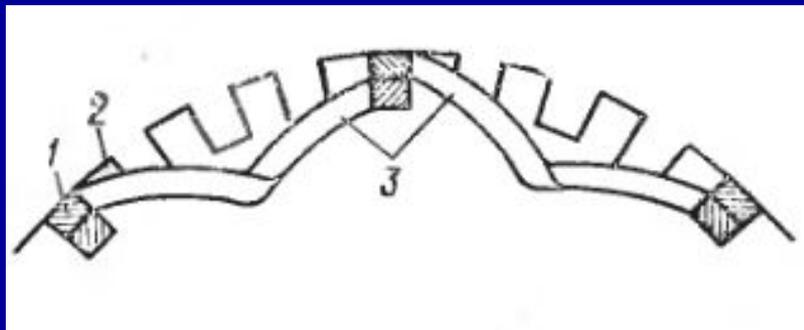
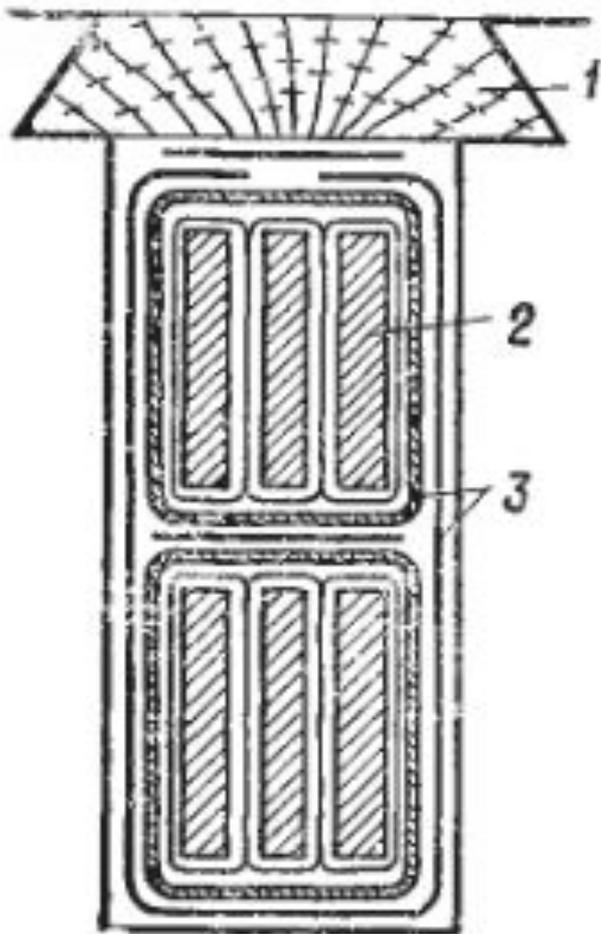


Рис.7.2. Двухслойное расположение секций обмотки якоря



Секции якорной обмотки



1. Немагнитный изоляционный клин
2. Секции обмотки
3. Изоляция паза

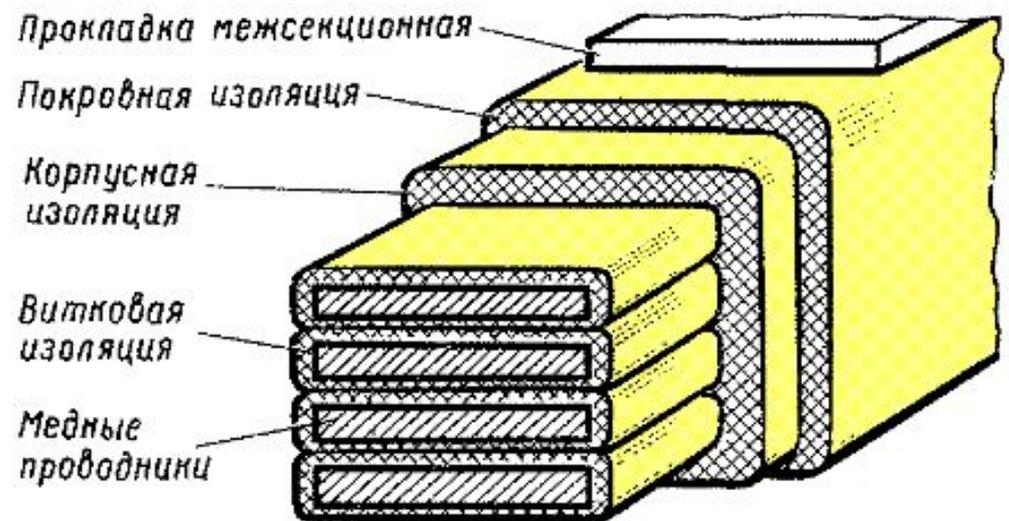


Рис. Изоляция секции

Рис.7.3. Поперечный разрез паза якоря

Занятие 8. Магнитная цепь машины постоянного тока

8.1. Распределение магнитного потока в электрической машине постоянного тока.

Намагничивающая сила обмотки возбуждения машины постоянного тока создает магнитное поле, магнитные линии которого замыкаются через участки машины, образующие ее магнитную систему.

Весь магнитный поток Φ_{Π} полюса делится на две неравные части. Большая часть—основной магнитный поток Φ_{δ} проникает через воздушный зазор в якорь и разветвляется в его сердечнике, подходит к соседним полюсам и замыкается через ярмо.

Меньшая часть потока рассеяния Φ_{σ} замыкается между полюсами, минуя якорь.

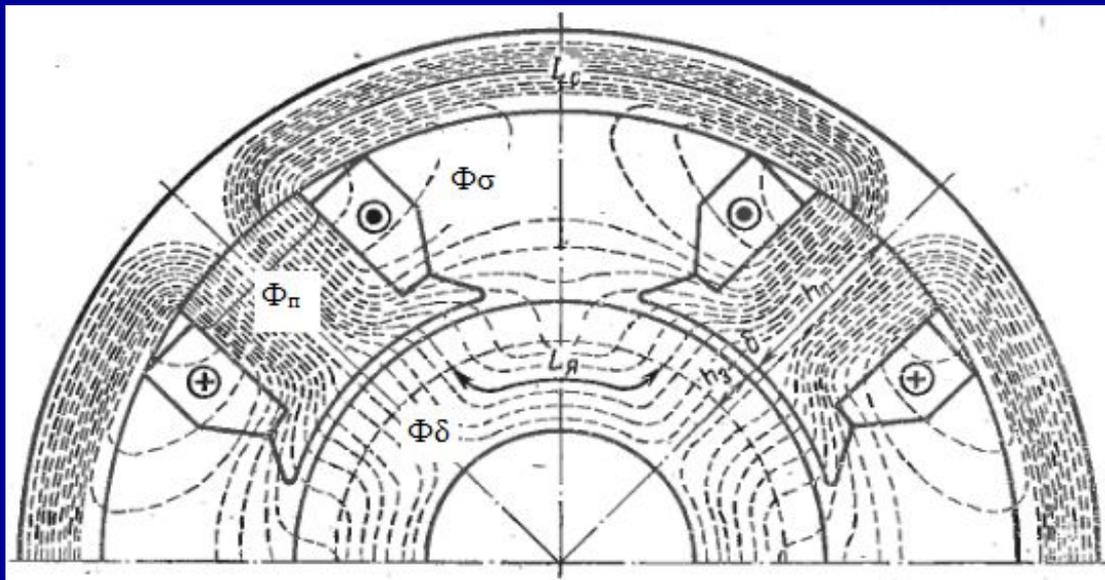


Рис.8.1. Магнитная цепь машины постоянного тока.

Тогда магнитный поток полюса

$$\Phi_n = \Phi_\delta + \Phi_\sigma = \left(1 + \frac{\Phi_\sigma}{\Phi_\delta}\right) \cdot \Phi_\delta = k_\sigma \Phi_\delta$$

$$k = \left(1 + \frac{\Phi_\sigma}{\Phi_\delta}\right)$$

где: — коэффициент рассеяния основных
ПОЛЮСОВ.

8.2. Расчет намагничивающей силы машины постоянного тока.

Участки магнитной цепи отличаются друг от друга как своими геометрическими размерами, так и физическими свойствами.

Для замкнутого контура намагничивающей силы (н.с.) одной пары полюсов получим:

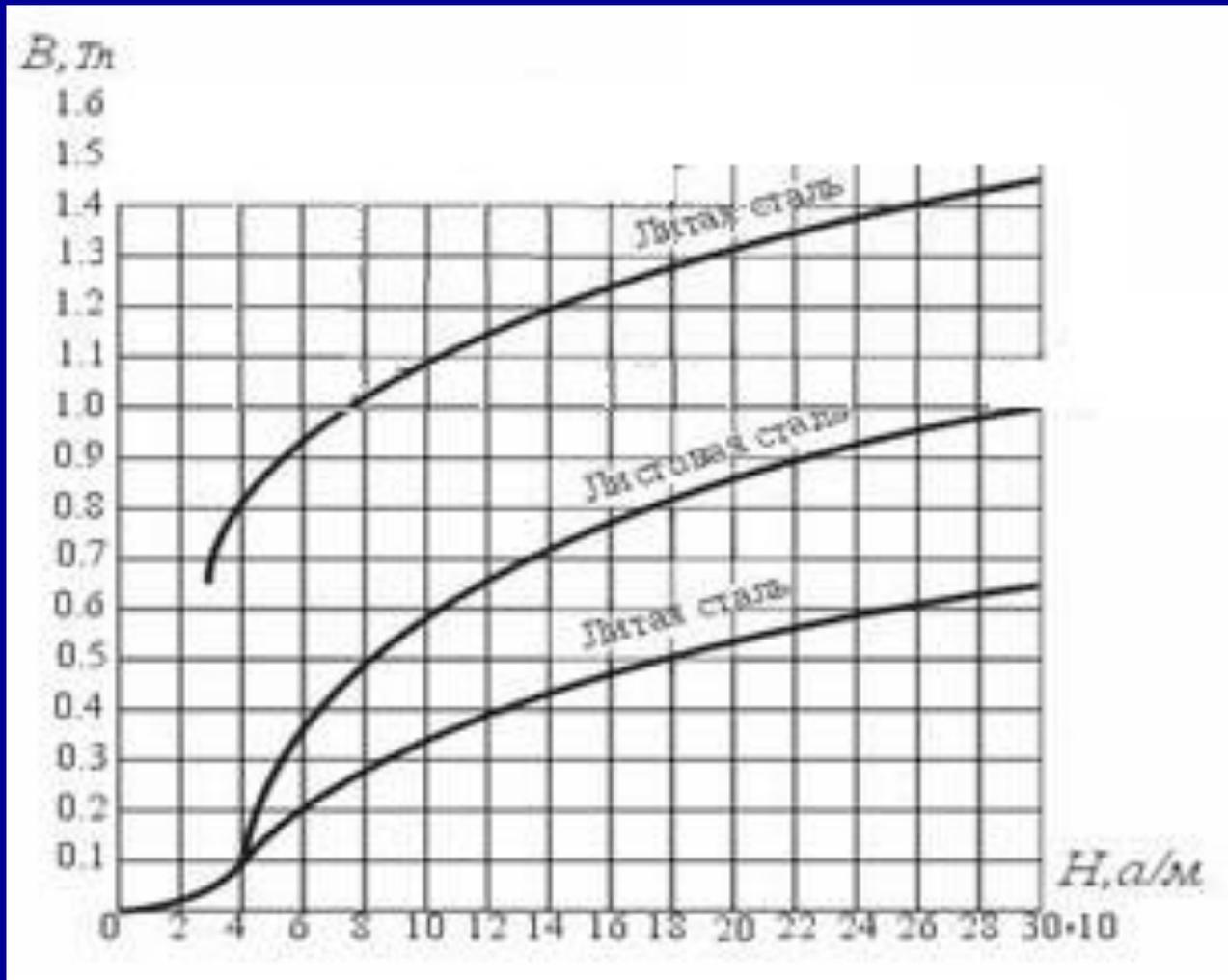
$$F = I_B w_B = \sum Hl = \sum I$$

где: I_B - ток возбуждения;

w_B - число витков обмотки возбуждения;

H - напряженность магнитного поля, зависящая от магнитной индукции и определяемая по кривым намагничивания (рис. 10.2);

l - средняя длина данного участка магнитной цепи.



Для каждой из марок электротехнических сталей существует своя зависимость напряженности магнитного поля от магнитной индукции. Эта зависимость определяется опытным путем и выражается в виде графиков, называемых кривыми намагничивания электротехнических сталей.

В магнитной цепи электрической машины напряженность магнитного поля изменяется на границе участков из различных материалов.

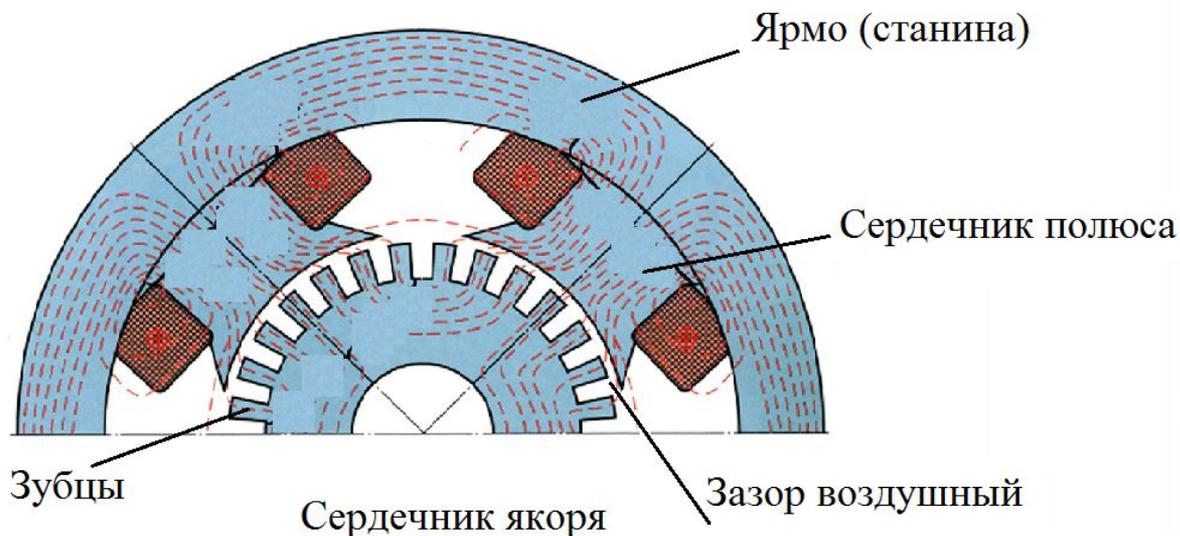


Рис.8.2. Характерные участки магнитной цепи машины.

По этому признаку магнитную цепь машины постоянного тока можно разделить на пять участков,.

- 1.Зазор воздушный
- 2.Зубцовый слой (зубцы)
- 3.Сердечник якоря
- 4.Сердечник полюса с наконечником
- 5.Ярмо (станина)

Характерные величины магнитной цепи приведены в табл. 8.1

| Наименование участка | Поток участка | Индукция на участке | Площадь поперечного сечения участка. | Напряженность магнитного поля | Длина пути на пару полюсов | Н.С. на пару полюсов |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|
| Зазор воздушный | Φ_0 | B_δ | S_δ | H_δ | 2δ | F_δ |
| Зубцовый слой (зубцы) | Φ_0 | B_z | S_z | H_z | $2h_z$ | F_z |
| Сердечник якоря | $\Phi_{я} = 0,5\Phi_0$ | $B_{я}$ | $S_{я}$ | $H_{я}$ | $L_{я}$ | $F_{я}$ |
| Сердечник полюса с наконечником | $\Phi_{п} = k_y \Phi_0$ | $B_{п}$ | $S_{п}$ | $H_{п}$ | $2h_{п}$ | $F_{п}$ |
| Ярмо (станина) | $\Phi_{с} = 0,5\Phi_0$ | $B_{с}$ | $S_{с}$ | $H_{с}$ | $L_{с}$ | $F_{с}$ |

- Рассчитанная на пару полюсов основная н. с. машины

$$F_o = F_{\delta} + F_z + F_{я} + F_{\Pi} + F_c$$

- Это уравнение показывает, что для определения н. с. нужно для каждого из пяти участков найти соответствующую ему напряженность магнитного поля H и умножить ее на длину пути потока на этом участке.
- Размеры участков магнитной цепи или известны в выполненной машине, или устанавливаются по рекомендуемым магнитным индукциям (при проектировании машины), поэтому

$$F_o = H_{\delta}2\delta + H_z2h_z + H_{я}L_{я} + H_{\Pi}2h_{\Pi} + H_cL_c$$

Занятие 9.
Коммутация в машинах
ПОСТОЯННОГО ТОКА.

9.1. Реакция якоря

Когда машина работает в режиме холостого хода (х. х.), т. е. при отсутствии тока в обмотке якоря, единственным источником магнитного поля в машине является намагничивающая сила обмотки возбуждения, создающая основной поток Φ . (рис. 11.1),

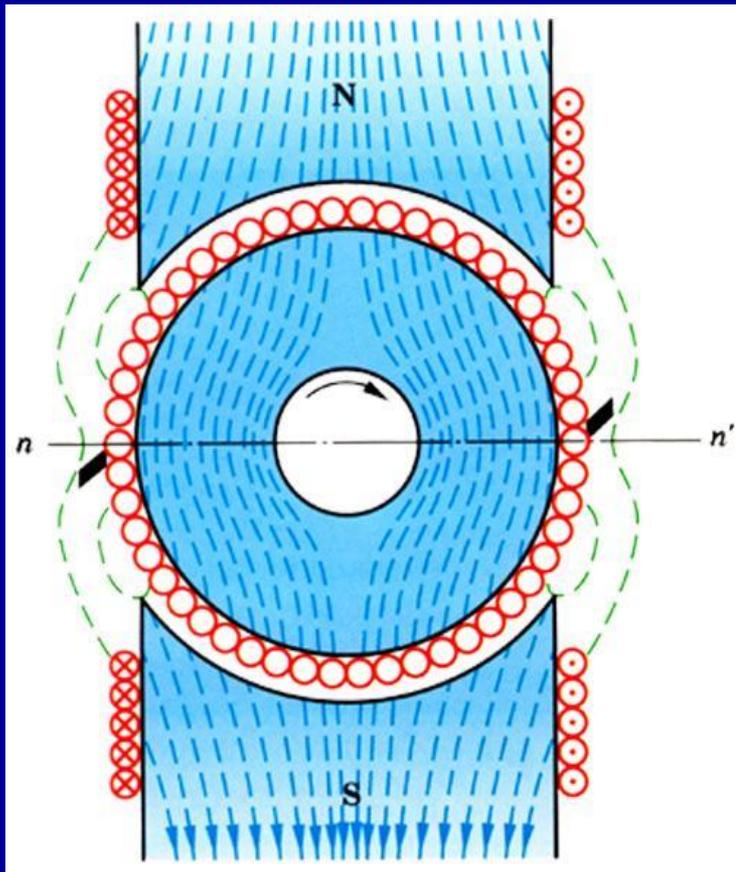
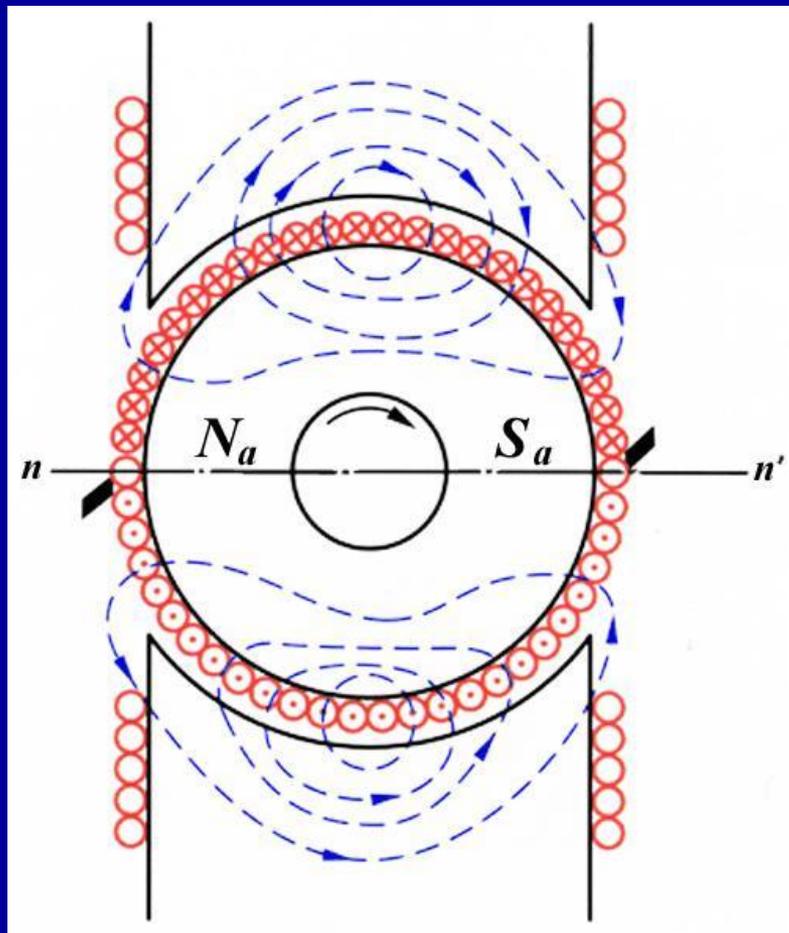


Рис.9.1. Магнитное поле полюсов при холостом ходе

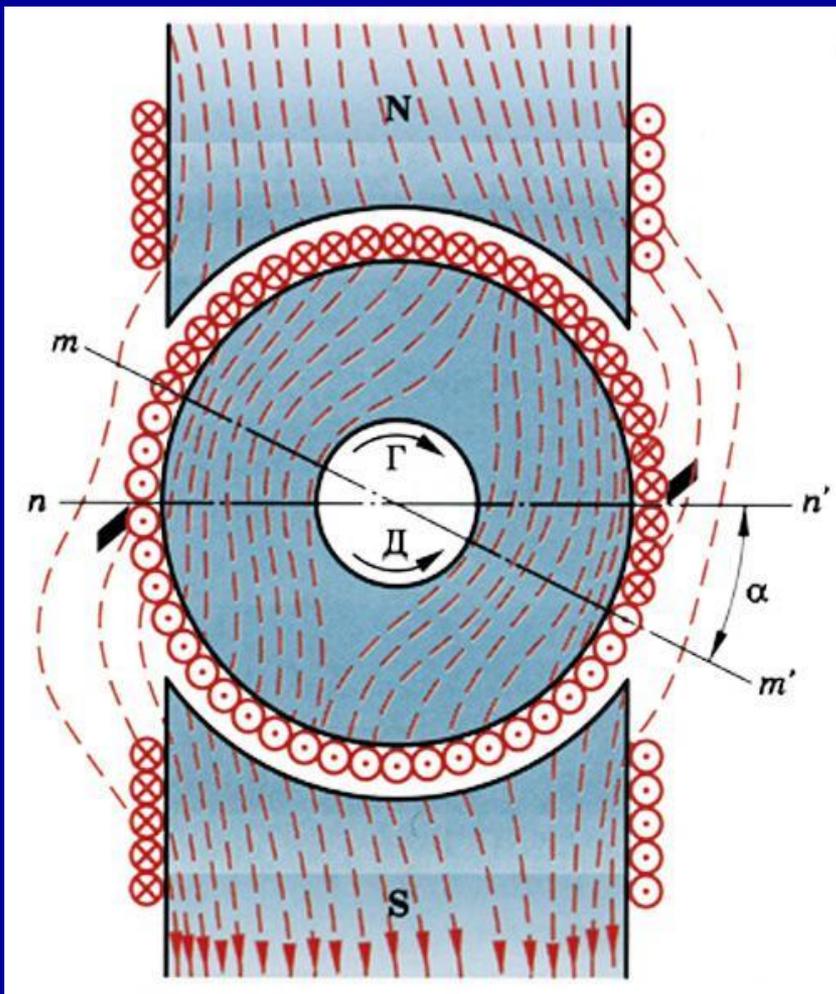


При нагрузке электрической машины, когда возникает ток в цепи якоря, кроме основного магнитного потока, существуют магнитные поля обмоток цепи якоря. (рис. 9.2),

Рис.9.2. Магнитное поле якоря

Поэтому магнитный поток в воздушном зазоре и пространственное распределение магнитного поля при нагрузке машины будут определяться совместным действием намагничивающей силы полюсов и цепи якоря.

Таким образом, магнитный поток, который существует в машине при работе ее под нагрузкой, следует рассматривать как результирующий поток, созданный результирующей намагничивающей силы. (рис. 9.3),



Воздействие намагничивающей силы якоря на намагничивающую силу основных полюсов называют реакцией якоря.

Рис.9.3. Результирующее магнитное поле машины, работающей под нагрузкой

При нагрузке машины будет иметь место результирующее магнитное поле (рис. 9.3), которое уже не является симметричным относительно оси полюсов. Причина деформации магнитного поля заключается в том, что направления магнитных линий поперечного поля якоря и поля полюсов под сбегающим краем полюса совпадают, и результирующее поле под сбегающим краем полюса усиливается, а под набегающим краем полюса эти поля направлены встречно, поэтому результирующее поле уменьшается.

Следствием искажения распределения магнитного поля является смещение по направлению вращения физической нейтрали на некоторый угол β , величина которого зависит от нагрузки машины.

Физической нейтралью называют прямую, проходящую через центр, и точки на окружности якоря с нулевой магнитной индукцией, т. е. прямую, перпендикулярную оси результирующего магнитного поля.

Для получения удовлетворительной работы щеток (без искрения) в машинах без дополнительных полюсов щетки приходится сдвигать с геометрической нейтрали в том же направлении на угол α , являющийся несколько большим угла β .

9.2. Сущность процесса коммутации

Коммутацией называют явления, связанных с изменением тока в проводниках обмотки якоря при переходе секций из одной параллельной ветви в другую при замыкании этих секций щетками.

Процесс коммутации имеет очень большое значение в теории электрических машин постоянного тока, так как искрение, имеющее место на коллекторе этих машин, большей частью происходит вследствие неправильного протекания этого процесса. При направлении вращения якоря по часовой стрелке левый край щетки называют набегающим, а правый — сбегающим. (рис.9.4.)

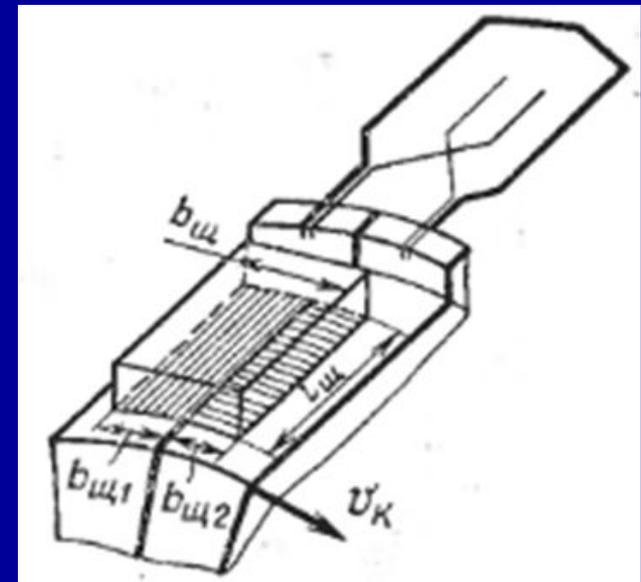


Рис.9.4. Процесс коммутации

Так как площадь соприкосновения пластины 1 со щеткой больше и потому сопротивление контакта между щеткой и коллекторной пластиной 1 меньше.

Когда же контактная поверхность щетки равномерно перекроет обе коллекторные пластины, ток в коммутируемой секции станет равным нулю.

- Для последующего момента времени токи в соединительных проводах примут значения противоположные значения.
- Так как площадь соприкосновения пластины 2 со щеткой становится больше и потому сопротивление контакта между щеткой и коллекторной пластиной 2 становится меньше.

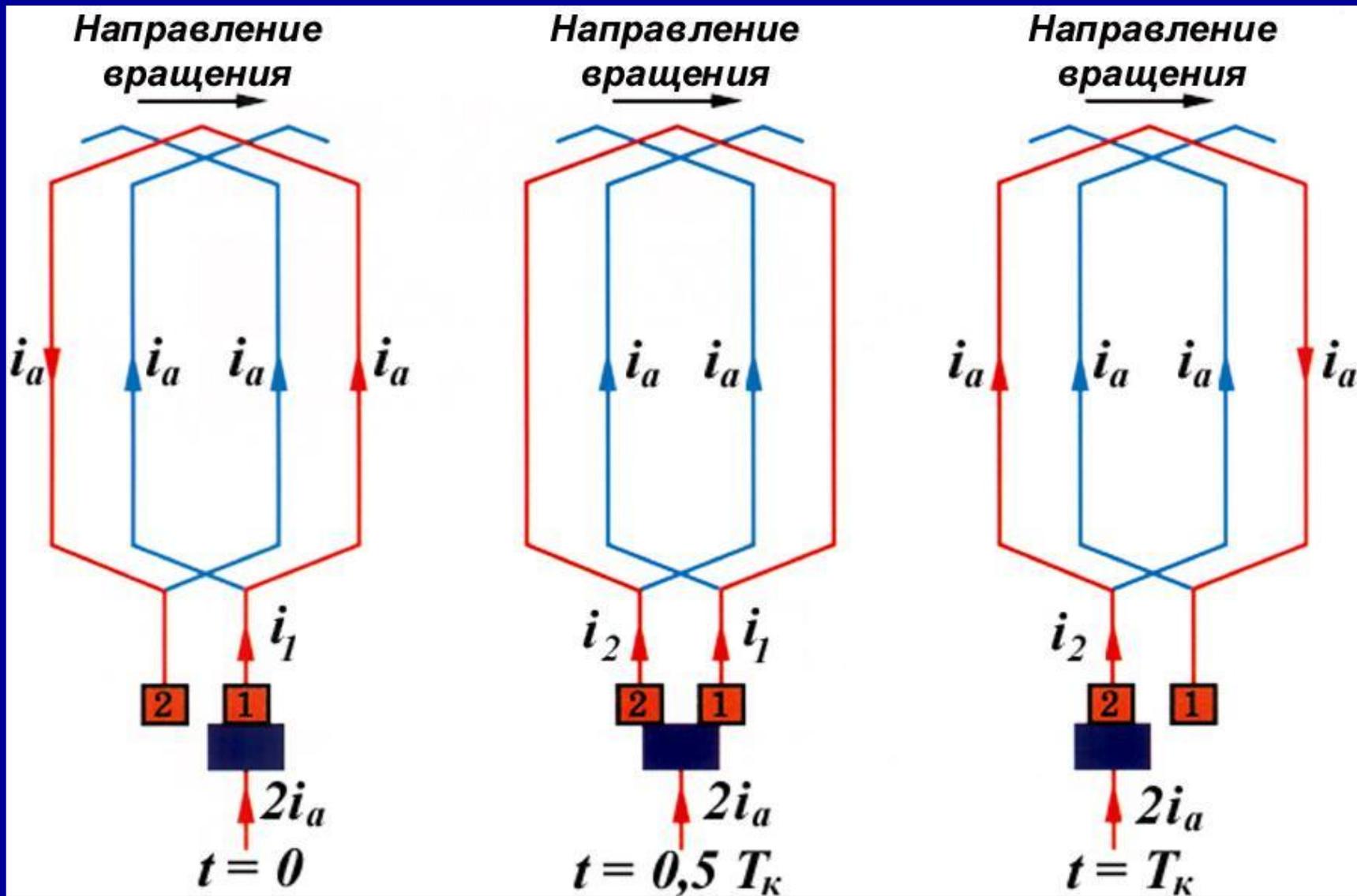


Рис.9.5. Изменение тока в секции обмотки в процессе коммутации

Таким образом, за время перехода щетки с коллекторной пластины 1 на пластину 2 произошло изменение тока в коммутируемой секции от $+I_a$ до 0 и от 0 до $-I_a$.

Указанное изменение тока происходит очень быстро: 0,0003—0,001 с.

Коммутационные процессы приводят к искрению щеток и даже к возникновению кругового огня по поверхности коллектора.

9.3. Причины искрения щеток

Степень искрения на коллекторе оценивается по шкале искрения (классам коммутации), приведенной в табл. 11.1.

Степень искрения коллекторных машин указывают в стандартах на отдельные виды машин, а при отсутствии стандартов - в технических условиях (ТУ) на эти машины. Если степень искрения машин не оговорена, то она при нормальном режиме работы машины должна быть не выше

$1\frac{1}{2}$

Таблица 11.1.

| Степень искрени я | Характеристика степени искрени | Состояние коллектора и щеток |
|-------------------------------|--|--|
| 1 | Отсутствие искрени | Отсутствие почернения на коллекторе и следов нагара на щетка |
| 1 ¹ / ₄ | Слабое искрени под небольшой частью края щетки | |
| 1 ¹ / ₂ | Слабое искрени под большей частью края щетки | Появление следов почернения на коллекторе и следов нагара на щетках, легко устранимых протирианием поверхности коллектора бензином |
| 2 | Искрени под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузке | Появление следов почернения на коллекторе и следов нагара на щетках, не устранимых протирианием поверхности коллектора бензином |
| 3 | Значительное искрени под всем краем щетки с появлением крупных и вылетающих искр. Допускается только для реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы | Значительное почернение на коллекторе, не устранимое протирианием поверхности коллектора бензином, а также подгар и частичное разрушение щеток |

а) Механические причины искрения щеток.

Они обусловлены неровностью поверхности коллектора, выступанием слюдяных изолирующих прокладок между пластинами коллектора, вибрацией щеточного устройства, неправильным расположением и неравномерным давлением щеток и др.

б) Причины потенциального характера.

Испытания показали, что коммутация проходит нормально, если максимальное значение напряжения между коллекторными пластинами 25...35 В для машин большой и средней мощности и 50...60 В для машин малой мощности. Если это напряжение выходит за указанные пределы, то между соседними пластинами появляется искрение или даже дуга

в) Причины электромагнитного характера

Обусловлены величиной запаса электромагнитной энергии коммутируемой секции в момент ее размыкания. Разряд электромагнитной энергии и является причиной искрения.

Сильное искрение может перейти в круговой огонь на коллекторе, что приводит к повреждению щеточно-коллекторного устройства машины.

9.4. Средства улучшения коммутации.

С целью улучшения коммутации и уменьшения искрения щеток в машинах постоянного тока используют следующие средства:

1. применяют добавочные полюсы (рис. 11.5).
Добавочные полюса помогают компенсировать размагничивающее и искажающее действие поперечной реакции якоря в зоне между главными полюсами. При этом щетки устанавливают линиям геометрических нейтралей и оставляют в этом положении при всех нагрузках.

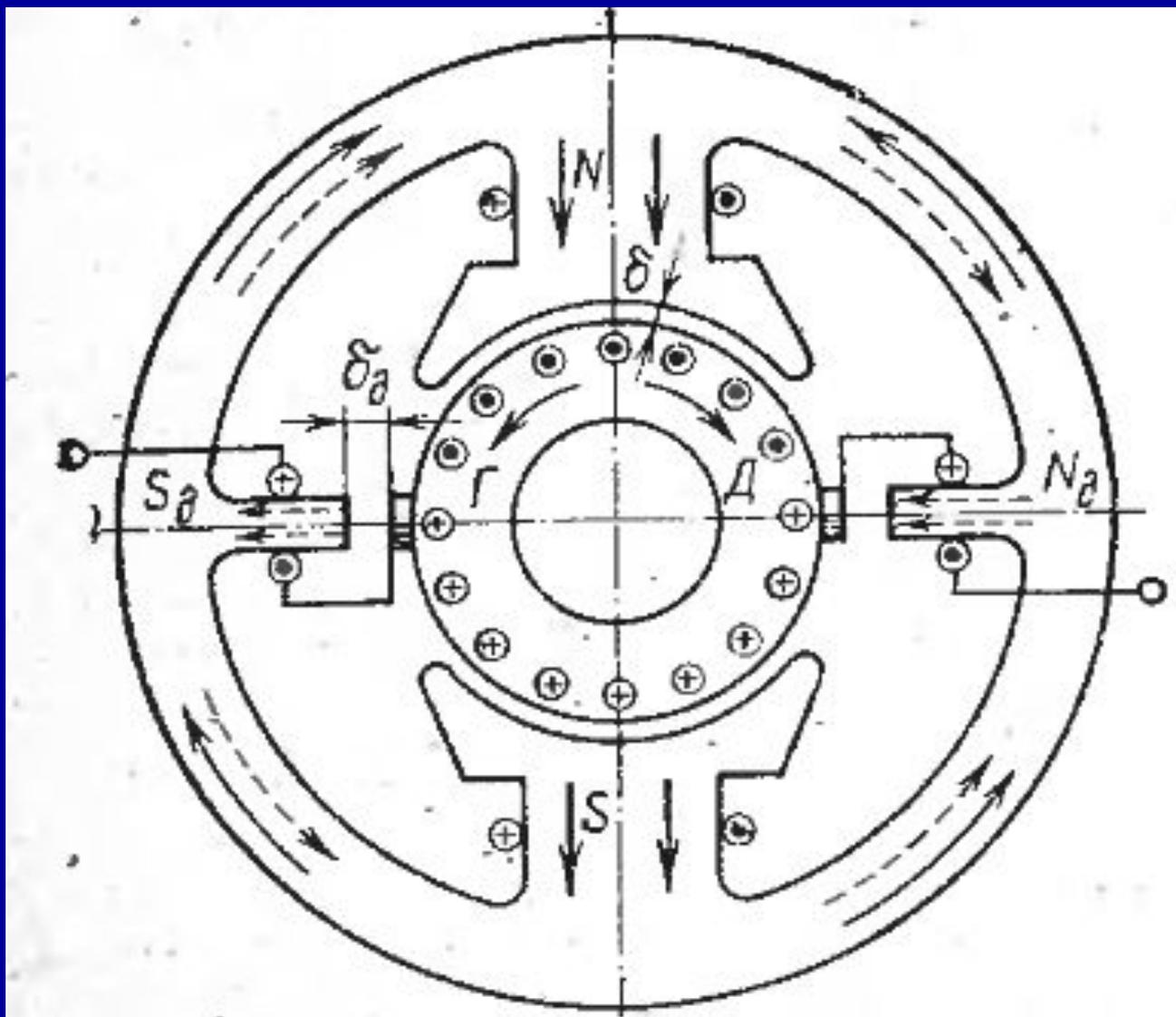
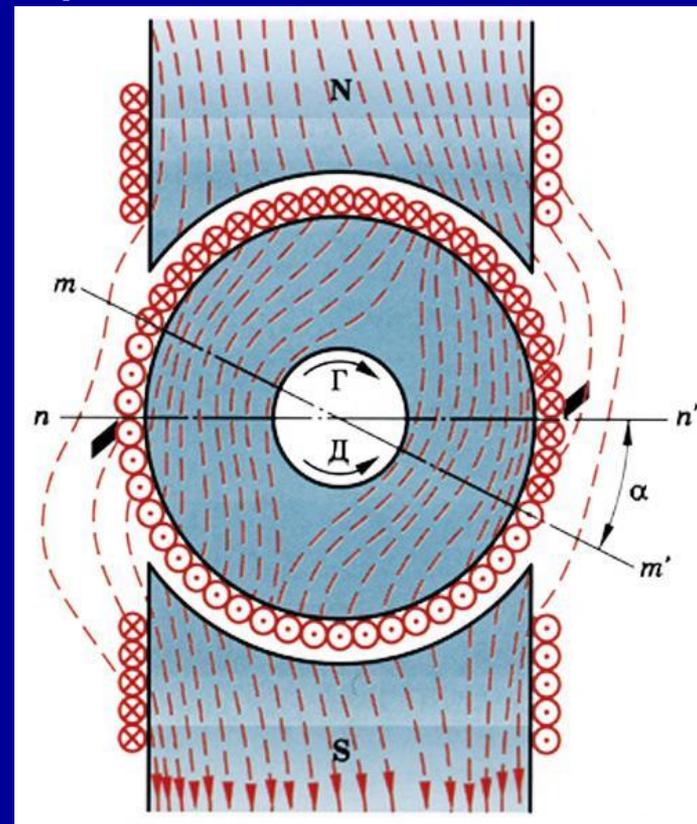


Рис.9.5. Установка добавочных полюсов в двухполюсной машине

2. В машинах без добавочных полюсов сдвигают щетки с геометрической нейтрали на определенный угол. (рис. 9.6.). Для создания хорошей коммутации необходимо сдвигать щетки с геометрической нейтрали по направлению вращения якоря в генераторном режиме и против направления вращения в режиме двигателя.

Рис.9.6. Сдвиг щеток с геометрической нейтрали для улучшения условий коммутации



3. Подбор щеток с соответствующими характеристиками.

В настоящее время в машинах обычного исполнения широко применяют графитные щетки,

в машинах с более тяжелым режимом работы — угольно - графитные и электро - графитные,

в низковольтных машинах— медно- или бронзо - графитные.

4. Применяют компенсационную обмотку (рис. 9.7). В пазу полюсных наконечников укладывают изолированные проводники, которые соединяют так, что они образуют обмотку с магнитной осью, совпадающей с геометрической нейтралью.

Компенсационную обмотку включают последовательно с обмоткой якоря

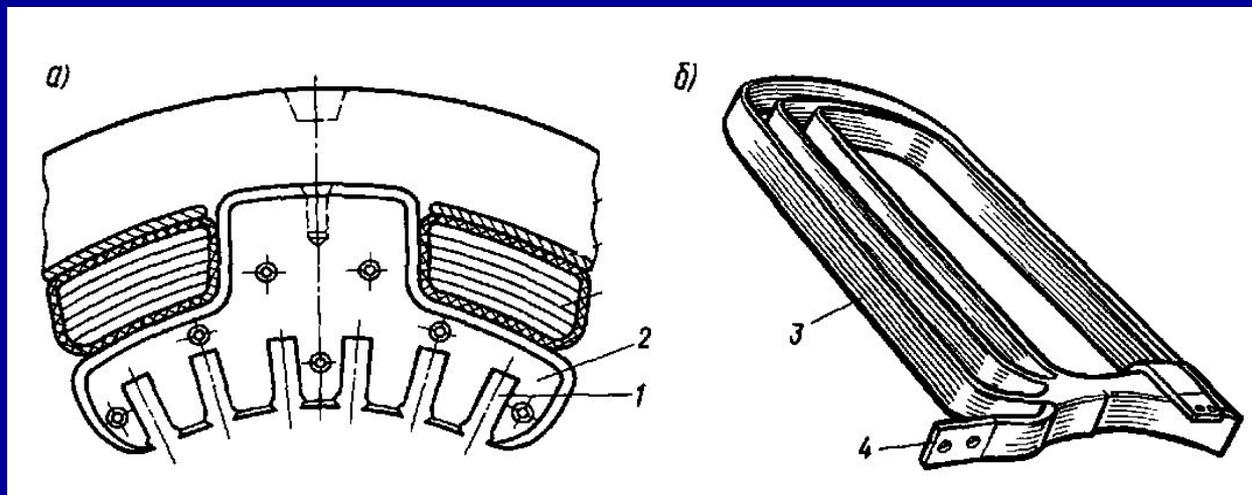


Рис.9.7. Компенсационная обмотка

- 1 – Паз в полюсе для компенсационной обмотки
- 2 – полюс
- 3 – компенсационная обмотка
- 4 – клемма обмотки

Тема 3. Генераторы постоянного тока

Занятие 11. Классификация генераторов постоянного тока

11.1. Область применения генераторов постоянного тока.

Генераторы постоянного тока используются:

а) Для получения электроустановок с большой силой тока.

В тех случаях, когда по условиям производства необходим большой ток (предприятия химической и металлургической промышленности, транспорт и др.), его получают, преобразуя переменный ток в постоянный с помощью преобразователей, в качестве которых широко применяют установки «двигатель переменного тока – генератор постоянного тока.»

б) В качестве первичных источников электрической энергии

Первичными источниками энергии генераторы постоянного тока работают, главным образом, в изолированных установках:

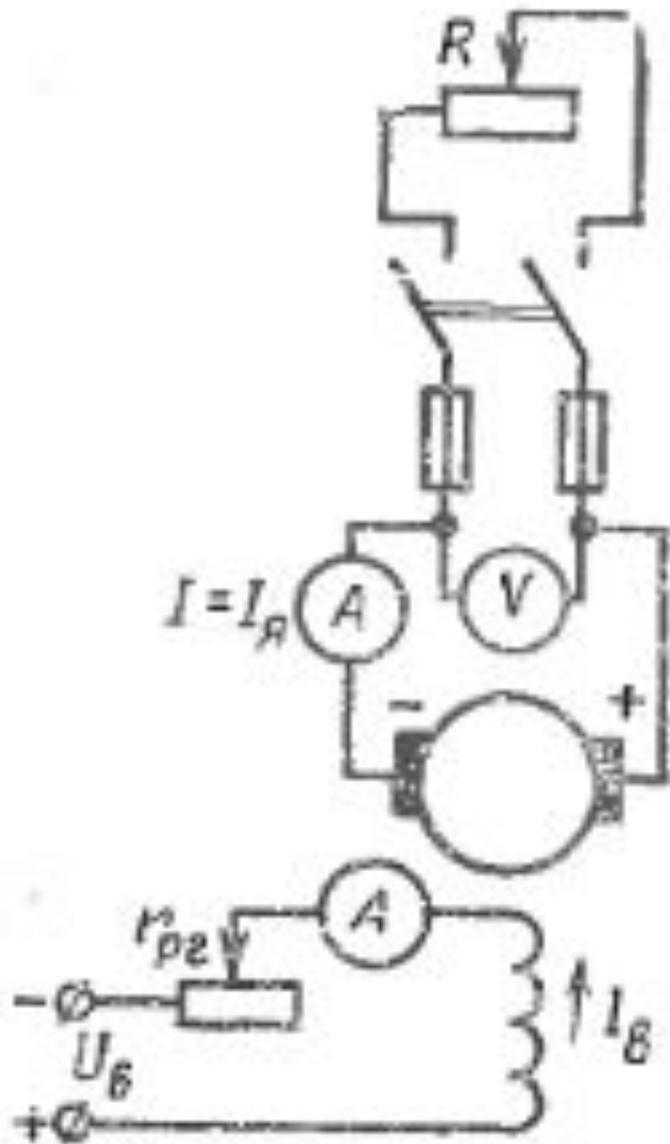
- на автомашинах, самолетах, кораблях
- при сварке дугой,
- для освещения поездов, и др.
- для зарядки аккумуляторных батарей

11.2. Системы возбуждения генераторов постоянного тока.

Для работы генератора необходимо наличие в нем магнитного поля. Создание в генераторе магнитного поля для его работы называется процессом возбуждения генератора.

В зависимости от способа создания магнитного поля генераторы делят на:

- генераторы независимого возбуждения с электромагнитным возбуждением,
- с возбуждением постоянными магнитами (магнитоэлектрические)
- с самовозбуждением, в которых ток для обмотки возбуждения поступает от якоря генератора



При независимом возбуждении генератора обмотка возбуждения его получает питание от независимого источника постоянного тока.

Рис.11.1. Генератор с независимым возбуждением

При самовозбуждении возможны три варианта соединения обмотки возбуждения с обмоткой якоря:

- параллельное (шунтовое),
- последовательное (сериесное)
- смешанное (компаундное).

В соответствии с этим различают:

- генераторы параллельного возбуждения,,
- генераторы последовательного возбуждения,
- генераторы смешанного возбуждения, имеющие две обмотки возбуждения: одну включенную параллельно, а другую — последовательно.

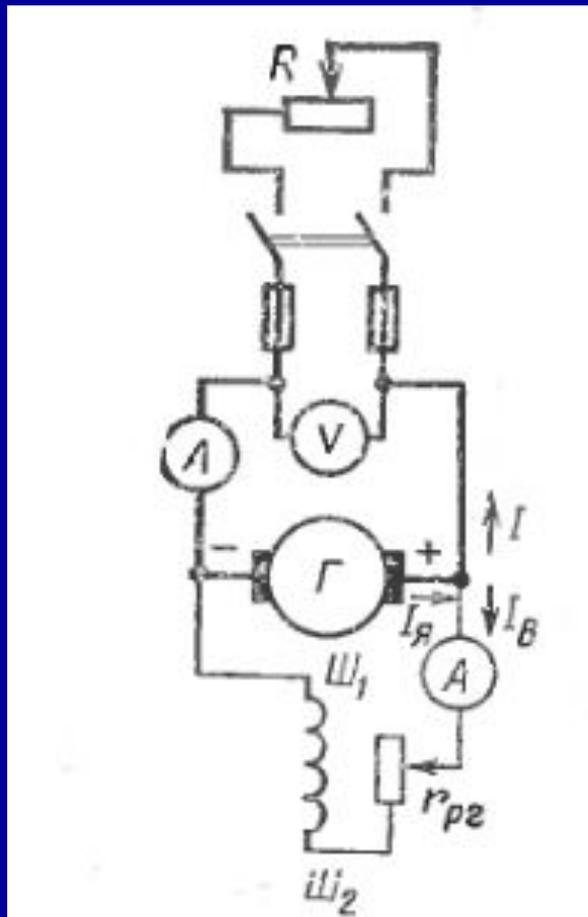


Рис.11.2. Генератор
параллельного
возбуждения

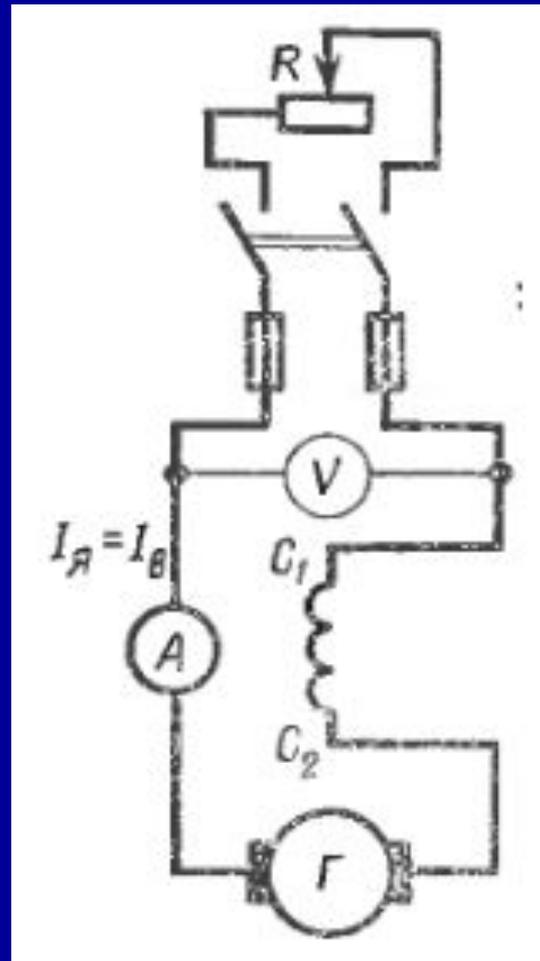


Рис.11.3. Генератор
последовательного
возбуждения

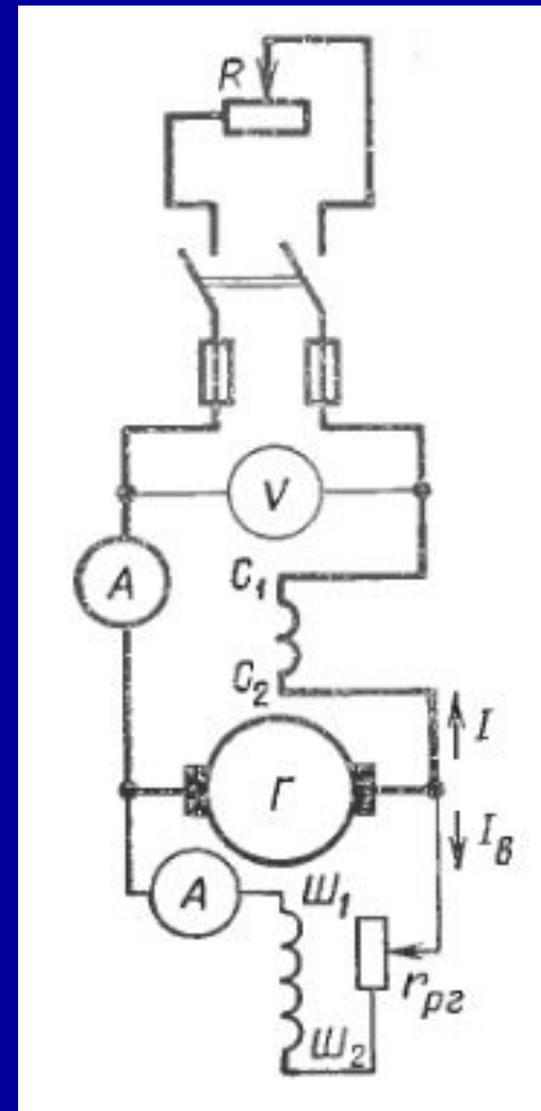


Рис.11.4. Генератор
смешанного
возбуждения.

11.3. Характеристики генератора постоянного тока.

Свойства генераторов анализируют с помощью характеристик, устанавливающих зависимости между основными величинами, определяющими работу генератора:

- э.д.с. E ,
- напряжение на зажимах генератора U ,
- ток возбуждения I_B ,
- ток в якоре I_A
- частота вращения n .

Основными характеристиками являются:

- нагрузочная $U=f(I_B)$ при $I_A=\text{const}$.
- внешняя $U=f(I_A)$ при $R_B = \text{const}$;
- регулировочная $I_B=f(I)$ при $U = \text{const}$.

Режим работы электрической машины при условиях, для которых она предназначена, называют номинальным режимом работы.

Номинальный режим работы характеризуется величинами, обозначенными на заводском щитке машины как номинальные: **напряжение, мощность, ток, частота вращения**.

Номинальной мощностью генератора постоянного тока называют полезную электрическую мощность машины, выраженную в ваттах или киловаттах.

Термин «номинальный» может относиться и к величинам, не указанным на паспортном щитке машины, но характеризующим номинальный режим работы: такие, как момент, ток возбуждения, к.п.д.

11.4. Энергетический процесс и уравнение э. д.с генератора постоянного тока.

В основе работы генератора лежит процесс преобразования подводимой к нему механической энергии в электрическую.

Рассмотрим процесс преобразования энергии на примере генератора независимого возбуждения, приводимого во вращение с постоянной частотой ($n = \text{const}$).

При независимом возбуждении мощность P_B необходимая для покрытия потерь в цепи возбуждения, не входит в мощность P_1 подводимую к генератору от первичного двигателя (рис. 11.5).

При преобразовании энергии часть мощности P_1 тратится на покрытие механических потерь $P_{МХ}$ и потерь в стали P_c ,

$$P_1 = P_{ЭМ} + P_{МХ} + P_c$$

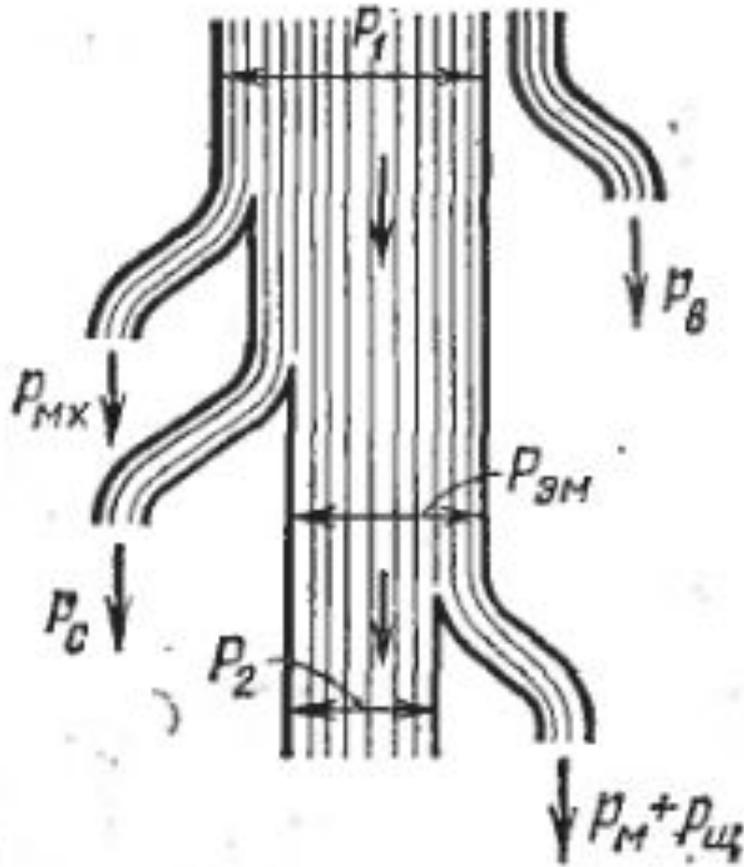


Рис.11.5. Энергетическая диаграмма генератора постоянного тока независимого возбуждения

остальная часть преобразовывается в электромагнитную мощность, которая определяется формулой:

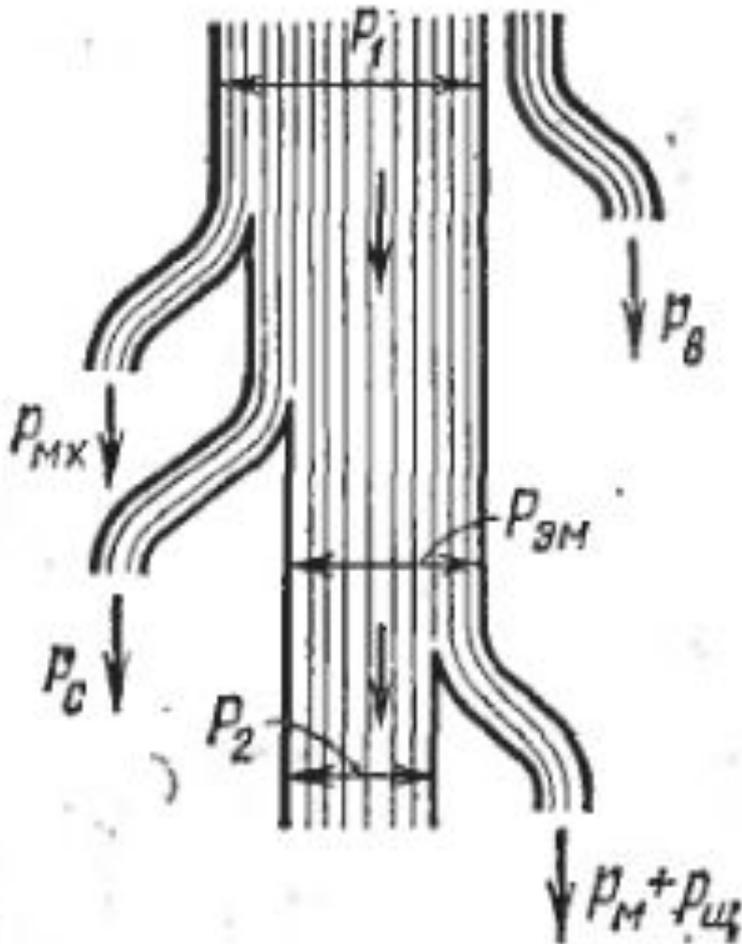
$$P_{ЭМ} = P_2 + P_M + P_{Щ}$$

Где: $P_{ЭМ}$ – электромагнитная мощность

P_2 – полезная мощность

P_M – потери в меди обмоток якоря

$P_{Щ}$ – потери в щеточном контакте



Так как:

$$P_2 = UI_{я}, \quad P_{ЭМ} = E_{я} I_{я}$$
$$P_M + P_{Щ} = I_{я2} R_{я}$$

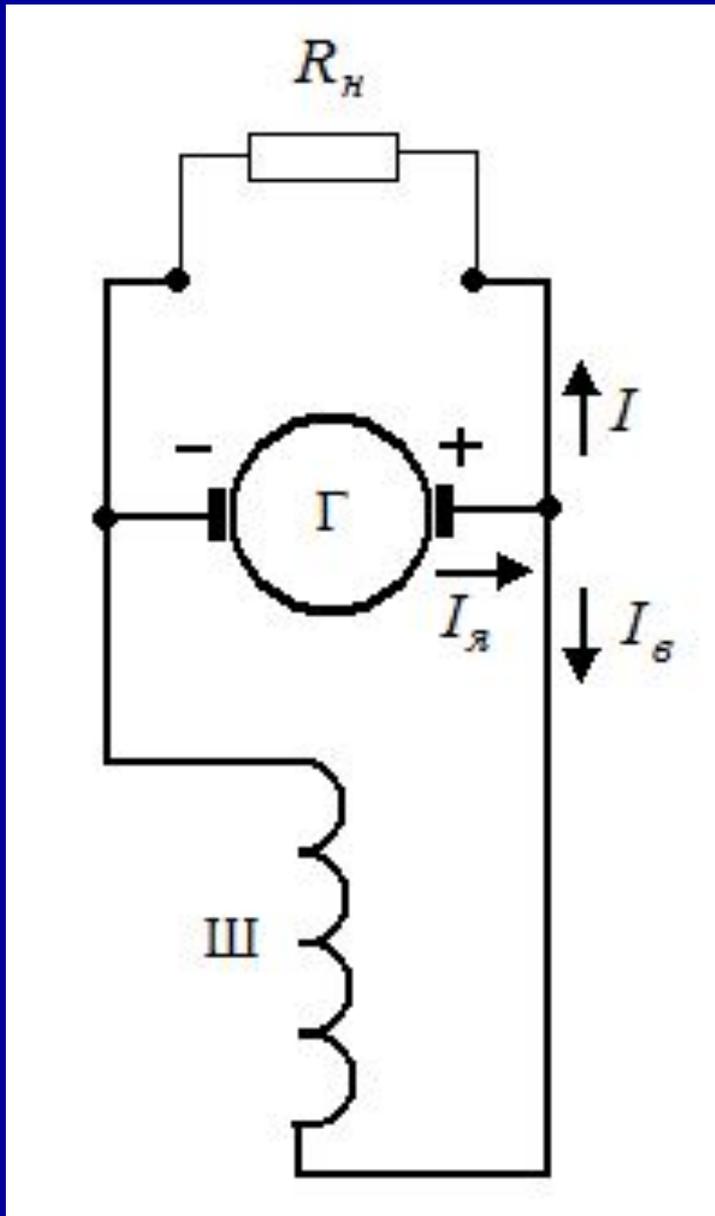
Где: $R_{я}$ — сопротивление всех обмоток в цепи якоря и щеточного контакта, то:

$$E_{я} I_{я} = UI_{я} + I_{я2} R_{я}$$

После сокращения обеих частей этого равенства на $I_{я}$ получаем уравнение э.д.с. генератора

$$E_{я} = U + I_{я} R_{я}$$

Занятие 12.
Свойства генераторов
постоянного и последовательного
возбуждения



12.1.Схема генератора параллельного возбуждения

Γ – Якорь генератора;

Ш – Шунтовая (параллельная)
обмотка возбуждения;

R_H – сопротивление нагрузки;

I – ток нагрузки;

$I_{\text{я}}$ – ток якоря;

$I_{\text{в}}$ – ток обмотки возбуждения

Рис.12.1. Генератор параллельного возбуждения

12.2. Условия самовозбуждения генератора

Для самовозбуждения генератора необходимо, чтобы в нем был небольшой поток остаточного намагничивания $\Phi_{\text{ост}}$ (2—3% от номинального).

При вращении якоря генератора в его обмотке магнитным потоком $\Phi_{\text{ост}}$ наводится остаточная э.д.с. $E_{\text{ост}} = 2 - 3\%$ от номинальной, которая создает в обмотке возбуждения небольшой ток.

Самовозбуждение генератора параллельного возбуждения возможно при соблюдении следующих условий:

- а) магнитная система машины должна обладать остаточным магнетизмом;
- б) магнитным поток, создаваемый обмоткой возбуждения, должен совпадать по направлению с потоком остаточного магнетизма;
- в) сопротивление цепи возбуждения должно быть меньше критического $R_{\text{крит}}$
- г) сопротивление нагрузки не должно быть очень малым.

12.3. Внешняя характеристика генератора с параллельным возбуждением.

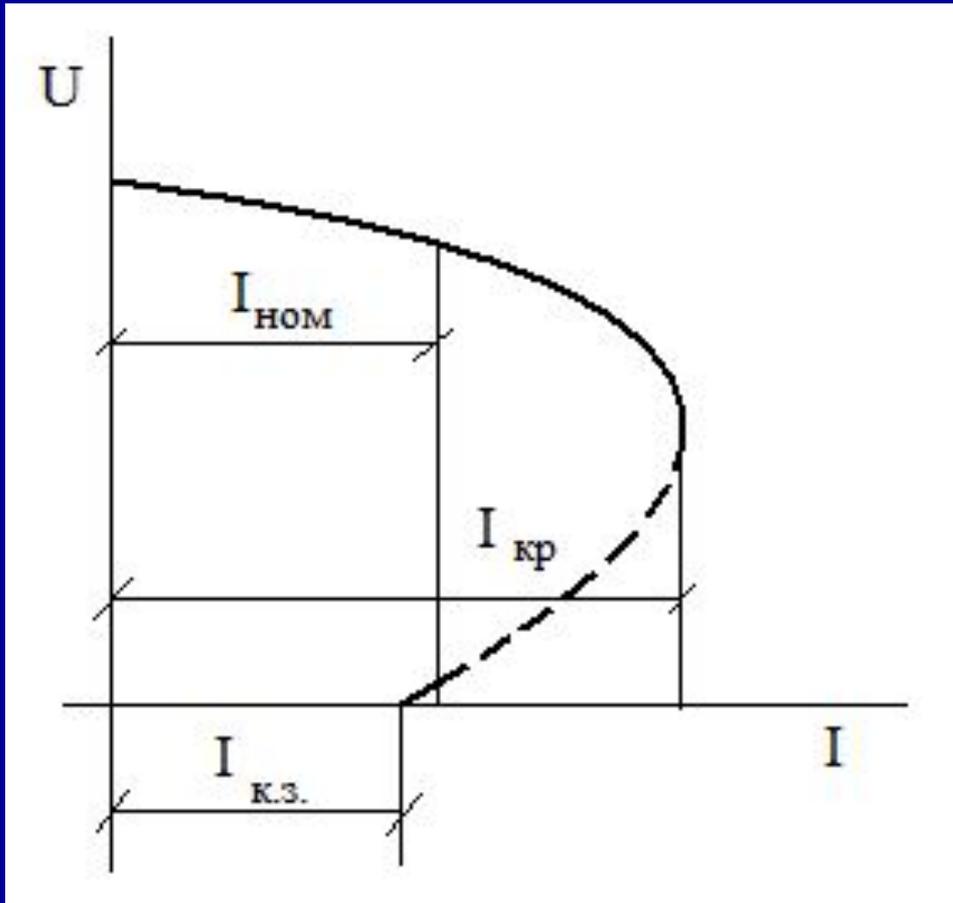


Рис.12.2.Внешняя характеристика генератора с параллельным возбуждением.

Эта характеристика отражает зависимость напряжения на зажимах генератора от тока нагрузки:

$$U=f(I)$$

*при $R_B = const$;
 $n = const$.*

Величина тока нагрузки зависит от двух факторов:

- величины напряжения генератора
- сопротивления нагрузки.

При увеличении тока нагрузки уменьшается напряжение на зажимах генератора (рис. 14.2.).

В начале, когда магнитная система насыщена, размагничивание идет медленно и напряжение U изменяется незначительно, вследствие чего ток в цепи якоря увеличивается.

Однако при дальнейшем увеличении тока степень насыщения магнитной системы резко уменьшается, и напряжение начинает быстро падать.

Поэтому ток, достигнув критического значения, начнет уменьшаться. При к.з $I_B = 0$, так как $U = 0$.

Величина $I_{к.з.}$ будет определяться только величиной э.д.с. остаточной индукции

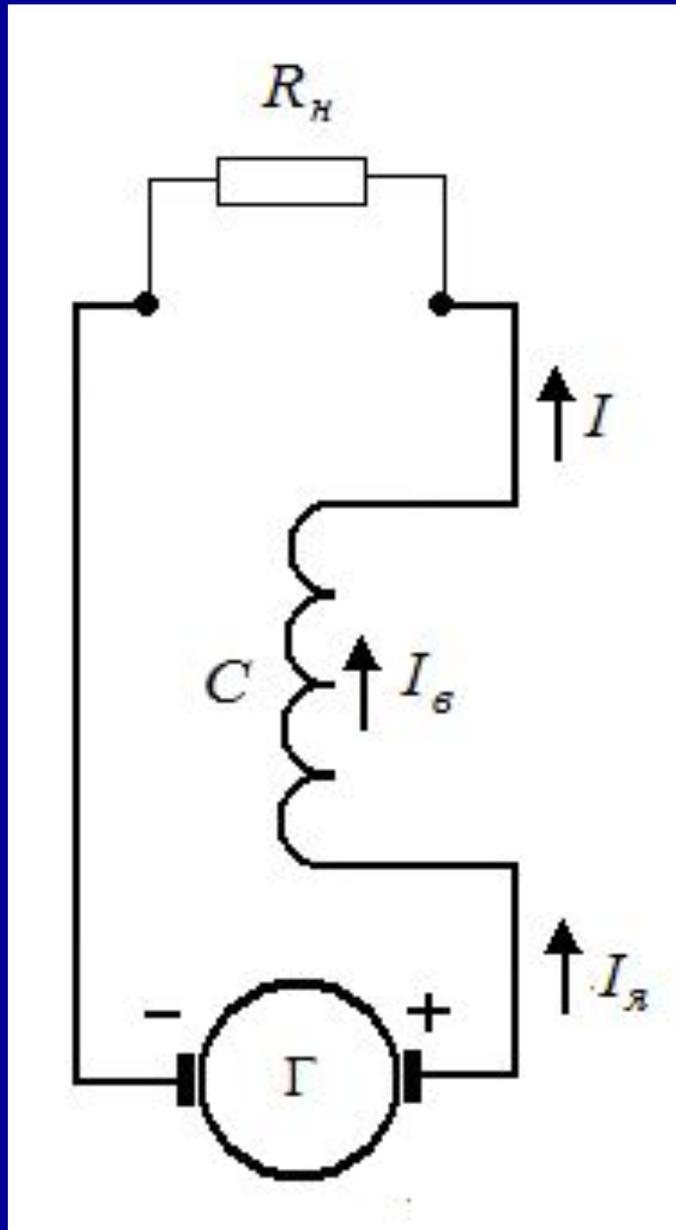
$$I_{кз} = \frac{E_{ост}}{R_{я}}$$

Таким образом, к.з, вызванное постепенным уменьшением сопротивления нагрузки, не опасно для генератора параллельного возбуждения.

Но при внезапном коротком замыкании магнитная система генератора не успевает сразу размагнититься, и ток $I_{к.з.}$ достигает опасных для машины значений. При таком резком возрастании тока на коллекторе появляется сильное искрение, переходящее в круговой ОГОНЬ.

Занятие 12.б. Свойства генератора последовательного возбуждения

12.б.1.Схема генератора
последовательного возбуждения



Γ – Якорь генератора;

C – серийная (последовательная) обмотка возбуждения;

R_H – сопротивление нагрузки;

I – ток нагрузки; $I_{\text{я}}$ – ток якоря;

I_B – ток обмотки возбуждения

В генераторе

последовательного

возбуждения ток возбуждения

$I_B = I_{\text{я}} = I$ (рис. 15.1.), поэтому

свойства этого генератора

определяются лишь внешней характеристикой .

Рис. 12.б.1. Генератор последовательного возбуждения

12.6.2. Внешняя характеристика генератора с последовательным возбуждением.

Эта характеристика отражает зависимость напряжения на зажимах генератора от тока нагрузки:

$$U=f(I) \text{ при } R_B = \text{const}; \quad n=\text{const}.$$

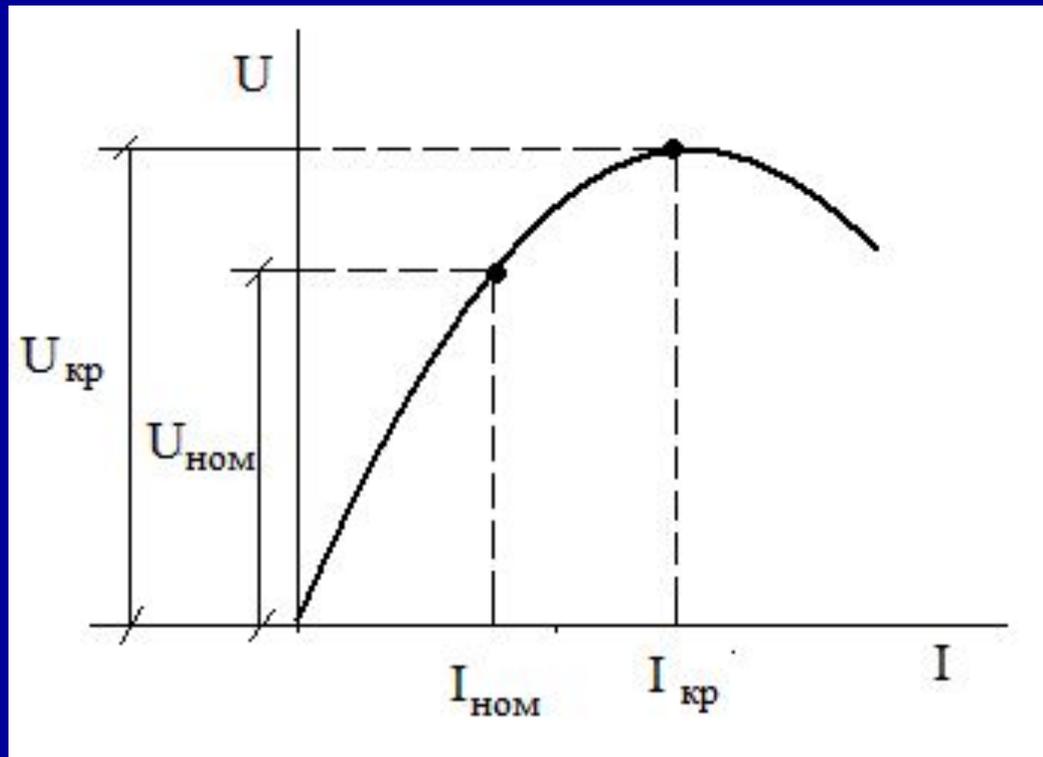


Рис. 12.6.2. Внешняя характеристика генератора с последовательным возбуждением.

Внешняя характеристика генератора

последовательного возбуждения показывает, что с увеличением тока нагрузки от нуля до номинального напряжения на зажимах генератора в начале, когда магнитная цепь еще не насыщена, растет почти прямо пропорционально току нагрузки. Затем рост напряжения постепенно уменьшается и, наконец, прекращается.

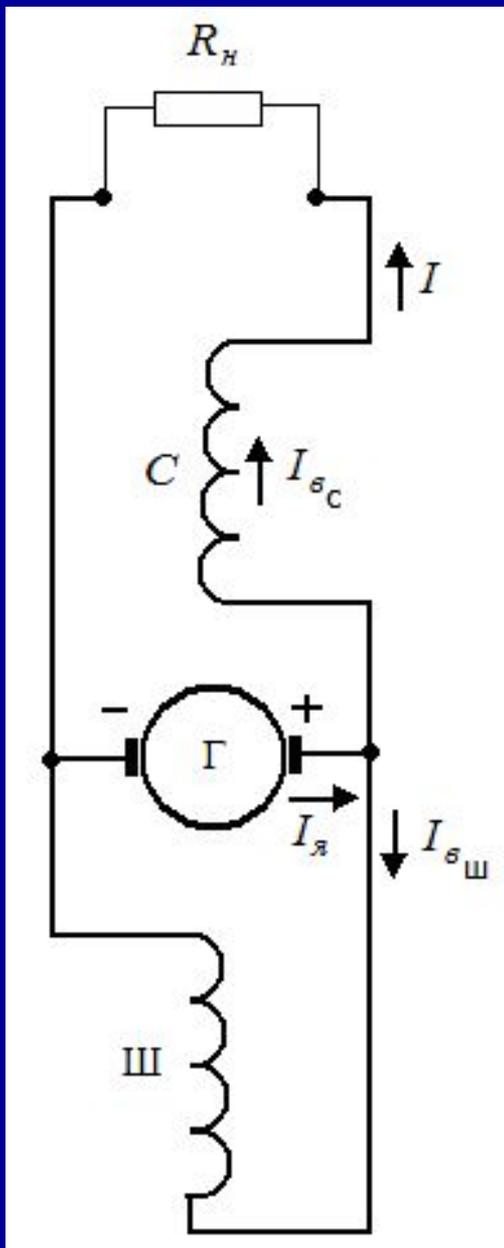
Объясняется это тем, что $I_{\text{я}}$ одновременно является и током возбуждения $I_{\text{в}}$, и с ростом нагрузки происходит насыщение стали.

При к. з. напряжение генератора будет равно нулю, а ток к. з. намного превышать номинальный ток машины.

Занятие 13.

Свойства генератора смешанного возбуждения

13.1. Схема генератора смешанного
возбуждения



Γ – якорь генератора;

Ш – шунтовая (параллельная) обмотка возбуждения;

C – серийная (последовательная) обмотка возбуждения;

R_H – сопротивление нагрузки;

I – ток нагрузки;

$I_{я}$ – ток якоря;

$I_{\text{ВШ}}$ – ток параллельной обмотки возбуждения

$I_{\text{ВС}}$ – ток последовательной обмотки возбуждения

Рис. 13.1. Генератор смешанного возбуждения

13.2. Внешняя характеристика генератора со смешанным возбуждением.

Форма внешней характеристики генератора смешанного возбуждения (рис. 16.2) зависит от соотношения витков обмоток возбуждения.

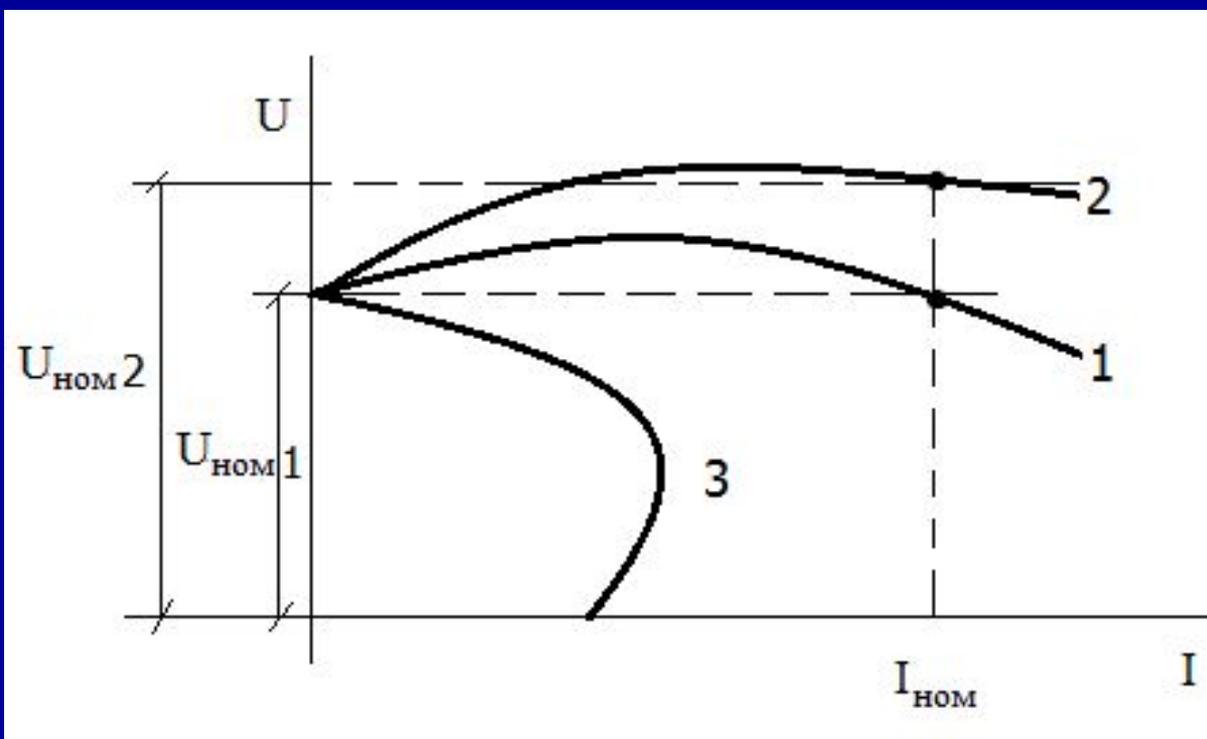


Рис. 13.2. Внешняя характеристика генератора со смешанным возбуждением.

При соответствующем подборе витков обмотки последовательного возбуждения ее намагничивающая сила может компенсировать падение напряжения генератора, а напряжение на зажимах генератора при изменении нагрузки остается почти неизменным (кривая 1).

Чтобы иметь возможность поддерживать постоянное напряжение на зажимах потребителя (в конце линии), нужно скомпенсировать падение напряжения в проводах линии. В этом случае усиливают последовательную обмотку возбуждения так, чтобы внешняя характеристика имела вид кривой 2.

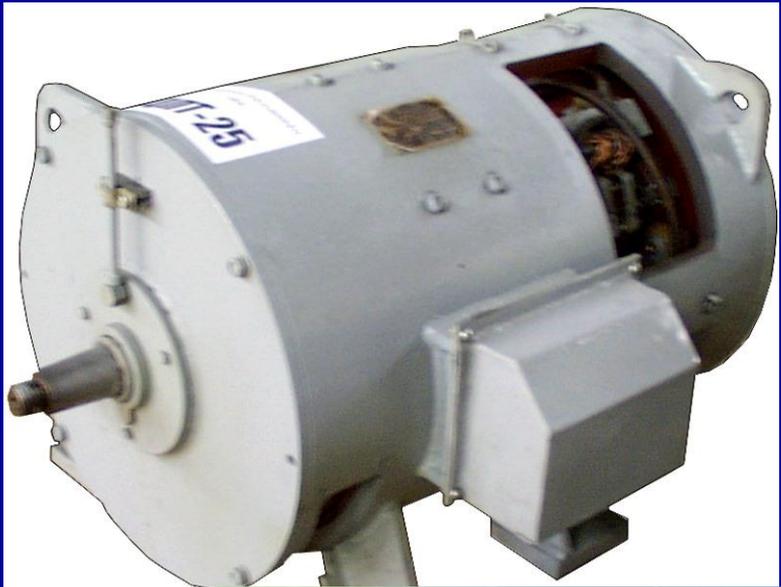
При встречном включении обмоток возбуждения напряжение генератора с ростом тока нагрузки резко уменьшается (кривая 3), так как намагничивающая сила последовательной обмотки возбуждения направлена встречно намагничивающей силы параллельной обмотки.

Тема 4.

Двигатели постоянного тока

Занятие 14.

Общие сведения о двигателях постоянного тока



Двигатель постоянного тока

14.1. Уравнение электродвижущей силы двигателя

Двигатели постоянного тока находят широкое применение в промышленных, транспортных, крановых и других установках, где требуется широкое плавное регулирование частоты вращения.

Одна и та же электрическая машина может работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя.

Это свойство электрических машин называют обратимостью. Для двигателя, работающего с постоянной частотой вращения, можно составить уравнение э. д. с.

$$U_{\text{сети}} = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

где $E_{\text{я}}$ и $I_{\text{я}}$ — э.д.с и ток, соответствующие установившемуся режиму работы;

$U_{\text{я}} = I_{\text{я}} R_{\text{я}}$ — падение напряжения в сопротивлениях цепи якоря двигателя.

14.2. Уравнение моментов двигателя.

Электромагнитный момент двигателя определяется формулой

$$M = c_m I_{я} \Phi$$

Где: c_m - коэффициент, зависящий от конструктивных особенностей машины.

Электромагнитный момент создается в результате взаимодействия основного магнитного поля Φ и тока в обмотке якоря $I_{я}$ и расходуется на преодоление следующих тормозящих моментов:

- момента х.х. M_0 ;
- полезного момента M_2 ;
- динамического момента M_j .

Момент $x.x. M_0$ существует при любом режиме работы двигателя и определяется:

- трением в подшипниках,
- трением щеток о коллектор,
- вентиляционными потерями
- потерями в стали.

Полезный момент M_2 определяется свойствами рабочей машины и характером производственного процесса.

Динамический момент M_j возникает при всяком изменении частоты вращения двигателя

В любых условиях работы двигателя вращающий и тормозной моменты находятся во взаимном равновесии, т. е. равны друг другу по величине, но направлены в противоположные стороны.

При $n = \text{const}$, изменение скорости отсутствует, поэтому момент $M_j = 0$ и тогда

$$M = M_0 + M_2 = M_{ст}$$

где: $M_{ст}$ — статический момент сопротивления на валу двигателя.

Двигатель работает устойчиво и вращается с постоянной скоростью, если вращающий момент равен противодействующему моменту

$$M = M_{ст}$$

14.3. Энергетическая диаграмма двигателя.

К двигателю из сети подводится мощность P_1 , которая покрывает потери в цепи возбуждения P_B и электрические потери в цепи якоря $P_я$, а оставшаяся ее часть составляет электромагнитную мощность якоря $P_{эм}$, преобразующуюся в полную механическую мощность P_M двигателя.

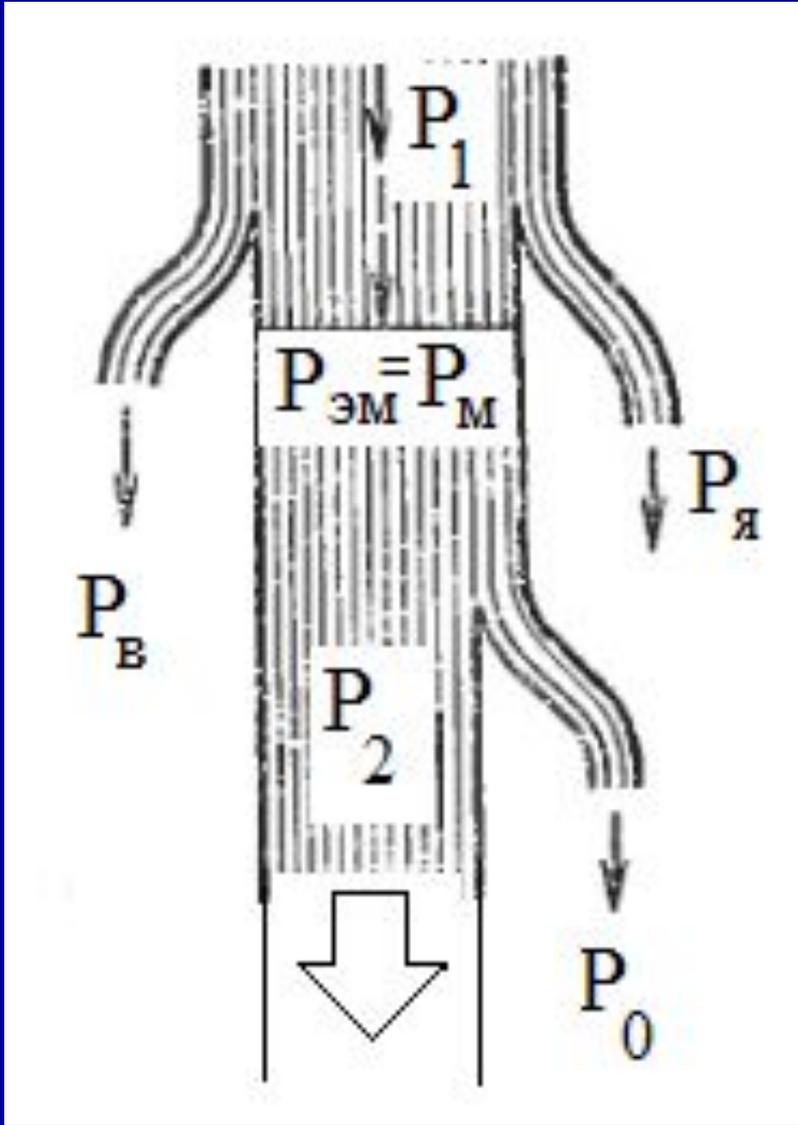
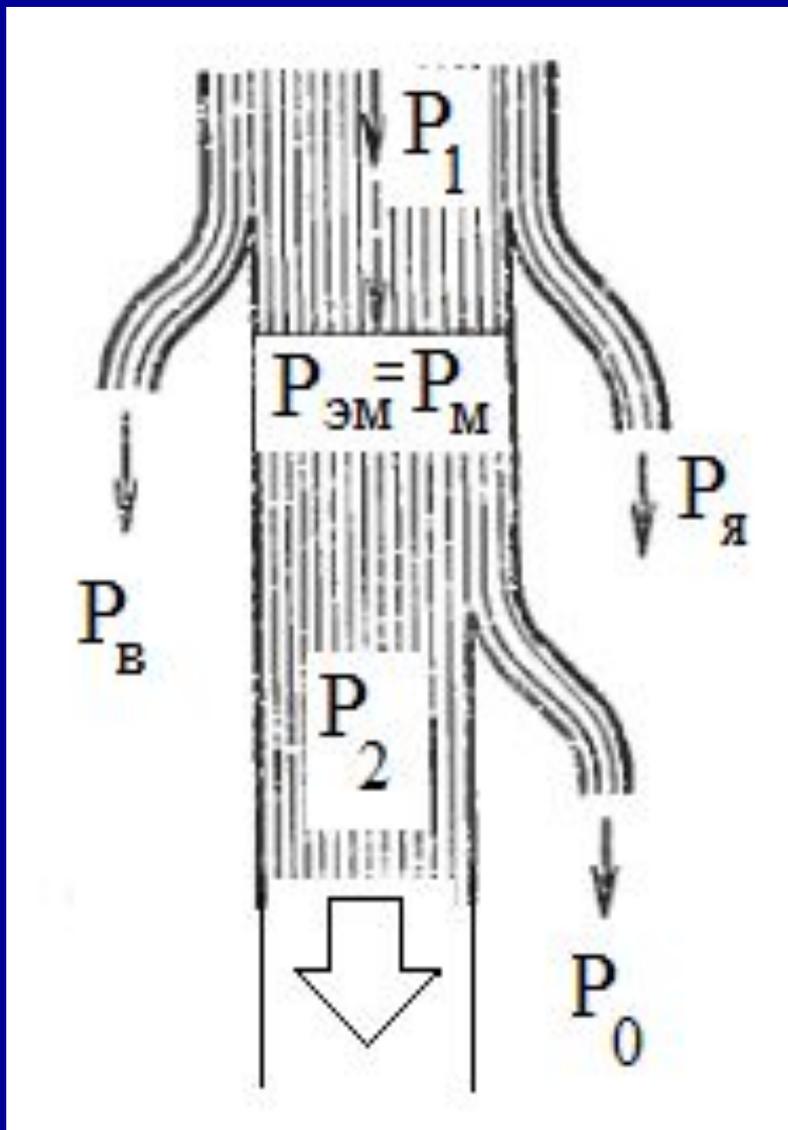


Рис. 14.1. Энергетическая диаграмма двигателя.



Полезная механическая мощность на валу двигателя P_2 меньше полной механической мощности P_M на величину мощности P_0 , необходимой для покрытия потерь в стали P_c и механических потерь P_{MECH} , т. е.

$$P_0 = (P_c + P_{мех}).$$

$$P_2 = P_M - (P_c + P_{мех}).$$

$$P_1 = U_{сети} I$$

$$P_в = I_в^2 \cdot R_в$$

$$P_я = I_я^2 \cdot R_я$$

$$P_{эм} = E_я \cdot R_я$$

$$P_м = P_{эм}$$

$$P_0 = P_с + P_{мех}$$

$$P_2$$

- мощность, подводимая к двигателю от сети.
- потери мощности в цепи возбуждения
- потери мощности в цепи якоря
- электромагнитная мощность якоря.
- механическая мощность, преобразованная из электромагнитной
- суммарная мощность потерь в стали и механических потерь
- полезная механическая мощность на валу двигателя.

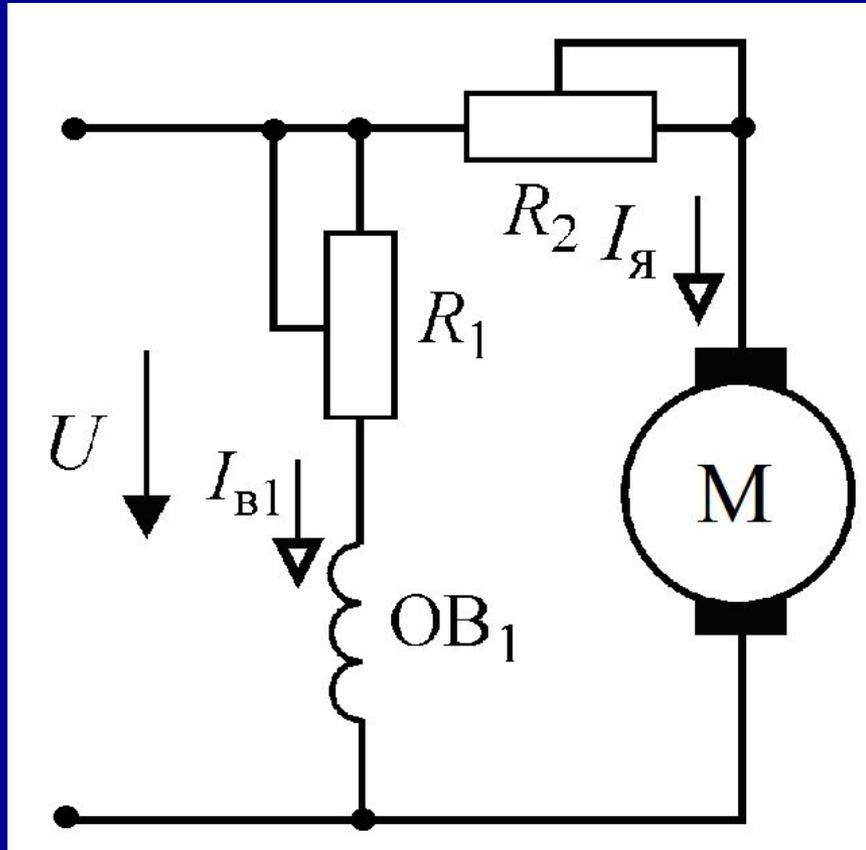
Занятие 15. Свойства двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

15.1. Классификация и характеристики двигателей постоянного тока

В зависимости от способа включения обмотки возбуждения и обмотки якоря различают следующие типы двигателей постоянного тока:

- параллельного возбуждения;
- последовательного возбуждения;
- смешанного возбуждения, в которых имеются две обмотки возбуждения: параллельная и последовательная.
- Двигатели постоянного тока оцениваются по совокупности следующих видов характеристик:
 - пусковых,
 - рабочих,
 - регулировочных
 - механических.

15.2. Схема двигателя параллельного возбуждения.



На схеме обозначены:

OB_1 – параллельная обмотка возбуждения

R_1 – регулировочный реостат в цепи обмотки возбуждения

R_2 – регулировочный реостат в цепи обмотки якоря

Рис. 15.1. Схема двигателя параллельного возбуждения

15.3. Работа двигателя параллельного возбуждения

При включении двигателя постоянного тока в сеть, в момент пуска ток якоря определяется соотношением:

$$I_{\text{я}} = \frac{U}{R_{\text{я}}}$$

где U - напряжение сети,

$R_{\text{я}}$ - сопротивление обмотки якоря,

$I_{\text{я}}$ - ток якоря.

Затем якорь под действием крутящего момента приходит во вращение, и в обмотке якоря возбуждается ЭДС самоиндукции

$$E = cn\Phi$$

где

c - конструктивный коэффициент,

n - число оборотов,

Φ - магнитный поток системы возбуждения.

E - ЭДС самоиндукции

Полярность ЭДС самоиндукции противоположна полярности напряжения сети (противо- ЭДС), вследствие чего с ростом частоты вращения якоря значительно уменьшается ток, протекающий в цепи якоря.

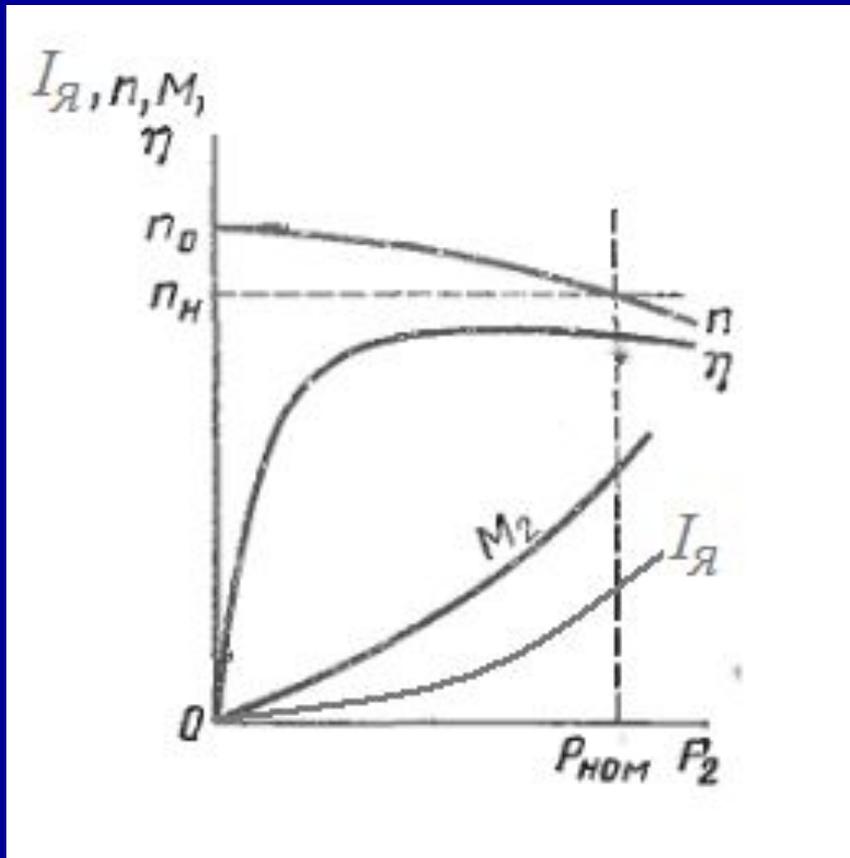
$$I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}}$$

Преобразуя соотношение к виду:

$$U = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

получаем, уравнение ЭДС двигателя

15.4. Рабочие характеристики двигателя параллельного возбуждения



Зависимость скорости вращения n , тока якоря $I_{я}$, вращающего момента M и коэффициента полезного действия η от полезной мощности P_2 на валу двигателя называется рабочими характеристиками двигателя.

Рис. 15.2. Рабочие характеристики двигателя параллельного возбуждения

15.4. Регулирование скорости вращения двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

Скорость вращения двигателя определяется формулой:

$$n = \frac{U - I_{\text{я}}R_{\text{я}}}{c\Phi}$$

Полученная формула позволяет решить задачу регулирования скорости вращения двигателя.

Так как сопротивление обмотки якоря имеет малую величину, то падение напряжения на активном сопротивлении якоря $I_{\text{я}}R_{\text{я}}$ невелико по сравнению с напряжением сети.

Поэтому в формуле членом $I_{\text{я}}R_{\text{я}}$ можно пренебречь.

Тогда

$$n = \frac{U}{c\Phi}$$

Отсюда видно, что существует два способа плавного изменения скорости вращения двигателя в широких пределах:

- изменение напряжения U , подведенного к якорю двигателя;
- изменение магнитного потока возбуждения Φ (тока возбуждения I_B).

Возможность плавного и экономичного регулирования скорости вращения в широких пределах является важнейшим достоинством двигателей постоянного тока.

Занятие 16.

Свойства двигателя постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения.

16.1. Схема двигателя последовательного возбуждения.

Обмотка возбуждения двигателя включена последовательно с якорем, поэтому магнитный поток двигателя изменяется вместе с изменением нагрузки.

Так как ток, потребляемый двигателем, достаточно велик, обмотка возбуждения имеет небольшое число витков.

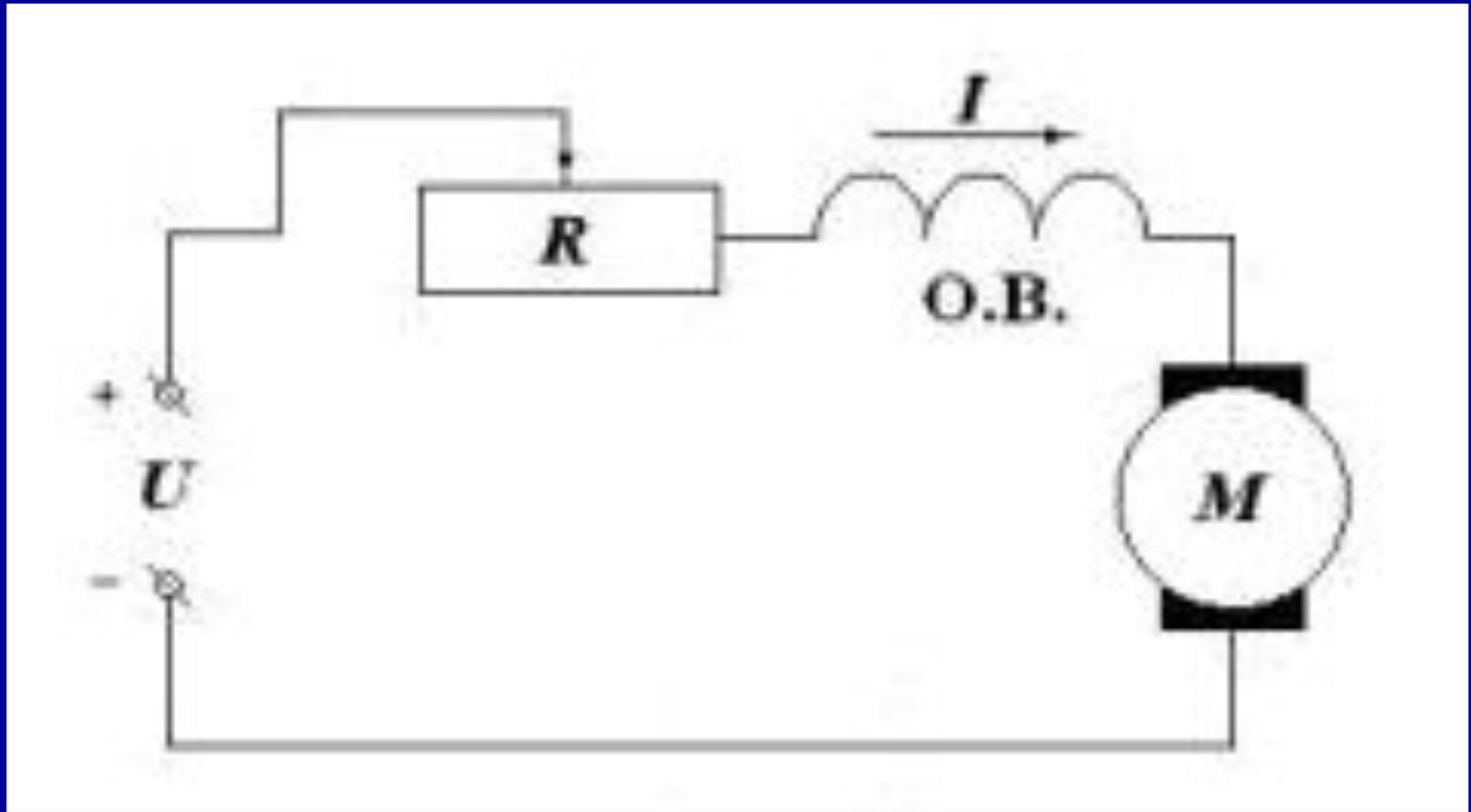


Рис. 16.1. Схема двигателя последовательного возбуждения.

16.2. Работа двигателя последовательного возбуждения

Из-за последовательного включения обмоток якоря и возбуждения (рис.19.1.), магнитный поток Φ пропорционален току I , и в формуле

$$M = cI_{\text{я}}\Phi$$

принимаяем

$$\Phi = kI$$

где k - постоянный коэффициент. Если принять $k=1$, то тогда

$$M = cI_{\text{я}}^2$$

Вращающий момент двигателя последовательного возбуждения пропорционален квадрату тока, потребляемого двигателем.

Это свойство учитывается при построении схем управления этими двигателями.

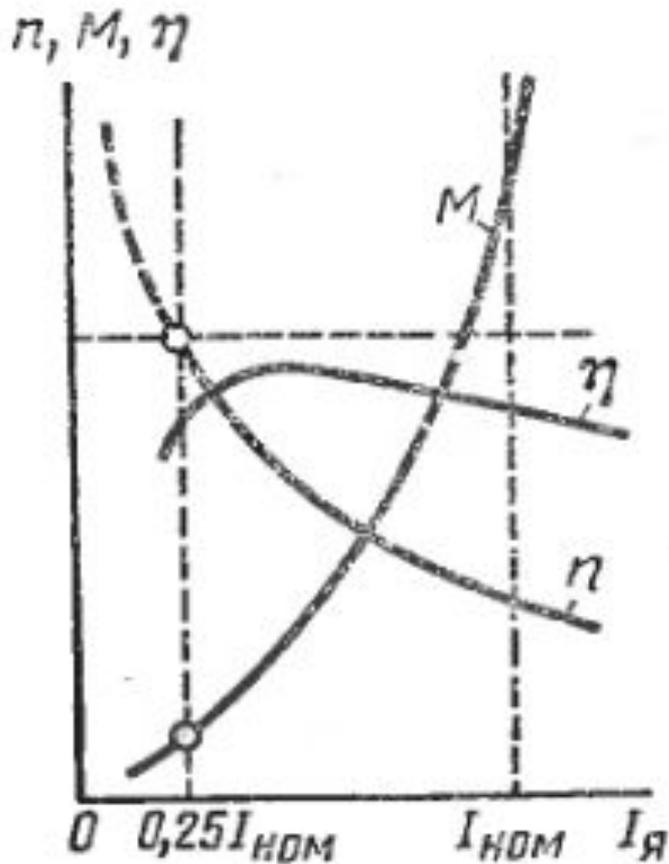
Скорость вращения двигателя последовательного возбуждения определяется формулой

$$n = \frac{U}{c\Phi} = \frac{U}{ck\sqrt{M}}$$

Отсюда видно, что для двигателей последовательного возбуждения опасен режим холостого хода, т.к. при уменьшении момента на валу до нуля, скорость вращения неограниченно увеличивается, двигатель идет «вразнос».

Это обстоятельство требует такого сочленения двигателя последовательного возбуждения с рабочей машиной, при котором режим холостого хода исключён.

16.3. Рабочие характеристики двигателя последовательного возбуждения



Зависимость скорости вращения n , тока якоря $I_{\text{я}}$, вращающего момента M и коэффициента полезного действия η от тока якоря $I_{\text{я}}$ при постоянном напряжении цепей называется рабочими характеристиками двигателя.

Рис. 16.2. Рабочие характеристики двигателя последовательного возбуждения

Анализ данных характеристик показывает, что при уменьшении нагрузки т.е. момента на валу двигателя и, соответственно, величины тока якоря, двигатель резко увеличивает обороты.

Если ток якоря станет меньше $0,25 I_{ном.}$, то обороты двигателя могут возрасти до такой величины, что не выдержат механические детали двигателя.

Двигатель может разрушиться. Такой процесс называют термином «Двигатель пошел в разнос»

16.4. Регулирование скорости вращения двигателя последовательного возбуждения.

Скорость вращения двигателя последовательного возбуждения можно регулировать:

1. изменением подводимого напряжения (рис.19.3)
2. изменением магнитного потока возбуждения за счет шунтирования обмотки возбуждения (рис.19.4).

Второй способ более экономичен

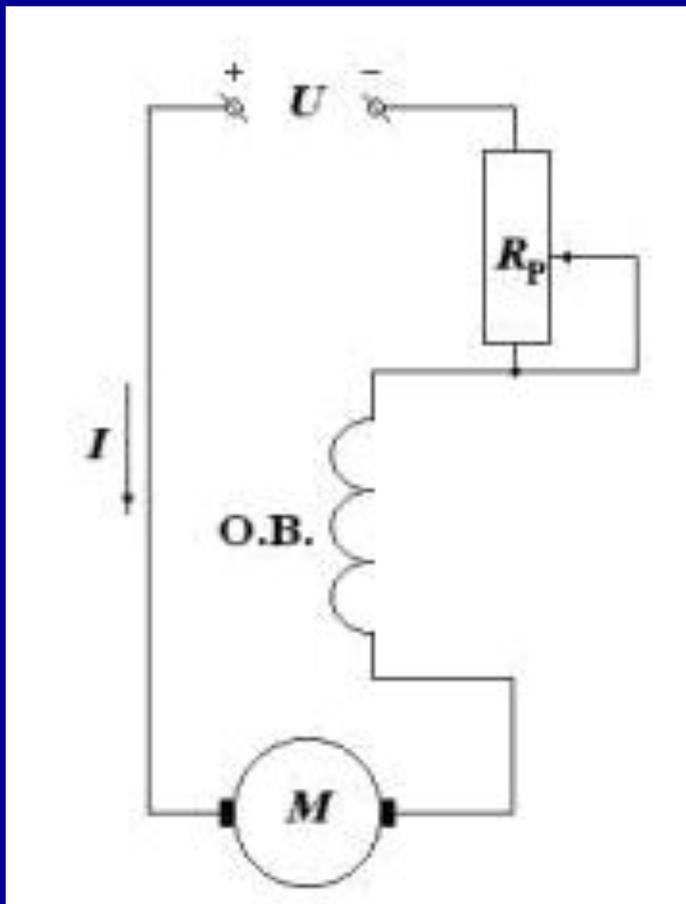


Рис. 16.3. Схема включения двигателя последовательного возбуждения для регулирования скорости изменением подводимого напряжения.

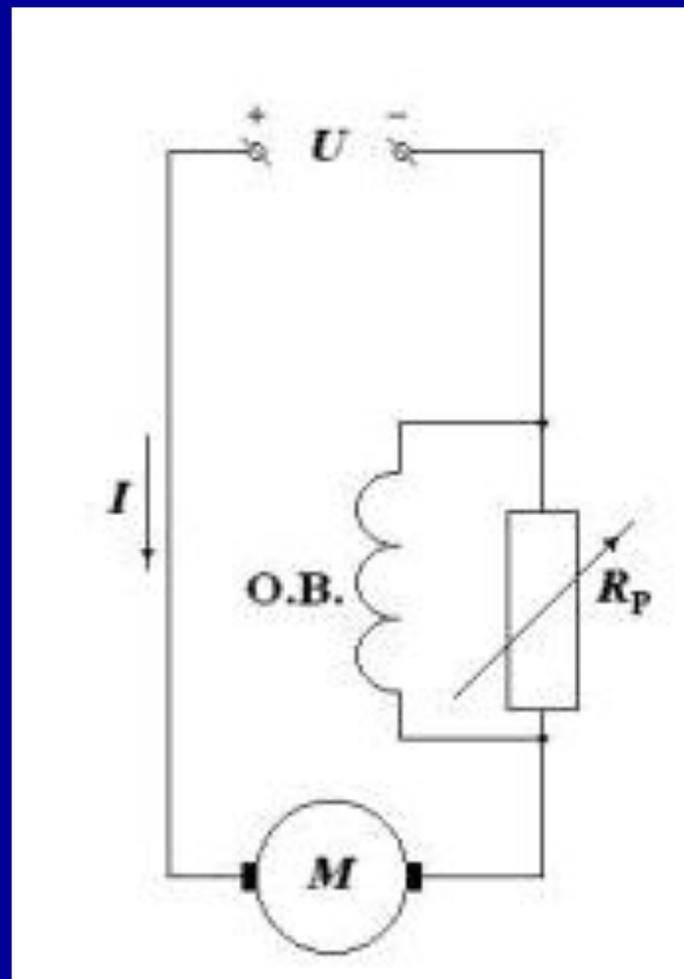


Рис. 16.4. Схема включения двигателя последовательного возбуждения для регулирования скорости шунтированием обмотки возбуждения.

При согласном включении последовательной и параллельной обмоток возбуждения двигатель смешанного возбуждения имеет больший пусковой момент, по сравнению с двигателем параллельного возбуждения.

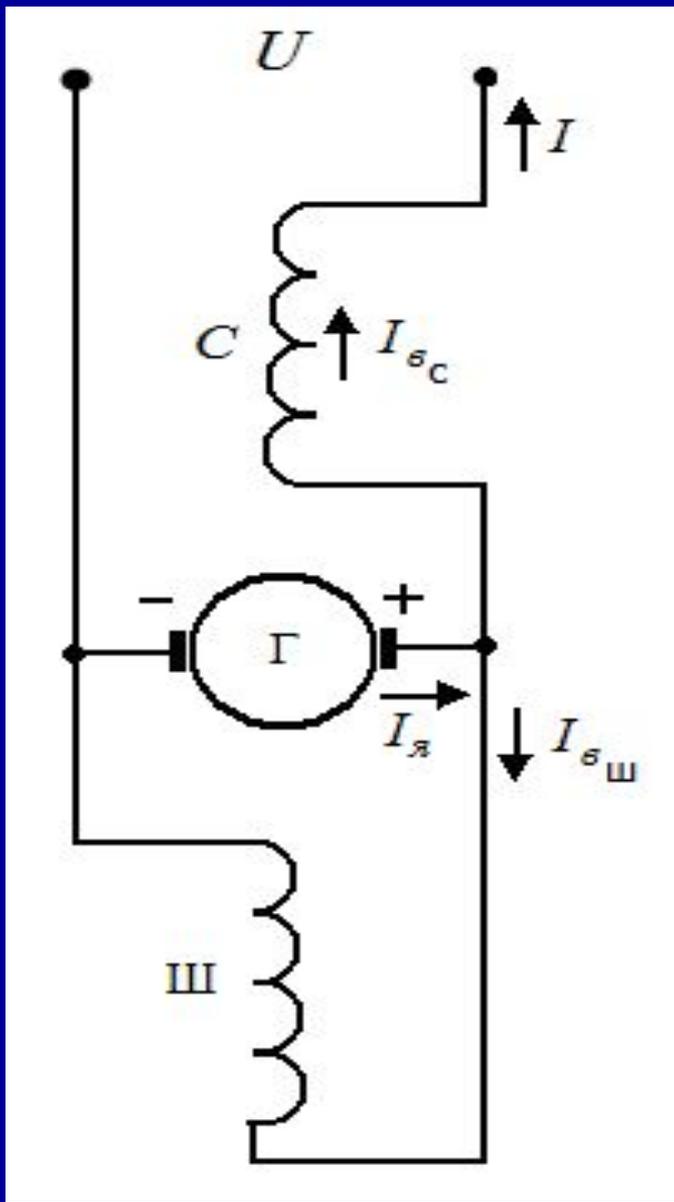
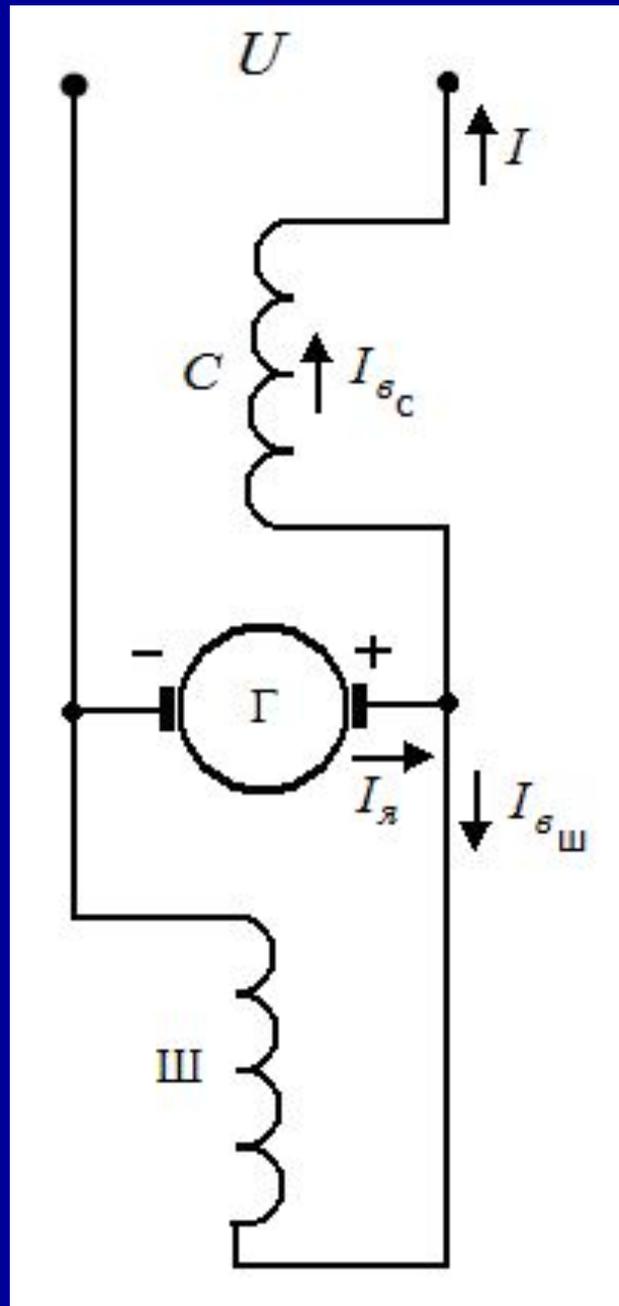


Рис. 16.5. Схема двигателя смешанного возбуждения.



При встречном включении обмоток возбуждения двигатель приобретает жесткую механическую характеристику.

С увеличением нагрузки магнитный поток последовательной обмотки увеличивается и, вычитаясь из потока параллельной обмотки, уменьшает общий поток возбуждения

Занятие 17. Потери в электрических машинах постоянного тока

17.1. Виды потерь в машинах постоянного тока.

При работе электрической машины часть потребляемой ею энергии теряется бесполезно (потери) и рассеивается в виде тепла, нагревая отдельные части машины.

Потери в электрических машинах подразделяют на основные и добавочные.

Основные потери возникают в результате происходящих в машине основных электромагнитных и механических процессов, а добавочные — вследствие продольной пульсации потока, обусловленной зубчатостью якоря, от неравномерного распределения в пазу основного магнитного потока и др.

Независимо от режима, в котором работает машина (генератором или двигателем), основные потери подразделяются на:

- электрические,
- магнитные, (потери в стали),
- механические.

17.2. Электрические потери.

Электрические потери в обмотке якоря:

$$P_{эл.я} = I_{я}^2 R_{я}$$

Электрические потери в обмотке возбуждения:

$$P_{эл.в} = I_{в}^2 R_{в}$$

Кроме электрических потерь в обмотке якоря и обмотках возбуждения, к электрическим потерям относятся и потери в щеточном контакте.

Для двух щеток различной полярности
величина потерь равна:

$$P_{\text{эл щ}} = \Delta U_{\text{щ}} \cdot I_{\text{я}}$$

где ΔU - переходное падение напряжения
на щетках, принимаемое в соответствии
с маркой щеток:

- для угольных и графитных 2 В,
- для металло-графитных 0,6 В.

17.3. Магнитные потери.

Магнитные потери включают в себя потери на гистерезис и вихревые токи, вызванные перемагничиванием стали.

Величина магнитных потерь зависит от магнитной индукции и частоты перемагничивания сердечника якоря f ;

Частота перемагничивания сердечника якоря f определяется по формуле:

$$f = \frac{pn}{60}$$

Поэтому при постоянном числе оборотов ($n = \text{const}$) магнитные потери можно считать постоянными.

Потери от гистерезиса определяются по формуле:

$$P_H = \sigma_H \cdot f \cdot B^2 \cdot 100$$

где $\sigma_H = 3,2 \dots 4,4$ - коэффициент, зависящий от марки стали;

f — частота перемагничивания;

B — наибольшее значение магнитной индукции в стали.

Потери от вихревых токов определяются по формуле:

$$P_{вих} = \sigma_{вих} \left(\frac{f \cdot B}{100} \right)^2$$

где: $\sigma_{вих}$ — коэффициент, зависящий от марки и толщины листов стали

для слабо и среднелегированных марок стали $\sigma_{вих} = 3,6 \dots 2,9$,

для высоколегированной $\sigma_{вих} = 1,4 \dots 0,6$.

17.4. Механические потери.

Механические потери $P_{\text{мех}}$ состоят из:

- потерь в подшипниках,
- на трение щеток о коллектор
- вентиляционных потерь (потери на трение о воздух вращающихся частей машины).

а) Потери в подшипниках зависят:

- от типа подшипников,
- от состояния трущихся поверхностей,
- вида смазки и др.

Потери в подшипниках зависят от скорости вращения и не зависят от электрической нагрузки машины.

Потери в подшипниках $P_{пш}$ определяются по формуле:

$$P_{пш} = k_{тр} \cdot F_{пш} \cdot v_{ш}$$

где: $k_{тр}$ — коэффициент трения;

$F_{пш}$ — давление на подшипник;

$v_{ш}$ — скорость вращения вала.

б) Потери на трение щеток $P_{тр.щ}$ определяются по формуле:

$$P_{тр.щ} = k_{тр} \cdot f_{щ} \cdot S_{щ} \cdot v_k$$

где:

$k_{тр}$ — коэффициент трения;

$f_{щ}$ - удельное давление на щетку;

$S_{щ}$ - контактная поверхность всех щеток;

v_k - окружная скорость коллектора.

в) Потери на вентиляцию. $P_{\text{вент}}$

В самовентилируемых машинах со встроенным вентилятором потери на вентиляцию определяются по формуле:

$$P_{\text{вент}} = k_{\text{вент}} \cdot Q \cdot v^2$$

где: $k_{\text{вент}}$ - коэффициент;

Q - количество вентиляруемого воздуха, м³/с;

v — скорость на внешней окружности вентилятора, м/с.

г) Общие механические потери

Определяются по формуле:

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{ми}} + P_{\text{тр.ш}} + P_{\text{вент}}$$

20.5. Потери холостого хода (х.х.)

Сумма магнитных и механических потерь составляет потери холостого хода.

Они определяются по формуле:

$$P_0 = P_c + P_{\text{мех}}$$

17.6. Добавочные потери.

Добавочные потери трудно учитываемые — это потери

- в полюсных наконечниках, возникающие при вращении якоря и обусловленные его зубчатостью,
- потери в стали якоря вследствие искажения основного поля реакцией якоря и др.

Поэтому в машинах величину добавочных потерь принимают равной **1 %** от полезной мощности для генераторов или **1 %** от подводимой мощности для двигателей.

Занятие 18
**Коэффициент полезного
действия**

18.1. Коэффициент полезного действия

Зная потери в машине, можно определить коэффициент полезного действия (к. п. д.) машины.

а) Коэффициент полезного действия генератора постоянного тока.

Для генераторов к. п. д. представляет собой отношение электрической полезной мощности к механической мощности на валу и определяется по формуле:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (\%)$$

Механическую мощность на валу генератора можно представить как:

$$P_1 = P_2 + \Sigma P$$

Электрическая полезная мощность генератора определяется по формуле:

$$P_2 = U \cdot I$$

где: ΣP — сумма всех потерь в машине;

U - напряжение на зажимах генератора;

I - ток, отдаваемый генератором в сеть.

Тогда для генератора коэффициент полезного действия можно определить по формулам:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} \cdot 100 \quad (\%)$$

$$\eta = \frac{UI}{UI + \Sigma P} \cdot 100 \quad (\%)$$

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma P}{UI + \Sigma P} \cdot 100 \quad (\%)$$

б) Коэффициент полезного действия двигателя постоянного тока.

Коэффициентом полезного действия двигателя постоянного тока называется отношение механической мощности на валу двигателя P_2 к подводимой к двигателю электрической мощности P_1

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (\%)$$

В двигателях подводимая мощность P_1 определяется по формуле:

$$P_1 = U \cdot I$$

где:

U - напряжение на зажимах двигателя;

I - ток, потребляемый двигателем.

Механическую мощность на валу двигателя можно представить как:

$$P_2 = P_1 - \Sigma P$$

где: ΣP — сумма всех потерь в машине;

Тогда для двигателя коэффициент полезного действия можно определить по формулам:

$$\eta = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \cdot 100 \quad (\%)$$

$$\eta = \frac{UI - \Sigma P}{UI} \cdot 100 \quad (\%)$$

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma P}{UI} \cdot 100 \quad (\%)$$

Так как к. п. д. машины зависит от суммы потерь, то он - величина непостоянная, т. е. зависит от нагрузки.

При х. х. машин, когда полезная мощность равна нулю, к. п. д. = 0.

По мере увеличения нагрузки к. п. д. машины быстро увеличивается.

Наибольшее значение он имеет при нагрузке, равной $(0,8...1) P_{\text{ном}}$ когда постоянные потери равны переменным.

При значительных перегрузках вследствие увеличения потерь в сопротивлениях цепи якоря к. п. д. снова снижается

Для машин постоянного
тока:

мощностью 10 кВт к. п. д.

$\eta = 0,83- 0,87$;

мощностью 100 кВт;

$\eta = 0,884-0,93$;

мощностью 1000 кВт

$\eta = 0,92-0,96$.

Машины малой мощности
имеют меньшее значение

к. п. д., например для

двигателя мощностью

10 Вт $\eta = 0,34-0,4$

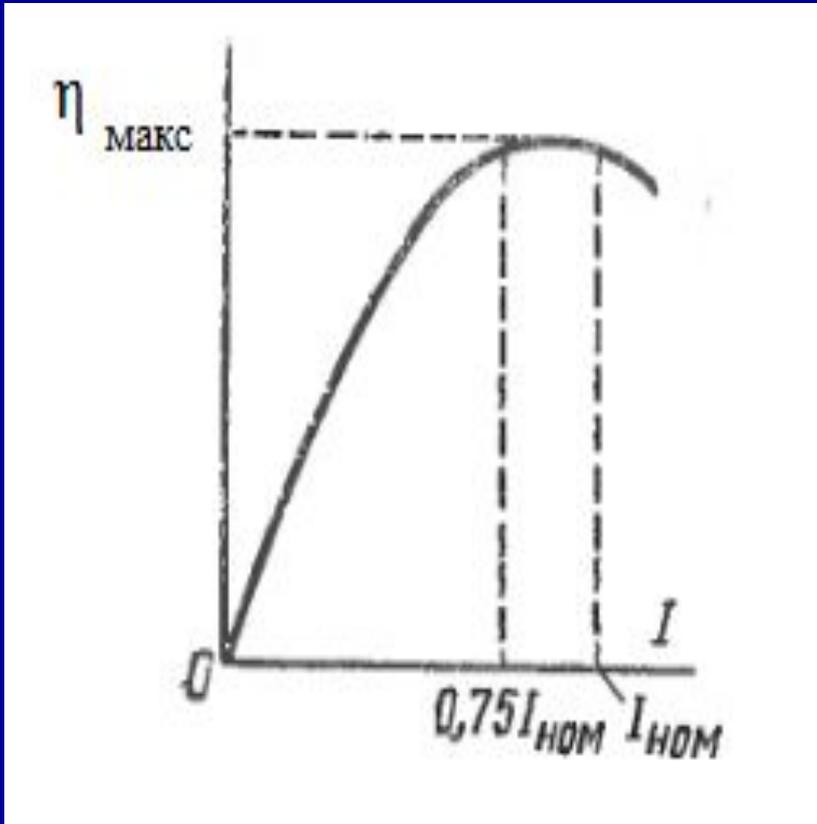


Рис. 18.1. Зависимость к.п.д.
машины от нагрузки

Занятие 19
Специальные машины
ПОСТОЯННОГО ТОКА

Тема 5.
Трансформаторы

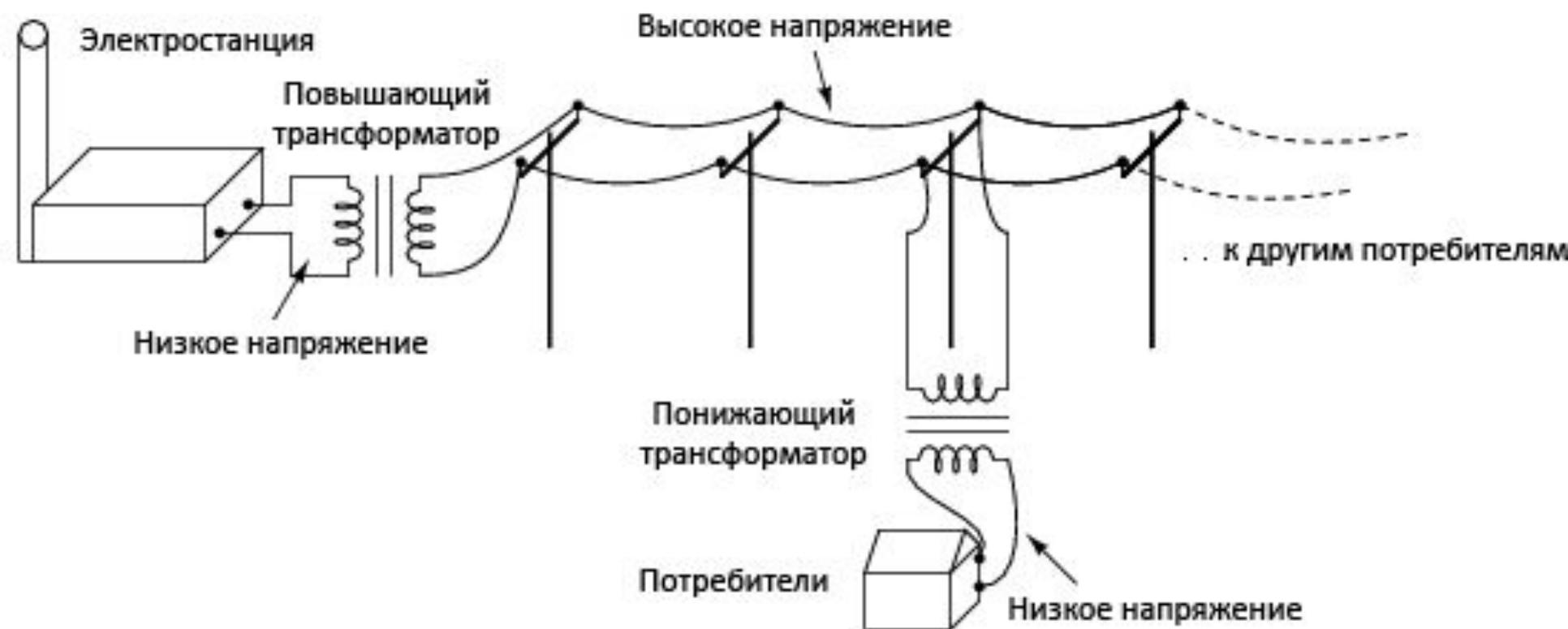
Занятие 21.
**Принцип действия
трансформаторов**

21.1. Общие определения

Трансформатор представляет собой статический электромагнитный преобразователь с двумя или больше обмотками, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

Преобразование энергии в трансформаторе осуществляется переменным магнитным полем.

Трансформаторы широко применяют при передаче электрической энергии на большие расстояния, а также при распределении ее между приемниками.



21.2. Использование трансформатора при передаче электроэнергии.

При передаче электрической энергии от электростанции к потребителям необходимо передавать как можно больше мощности, которая определяется выражением

$$P = U \cdot I$$

Из формулы видно, что для повышения передаваемой мощности необходимо повышать величину тока и напряжения.

Однако повышение силы тока в линии обуславливает потери энергии в этой линии и расход цветных металлов на ее устройство.

Если при одной и той же передаваемой мощности увеличить напряжение, то сила тока в такой же мере уменьшится, а следовательно, можно будет применить провода с меньшим поперечным сечением. Это сократит расход цветных металлов при устройстве линии электропередачи и снизит потери энергии в ней.

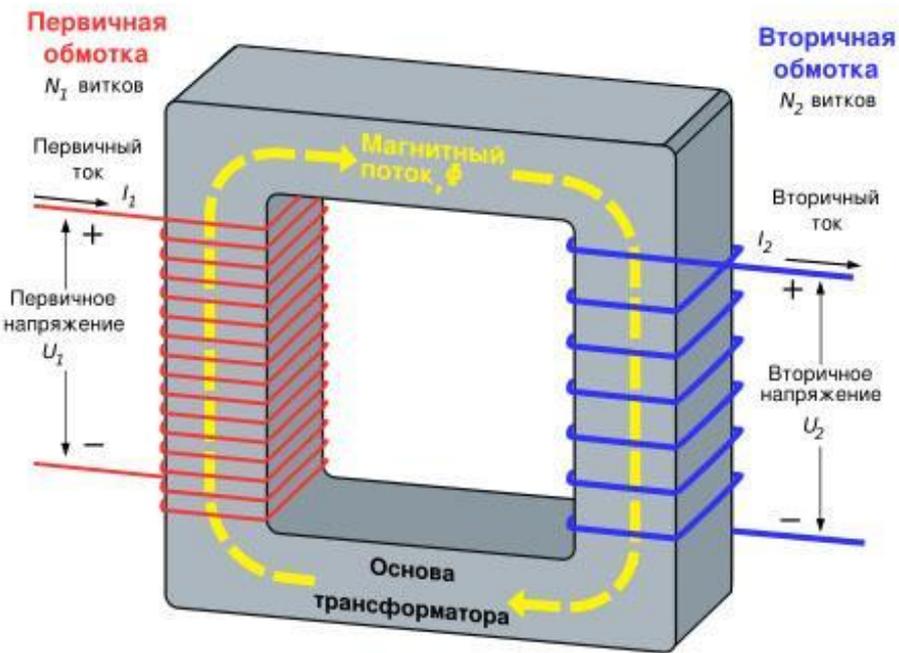
Однако высокое напряжение нельзя подавать потребителю, так как при этом возникает опасность пробоя изоляции электрических аппаратов и поражения электротоком обслуживающего персонала. Поэтому на передающей подстанции с помощью повышающих трансформаторов напряжение в линии электропередач повышают. на приемной подстанции напряжение с помощью понижающих трансформаторов понижают до 380/220 Вольт.



21.3. Конструктивная схема трансформатора.

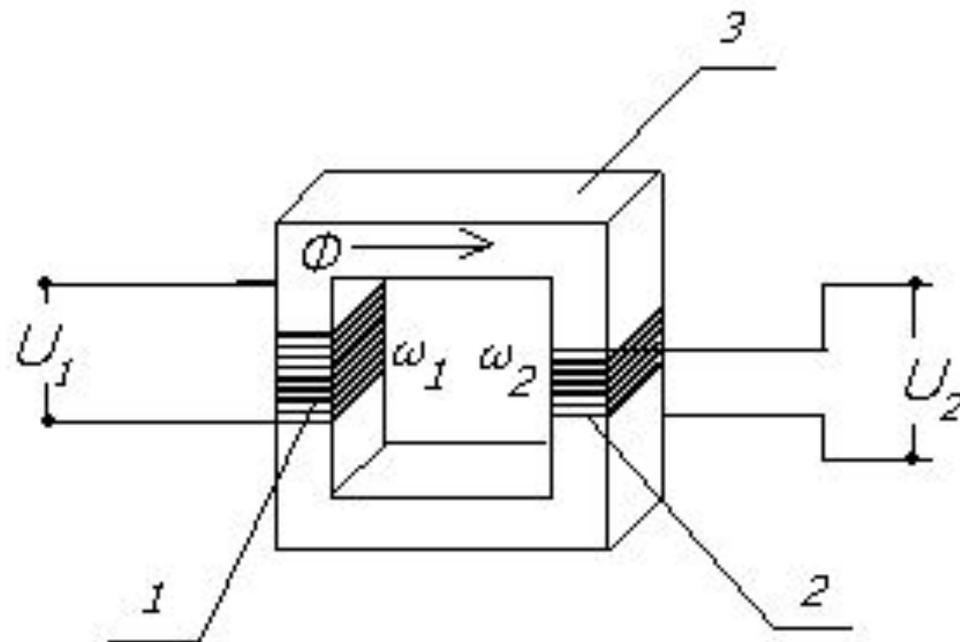
Конструктивная схема трансформатора (см. рис.22.1) имеет магнитопровод **3** из электротехнической стали и две обмотки на магнитопроводе: первичную с числом витков ω_1 и вторичную с числом витков ω_2 . Обмотки выполняются из медного провода.

Первичная обмотка трансформатора включается в сеть переменного напряжения U_1 , и в ней возникает ток I_1 . Ко вторичной обмотке ω_2 подключается приемник электрической энергии.



1. Первичная обмотка
2. Вторичная обмотка
3. Магнитопровод

Рис. 21.1. Конструктивная схема трансформатора.



Действие трансформатора основано на явлении взаимной индукции. Если первичную обмотку трансформатора включить в сеть источника переменного тока, то по ней будет протекать переменный ток, который создает в магнитопроводе трансформатора переменный магнитный поток.

Этот магнитный поток, пронизывая витки вторичной обмотки, будет индуцировать в ней э. д. с. Если вторичную обмотку замкнуть на какой-либо приемник энергии, то под действием индуцируемой э. д. с. по этой обмотке и через приемник энергии начнет протекать ток .

В целях улучшения магнитной связи между первичной и вторичной обмотками их помещают на стальной магнитопроводе. Обмотки изолируют как друг от друга, так и от магнитопровода.

Обмотку более высокого напряжения называют обмоткой высшего напряжения (ВН), а обмотку более низкого напряжения — обмоткой низшего напряжения (НН).

Обмотку, включенную в сеть источника электрической энергии, называют первичной; обмотку, от которой энергия подается к приемнику-вторичной.

Обычно напряжения первичной и вторичной обмоток неодинаковы.

Любой трансформатор может быть использован и как повышающий и как понижающий.

Повышающие трансформаторы применяют для передачи электроэнергии на большие расстояния, а понижающие — для распределения электроэнергии между потребителями.

Если первичное напряжение меньше вторичного, трансформатор называют повышающим, если же первичное напряжение больше вторичного — понижающим.

21.4. Коэффициент трансформации

Рассмотрим трансформатор с разомкнутой цепью вторичной обмотки, т. е. в режиме холостого хода.

В трансформаторе обмотки электрически между собой не связаны, а связаны переменным магнитным потоком.

В обеих обмотках наводится ЭДС:

$$e_1 = -\omega_1 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$
$$e_2 = -\omega_2 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Отношение ЭДС:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = k$$

Отношение чисел витков обмоток трансформатора k называется

коэффициентом, трансформации.

Отношение ЭДС при холостом ходе можно

заменить отношением напряжений на

зажимах обмоток, учитывая, что $u_1 \approx e_1$, u_2

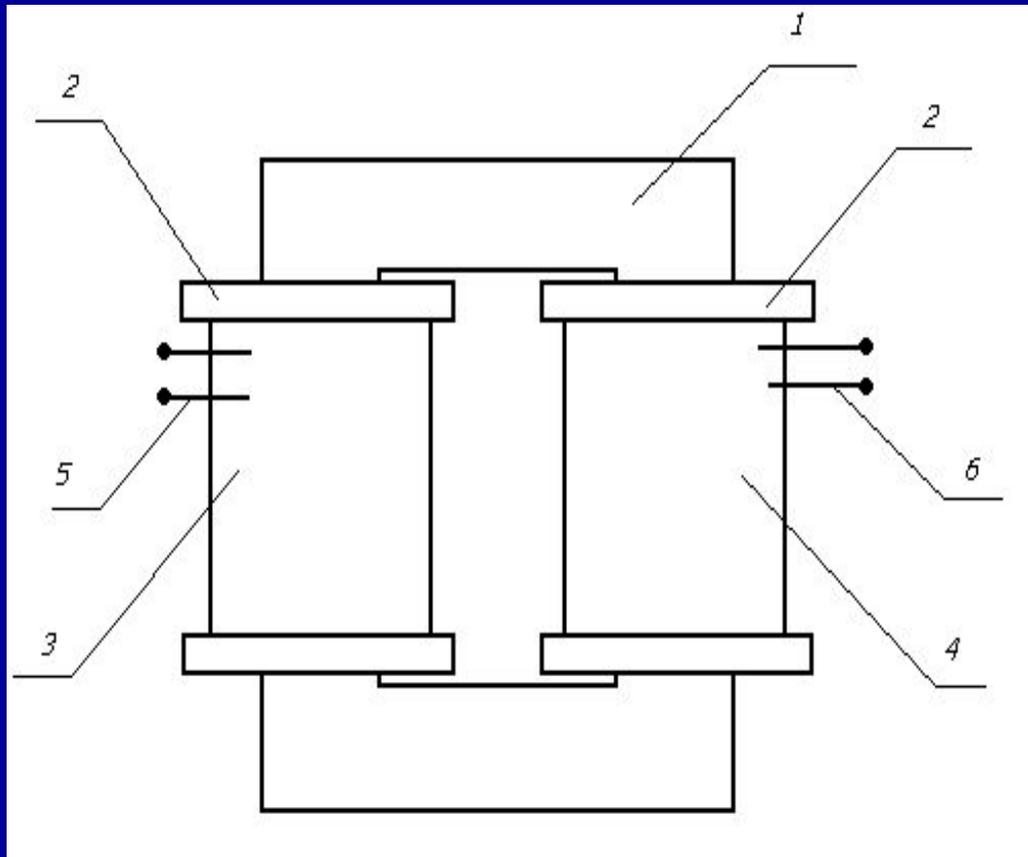
$\approx e_2$

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

Занятие 22.

Устройство трансформаторов

23.1. Общее устройство трансформатора.



- 1- магнитопровод
- 2 – каркасы катушек
- 3 – первичная обмотка
- 4 – вторичная обмотка
- 5 – вводы первичной обмотки
- 6 – выводы вторичной обмотки

Рис. 22.1. Конструктивная схема трансформатора.

Магнитопровод трансформатора набирается из отдельных листов трансформаторной стали, изолированных друг от друга слоем окиси.

Такая конструкция магнитопровода уменьшает потери электрической энергии на нагрев стали вихревыми токами.

Обмотки трансформатора выполняются медным изолированным проводом, намотанным на каркас.

Первичная обмотка понижающего трансформатора имеет большее количество витков , чем вторичная.

Провод первичной обмотки более тонкий, чем у вторичной. Кроме изоляции провода каждый слой обмотки также изолируется от соседнего слоя.

Самый верхний слой провода покрывается специальной эмалью и запекается. Это обеспечивает не только изоляцию обмотки, но и надежную ее защиту от внешних механических воздействий и влаги.

Полезную мощность, на которую рассчитан трансформатор по условиям нагревания, называют номинальной.

Эта мощность выражается в единицах полной мощности, т. е. в вольт-амперах (ВА) или киловольт-амперах (кВА).

Все прочие величины, характеризующие работу трансформатора в условиях, на которые он рассчитан, также называют номинальными.

Каждый трансформатор снабжается щитком
содержащим номинальные данные

На щитке трансформатора указываются
следующие данные :

1. Марка завода-изготовителя.
2. Год выпуска.
3. Заводской номер.
4. Обозначение типа трансформатора.
5. Номинальная мощность (кВА).
6. Напряжения номинальные (В или кВ).
7. Номинальные токи каждой обмотки (А).
8. Число фаз.

9. Частота тока (Гц).
10. Схема и группа соединения обмоток трансформатора.
11. Напряжение короткого замыкания (%).
12. Род установки (внутренняя или наружная).
13. Способ охлаждения.
14. Полная масса трансформатора (кг или т).
15. Масса масла (кг или т).
16. Масса активной части (кг или т).

Условное обозначение трансформатора состоит из буквенном и цифровой частей.

Буквы означают следующее:

Т — трехфазный трансформатор,

О—однофазный трансформатор,

М — естественное масляное охлаждение,

Д — масляное охлаждение с дутьем

Ц—масляное охлаждение с принудительной циркуляцией масла через водяной охладитель,

ДЦ—масляное с дутьем и принудительной циркуляцией масла,

Г — грозоупорный трансформатор (указывается в конце),

Н (в конце после обозначения типа) — трансформатор с регулированием напряжения под нагрузкой,

Н (на втором месте) — заполнение негорючим жидким диэлектриком.

Первое число, стоящее после буквенного обозначения трансформатора, показывает номинальную мощность (кВ·А),

Второе число — номинальное напряжение обмотки ВН (кВ).

Например,

ТМ — 6300/35 означает трехфазный двухобмоточный трансформатор с естественным масляным охлаждением мощностью 6300 кВА и напряжением обмотки ВН 35 кВ.

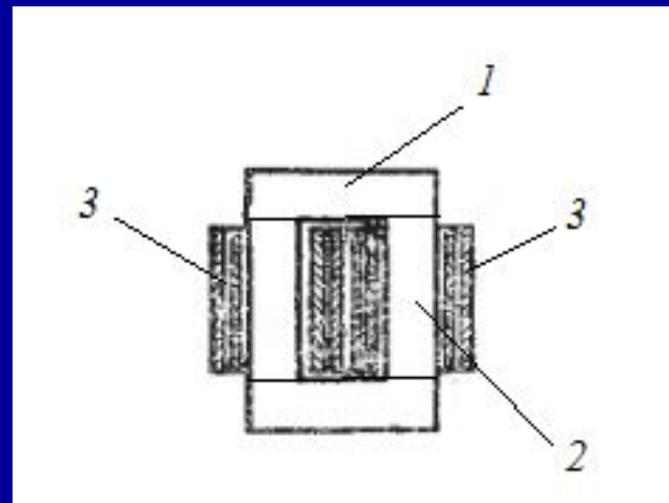
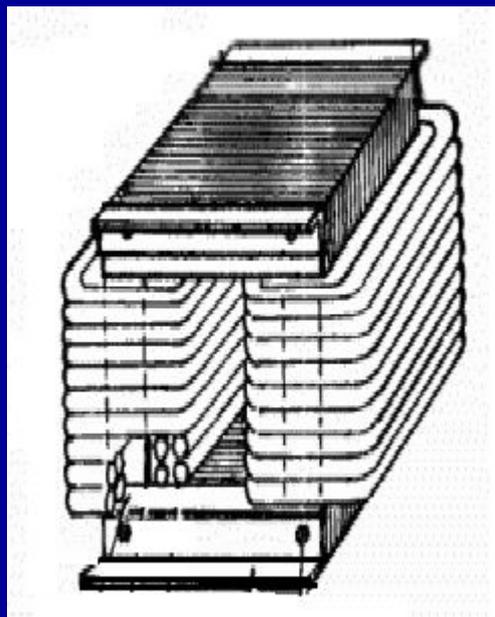
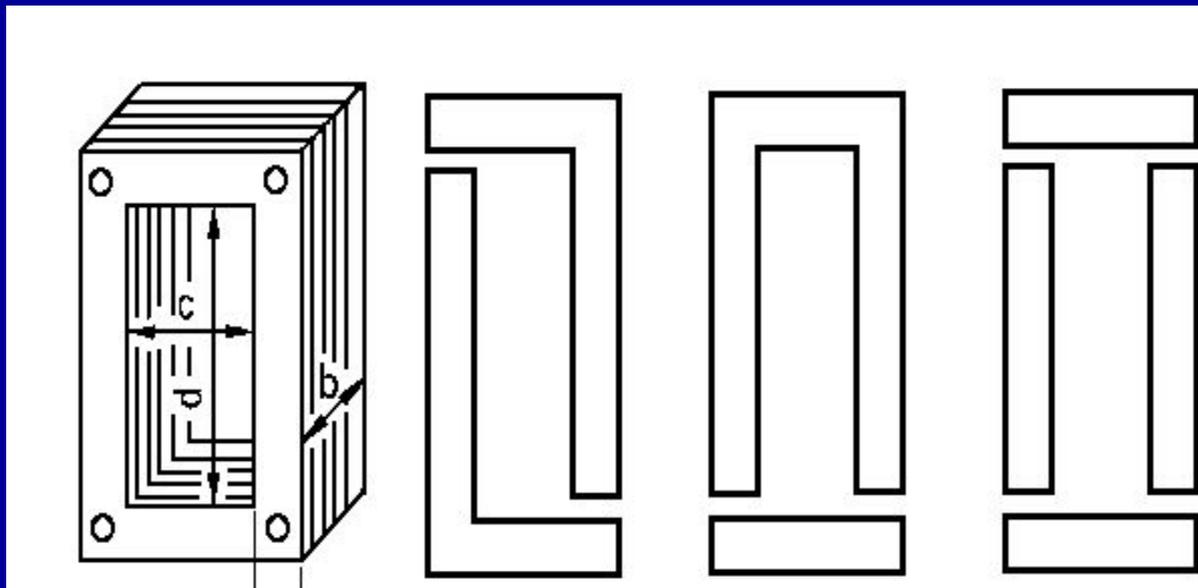
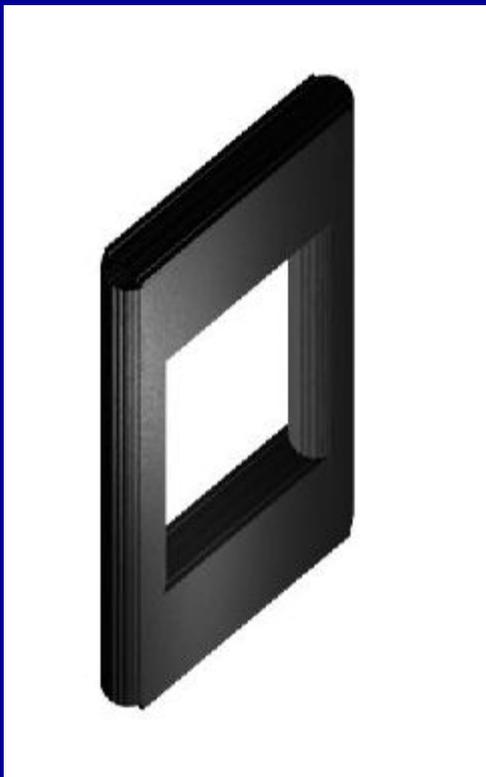
ТЦТНГ — 63 000/220 означает трехфазный трехобмоточный трансформатор с принудительной циркуляцией масла, с регулированием напряжения под нагрузкой, грозоупорный, мощностью 63000 кВ-А и напряжением обмотки ВН 220 кВ.

Буква А в обозначении типа трансформатора означает автотрансформатор.

22.2. Устройство магнитопроводов однофазных трансформаторов

Магнитопроводы трансформаторов собирают из изолированных пластин или ленты высоколегированной стали. В зависимости от формы магнитопровода и расположения обмоток на нем однофазные трансформаторы подразделяют на стержневые, броневые и тороидальные (кольцеобразные).

Стержневой магнитопровод (рис. 23.2) имеет два стержня, охватываемых обмотками



1 – ярмо
2 – стержни
3 – катушки
обмоток

Рис. 22.2. Стержневой магнитопровод

В трансформаторе броневом типа (рис. 22.3.) первичная и вторичная обмотки помещены на среднем стержне магнитопровода.

Таким образом, в этом трансформаторе обмотки частично охватываются (бронируются) ярмом.

Броневой магнитопровод обладает рядом конструктивных достоинств — один комплект обмоток вместо двух при стержневом магнитопроводе, высокий коэффициент заполнения окна магнитопровода обмоточным проводом, частичная защита обмотки ярмом от механических повреждений.

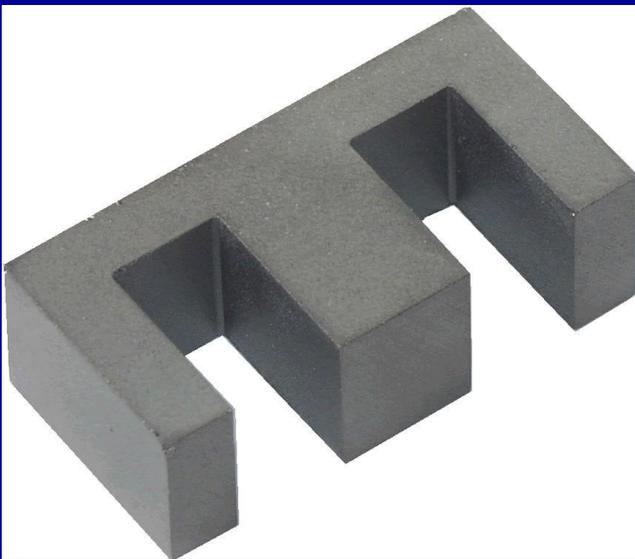
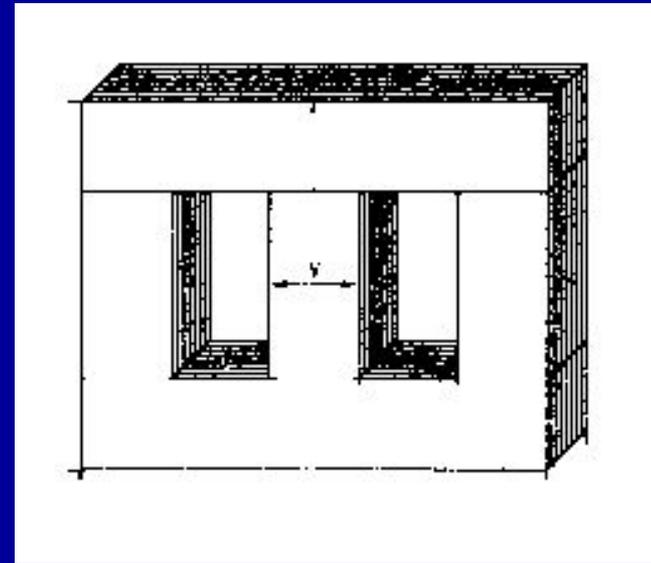
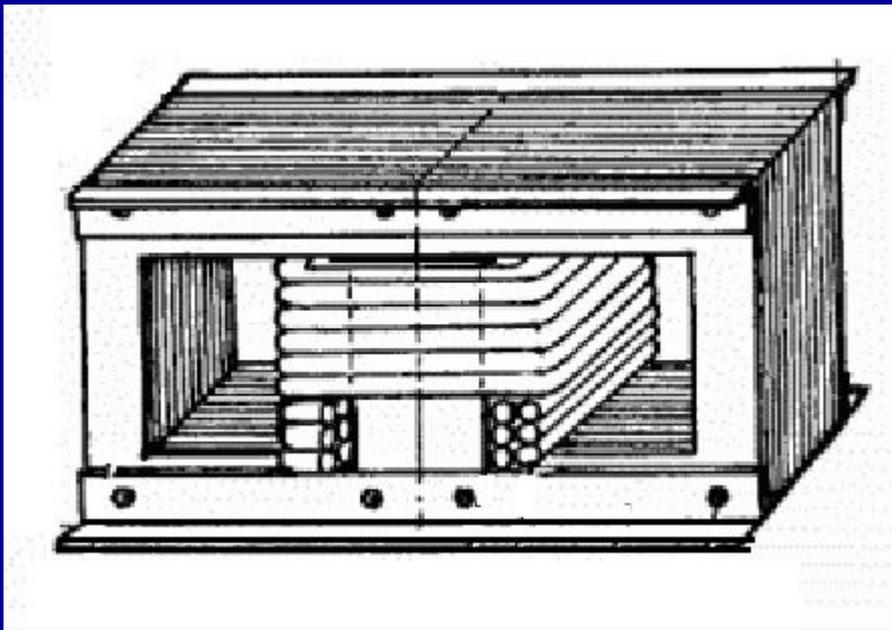


Рис. 22.3. Трансформатор с магнитопроводом броневого типа

Ленточные разрезные сердечники из холоднокатаной стали могут быть также стержневыми (рис. 22.4, а) и броневыми (рис-22.4 б)

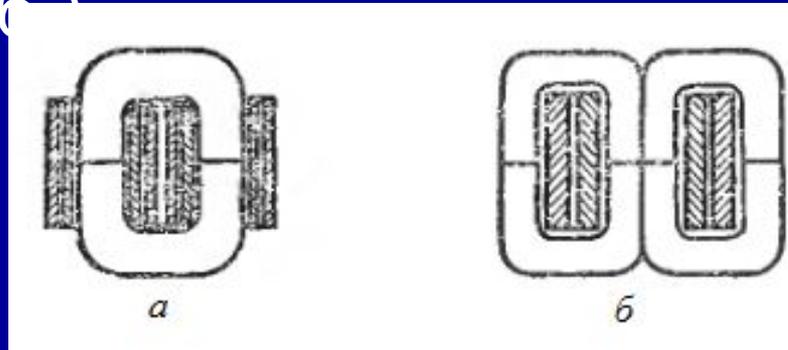
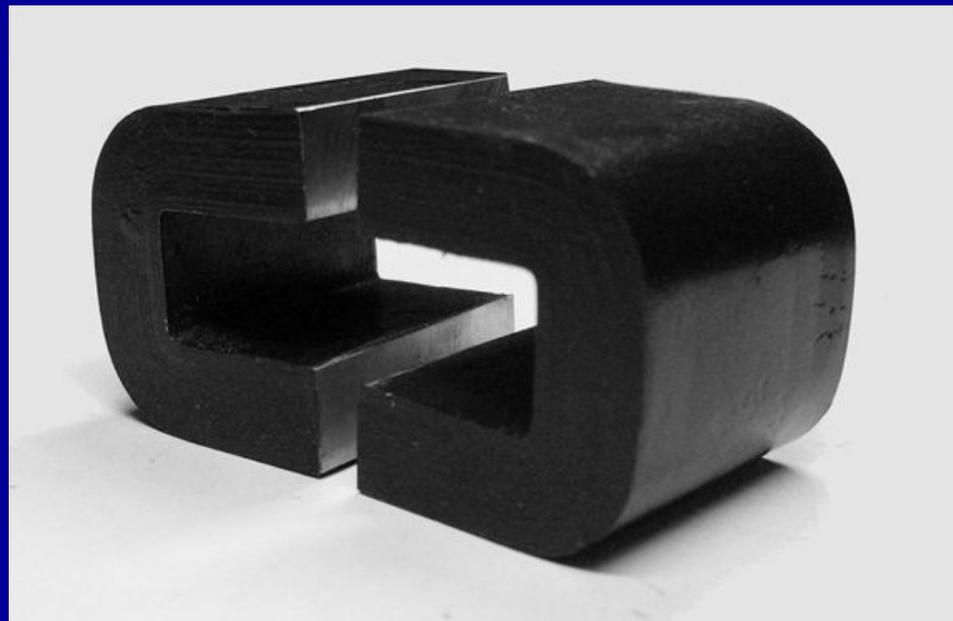
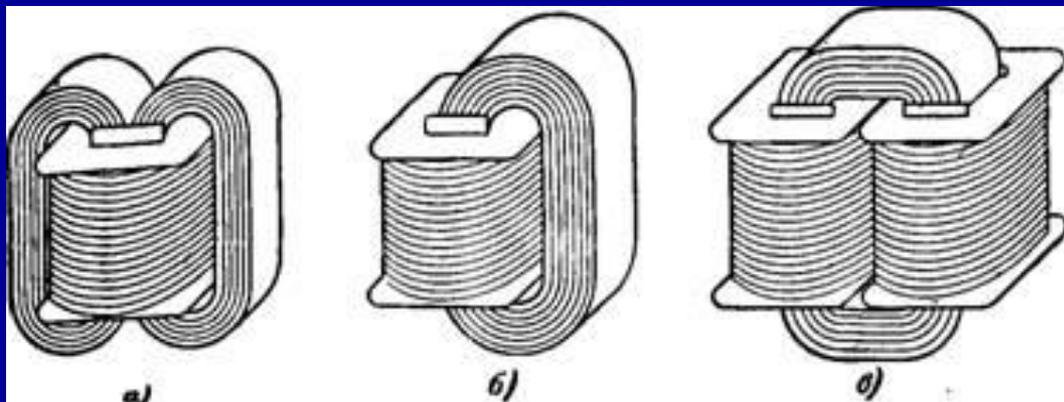


Рис. 22.4. Трансформаторы с ленточными сердечниками:
а) стержневого типа; б) броневого типа

При сборке трансформатора с ленточным сердечником магнитопровод разрезают для того, чтобы поместить обмотки на сердечнике, и затем верхнюю и нижнюю половины магнитопровода соединяют вместе.



Трансформаторы с ленточными магнитопроводами



22.3. Сборка магнитопроводов

Магнитопроводы трансформаторов собирают встык (рис. 23.5) или внахлест (рис. 22.6.) из П-образных стальных пластин. Пластины также могут иметь форму Г-образную, Ш-образную, прямоугольную и др.

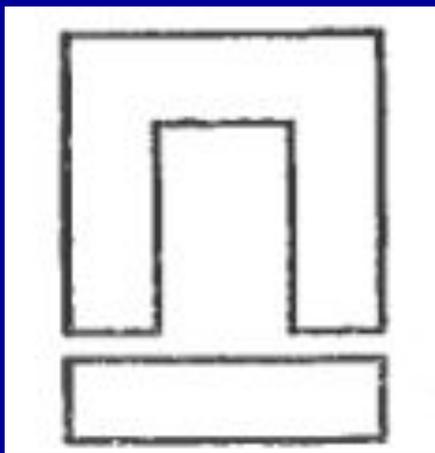


Рис. 22.5. Сборка магнитопровода встык

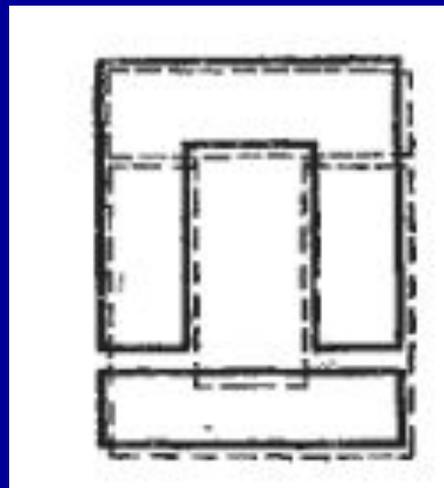
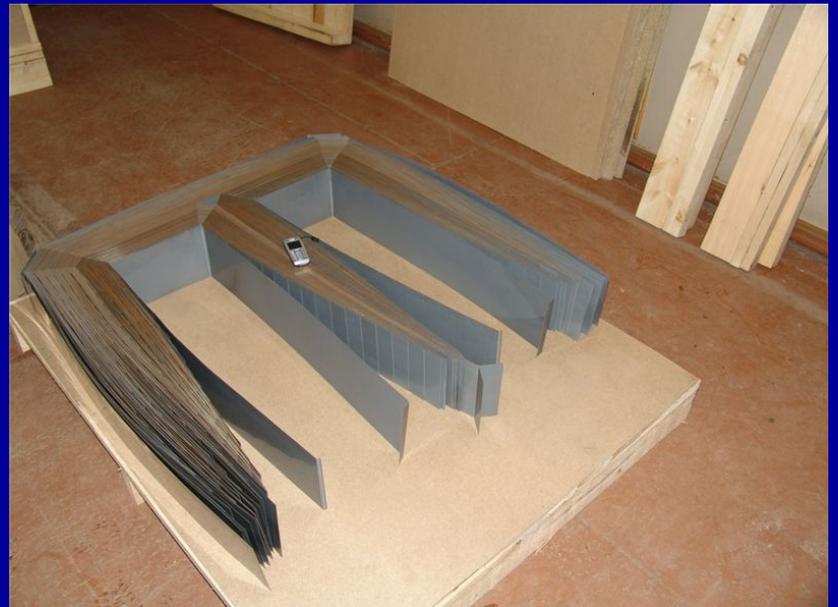
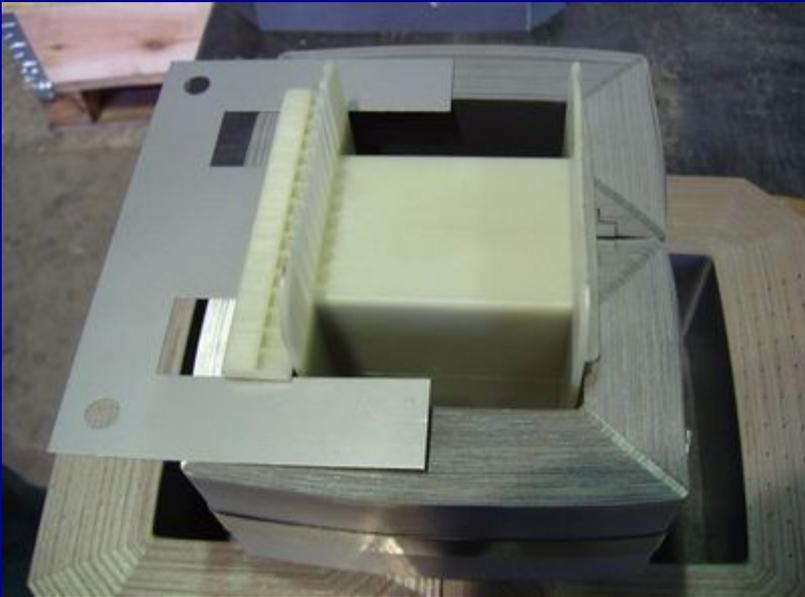


Рис. 22.6. Сборка магнитопровода внахлест

При сборке встык сердечник состоит из двух частей, собранных из стальных пластин. После размещения обмоток на магнитопроводе обе части его скрепляют.

При сборке внахлест пластины чередуются так, чтобы у лежащих друг на друге листах разрезы были с разных сторон сердечника.

При этом один слой стальных листов (например, нечетный) укладывается так, как показано на рисунке сплошной линией, а другой слой (четный)—прерывистой.





22.4. Устройство обмоток трансформаторов

Обмотки трансформаторов изготавливают из меди или алюминия.

Для трансформаторов небольшой мощности обмотки выполняют из изолированного провода круглого поперечного сечения.

При больших мощностях и токах обмотки изготавливают из проводников прямоугольного поперечного сечения.

По способу размещения на магнитопроводе обмотки трансформаторов могут быть

- концентрическими
- дисковыми чередующимися.

Концентрические обмотки выполняют в виде цилиндров, размещаемых на магнитопроводе концентрически.

Внутри (ближе к сердечнику) обычно размещают обмотку НН, требующую меньшей изоляции относительно магнитопровода, снаружи — обмотку ВН

(рис. 23.7)

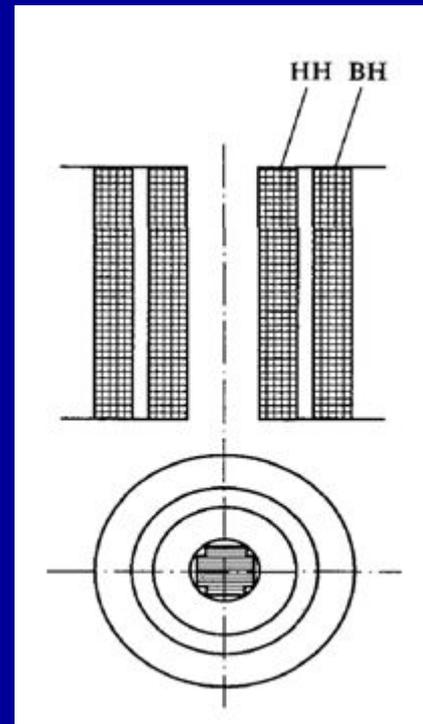
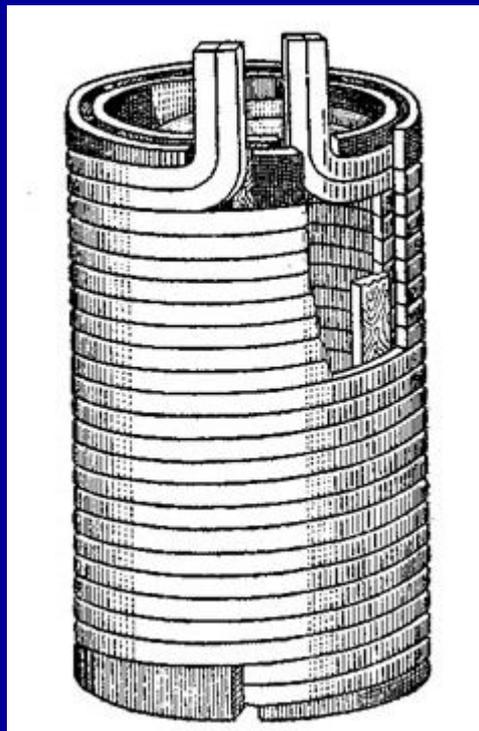
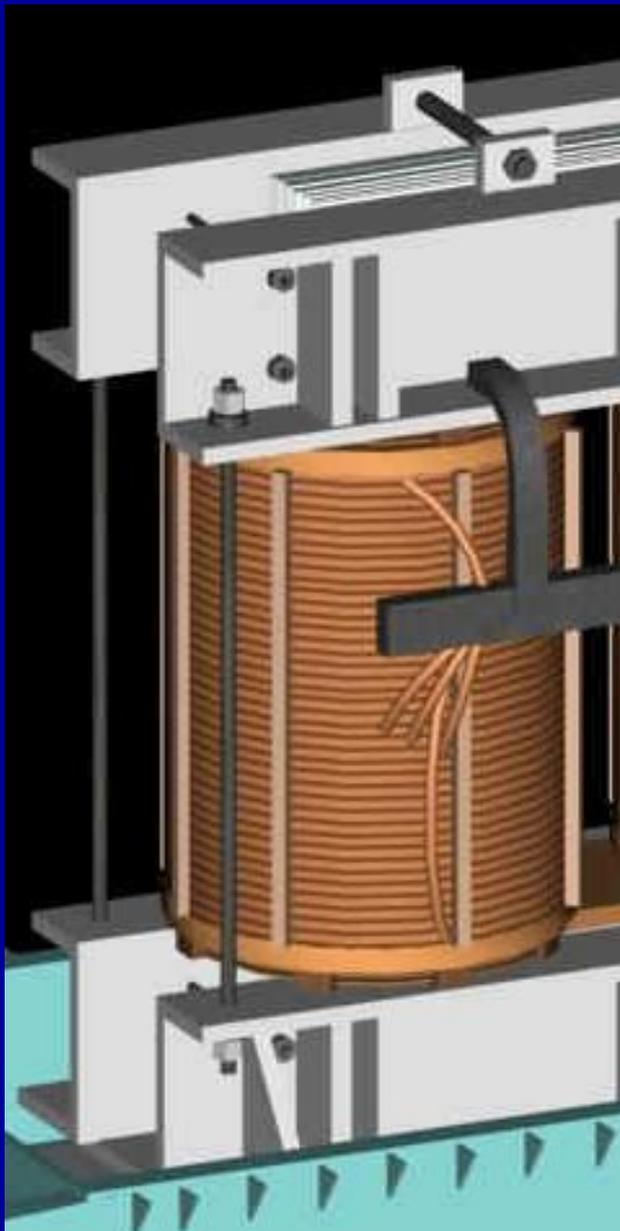


Рис. 22.7. Концентрические обмотки трансформатора

В дисковых чередующихся обмотках катушки НИ и ВН, изготовленные в виде отдельных дисков, размещены на магнитопроводе в чередующемся порядке (рис. 22.8.)

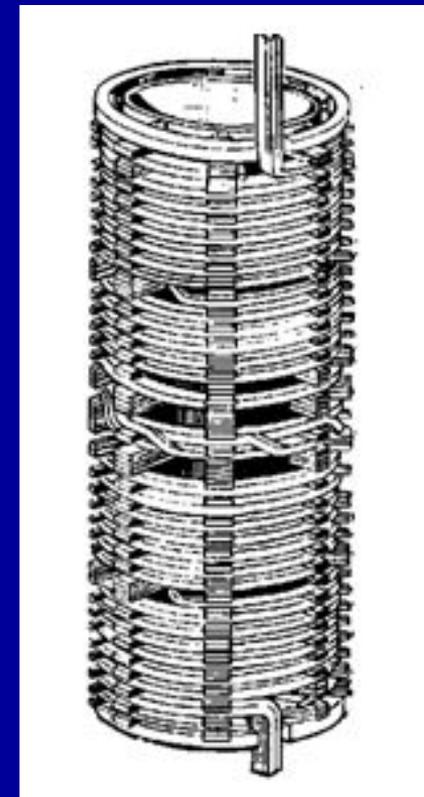
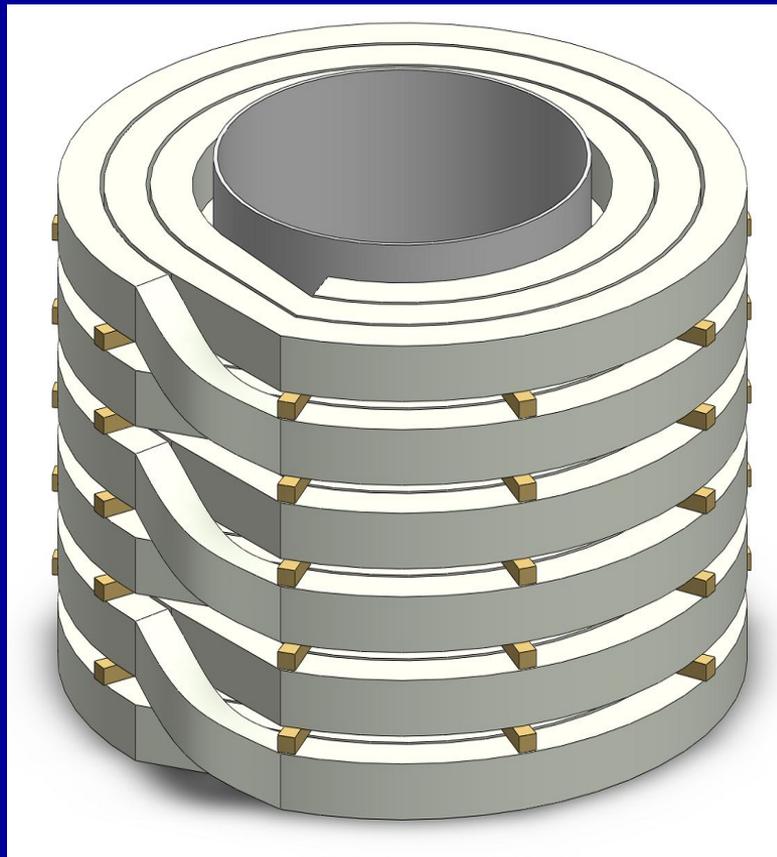
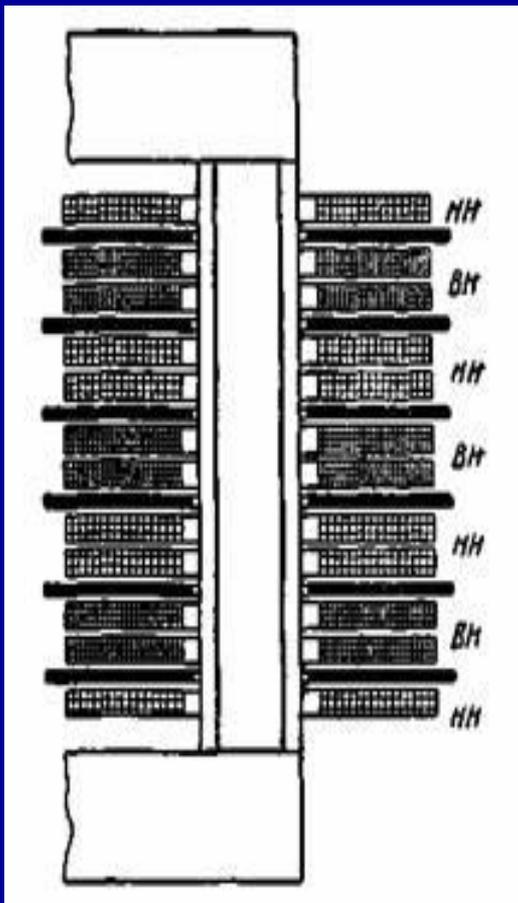


Рис. 22.8. Дисковые чередующиеся обмотки трансформатора

Занятие 23. Режимы работы трансформатора

Различают следующие режимы работы трансформатора:

- Режим холостого хода
- Рабочий режим
- Режим короткого замыкания

23.1. Опыт холостого хода трансформатора

Холостым ходом трансформатора является такой предельный режим его работы, когда вторичная обмотка трансформатора разомкнута и ток вторичной обмотки $I_2 = 0$.

Опыт х. х. позволяет определить:

- коэффициент трансформации,
- ток х. х. трансформатора,
- потери х. х. трансформатора
- сопротивления х. х. трансформатора.

При опыте х. х. первичную обмотку трансформатора включают в сеть переменного тока с напряжением U_1 (рис. 23.1).

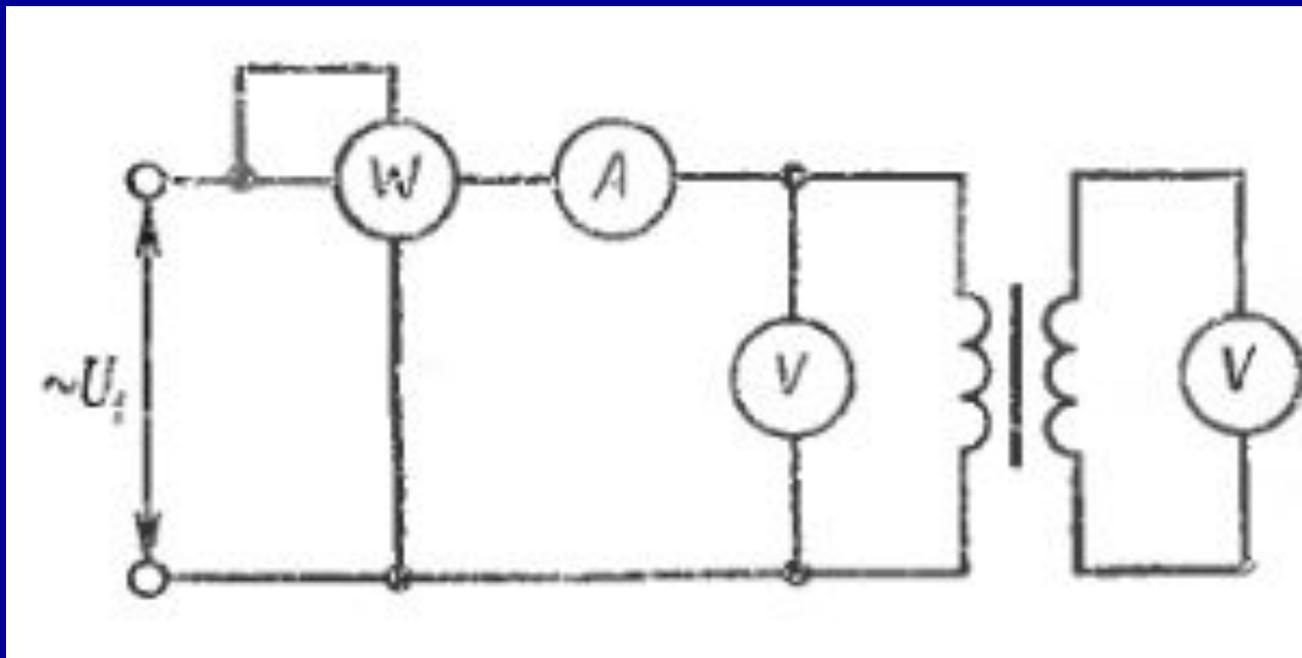


Рис. 23.1. Схема опыта холостого хода трансформатора.

Под действием приложенного напряжения по первичной обмотке протекает ток

$I_1 = I_0$, равный току х. х., который составляет 5—10% номинального.

Для измерения тока х. х., приложенного к первичной обмотке напряжению и потребляемой мощности в цепь первичной обмотки трансформатора, включены измерительные приборы (амперметр A , вольтметр V и ваттметр W).

Вторичная обмотка трансформатора замкнута на вольтметр, сопротивление которого очень велико, так что ток вторичной обмотки $I_2 = 0$

Действующие значения э. д. с. обмоток определяются по формулам:

$$E_1 = 4,44w_1 \cdot f \cdot \Phi_{\max}$$

$$E_2 = 4,44w_2 \cdot f \cdot \Phi_{\max}$$

Где: w_1 , w_2 - числа витков первичной и вторичной обмоток трансформатора;

Φ_{\max} — амплитуда магнитного потока; f — частота тока

Во вторичной обмотке трансформатора тока нет, поэтому то э. д. с. $E_2 = U_2$ и определяется показанием вольтметра, включенного во вторичную обмотку.

В первичной обмотке протекает ток х. х., очень малый, поэтому э. д. с. первичной обмотки будет равно напряжению на первичной обмотке $U_1 = -E_1$

Следовательно, э. д. с. первичной обмотки определяется показанием вольтметра, включенного в цепь первичной обмотки при опыте х. х.

23.2. Коэффициент трансформации

Коэффициентом трансформации

называют отношение напряжения обмотки ВН к напряжению обмотки НН при х. х.:

Для повышающего трансформатора:

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{w_2}{w_1}$$

Для трехфазного трансформатора различаются конструктивный и эксплуатационный коэффициенты трансформации.

а) Конструктивный коэффициент трансформации k_k определяет соотношение чисел витков обмоток ВН и НН и равен отношению фазных напряжений.

б) Эксплуатационный коэффициент трансформации k_ε равен отношению линейных напряжений на стороне ВН и НН.

Если схемы соединения обмоток ВН и НН одинаковы (например, звезда — звезда или треугольник — треугольник), то отношение фазных и линейных напряжений также одинаковы, т. е. конструктивный и эксплуатационный коэффициенты трансформации равны ($k_k = k_{\text{э}}$).

Если же схемы соединения обмоток ВН и НН различны (звезда — треугольник или треугольник—звезда), то конструктивный и эксплуатационный коэффициенты трансформации отличаются в

$$\sqrt{3} = 1,73 \text{ раз}$$

При опыте х.х. помимо напряжений первичной и вторичной обмоток измеряются ток х. х. I_0 и мощность P_0 , потребляемая трансформатором.

Ток х.х. в фазе обмотки трехфазного трансформатора I_0 при соединении первичной обмотки в звезду равен измеренному току I ($I_0 = I$), при соединении первичной обмотки в треугольник—в 1,73 раза меньше измеренного.

$$I_0 = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{I}{1,73}$$

Мощность, потребляемая трансформатором
при х. х., P_o расходуется на покрытие потерь в стали за счет гистерезиса и вихревых токов ($P_c = P_o$), так как потери в проводах первичной обмотки ничтожно малы.

При испытании трехфазного трансформатора в этих выражениях следует иметь в виду фазные значения напряжения и тока, а также мощность, отнесенную к одной фазе, $\frac{P_o}{3}$
(P_o — показания ваттметра).

23.3. Рабочий режим трансформатора

При рабочем режиме трансформатора его вторичная обмотка замкнута на приемник электрической энергии и по вторичной обмотке протекает ток I_2 , а по первичной ток I_1

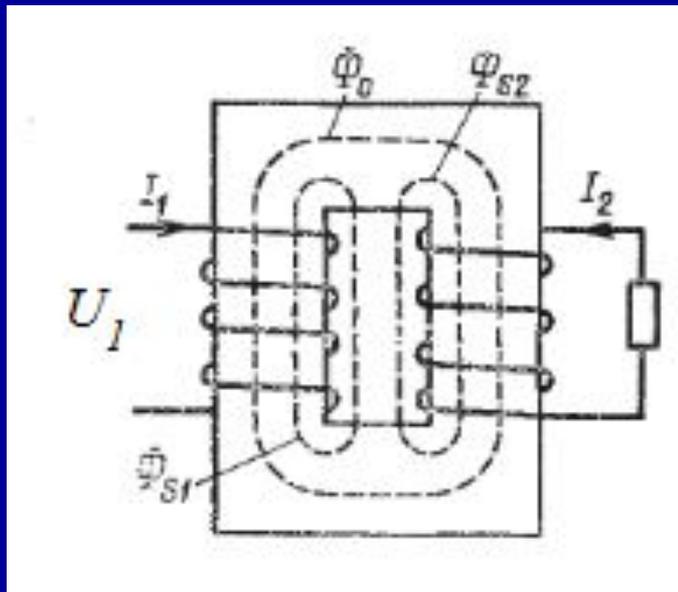


Рис. 23.2. Схема работы трансформатора при нагрузке.

При холостом ходе намагничивающая сила $I_0 w_1$ создает основной магнитный поток $\Phi_0 = \Phi_{\text{макс}}$

Если вторичную обмотку замкнуть на потребитель, то во вторичной обмотке потечет ток I_2 , а в первичной ток I_1 .

Эти токи создают в обмотках намагничивающие силы: в первичной $I_1 w_1$, во вторичной $I_2 w_2$.

Поэтому уравнение равновесия намагничивающих сил имеет вид:

$$I_1 w_1 + I_2 w_2 = I_0 w_1$$

или

$$I_1 = I_0 - I_2 \cdot \frac{w_2}{w_1} = I_0 - k \cdot I_2$$

Где:

$$k = \frac{w_2}{w_1}$$

- коэффициент трансформации

23.4. Режим короткого замыкания

Короткие замыкания в электрических установках возникают вследствие каких-либо неисправностей в сетях или при ошибочных действиях эксплуатационного персонала.

Для трансформатора к. з. представляет собой серьезную опасность, так как при этом возникают очень большие токи.

При коротком замыкании вторичной обмотки ее полное сопротивление становится равным нулю ($z = 0$). Напряжение вторичной обмотки также становится равным нулю ($U_2 = 0$)

Уравнение равновесия э. д. с. первичной обмотки трансформатора при к.з. вторичной обмотки запишется в следующем виде:

$$U_1 = I_{кз} Z_{кз}$$

или

$$I_{кз} = \frac{U_1}{Z_{кз}}$$

Где: $Z_{кз}$ - полное сопротивление трансформатора при коротком замыкании.

Полное сопротивление трансформатора определяется по формуле:

$$Z = \sqrt{r^2 + x_L^2}$$

Где: r - активное сопротивление обмоток

x_L - индуктивное сопротивление трансформатора

В обычных трансформаторах в режиме короткого замыкания полное сопротивление трансформатора имеет очень маленькую величину, поэтому ток короткого замыкания очень велик.

Большой ток короткого замыкания, действуя продолжительное время, приводит к перегреву обмоток трансформатора, к выходу из строя изоляции обмоток и к пожару.

Для исключения выхода из строя трансформаторов в них обязательно применяется защита, отключающая трансформатор при резком увеличении величины потребляемого тока.

23.5. Напряжение короткого замыкания.

Опыт к. з. производится при значительно пониженном напряжении и является предельным режимом работы трансформатора, который наряду с опытом х. х. позволяет определить параметры трансформатора при любой нагрузке.

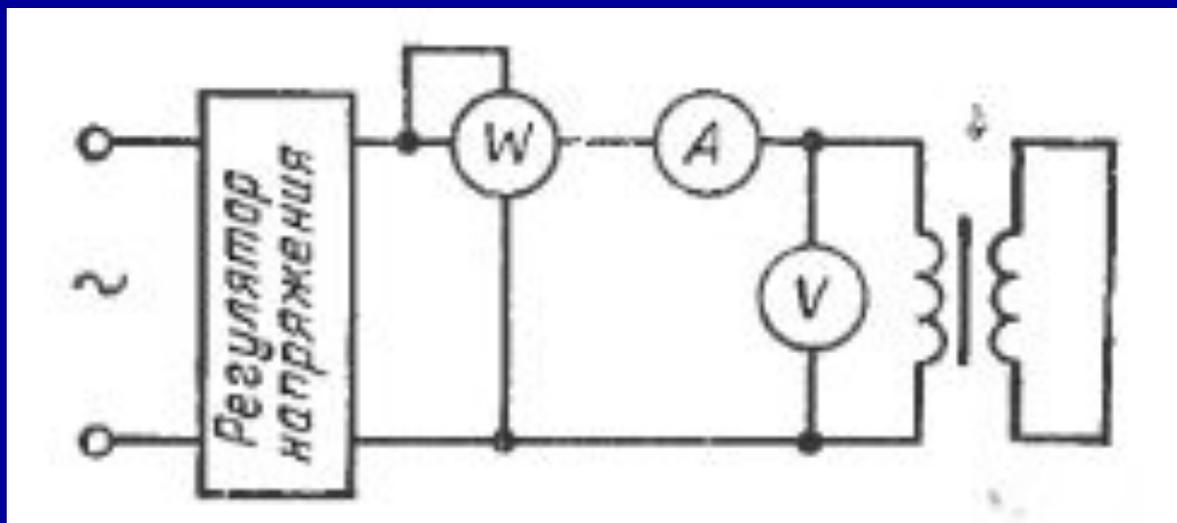


Рис. 23.3. Схема опыта короткого замыкания

При опыте к. з. вторичную обмотку трансформатора замыкают накоротко, а к первичной подводят такое пониженное U_k при котором в обмотках трансформатора протекают номинальные токи.

Это напряжение называют напряжением короткого замыкания, измеряется оно в процентах от номинального:

$$u_k = \frac{U_k}{U_{ном}} \cdot 100 \quad (\%)$$

Согласно ГОСТ напряжение к.з. $u_{кз} = 5,5 - 10,5\%$.

Опыт к.з. позволяет определить напряжение U_K , потери в обмотках трансформатора P_M и сопротивления к. з. трансформатора Z_K , r_K и X_K .

При опыте к.з. полезная мощность трансформатора равна нулю, а потери в стали ничтожно малы, так как мал магнитный поток в сердечнике.

Поэтому мощность, потребляемая трансформатором при опыте к.з., расходуется на нагревание проводов обмоток:

$$P_K = P_M = I_{\text{ном}}^2 \cdot r_K$$

Занятие 24.

Коэффициент полезного действия трансформатора

24.1. Потери в трансформаторе

В соответствии с законом сохранения энергии потребляемая трансформатором мощность P_1 больше мощности, отданной им в нагрузку P_2 , так как при работе трансформатора часть преобразуемой им электрической энергии неизбежно теряется.

При работе трансформатора на какую-либо нагрузку из питающей сети помимо полезной мощности P_2 потребляется мощность, идущая на покрытие потерь в стали магнитопровода P_c и в проводах обмоток (потери в меди) P_m .

Потери в стали магнитопровода на гистерезис и на вихревые токи зависят от частоты тока питающей сети и от магнитной индукции.

Так как при работе трансформатора частота тока сети и амплитуда магнитной индукции неизменны, то потери в стали постоянны, не зависят от нагрузки трансформатора и равны потерям х.х.: $P_c = P_0$. Эти потери определяются из опыта х. х. трансформатора.

24.2. Коэффициент полезного действия трансформатора.

Коэффициент полезного действия трансформатора представляет собой отношение полезной мощности, отдаваемой трансформатором в нагрузку, к мощности, потребляемой им из первичной сети:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

ИЛИ

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (\%)$$

к.п.д. трансформаторов очень высок.

- для трансформаторов малых мощностей (до 1000 ВА) $\eta = 85 - 95 \%$;
- для трансформаторов больших мощностей $\eta = 95 - 99,5\%$.

При любой величине и характере нагрузки трансформатора его полезную мощность можно определить по формуле:

$$P_2 = \beta \cdot P_{2\text{ном}} \cdot \cos \varphi_2$$

где β - коэффициент нагрузки трансформатора

$P_{2\text{ном}}$ — номинальная мощность трансформатора.

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности трансформатора

Коэффициент нагрузки трансформатора определяется как отношение тока первичной обмотки при данной нагрузке к номинальному току первичной обмотки при номинальной нагрузке, т.е.

$$\beta = \frac{I_1}{I_{\text{НОМ}}}$$

I_1 - ток первичной обмотки при выбранной нагрузке;

$I_{\text{НОМ}}$ - номинальный ток первичной обмотки;

Подведенная мощность определяется как сумма полезной мощности трансформатора и мощности потерь:

$$P_1 = P_2 + \Sigma P = P_2 + P_0 + P_M$$

Потери в меди P_M зависят от тока (от нагрузки) и являются потерями переменными. Эти потери определяются по формуле

$$P_M = \beta^2 \cdot P_{M_{ном}}$$

где $P_{M_{ном}}$ - потери в меди при номинальном токе.

Проведя математические преобразования получаем формулу для определения коэффициента полезного действия трансформатора:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + P_M}{P_2 + P_0 + P_M}$$

или

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + P_{M_{ном}} \cdot \beta^2}{\beta \cdot P_{2_{ном}} \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{M_{ном}}}$$

На рис. 24.1 построены зависимости η , P_0 и P_m от коэффициента нагрузки β , откуда видно, что зависимость имеет максимум.

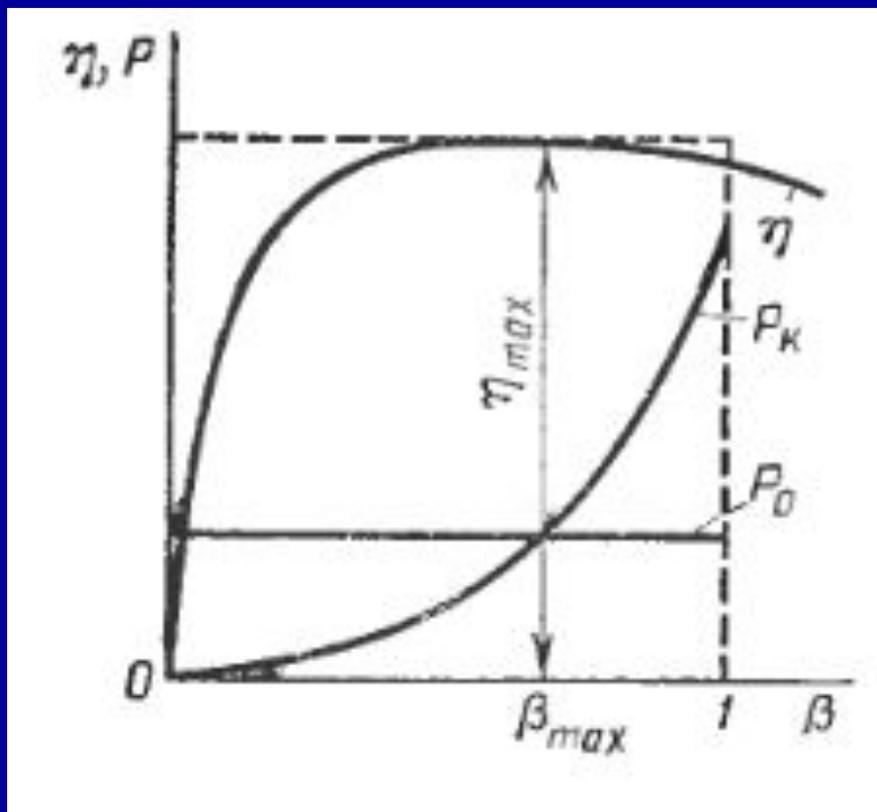


Рис. 24.1. Зависимость КПД и потерь трансформатора от коэффициента нагрузки.

Наибольшее значение коэффициента нагрузки β , при котором коэффициент полезного действия трансформатора η имеет максимальное значение определяется по формуле:

$$\beta_{\text{макс}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{\text{м.ном}}}}$$

Следовательно, наибольший к. п. д. будет при такой нагрузке, при которой постоянные потери равны потерям переменным

($P_0 = P_M$).

Потери постоянные P_0 — это потери в стали,

Потери переменные P_M — это потери в меди обмоток трансформатора,

Потери в стали определяются из опыта х.х.,
потери в обмотках— из опыта к. з.

Номинальная мощность трансформатора указана на его щитке, в паспорте и каталоге.

Задаваясь значениями β и $\cos\varphi_2$, можно вычислить к. п. д. трансформатора при любой нагрузке, не подвергая его непосредственным испытаниям.

Занятие 25.

Трехфазные трансформаторы

25.1. Общее устройство трехфазных трансформаторов

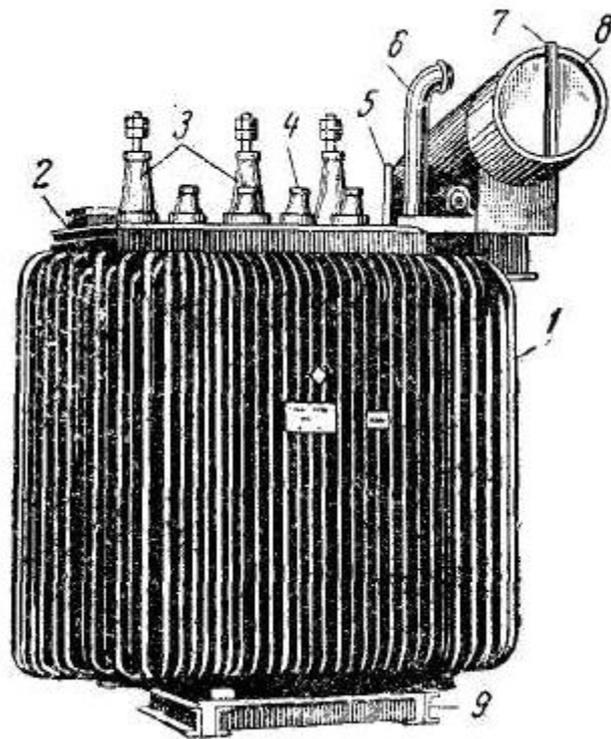
Трансформаторы, используемые в сетях промышленных предприятий называются силовыми.

Силовые трансформаторы в основном бывают трехфазными.

Мощность силового трансформатора измеряется в киловольтамперах. (кВА). Промышленностью выпускаются силовые трансформаторы мощностью от 10 до 560кВА.

На подстанциях к силовым трансформаторам от ЛЭП подводится напряжение 6 или 10 кВ, а снимается 0,4 или 0,23 кВ. которое подается потребителю.





1. бак с радиаторами
2. крышка
3. выводы высшего напряжения
4. выводы низшего напряжения
5. рукоятка переключателя числа витков обмотки высшего напряжения
6. предохранительная труба
7. указатель уровня масла
8. расширитель
9. транспортные катки

Рис. 25.1. Трехфазный силовой трансформатор

Бак предназначен для размещения в нем активной части (магнитопровода с закрепленными на нем катушками высшего и низшего напряжения), погруженных в масло. Для увеличения поверхности охлаждения в бак вварены трубы радиатора. Бак закрывается крышкой на болтах.

Выводы высшего и низшего напряжения обеспечивают изоляцию вводных кабелей от корпуса трансформатора.

Переключатель витков обеспечивает ступенчатое изменение напряжения на выходе трансформатора.

Расширитель вмещает до 10% масла и предназначен для сбора масла при его расширении при нагревании.

При ремонтах из бака извлекают выемную часть трансформатора (см.рис. 25.2)

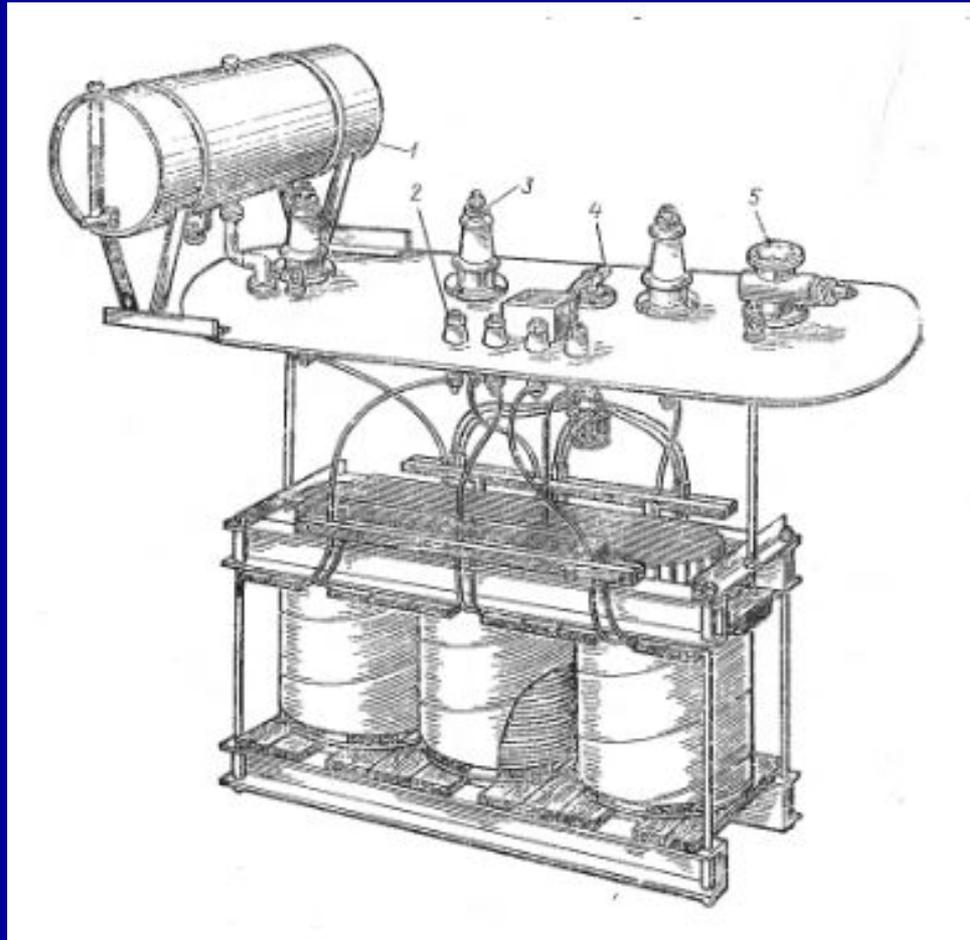


Рис.25.2. Выемная часть силового трехфазного трансформатора

Вместе с крышкой из бака трансформатора извлекается его активная часть.

Активная часть трансформатора состоит :

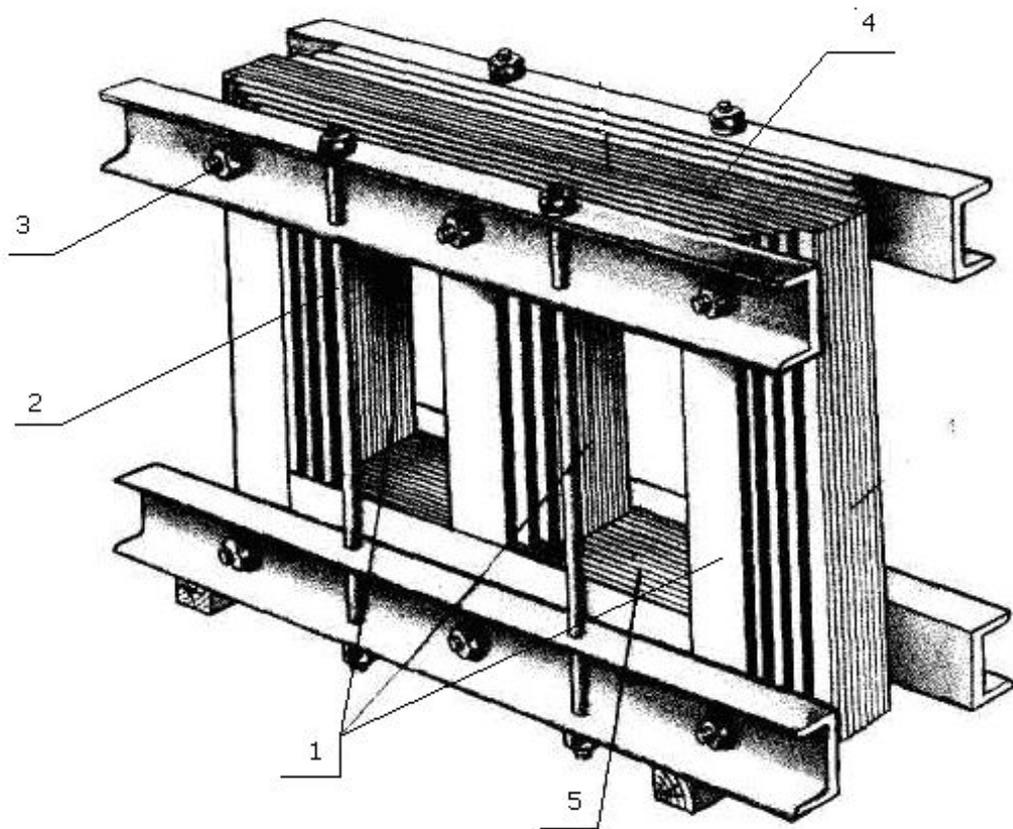
- магнитопровод;
- обмотки высшего напряжения ;
- обмотки низшего напряжения ;

25.2. Магнитопроводы трехфазных трансформаторов

Магнитопровод (сердечник) состоит из стержней и ярма , образующих замкнутую магнитную цепь.

Магнитопровод собран из листов электротехнической стали толщиной 0,35...0,5 мм.

Листы изолированы друг от друга лаковой пленкой.



- 1 - стержень ;
- 2 - вертикальная
стяжка ;
- 3 - стяжная
шпилька ;
- 4 - верхнее ядро ;
- 5 - нижнее ядро ;

Рис. 25.2. Магнитопровод
трехфазного трансформатора

25.3. Обмотки трехфазных трансформаторов

Обмотки по назначению делятся на :

первичную ;

вторичную ;

Первичной называется обмотка, к которой подсоединяется источник энергии.

Вторичной называется обмотка , к которой подсоединяется потребитель.

Обмотка с высоким напряжением обозначается "ВН", обмотка с низким напряжением обозначается "НН".

Обмотки выполняются из круглых или прямоугольных медных или алюминиевых проводов, изолированных пряжей, бумагой, эмалью или изоляционными деталями. Обмотки пропитывают лаком и сушат.

По конструкции различают два вида обмоток :
концентрические, располагающиеся одна внутри другой ;
чередующиеся , поставленные одна над другой в виде отдельных катушек вдоль оси стержня ;

Тема 6. Общие вопросы теории машин переменного тока

Занятие 27.

Основные типы машин переменного тока

27.1. Общие определения

Электрический двигатель преобразует электрическую энергию в механическую для приведения в действие станков, кранов, насосов, вентиляторов, компрессоров и т.п.

Электрический генератор превращает механическую энергию в электрическую с последующей передачей ее по проводам или кабелю до потребителя.

Электрические машины различают :

- по назначению (двигатели , генераторы, преобразователи и т.д.)
- по роду тока (ЭМ постоянного и переменного тока.)
- по величине напряжения ;
- по мощности ;
- по числу оборотов ;
- по конструктивному исполнению;
- по способу защиты от воздействий окружающей среды ;

Наибольшее распространение в промышленности из двигателей переменного тока получили асинхронные трехфазные двигатели, которые отличаются высокой надежностью и простотой конструкции.

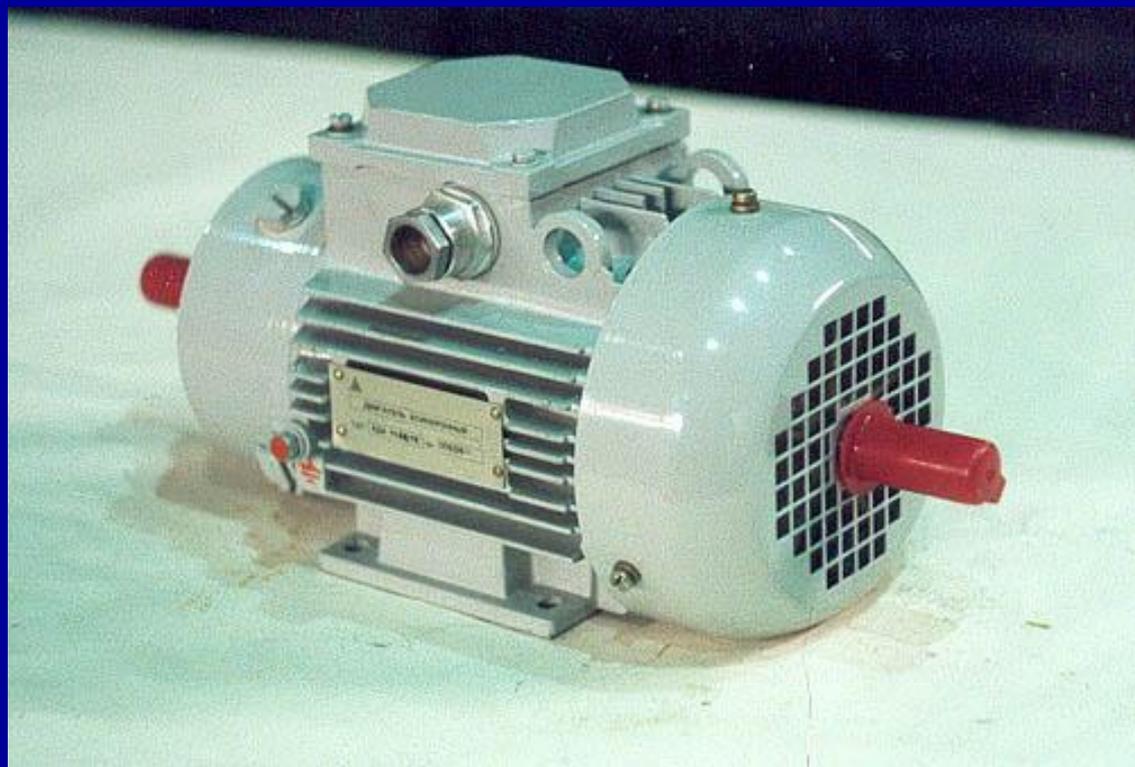


Рис.31.1. Асинхронный трехфазный двигатель

Для приведения в действие механизмов большой массы и мощности используют синхронные электродвигатели напряжением 3...6 кВ.



Рис.31.2. Синхронный двигатель переменного тока.

27.2. Двигатель Арго – прототип современного асинхронного двигателя.

Асинхронные машины относятся к классу индуктивных электрических машин, действие которых основано на явлении электромагнитной индукции.

Для лучшего понимания принципов, на которых основана работа асинхронного электродвигателя, рассмотрим известный опыт Араго (рис. 31.4.).

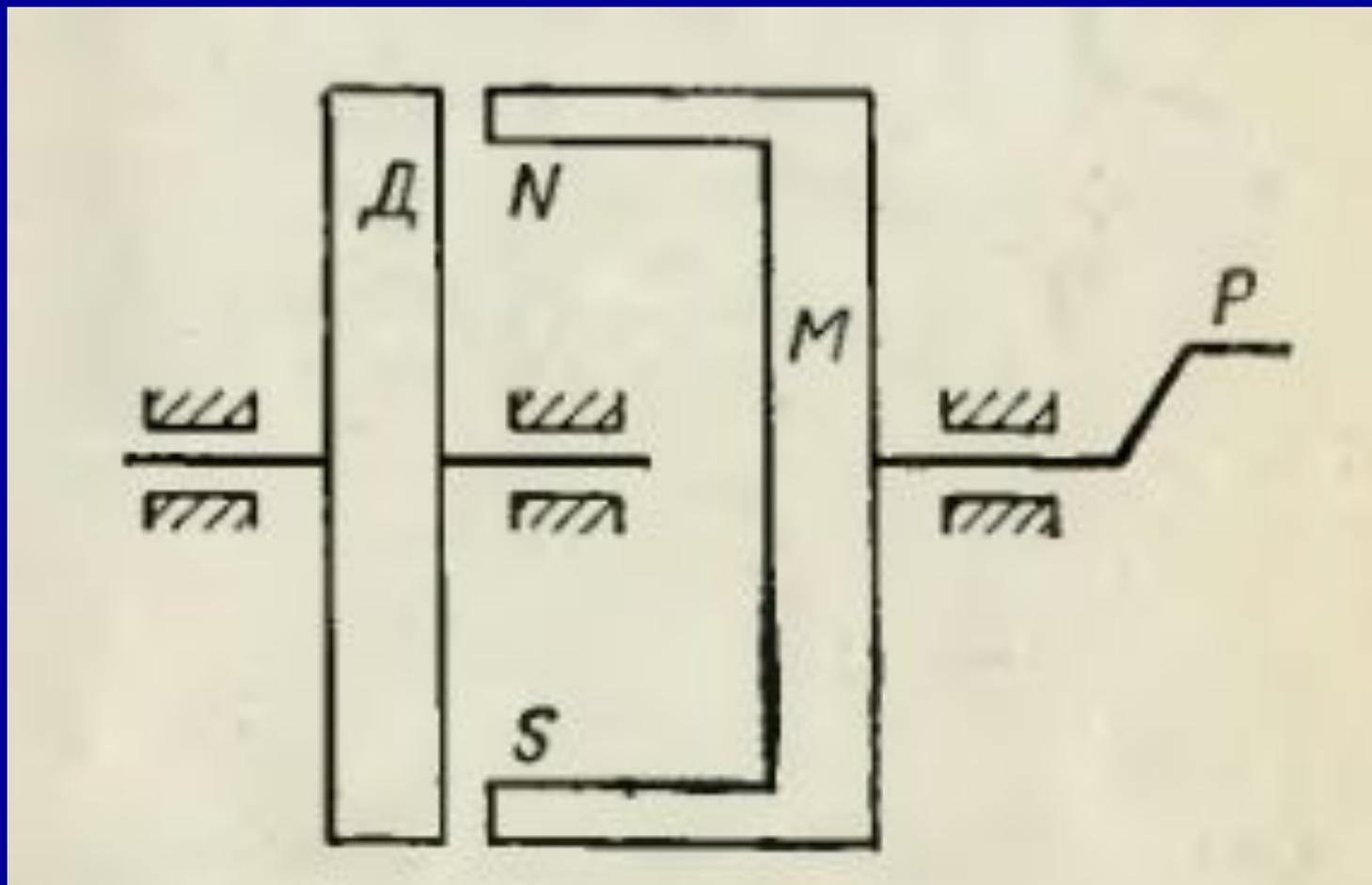


Рис. 27.3. Опыт Арго

В этом опыте постоянный магнит D с полюсами N — S приводится во вращение механически с помощью рукоятки P .

На небольшом расстоянии от полюсов магнита устанавливается легкий медный диск на оси, которая может вращаться в подшипниках.

При вращении рукоятки и закрепленного с нею магнита в медном диске наводятся токи и создают магнитное поле диска, которое, взаимодействуя с магнитным полем N — S , обеспечивает появление вращающего момента. Под влиянием этого момента диск также увлекается в сторону вращения магнита.

Диск Арго является прототипом
современного асинхронного двигателя.

Таким образом, электрическая машина
должна содержать две основные части:

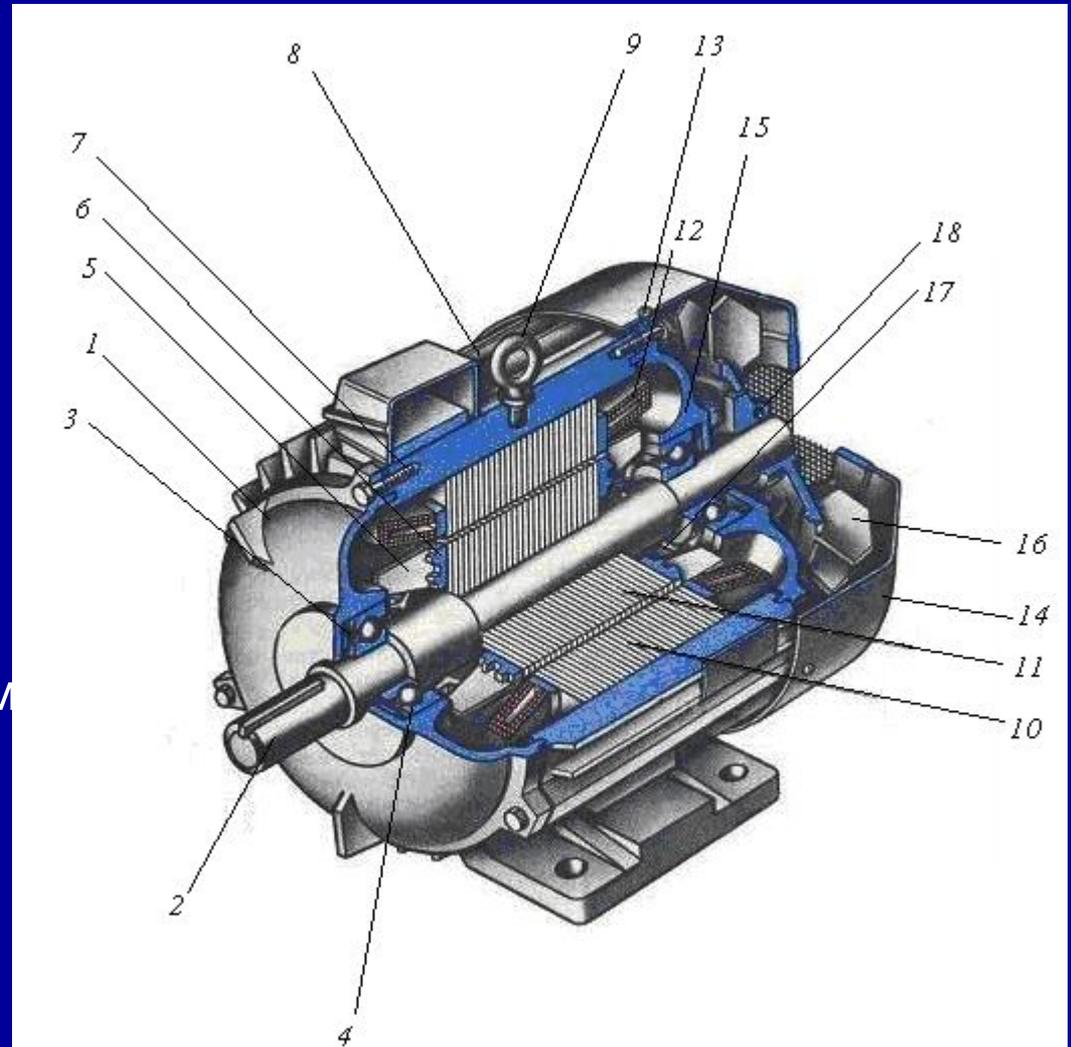
- часть, создающую вращающееся магнитное поле,
- часть, содержащую совокупность проводников, расположенных в этом поле.

Занятие 28. Устройство трехфазного асинхронного двигателя

Асинхронный электродвигатель переменного тока состоит из двух основных частей:

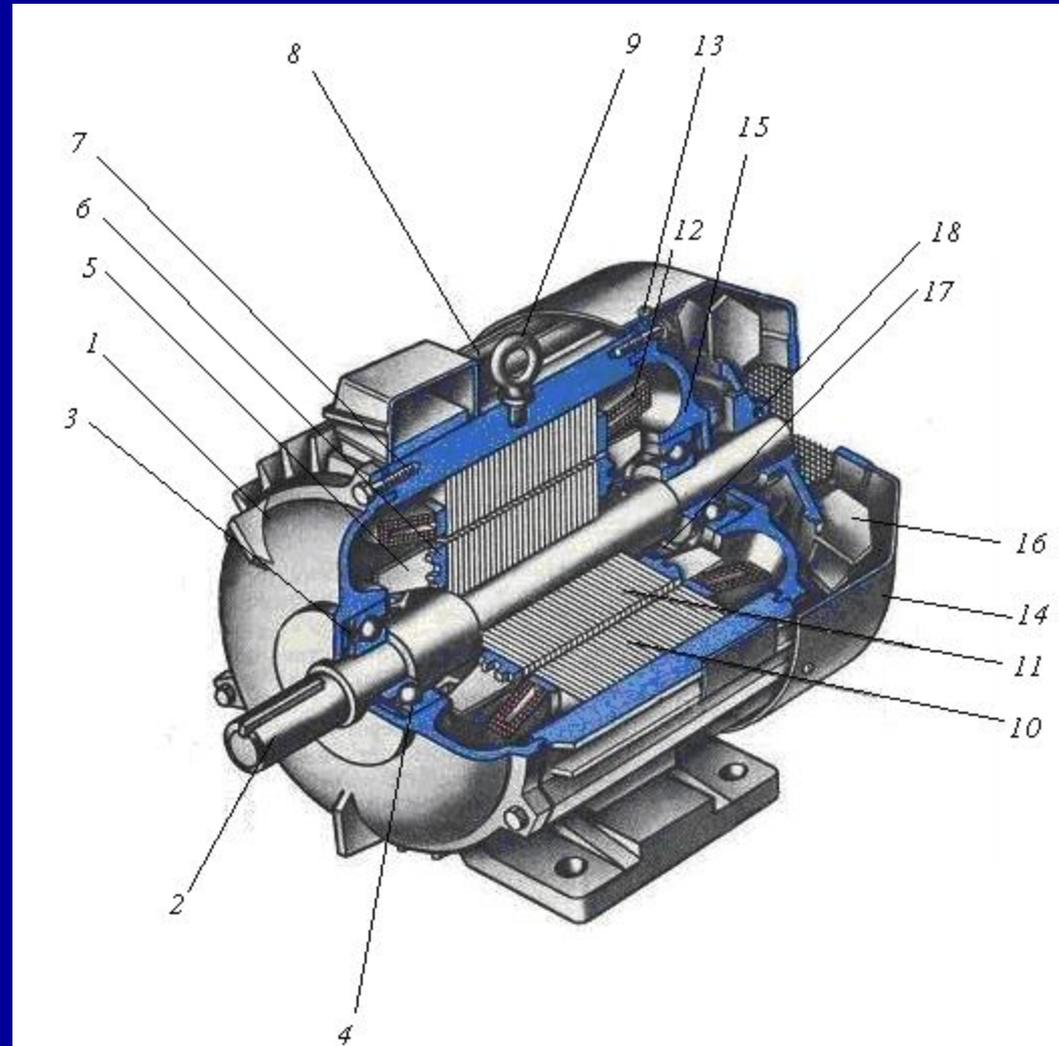
- неподвижной части - *статора*;
- подвижной части - *ротора*;

Подвижный ротор сопрягается с неподвижным статором с помощью подшипников, установленных в *подшипниковые щиты*.



Устройство асинхронного двигателя:

- 1 – передний подшипниковый щит
- 2 – выходной конец вала
- 3 – уплотнение подшипника
- 4 – шарикоподшипник
- 5 – лопатки вентилятора ротора
- 6 – короткозамыкающее кольцо
- 7 – болт, 8 – станина
- 9 – рым-болт, 10 – сердечник статора
- 11 – сердечник ротора
- 12 – обмотка статора
- 13 – винт крепления кожуха вентилятора
- 14 – кожух вентилятора
- 15 – задний подшипниковый щит
- 16 – вентилятор
- 17 – стопорное кольцо
- 18 – стопорный винт вентилятора



На рисунке обозначены:

1 – сердечник статора

2 – обмотка статора

3 – станина

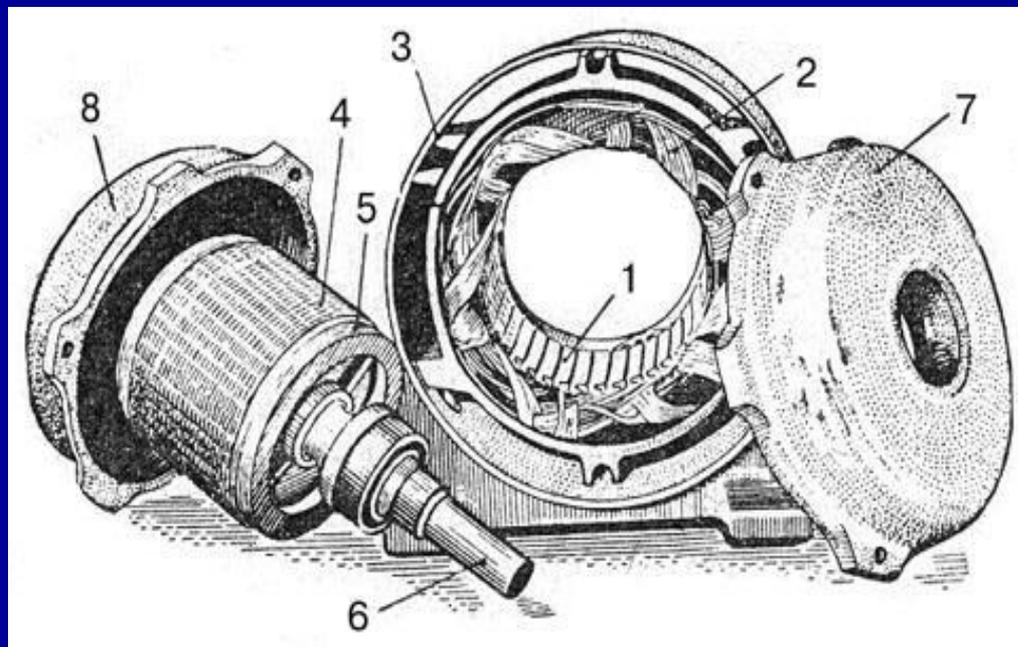
4 – сердечник ротора

5 – короткозамыкающее
кольцо

6 – вал

7 – передний
подшипниковый щит

8 – задний подшипниковый
щит

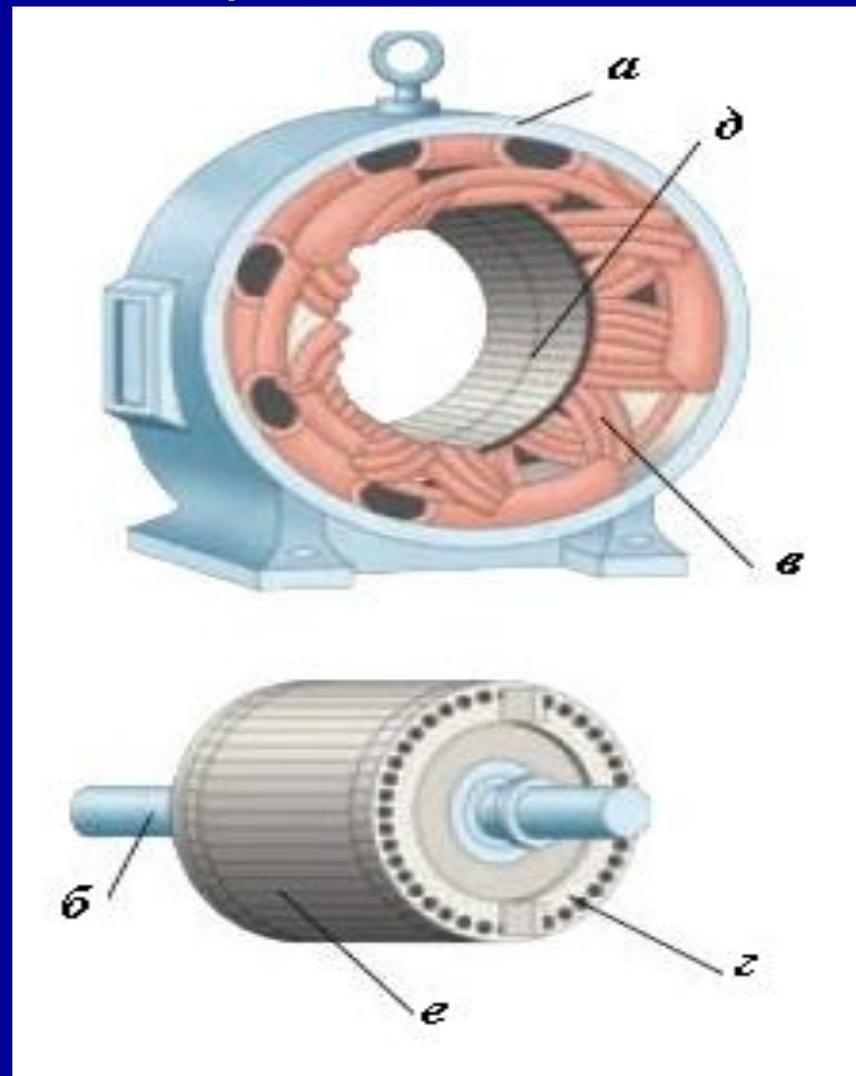


Контрольный опрос

Напишите пары чисел и букв из первого и второго столбцов соответствующие определениям

1. обмотка статора
2. станина
3. сердечник ротора
4. вал
5. короткозамыкающее кольцо
6. сердечник статора

Ответ: 1в; 2а; 3е; 4б; 5г; 6д



Статор

Статор состоит из станины и сердечника с обмоткой.

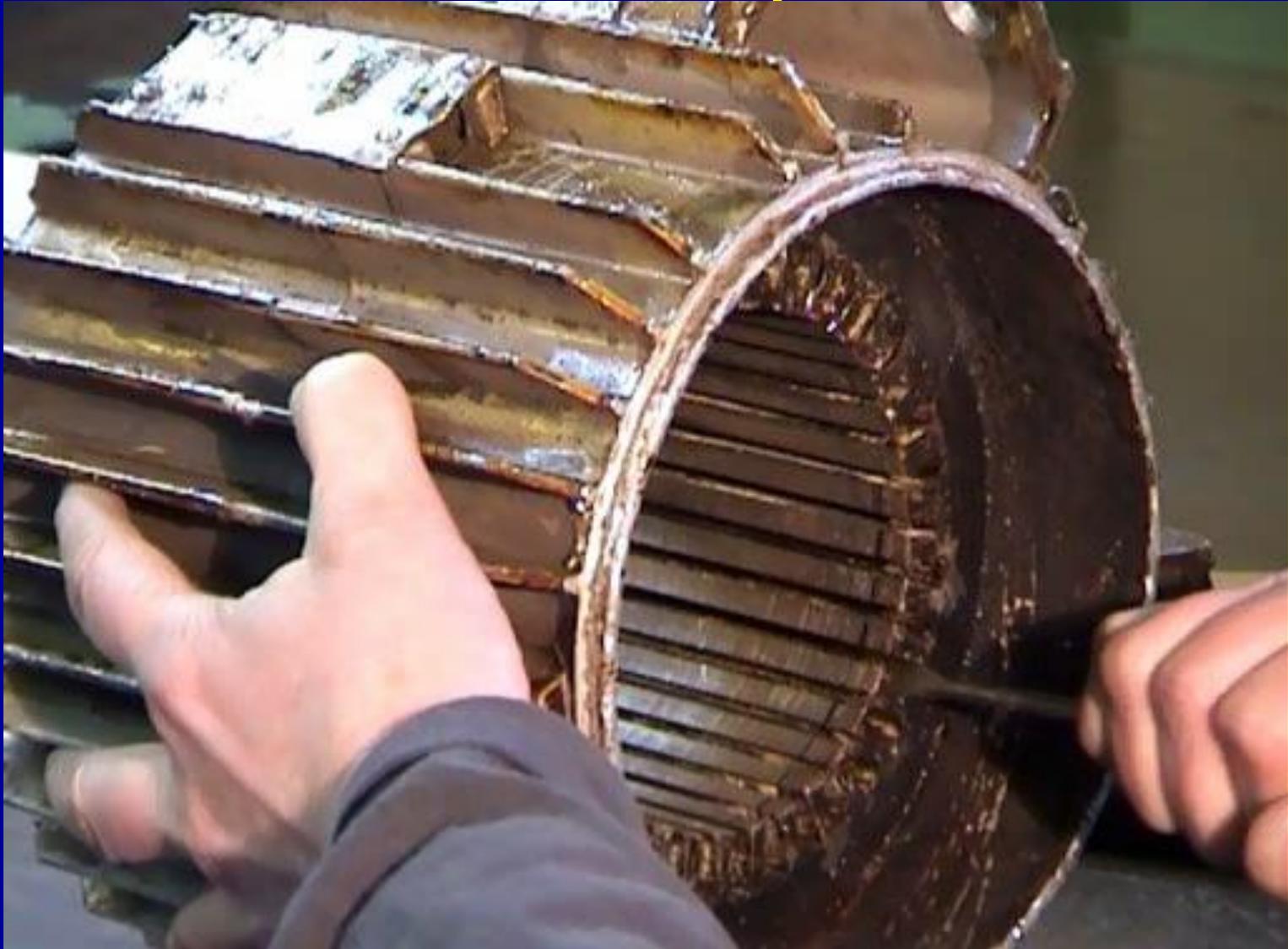
Станина выполняется из стали, чугуна или алюминиевых сплавов.

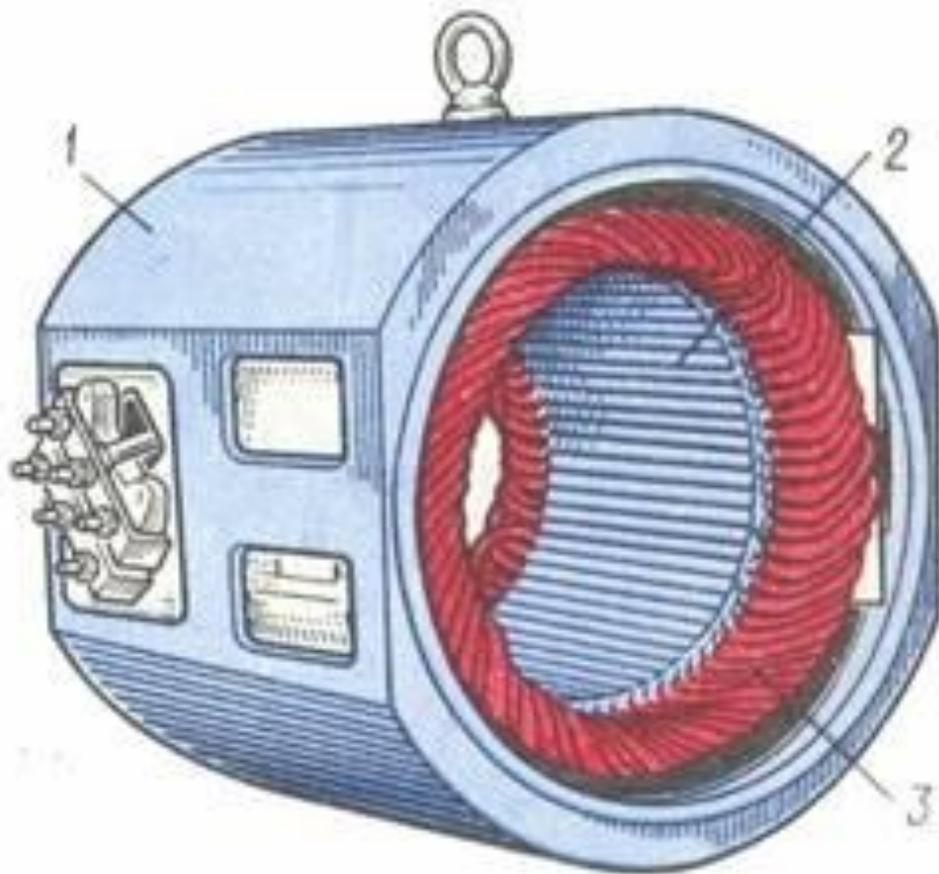
Сердечник набирают из штампованных листов электротехнической стали, изолированных между собой бумагой, лаком или слоем окиси.

Обмотка статора выполняется из медной изолированной проволоки круглого или прямоугольного сечения, которая укладывается в пазы сердечника.



Статор



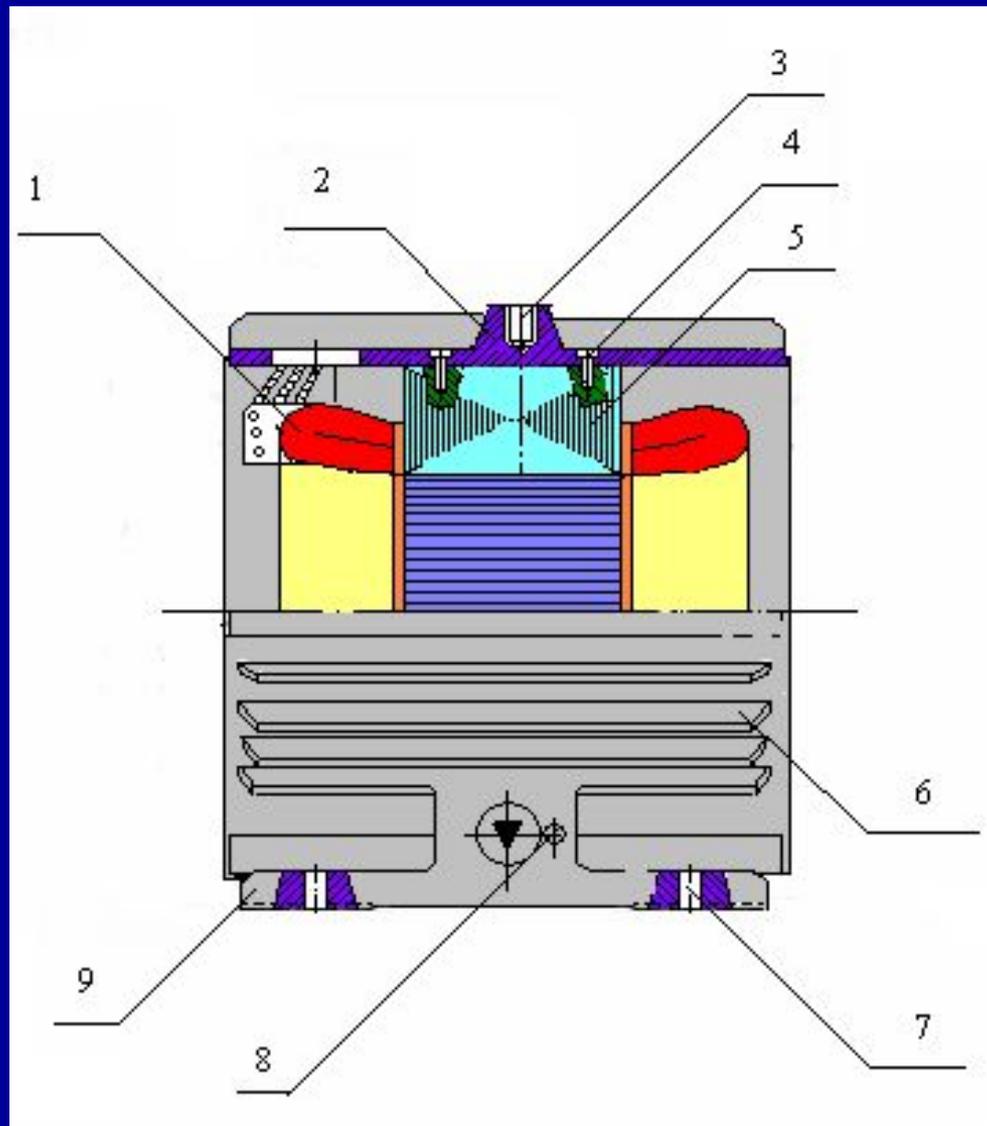


1 – станина

2 – сердечник

3 - обмотка

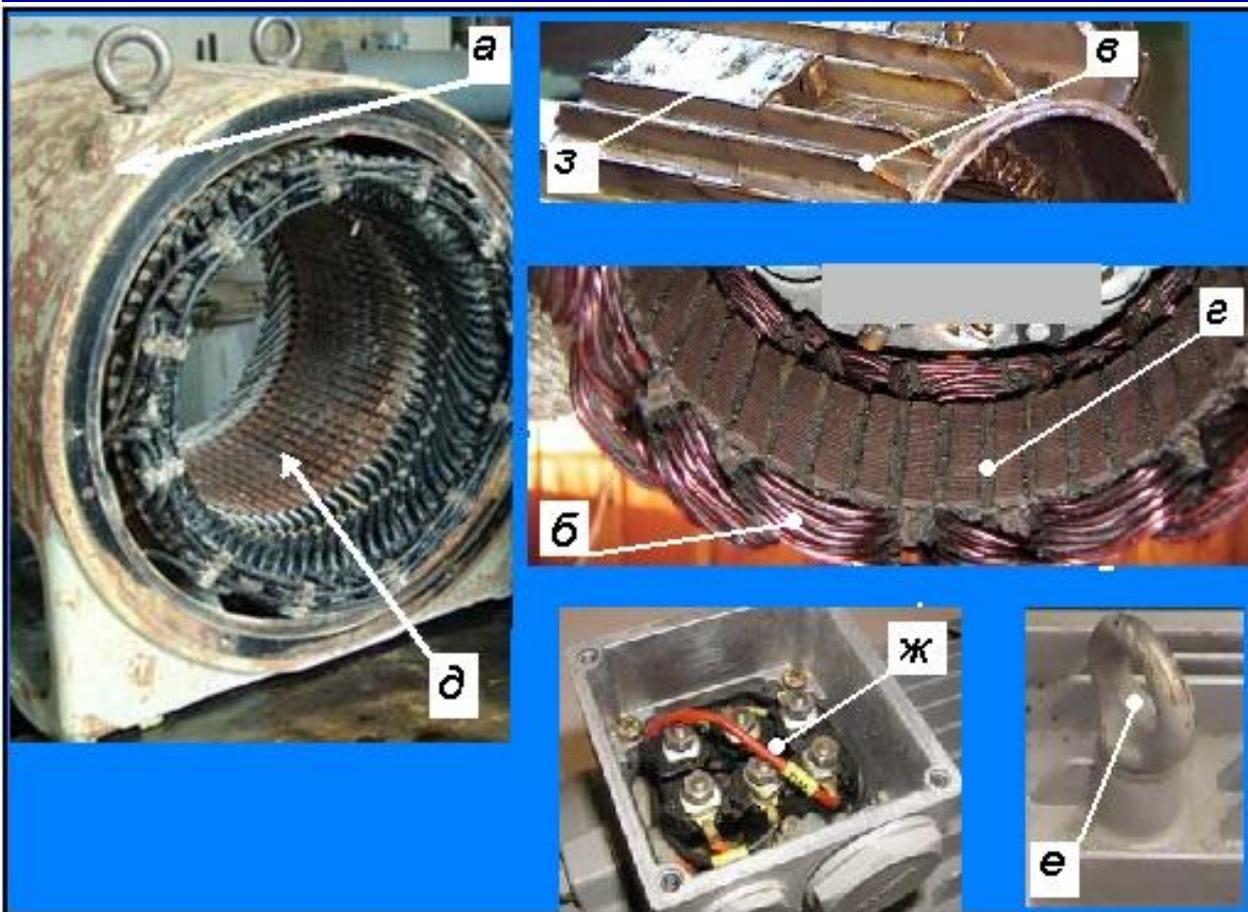
- 1 – обмотка статора
- 2 – станина
- 3 – резьбовое отверстие под рым-болт
- 4 – болты крепления сердечника
- 5 – сердечник статора
- 6 – ребра охлаждения
- 7 – отверстия для анкерных крепежных болтов
- 8 – болт заземления
- 9 – лапа



Контрольный опрос

Напишите пары чисел из первого и второго столбцов соответствующие определениям

1. паспортная табличка
2. сердечник статора
3. ребро станины
4. паз сердечника
5. клеммы обмотки
6. рым-болт
7. станина
8. обмотка статора



Ответ: 1з; 2д; 3в; 4г; 5ж; 6е; 7а; 8б.

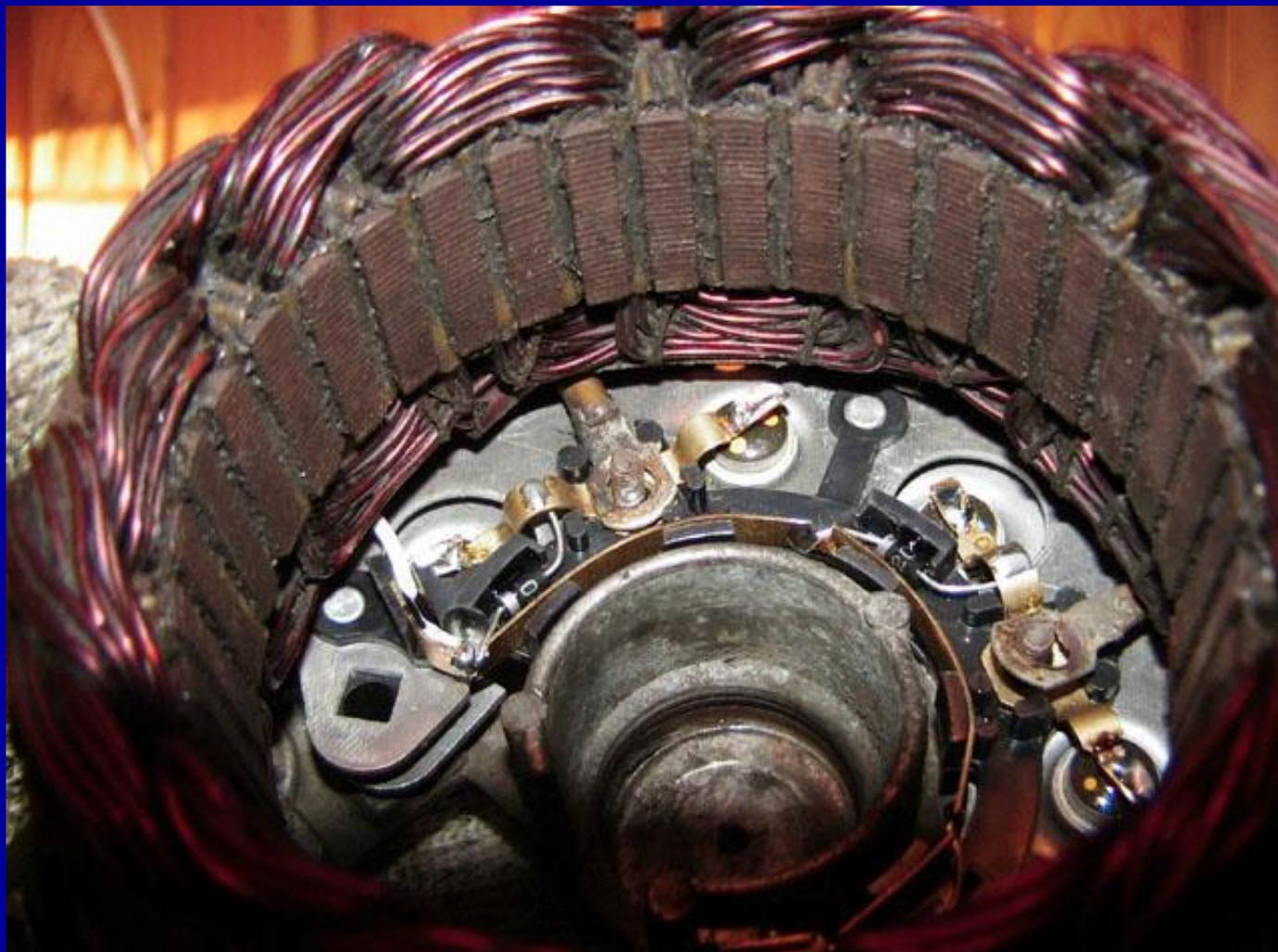
Обвязка лобовой части обмотки статора



Укладка секций обмотки статора



Обмотка из изолированной проволоки круглого сечения



Демонтированный из станины сердечник с обмоткой



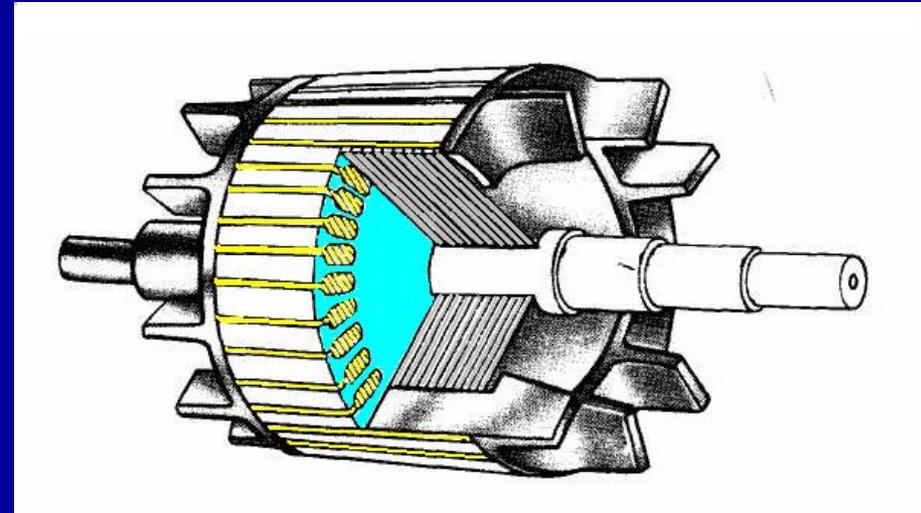
Ротор состоит из стального вала, сердечника и обмотки.

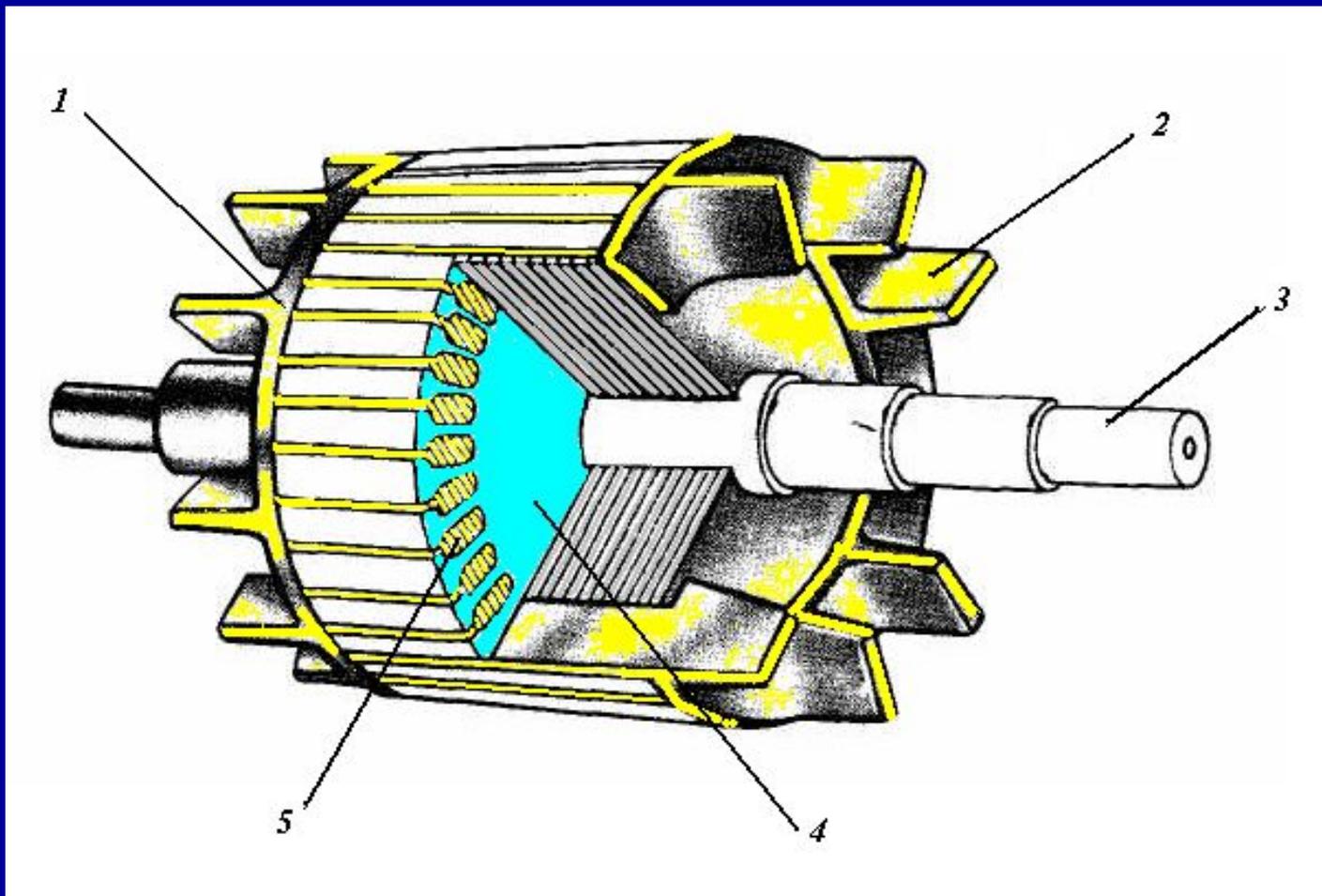
В зависимости от конструкции роторы бывают:

- ротор короткозамкнутый;
- ротор фазный ;

Короткозамкнутый ротор

представляет собой сердечник, набранный из листов электротехнической стали и напрессованный на вал. В пазы сердечника заливается расплавленный алюминий, который при застывании образует алюминиевую обмотку, состоящую из стержней замкнутых накоротко алюминиевыми кольцами. Такая обмотка называется "беличье колесо", а ротор - короткозамкнутым.





1- короткозамыкающее
кольцо

2 – лопатка вентилятора

3 - вал

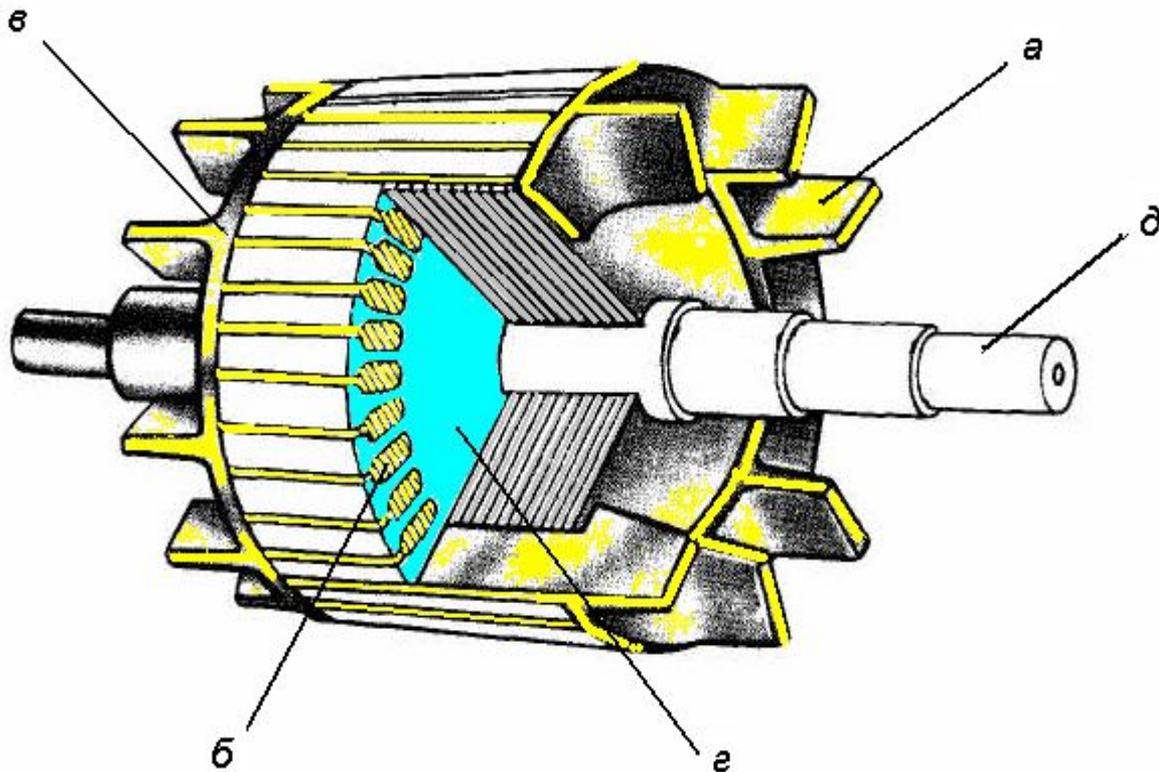
4 – лист сердечника

5 – стержень из алюминия

Контрольный опрос №4

Напишите пары чисел и букв из первого и второго столбцов соответствующие определениям

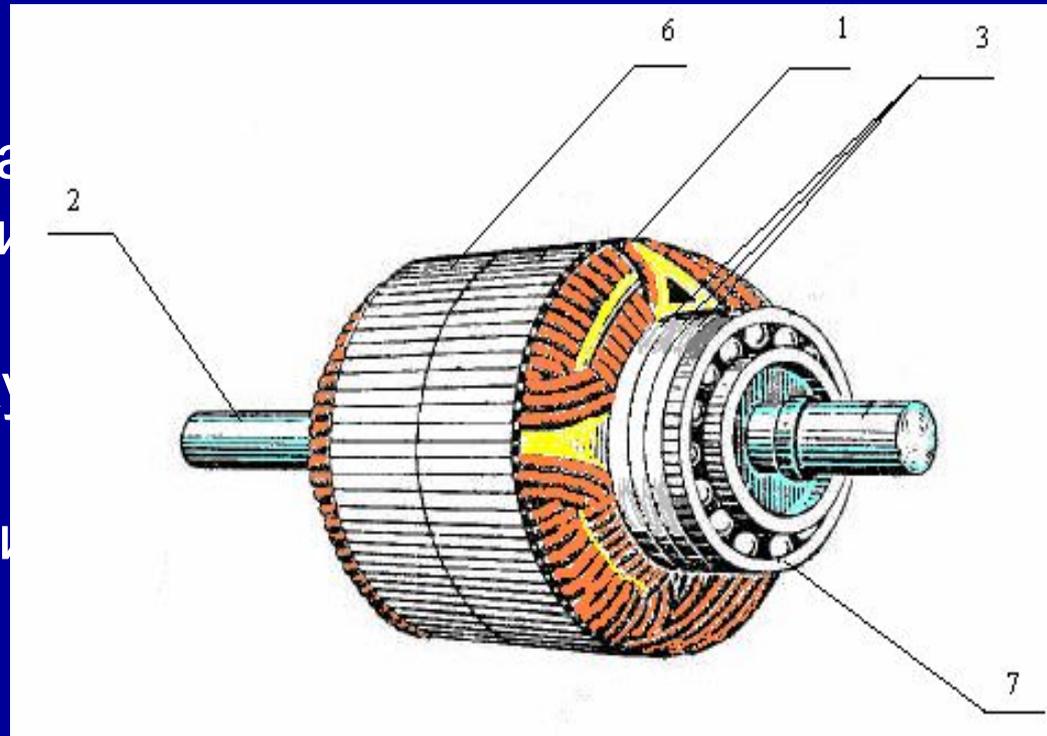
1. короткозамыкающее кольцо
2. лопатка вентилятора
3. вал
4. лист сердечника
5. стержень из алюминия



Ответ: 1в; 2а; 3д; 4г; 5б;

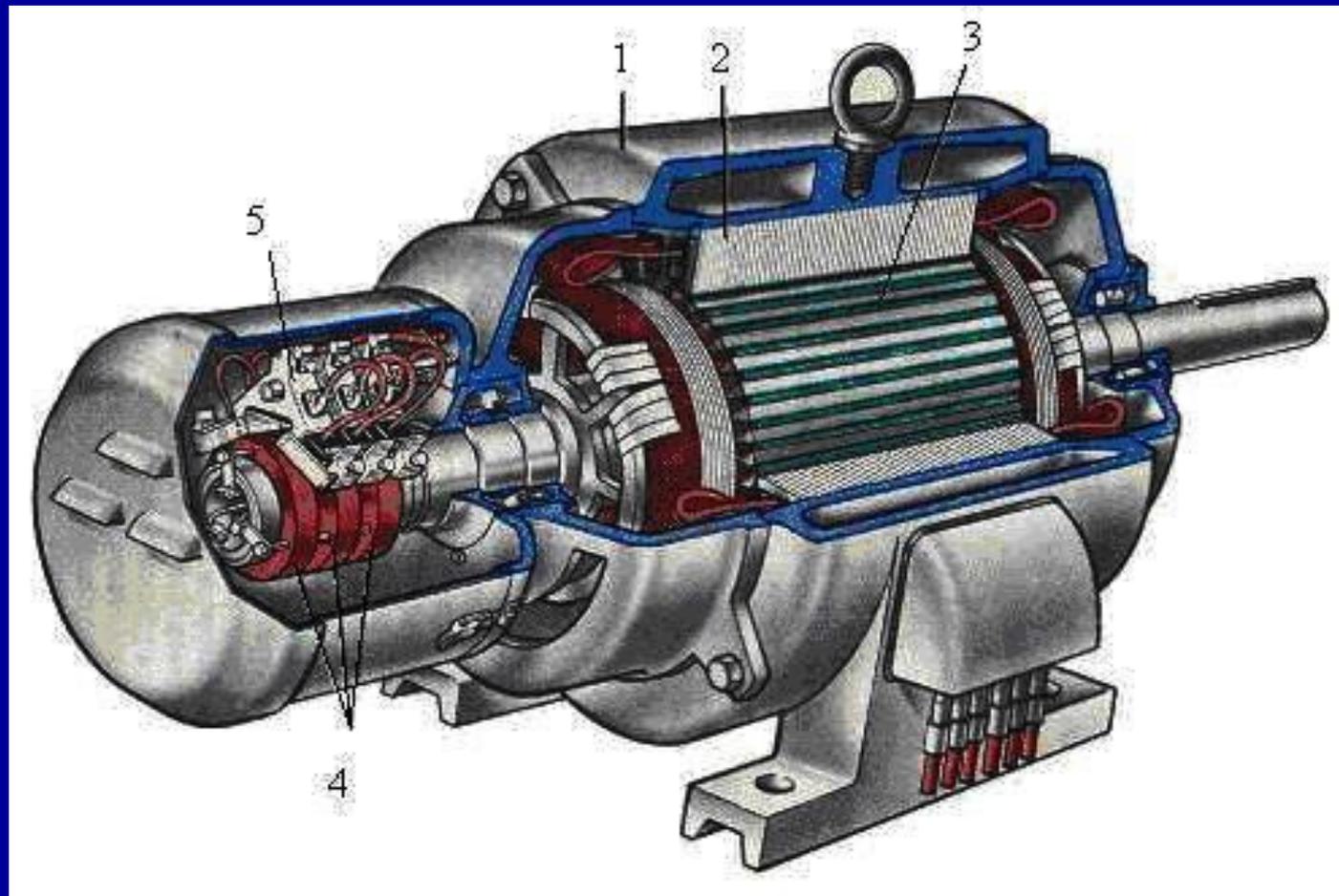
Фазный ротор .

У фазного ротора в пазы сердечника уложена трехфазная обмотка . Три конца этой обмотки соединены в общую точку , а три начала обмоток соединены с контактными кольцами, которые в свою очередь через щеточные скользящие контакты соединяются с пусковыми реостатами.



- 1 – трехфазная обмотка ротора
- 2 – вал двигателя
- 3 – контактные кольца
- 6 - сердечник ротора
- 7 - подшипник

Двигатель с фазным ротором



1-станина

2-сердечник статора

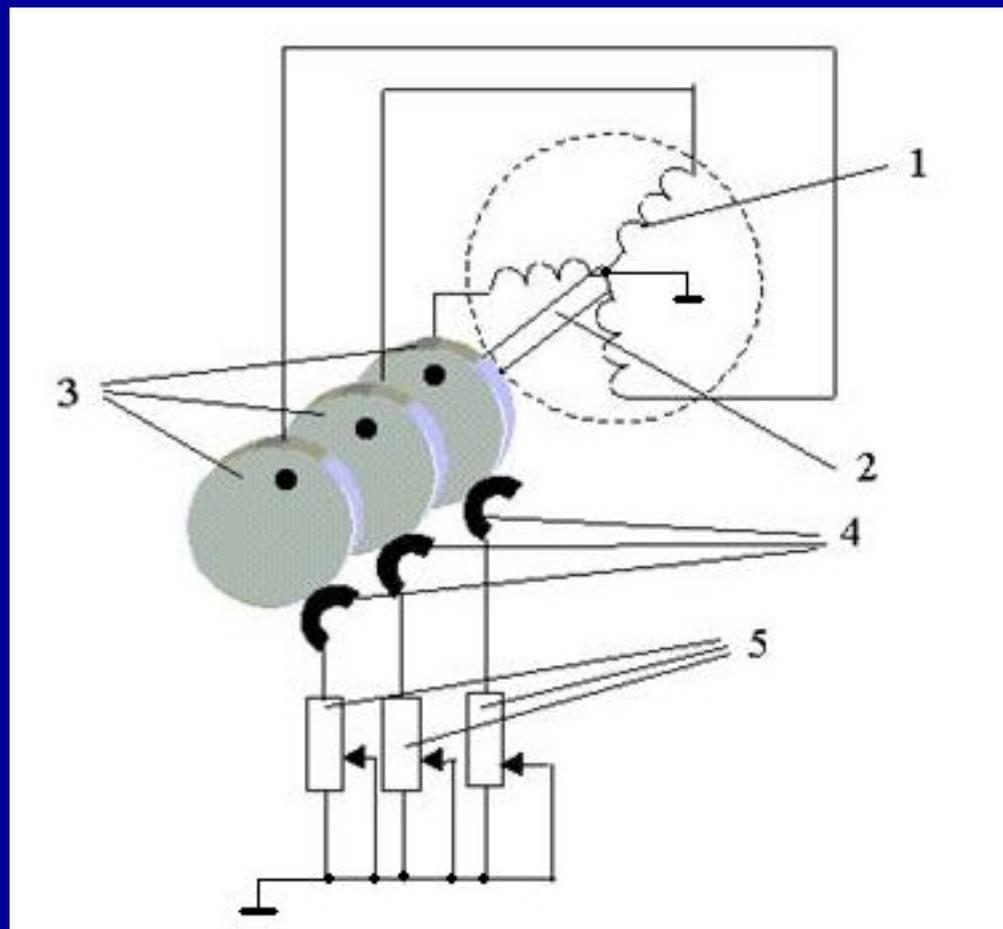
3-ротор

4-контактные кольца

5-щеткодержатель

Включение пусковых реостатов в цепь обмотки ротора позволяет значительно уменьшить ток в машине в момент пуска .

По мере раскрутки двигателя пусковой ток уменьшается и пусковые реостаты выводятся из цепи обмоток ротора .



- 1 – трехфазная обмотка ротора
- 2 – вал двигателя
- 3 – контактные кольца
- 4 – скользящие контакты (щетки)
- 5 – пусковые реостаты

Контрольный опрос.

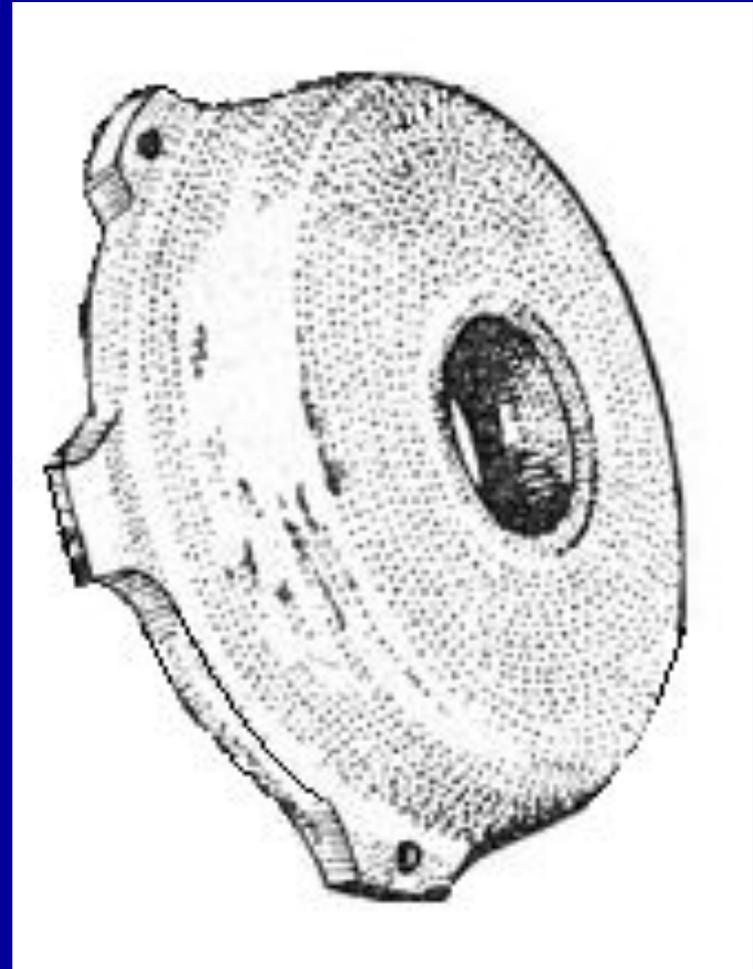
Определите, какие составные части принадлежат только фазному ротору и запишите число, соответствующее этим частям

• Ответ: 35

| | |
|---|---------------------------|
| 1 | вал ротора |
| 2 | сердечник ротора |
| 3 | контактные кольца |
| 4 | короткозамыкающие кольца |
| 5 | медная трехфазная обмотка |
| 6 | вентилятор |

Подшипниковые щиты

Подшипниковые щиты - представляют собой крышки, закрывающие станину с двух сторон. В подшипниковые щиты встраиваются подшипники качения или скольжения которые обеспечивают механическую связь между неподвижным статором и подвижным ротором.



На паспортной табличке,

прикрепленной к корпусу двигателя указывают следующие данные двигателя :

- мощность [кВт]
- напряжение [В]
- схема соединения обмоток
- потребляемый ток [А]
- число оборотов вала [об/мин]
- коэффициент мощности $\cos \varphi$
- КПД [%]
- частота тока;



Занятие 29. Принцип действия трехфазного асинхронного двигателя

На статоре расположена трехфазная обмотка. При подключении обмотки статора к трехфазной сети в ней возникает вращающееся магнитное поле. Скорость вращения зависит от числа полюсов обмотки статора и определяется формулой:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

Где: $f_1 = 50$ Гц - частота тока в сети.

p – число пар полюсов обмотки статора.

Таким образом,

при одной паре полюсов $n_1 = 3000$ об/мин,

при $p=2$, $n_1 = 1500$,

при $p=3$, $n_1 = 1000$,

при $p=4$, $n_1 = 750$ об / мин.

В начальный момент ротор неподвижен, поэтому вращающееся магнитное поле статора с большой скоростью пересекает стержни обмотки ротора, наводя в них большую ЭДС.

Так как стержни замкнуты накоротко, то в обмотке ротора возникает большой ток. Этот ток называется пусковым. Его значение обычно превышает значение номинального тока в 7 раз. Если этот ток будет действовать длительно, то это может привести к выходу двигателя из строя. При возникновении тока в обмотке ротора в нем также возникает магнитное поле, которое взаимодействуя с вращающимся магнитным полем статора приводит ротор во вращение.

При увеличении скорости вращения ротора взаимная скорость перемещения полей статора и ротора уменьшается, уменьшается ЭДС и ток в роторе, достигая номинального значения.

Однако, исходя из принципа работы двигателя, скорость вращения ротора никогда не станет равной скорости вращающегося магнитного поля статора, так как при этом пропадает возможность индуктирования ЭДС в обмотке ротора

Двигатель потому и называется асинхронным, потому что скорость вращения ротора всегда меньше скорости вращающегося магнитного поля статора.

Относительное отставание ротора от вращающегося магнитного поля статора характеризуется скольжением.

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Где: n_1 – скорость вращающегося магнитного поля статора.

n_2 – скорость вращения ротора

При пуске двигателя ротор неподвижен ($n_2 = 0$), поэтому при пуске $s = 1$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

при номинальном режиме работы двигателя (n_2 не равно 0), поэтому скольжение при номинальном режиме $s = 4 - 6 \%$.

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 \quad (\%)$$

Занятие 30. Принцип действия и устройство синхронных машин

30.1. Принцип действия синхронной машины.

Синхронная машина имеет две основные обмотки.

Одна обмотка подключается к источнику постоянного тока. Протекающий по этой обмотке ток создает основное магнитное поле машины. Эта обмотка располагается на полюсах и называется обмоткой возбуждения. Другая обмотка является обмоткой якоря.

В ней индуцируется основная ЭДС машины. Обмотка укладывается в пазы якоря и состоит из одной, двух или трех обмоток фаз. Наибольшее распространение в синхронных машинах нашли трехфазные обмотки якоря.

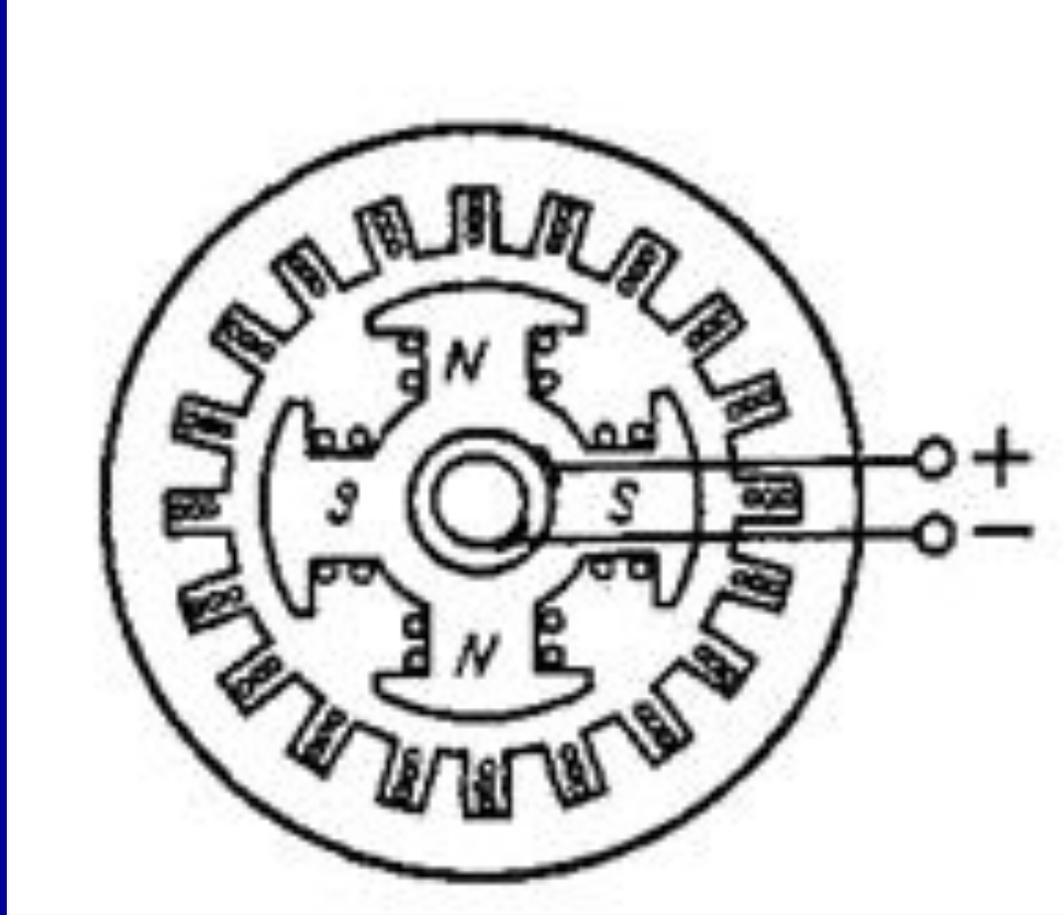


Рис. 30.1. Конструктивный вариант синхронной машины, при котором обмотка якоря располагается на статоре, а обмотка возбуждения – на роторе.

Рассмотрим принцип действия синхронного генератора. Если через обмотку возбуждения протекает постоянный ток, то он создает постоянное во времени магнитное поле.

При вращении полюсов и, следовательно, магнитного поля относительно проводников обмотки якоря в них индуктируются переменные ЭДС. Если на якоре уложены три одинаковые обмотки, магнитные оси которых сдвинуты в пространстве на электрический угол, равный 120° , то в этих обмотках индуктируются ЭДС, образующие трехфазную систему.

Частота индуктируемых в обмотках ЭДС зависит от числа пар полюсов p и частоты вращения ротора n :

$$f_1 = \frac{pn}{60}$$

Для получения ЭДС необходимой частоты число пар полюсов и частота вращения должны находиться в определенной зависимости между собой.

Так, для получения стандартной частоты $f_1 = 50$ Гц при $p=1$ нужно иметь частоту вращения $n = 3000$ об/мин, а при $p = 24$ $n = 125$ об/мин.

При работе синхронной машины двигателем трехфазная обмотка якоря присоединяется к трехфазной сети. При этом образуется вращающееся магнитное поле с частотой вращения n_1 . Это поле, взаимодействуя с полем полюсов ротора, создает вращающий момент.

В синхронном двигателе ротор как при холостом ходе, так и при нагрузке вращается с постоянной частотой, равной частоте вращения поля n_1 .

Тема 7

Асинхронные машины

Занятие 31.
Рабочие характеристики
асинхронного двигателя

31.1. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.

При работе двигателя неизбежно происходит потеря преобразуемой им энергии, поэтому мощность, развиваемая на валу двигателя P_2 всегда будет меньше потребляемой им из сети мощности P_1 .

Процесс преобразования энергии и потери, происходящие при работе двигателя, можно иллюстрировать энергетической диаграммой (рис. 36.1).

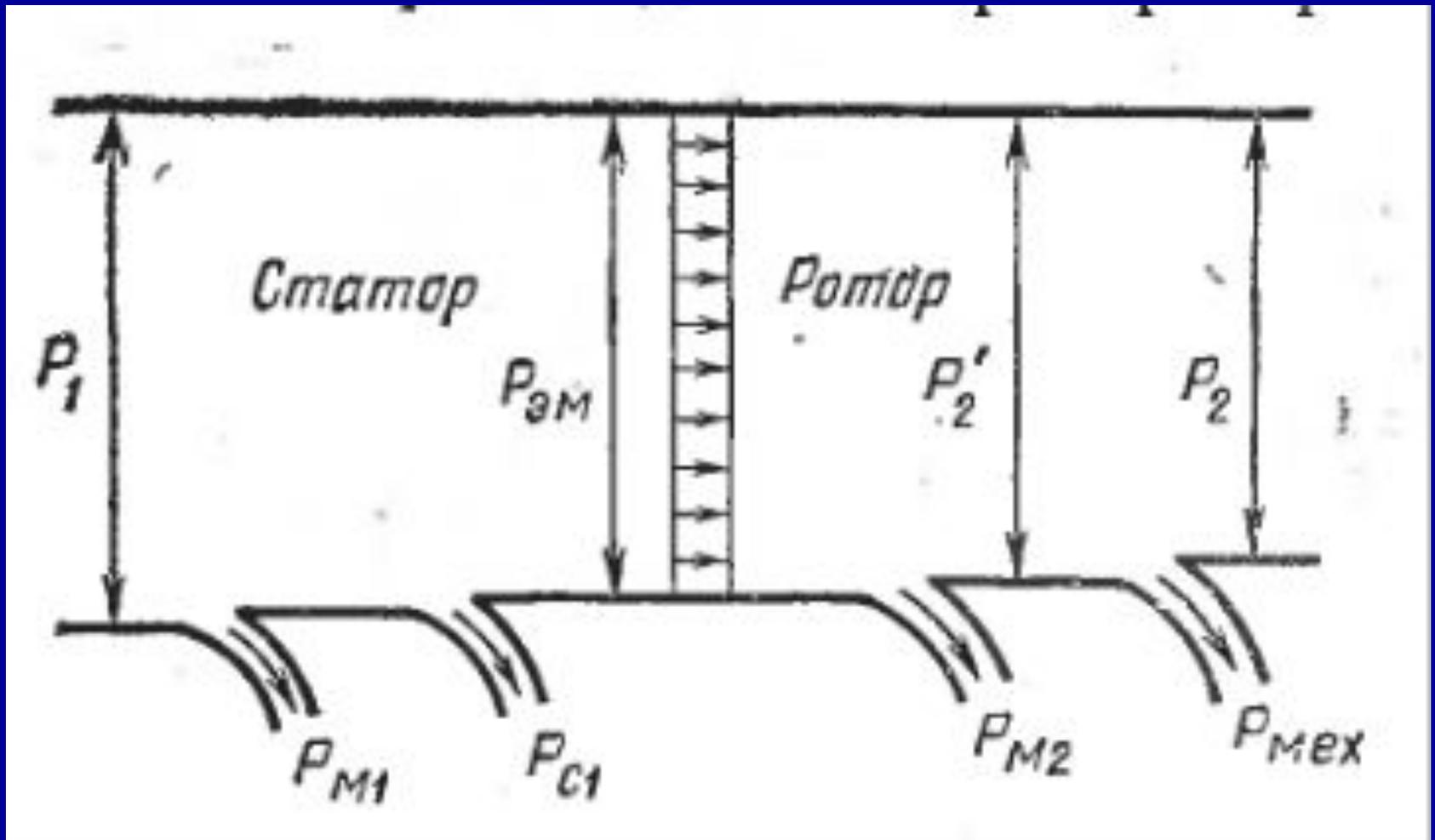


Рис. 31.1. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя

Потребляемая двигателем мощность из сети P_1 частично расходуется на покрытие потерь в обмотках статора P_{m1} и в стали сердечника статора P_{c1} на гистерезис и вихревые токи.

Оставшаяся часть мощности $P_{эм}$ называемая электромагнитной, передается ротору через воздушный зазор вращающимся магнитным полем.

Энергия, полученная ротором, преобразуется в механическую и частично расходуется на покрытие потерь в роторе.

На диаграмме показано, что электромагнитная мощность, поступающая на ротор, может быть представлена в виде суммы двух мощностей: $P_{эм} = P_2' + P_{м2}$.

где P_2' — мощность, развиваемая вращающимся ротором,

$P_{м2}$ — потери в меди обмоток ротора.

Не вся энергия, преобразованная машиной в P_2' является полезной энергией P_2 , так как часть ее расходуется на покрытие механических потерь $P_{мех}$ от трения в подшипниках и о воздух вращающихся частей машины.

Рассчитать потери в двигателе и полезную мощность на валу можно, используя следующие формулы:

- Потребляемая двигателем мощность из сети:

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

- потери в обмотках статора:

$$P_{m1} = m_1 I_1^2 r_1$$

- Где: $m = 3$ – число фаз машины.
- электромагнитная мощность:

$$P_{эм} = P_1 - P_{m1} - P_{c1}$$

$$P_{эм} = P'_2 + P_{m2}$$

- мощность, развиваемая вращающимся ротором:

31.2. Анализ рабочих характеристик асинхронного двигателя

Зависимости потребляемого тока I_1 , мощности P_1 , КПД η , коэффициента мощности $\cos\varphi$, скольжения s , частоты вращения n от полезной механической мощности P_2 называются рабочими характеристиками двигателя.

Эти характеристики определяются при постоянном напряжении U_1 и частоте f сети. Пример рабочих характеристик приведен на рис. 36,1.

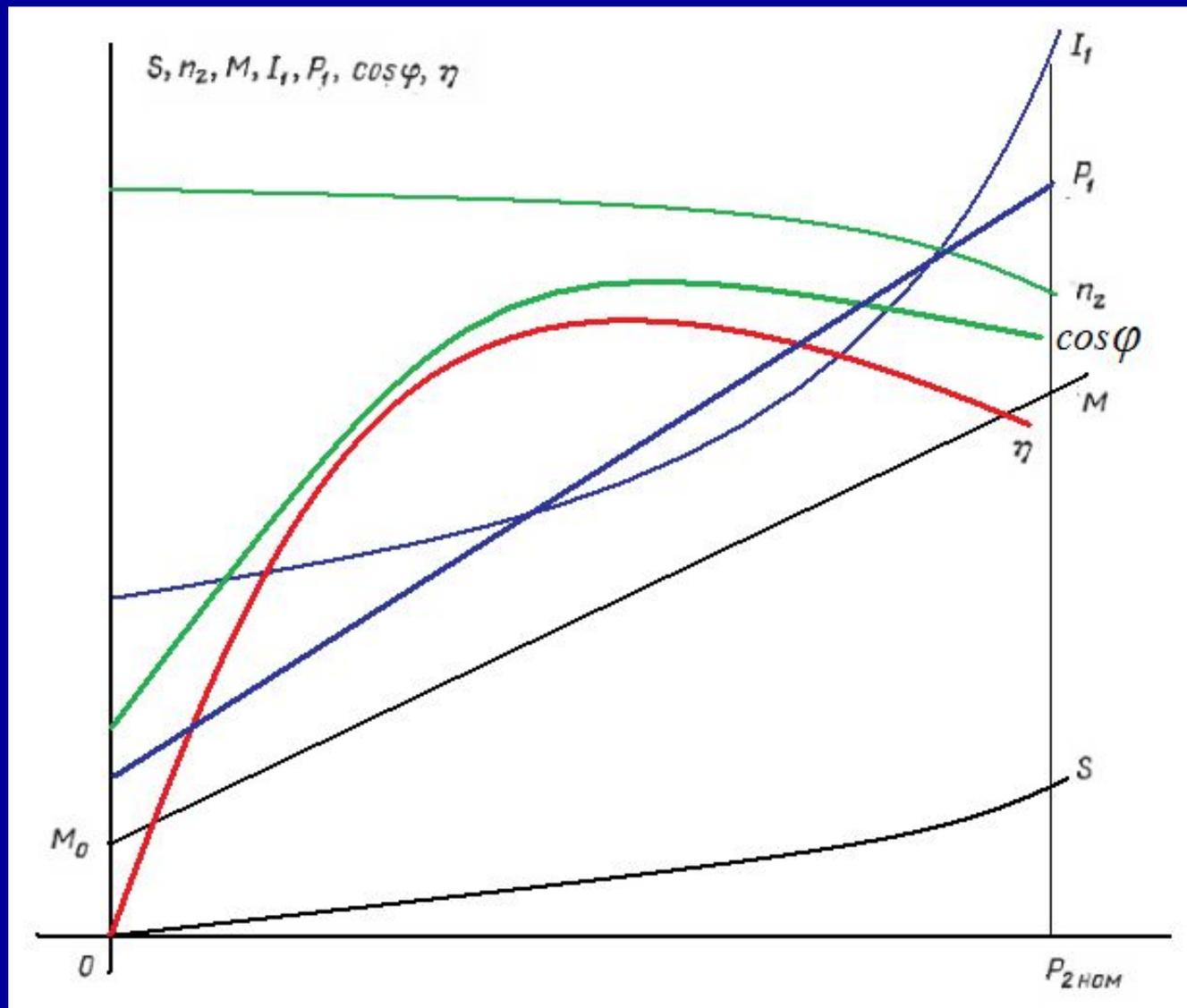


Рис. 31.2. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.

При холостом ходе (полезная мощность $P_2=0$) скольжение s также равно нулю (частота вращения ротора n практически равна синхронной), ток в обмотке ротора $I_2=0$.

По обмотке статора протекает ток холостого хода I_0 .

Коэффициент полезного действия η равен нулю, так как равна нулю полезная мощность P_2 , а коэффициент мощности равен коэффициенту мощности для тока холостого хода ($\cos\varphi_1=\cos\varphi_0$).

При увеличении нагрузки частота вращения ротора уменьшается и увеличивается скольжение s .
Увеличивается ток ротора и ток статора.

Так как увеличивается полезная мощность, растет КПД двигателя, а также коэффициент мощности.

Обычно номинальная мощность на валу двигателя достигается уже при небольшом понижении частоты вращения ротора и вся область рабочих режимов находится в диапазоне скольжений от 0 до 2—5%.

Коэффициент полезного действия достигает своего максимального значения при $P_2 = (0,6 \dots 0,8) P_2$ ном и снижается при дальнейшем росте нагрузки.

31.3. Повышение коэффициента мощности асинхронных двигателей.

Основной недостаток асинхронных двигателей — низкий коэффициент мощности $\cos\varphi$.

Коэффициент мощности показывает, какая часть полной мощности, потребляемой двигателем преобразуется в полезную мощность.

$$\cos \varphi = \frac{P_2}{S} = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q^2}}$$

Где: $\cos \varphi$ - коэффициент мощности двигателя

S - полная мощность, потребляемая двигателем

Q - индуктивная мощность

P_2 –полезная мощность

Данную формулу можно преобразовать относительно P :

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

Анализ последней формулы показывает, что чем больше величина коэффициента мощности, тем больше полезная мощность на валу двигателя.

Кроме того, анализ предыдущей формулы показывает, что увеличение коэффициента мощности при данной полной мощности можно добиться только уменьшением индуктивной мощности двигателя.

Для повышения $\cos\varphi$ применяют следующие меры:

1. Выбирают мощность двигателя в строгом соответствии с нагрузкой, так как работа двигателя при недогрузке влечет за собой низкий $\cos\varphi$ двигателя.
2. Так как реактивная мощность Q в двигателе носит индуктивный характер, то для ее уменьшения и, соответственно, повышения $\cos\varphi$ параллельно двигателю включают статические конденсаторы, которые своей емкостью компенсируют сдвиг фаз, обусловленный двигателями с индуктивной мощностью.

Занятие 32.

Вращающий электромагнитный момент двигателя.

- Электромагнитный момент M , развиваемый асинхронным двигателем, можно определить двумя способами: через электромагнитную мощность $P_{эм}$ и через полную механическую мощность двигателя P_2'

Через механическую мощность
электромагнитный момент выражается:

$$M = \frac{P'_2}{\omega} = \frac{30P'_2}{\pi \cdot n_2}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

где: P'_2 — полная механическая мощность, Вт;
 ω - механическая угловая скорость вращения
ротора, 1/с;
 n_2 - частота вращения ротора, об/мин.

Через электромагнитную мощность $P_{эм}$
электромагнитный момент выражается:

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_1} = \frac{60P_{эм}}{2\pi \cdot n_1} = \frac{P_{эм} \cdot p}{2\pi \cdot f_1}$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}$$

Где: f_1 - частота сети

p – число пар полюсов

ω_1 - частота вращения вращающегося
магнитного поля статора, 1/с

n_1 - частота вращения магнитного поля статора,
об/мин.

При эксплуатации электрических двигателей часто приходится определять момент по известной механической мощности P_2 (кВт) и частоте вращения n (об/мин).

Тогда :

$$M = 9,55 \cdot \frac{P_2 \cdot 10^3}{n} \quad \text{Н/м}$$

из этой формулы можно определить мощность

$$P_2 = 0,105 \cdot M \cdot n \cdot 10^{-3} \quad \text{кВт}$$

Занятие 33. Пусковые характеристики асинхронного двигателя

На практике при исследовании свойств двигателя используют формулу крутящего момента, позволяющую оценить изменение крутящего момента в процессе включения и работы асинхронного двигателя.

$$M = \frac{m_1 p}{2\pi \cdot f_1} \cdot \frac{U_1^2 \cdot r_2'}{s \left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

$m_1=3$ – число фаз двигателя

U_1 – напряжение, приложенное к фазе двигателя

r_1 - активное сопротивление обмотки статора

r_2 - активное сопротивление обмотки ротора

x_1 - индуктивное сопротивление обмотки статора

x_2 - индуктивное сопротивление обмотки ротора

s - скольжение двигателя

Анализ данной формулы показывает, что все входящие в формулу величины (кроме скольжения s) являются постоянными величинами.

В процессе работы двигателя изменяется скольжение от $s = 1$ при пуске до s_{\min} при холостом ходе.

При номинальном режиме работы двигателя $s = 2 - 8 \%$

Таким образом, вращающий момент зависит от скольжения двигателя.

График зависимости $M = f(s)$ называется пусковой характеристикой двигателя.

Изменяя значение скольжения от $s = 0$ до $s = 1$ и, находя по приведенной формуле значение момента можно пусковую характеристику.

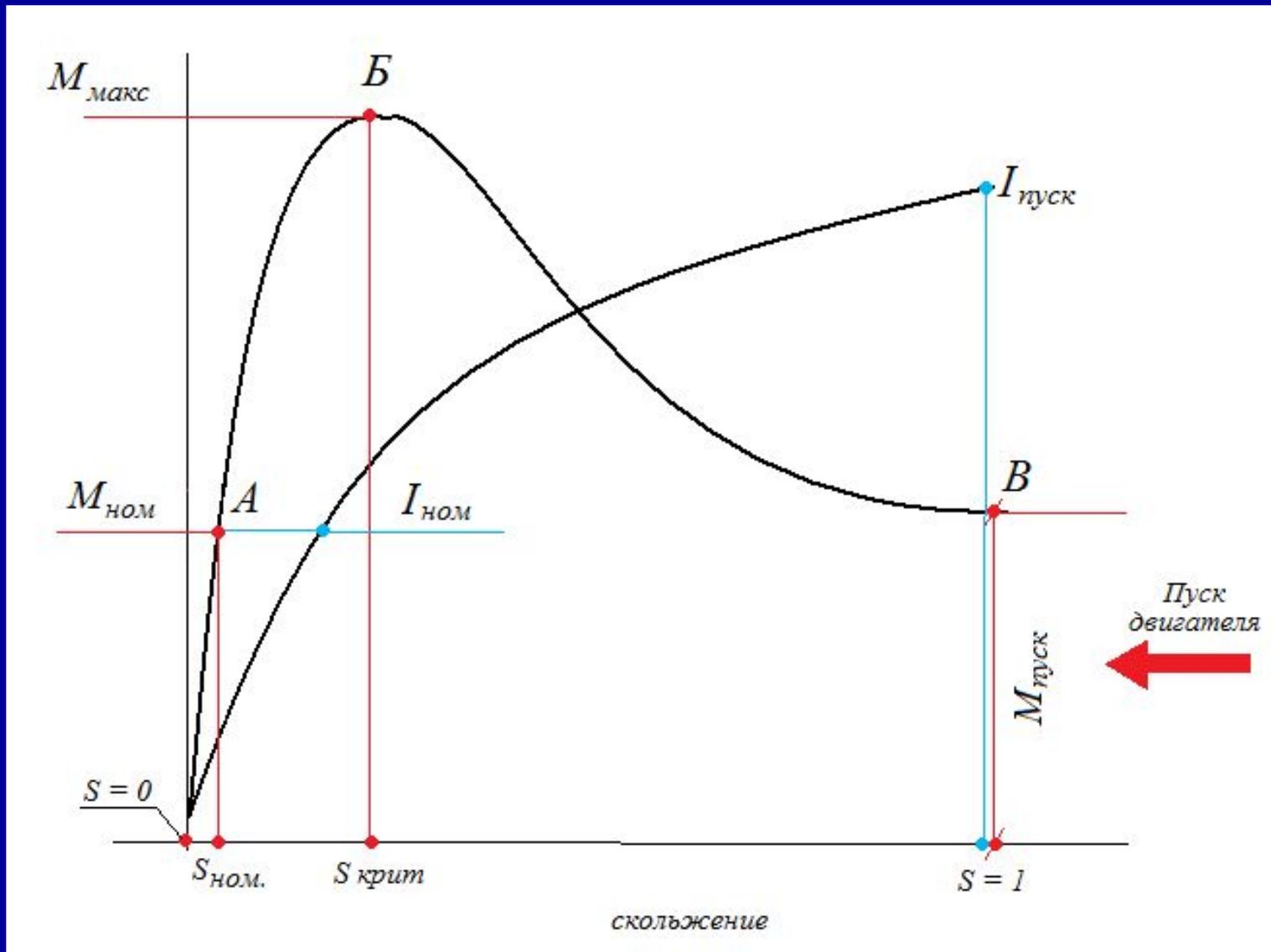


Рис.33.1. Пусковая характеристика асинхронного двигателя.

На пусковой характеристике имеются три характерных точки, определяющих условия работы двигателя. (А,Б,В)

В точке **А** двигатель работает устойчиво. Если двигатель под влиянием какой-либо причины уменьшит частоту вращения, то скольжение его возрастет, вместе с ним возрастет вращающий момент. Благодаря этому частота вращения двигателя повысится, и вновь восстановится равновесие электромагнитного и противодействующего моментов $M_{эм} = M_2$;

В точке **Б** работа двигателя не может быть устойчива: случайное отклонение частоты вращения приведет либо к остановке двигателя, либо к переходу его в точку **А**.

Следовательно, вся восходящая ветвь характеристики является областью устойчивой работы двигателя, а вся нисходящая часть - областью неустойчивой работы.

Точка **Б**, соответствующая максимальному моменту, разделяет области устойчивой и неустойчивой работы.

Максимальному значению вращающего момента соответствует критическое скольжение S_k .

Скольжению $S = 1$ соответствует пусковой момент.

Если величина противодействующего тормозного момента M_2 больше пускового $M_{\text{п}}$, двигатель при включении не запустится, останется неподвижным.

Для целей электропривода большое значение имеет зависимость скорости вращения двигателя от нагрузки на валу $n=F(M)$; эта зависимость носит название **механической характеристики** (рис.38.2). По форме своей она отличается от кривой $M=F(s)$ только положением по отношению к координатным осям.

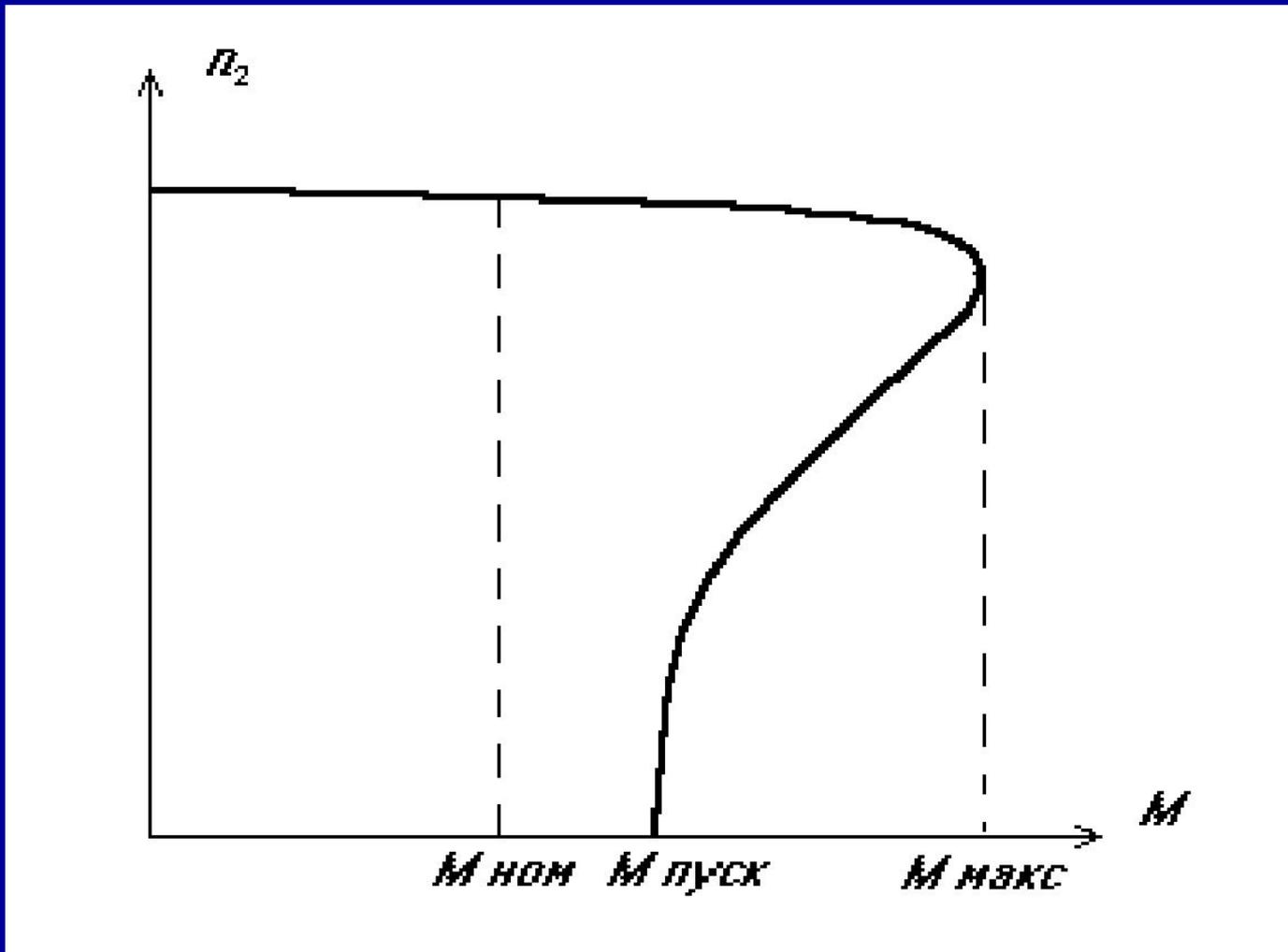


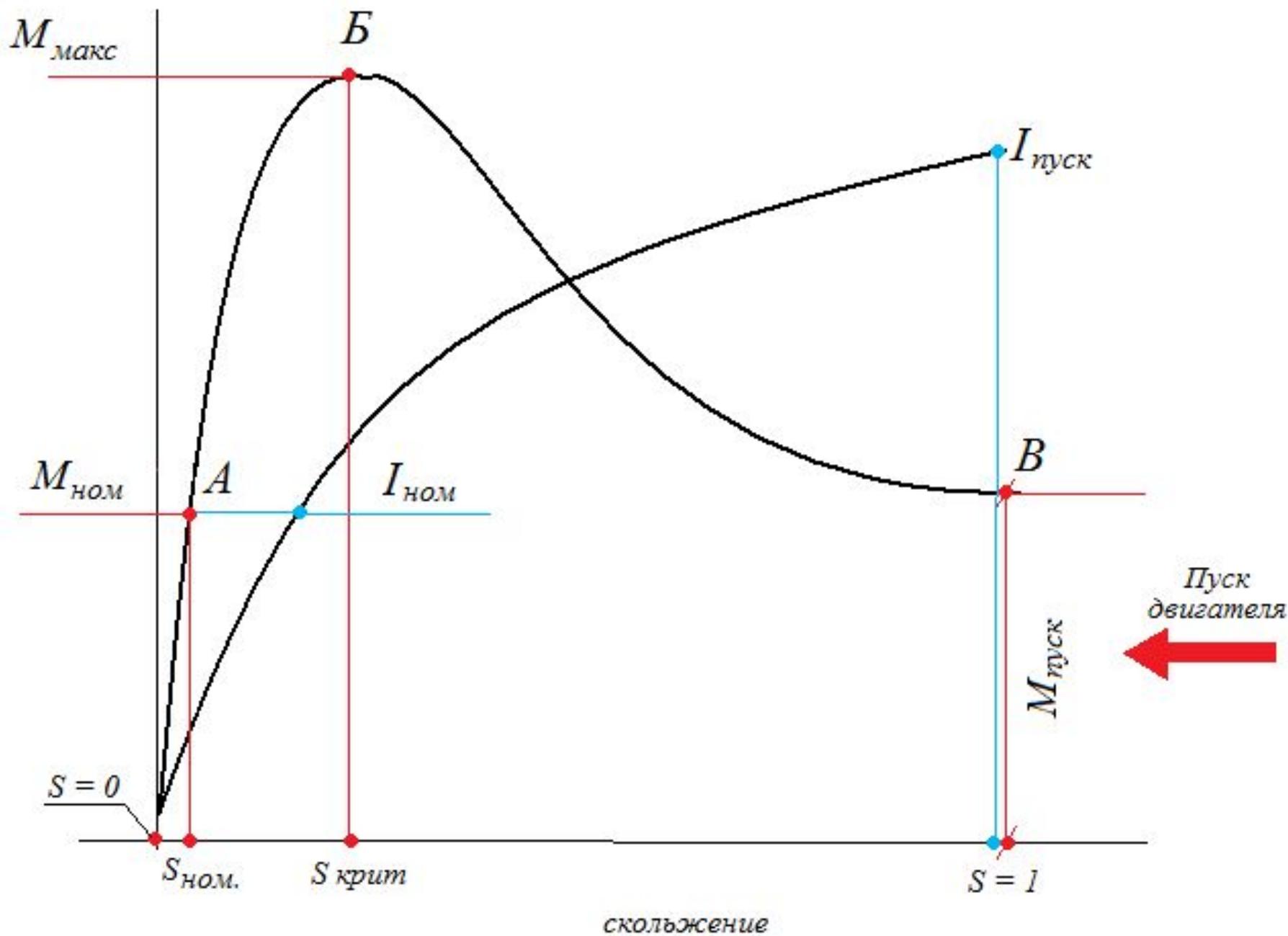
Рис. 33.2. Механическая характеристика асинхронного двигателя

Занятие 34. Пусковой и максимальный момент двигателя

34.1. Моменты двигателя и потребляемый двигателем ток

На пусковой характеристике обычно показывают не только кривую моментов, но и кривую тока.

Рассмотрим по пусковой характеристике, как изменяется ток и момент двигателя в режиме пуска и его дальнейшей работы.



В начальный момент пуска ротор двигателя неподвижен ($n_2=0$), а в обмотке статора начинает вращаться с определенной скоростью вращающееся магнитное поле. ($n_1=3000$)

Поэтому значение скольжения при пуске будет равно:

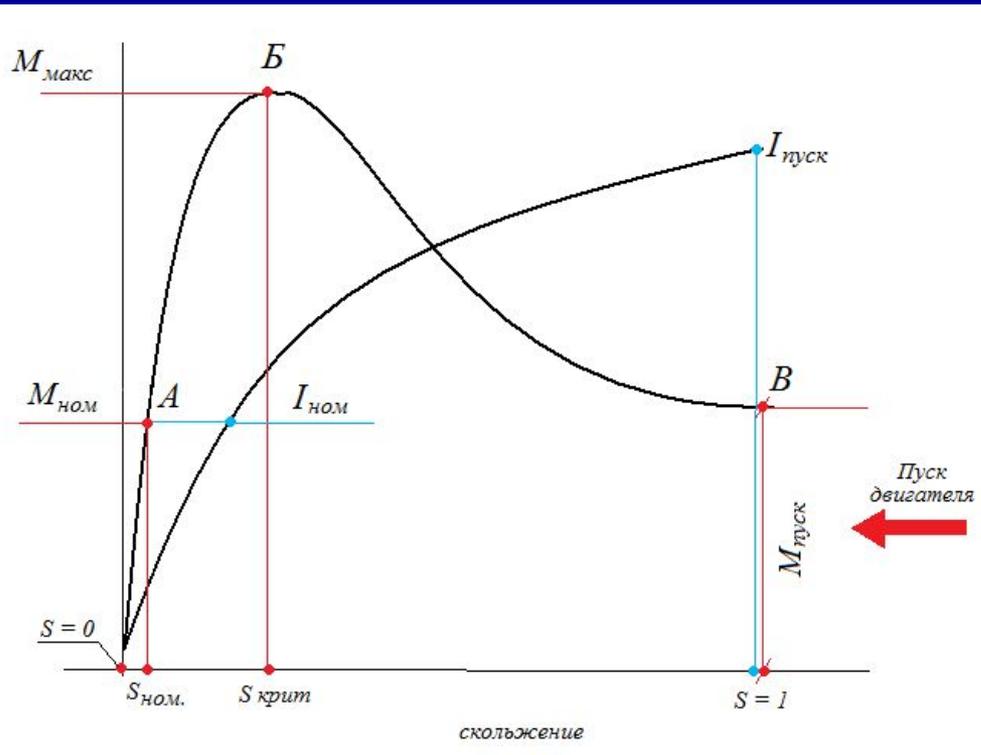
$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{3000 - 0}{3000} = 1$$

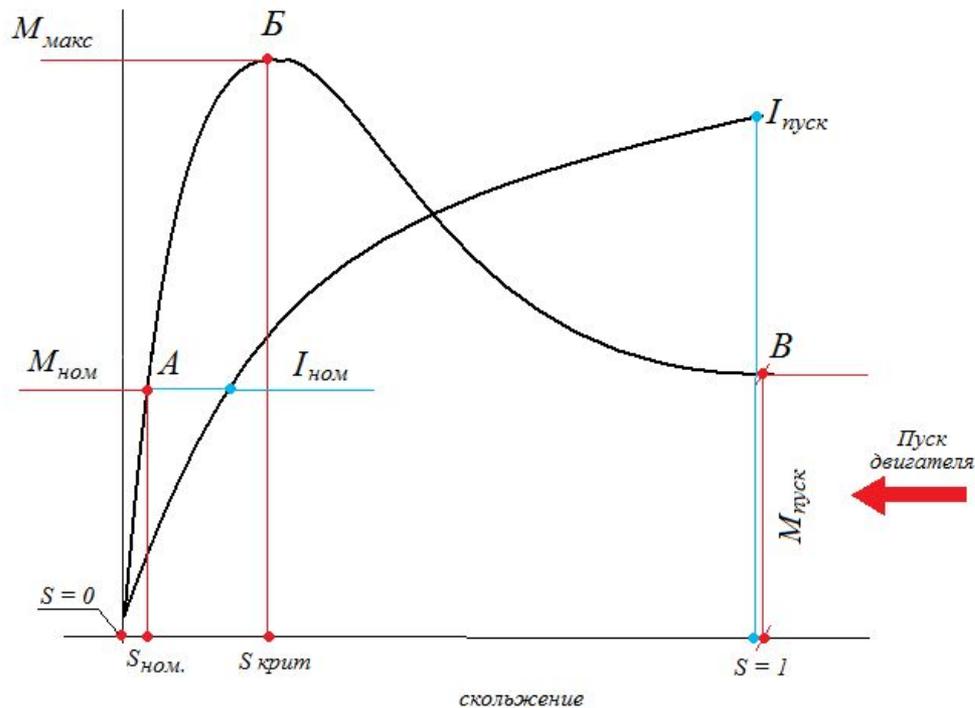
На характеристиках моментов и тока этом режим соответствует области, в которой находится точка **В**.

На графике моментов этот режим соответствует значению пускового момента $M_{\text{пуск}}$, и значению тока $I_{\text{пуск}}$.

При раскрутке ротора его скорость становится больше нуля и, в соответствии с приведенной формулой значение скольжения уменьшается.

На графике область работы двигателя сдвигается влево. При этом растет момент двигателя и уменьшается ток в обмотках, который в момент пуска имел наибольшее значение.





Момент двигателя увеличивается до своего наибольшего значения в точке **Б** характеристики.

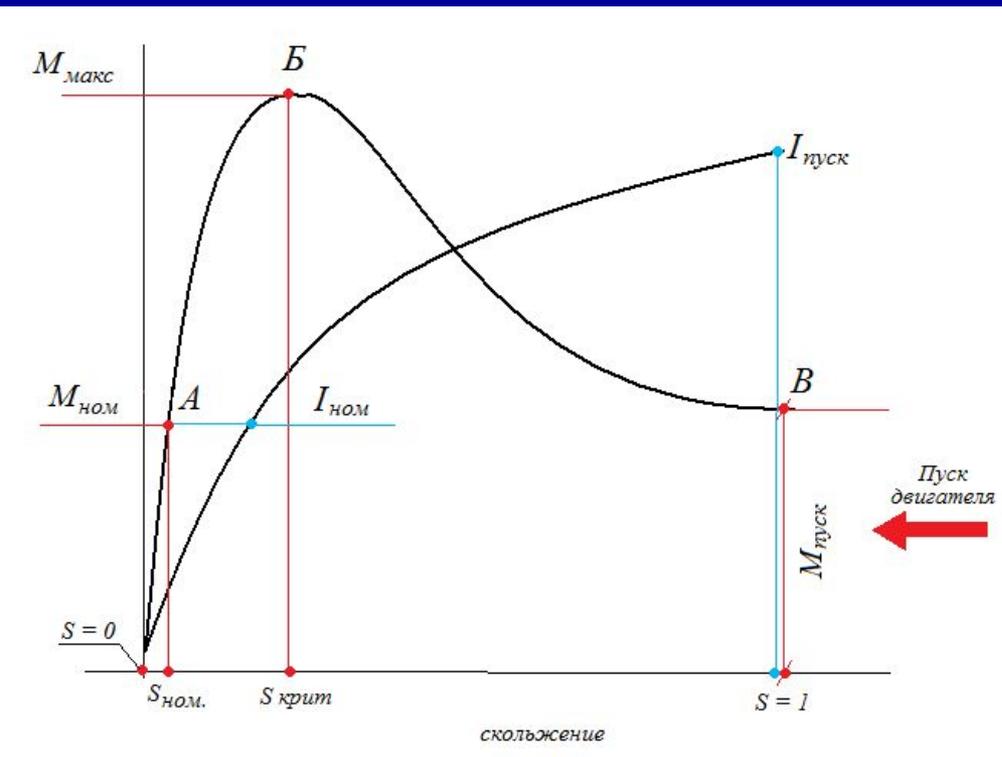
Эта точка на графике моментов характеризует наибольший момент двигателя $M_{\text{макс}}$.

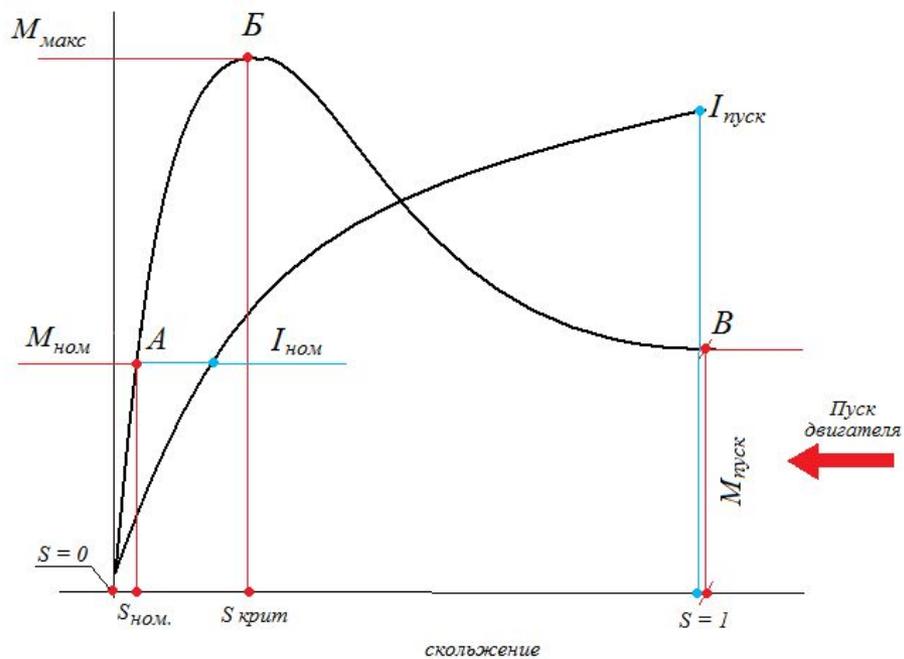
Скольжение, соответствующее максимальному моменту двигателя называется критическим $s_{\text{крит}}$.

Область работы двигателя от $S=1$ до $S_{крит}$ является неустойчивой работой двигателя.

Достаточно в этой области повысить нагрузку на валу двигателя, как скольжение двигателя повышается, и двигатель может остановиться.

Поэтому асинхронный двигатель никогда не работает в области максимального момента.





Рабочей областью для двигателя является область со значениями скольжения лежащими в пределах

$$s = 0,02 \dots 0,08; \quad (2 \dots 8\%)$$

Этот режим работы двигателя называется номинальным режимом.

Параметры двигателя при этом режиме также называются

номинальными. $s_{\text{ном}}$;

$M_{\text{ном}}$; $I_{\text{ном}}$.

34.2. Перегрузочная способность, кратности моментов и токов двигателя.

При анализе параметров двигателя обычно сравнивают значения параметров в пусковом и максимальном режимах с номинальным режимом. При этом используют не абсолютные значения моментов и токов, а относительные. т. е. отнесенные к номинальному режиму.

$$k_m = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}}$$

$$k_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$$

$$k_T = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$$

Относительный максимальный момент двигателя определяет его перегрузочную способность, т. е. способность двигателя кратковременно выдерживать нагрузки, большие номинальной.

В электрических машинах перегрузочная способность обозначает k_m и определяется по формуле:

$$k_m = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}}$$

В серийных асинхронных двигателях перегрузочная способность (кратность максимального момента) лежит в пределах

$$k_m = 1,5 \dots 2,5$$

Перегрузочная способность не имеет размерности и показывает во сколько раз по сравнению с номинальным моментом можно кратковременно повысить момент двигателя без ущерба для его работы.

Относительное значение пускового момента $k_{п}$
(кратность пускового момента) определяет способность двигателя разогнаться до рабочей частоты вращения с полной нагрузкой на валу и определяется по формуле:

$$k_{п} = \frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$$

В серийных асинхронных двигателях кратность пускового момента лежит в пределах

$$k_{м} = 1 \dots 1,5$$

Относительное значение пускового тока k_T (кратность пускового тока) определяет способность двигателя кратковременно выдерживать большие значения пускового тока и определяется по формуле:

$$k_T = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$$

В серийных асинхронных двигателях кратность пускового тока лежит в пределах

$$k_T = 6 \dots 7,5$$

Из данной формулы можно сделать вывод, двигатель способен выдерживать ток в 7 раз больший, чем номинальный.

Однако такое значение двигатель может выдержать кратковременно (несколько секунд).

Если двигатель работает нормально, то этого времени достаточно, чтобы двигатель набрал обороты и значение тока уменьшились (см. пусковые характеристики).

Если на валу двигателя большая механическая нагрузка, сам ротор очень тяжел, подшипники не прокручиваются или какие-либо другие неисправности, которые не позволяют быстро раскрутиться ротору двигателя, то большой пусковой ток будет протекать по обмоткам длительное время.

Это приводит к перегреву обмоток, разрушению их изоляции и выходу двигателя из строя.

Для предотвращения этих явлений создаются специальные электрические схемы контроля тока двигателя и его автоматического выключения в аварийных ситуациях.

Для запуска тяжелых двигателей существуют специальные методы ограничения пускового тока.

Занятие 35.

Пуск в ход асинхронных двигателей

35.1. Общие определения.

Все асинхронные двигатели должны самостоятельно пускаться в ход, т. е. разгоняться от неподвижного состояния ($n = 0, s = 1$) до номинальной частоты вращения ($n = n_{\text{ном}}, s = s_{\text{ном}}$) преодолевая при этом момент сопротивления нагрузки.

Разгон двигателя должен происходить достаточно быстро, чтобы потери, выделяемые в нем при пуске, не приводили к недопустимо большому перегреву обмоток

(в зоне скольжения от $S = 1$ до $S_{кр}$ по обмоткам двигателя проходят токи, существенно большие номинального).

Кроме статического противодействующего момента, существует и динамический момент, который возникает вследствие инерционности приводимого двигателем механизма.

Пуск проводится успешно, если электромагнитный момент двигателя превышает сумму статического и динамического моментов сопротивления нагрузки во время разгона, время пуска тем меньше, чем больший момент развивает двигатель при пуске,

Выделяемая во время пуска энергия потерь в обмотках не должна допускать аварийного перегрева обмоток.

Если момент сопротивления (нагрузки) больше момента, развиваемого двигателем, то пуск вообще оказывается невозможным.

35.2. Пуск в ход асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Для пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором применяются следующие способы:

- прямое включение,
- пуск при пониженном напряжении питания.

35.2.1. Прямое включение

Прямое включение асинхронного двигателя в сеть является наиболее простым способом пуска двигателя. В то же время в этом случае обмотки статора и ротора двигателя обтекаются большим пусковым током, равным 4—7-кратному значению номинального. Поэтому очень важно, чтобы время пуска двигателя было при этом как можно меньшим. Такой метод пуска применяется для небольших двигателей, или для двигателей, приводящих во вращение небольшие механические нагрузки.

35.2.2. Пуск при пониженном, напряжении

Обычно применяют один из четырех способов пуска при пониженном напряжении:

- пуск двигателя через понижающий автотрансформатор;
- переключение обмотки статора со звезды на треугольник;
- включение двигателя через полупроводниковый регулятор напряжения.

- Во всех этих случаях снижение напряжения ведет не только к пропорциональному уменьшению пускового тока (положительный эффект), но и к резкому уменьшению пускового момента (отрицательный эффект).

а) Пуск асинхронного двигателя через автотрансформатор

Уменьшения напряжения при пуске можно достигать включением между сетью и двигателем понижающего автотрансформатора T (рис. 40.1).

При пуске сначала замыкают рубильник **QS1**, и пониженное напряжение попадает на обмотки двигателя.

По достижении ротором достаточной частоты вращения замыкают рубильник **OS2**, шунтируя автотрансформатор так, что полное напряжение сети попадает на обмотки двигателя.

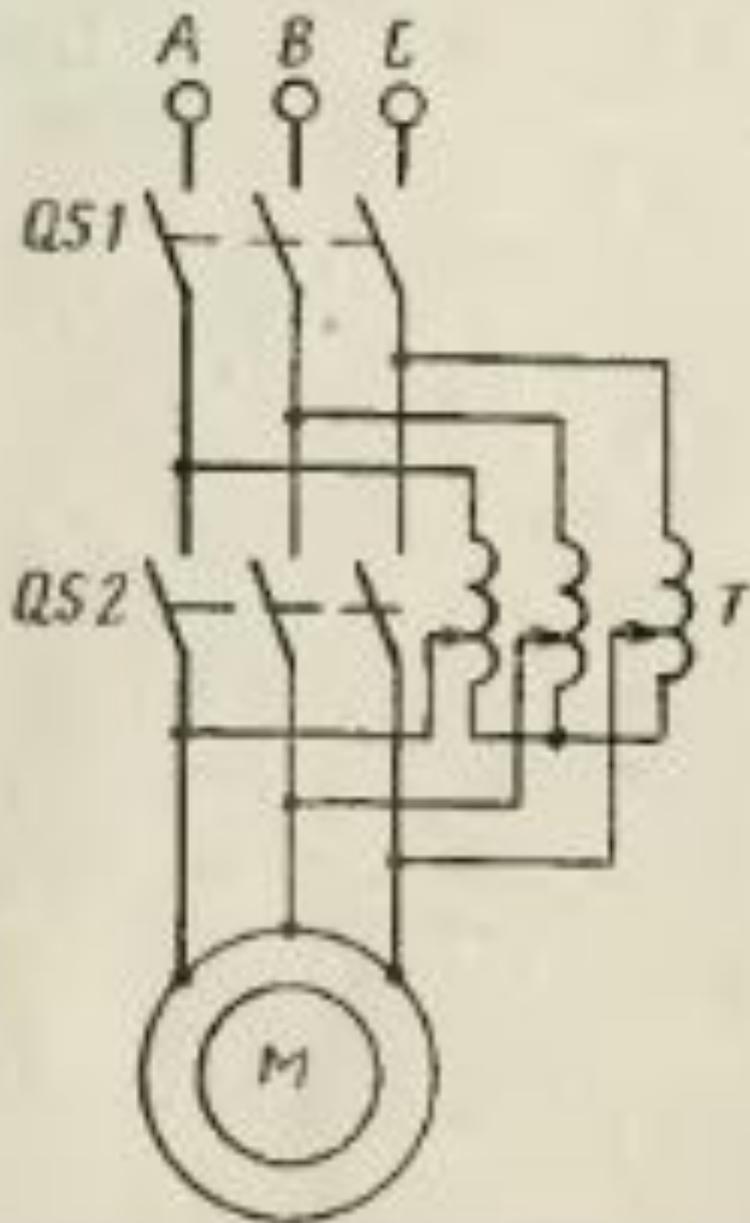


Рис. 35.1. Пуск асинхронного двигателя с помощью автотрансформатора

б) Пуск с переключением обмоток статора со звезды на треугольник

К способам пуска с понижением напряжения можно отнести также пуск с переключением обмоток статора со звезды на треугольник (рис. 35.2).

В режиме пуска переключатель **QS** находится в положении  причем обмотка статора включена по схеме звезды. После того как ротор достигнет установившейся частоты вращения, переключатель необходимо перевести в положение  и обмотки статора будут включены по схеме треугольника.

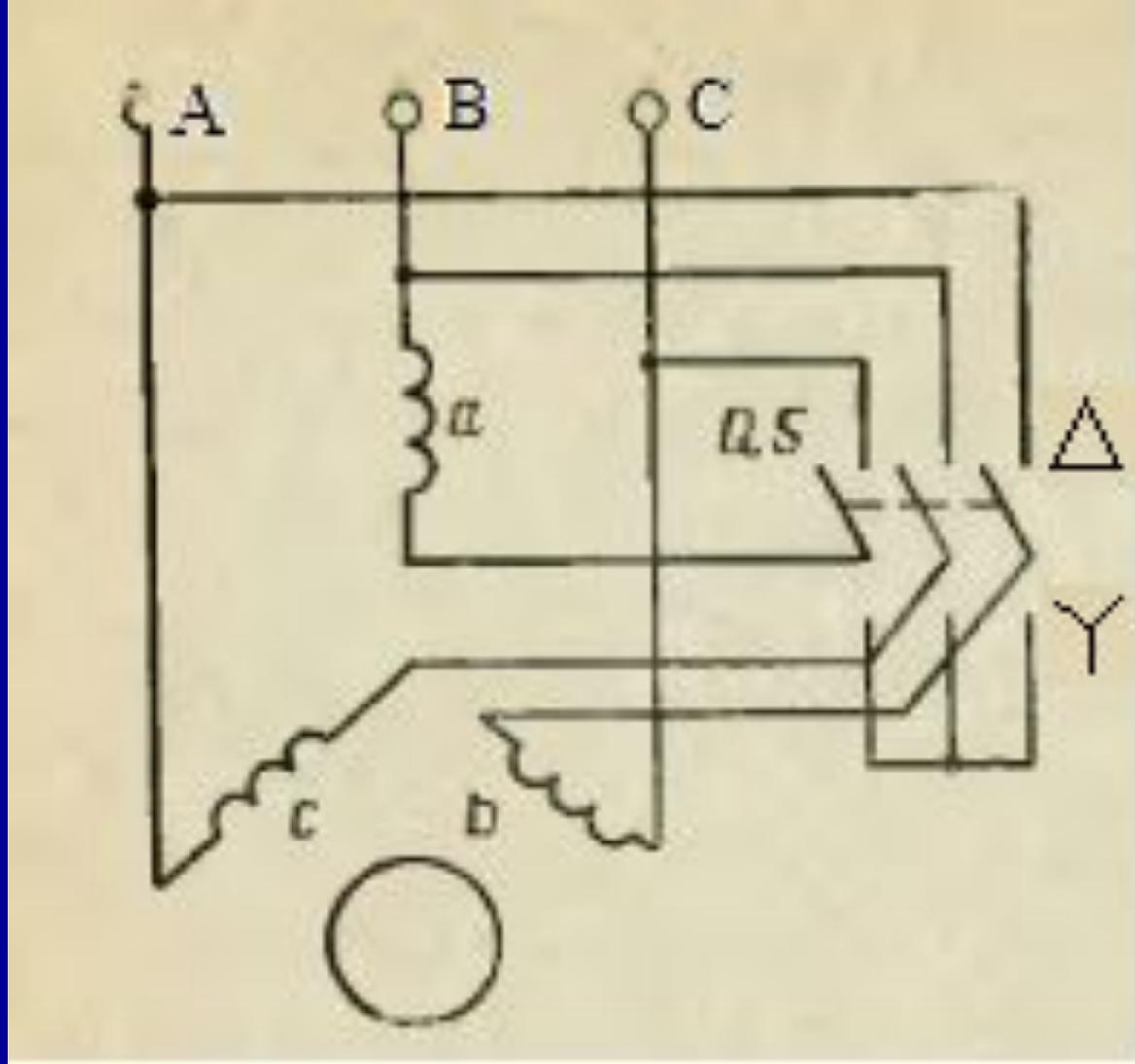


Рис. 35.2. Схема пуска асинхронного двигателя с переключением обмоток со звезды на треугольник

При данном способе пуска фактически снижается напряжение, подводимое к каждой фазе двигателя, поскольку при одинаковом напряжении сети фазное напряжение в схеме звезды в 1,73 раза меньше, чем в схеме треугольника.

Пусковой ток в сети при соединении обмотки статора и звезду снижается в 1,73 раза по сравнению с пусковым током при соединении в треугольник. Однако пусковой момент, пропорциональный квадрату напряжения, снижается в 3 раза.

35.3. Пуск в ход асинхронного двигателя с фазным ротором

Так как фазный ротор содержит медную обмотку, начала которой замкнуты на контактные кольца, то через скользящий контакт (кольцо – щетка) можно вводить в цепь ротора добавочное сопротивление (пусковые реостаты).

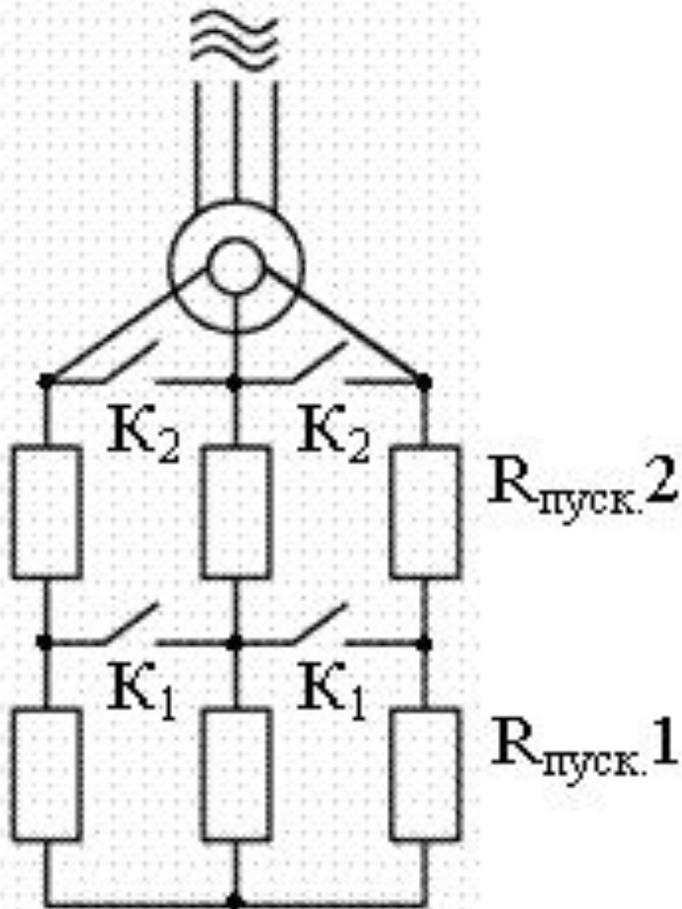


Рис. 35.3 Включение пусковых реостатов со ступенчатым регулированием.

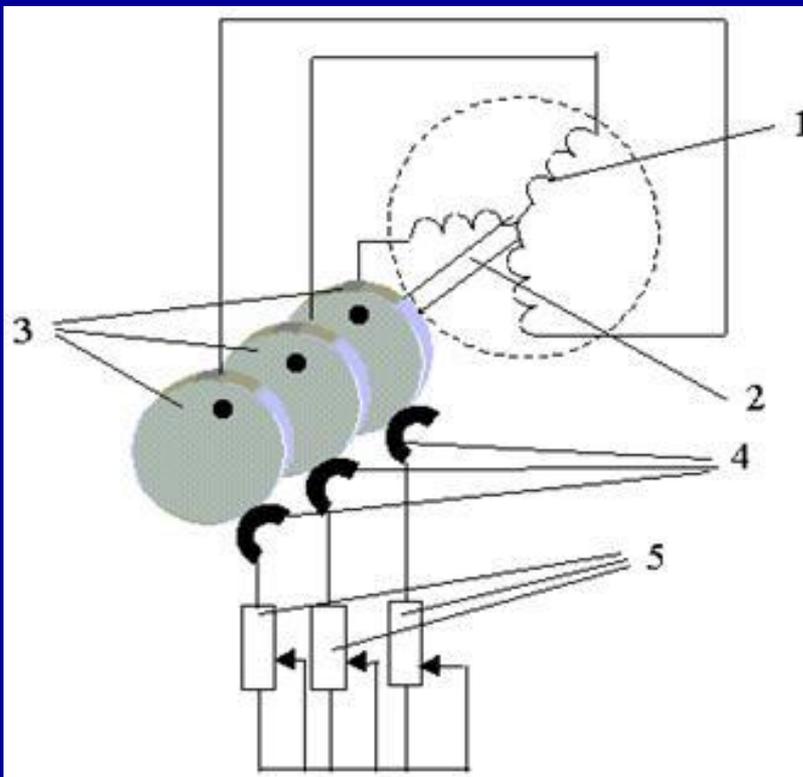
Этот способ применяют при тяжелых условиях пуска, т.е. при большой нагрузке на валу. Для реостатного пуска используют асинхронные двигатели с фазным ротором, в цепь ротора включается пусковой реостат. Реостатный пуск служит для увеличения пускового момента. Одновременно происходит уменьшение пускового тока двигателя. По мере разгона двигателя пусковой реостат выводится и после окончания пуска обмотка ротора оказывается замкнутой накоротко.

В момент пуска в ход в цепь ротора введен полностью пусковой реостат ($R_{\text{пуск } 3} = R_{\text{пуск } 1} + R_{\text{пуск } 2}$), для чего контакты реле К1 и К2 разомкнуты.

При заданной нагрузке на валу и введенном реостате $R_{\text{пуск } 3}$ пусковой ток уменьшается. Для дальнейшего разгона двигателя нужно замкнуть контакты К1, при этом сопротивление пускового реостата снизится до $R_{\text{пуск } 2}$ и разгон будет продолжаться с уменьшенным пусковым током.

При замыкании контактов К2, пусковой реостат будет полностью выведен ($R_{\text{пуск}} = 0$) и окончательный разгон двигателя будет продолжаться с естественным пусковым током.

Вместо ступенчатого регулирования пускового тока можно применять плавное регулирование. При этом способе реостаты оборудуются скользящими контактами.



- 1 – трехфазная обмотка ротора
- 2 – вал двигателя
- 3 – контактные кольца
- 4 – скользящие контакты (щетки)
- 5 – пусковые реостаты
- 6 – сердечник ротора
- 7 – подшипник

Рис. 35.3. Схема включения пусковых реостатов с плавным регулированием пускового тока

Занятие 36. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей

36.1. Общие положения.

Регулирование частоты вращения двигателей определяется в соответствии с требованиями технологических процессов и тех производственных механизмов, в которых они используются.

Регулирование частоты вращения двигателей характеризуется следующими основными показателями.

- Диапазон регулирования
- Плавность регулирования,
- Направление возможного изменения частоты вращения двигателя (зона регулирования).
- Экономичность регулирования
- Допустимая нагрузка двигателя

1. Диапазон регулирования D (предел изменения частоты вращения).

Под этой величиной понимается отношение максимальной частоты вращения двигателя n_{\max} к его минимальной частоте вращения n_{\min}

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$$

36.1.2.Плавность регулирования,

характеризуется минимальным скачком частоты вращения двигателя при переходе с одной механической характеристики на другую.

36.1.3.Направление возможного изменения частоты вращения двигателя (зона регулирования).

При номинальных условиях работы двигатель имеет определенную механическую характеристику, то есть зависимость момента двигателя от числа оборотов вала двигателя.

При регулировании частоты вращения соответствующие им характеристики будут отличаться от первоначальной.

Эти характеристики носят название искусственных (регулируемых) характеристик.

С помощью одних методов регулирования удастся получить, например, только увеличение числа оборотов при сохранении заданного момента.

Другие методы обеспечивают регулирование частоты вращения как выше, так и ниже естественной характеристики.

36.1.4.Экономичность регулирования

Определяется по дополнительным капитальным затратам, необходимым при создании регулировочных устройств, а также по потерям электроэнергии при регулировании.

При этом более рационально применение простых и дешевых способов регулирования частоты вращения двигателей, даже и неэкономичных с точки зрения потребления энергии.

36.1.5. Допустимая нагрузка двигателя при изменении частоты вращения .

Диапазон изменения скорости вращения вала двигателя может быть ограничен величиной токов в статорной и роторных цепях.

Эта нагрузка определяется допустимым нагревом двигателя и механическими характеристиками производственных механизмов, моментом сопротивления на валу, моментом инерции двигателя и механизма и т. д.

36.2. Методы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей

В соответствии с приведенными ранее формулами можно записать, что частота вращения ротора n , об/мин, равна:

$$n_2 = n_1(1 - s) = \frac{60 f_1}{p} \cdot (1 - s)$$

где f_1 — частота питающей сети, Гц;

p — число пар полюсов двигателя;

s — скольжение, отн. ед.

Из формулы следует, что существуют три основных способа регулирования частоты вращения:

- изменением частоты f_1 питающего двигателя напряжения;
- изменением числа пар полюсов p ;
- изменением скольжения s .

Все три способа нашли широкое применение на практике.

36.3. Регулирование частоты вращения изменением частоты питающей сети

При изменении частоты питающей сети обеспечивается изменение частоты вращения магнитного поля асинхронного двигателя, что следует из формулы

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p};$$

$$n_2 = \frac{60 f_2}{p}$$

Источник питания двигателя должен осуществлять преобразование напряжения стандартной частоты сети $f_{ном} = 50$ Гц в напряжение с требуемой частотой.

36.4. Регулирование частоты вращения изменением числа полюсов

При неизменной частоте питающей сети частота вращения магнитного поля и определяемая ею частота вращения ротора изменяются обратно пропорционально числу полюсов. Так как число полюсов, фиксированное ступенями, может быть равно 2, 4, 6, 8, 10 и т. д., что при частоте питающей сети, равной 50 Гц, соответствует синхронной частоте вращения 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/мин и т. д., то указанным способом может быть обеспечено только ступенчатое регулирование.

Изменение числа пар полюсов обычно достигается следующими способами:

а) Первый способ

На статоре двигателя укладываются две электрически не связанные между собой обмотки, имеющие разное число пар полюсов, например p_1 и p_2 . При подключении одной из обмоток к сети переменного тока, например, с числом полюсов p_1 двигатель будет иметь синхронную частоту вращения, соответствующую данному числу полюсов .

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p_1}$$

Другая обмотка при этом обесточена.

При необходимости получения другой частоты вращения n_2 обмотка с числом полюсов p_1 отключается и включается с числом полюсов p_2 .

$$n_2 = \frac{60 f_1}{p_2}$$

Такие асинхронные двигатели получили название двухобмоточных.

Второй способ.

На статоре укладывается одна обмотка с отводами, допускающая переключение на разное число полюсов.

К положительным показателям многоскоростных асинхронных двигателей следует отнести экономичность и относительно большой диапазон регулирования частоты вращения ротора.

Недостатком данного способа регулирования является невозможность плавного изменения частоты вращения.

36.5. Регулирование частоты вращения изменением скольжения

Регулирование частоты вращения изменением скольжения является одним из простых способов регулирования. В то же время при увеличении скольжения увеличиваются потери в обмотке ротора, что приводит к уменьшению КПД при регулировании. Как правило при регулировании скольжения используют фазный ротор с выведенными на контактные кольца обмоткой. При регулировании со стороны ротора применяется реостатное регулирование частоты вращения путем введения в цепь обмотки ротора добавочных активных сопротивлений (резисторов).

Занятие 37.

Однофазные асинхронные двигатели

37.1. Общие определения

В различных бытовых и промышленных приборах широкое распространение получили однофазные асинхронные двигатели малой мощности.

Однофазные асинхронные двигатели имеют на статоре рабочую обмотку, подключаемую к однофазной сети переменного тока, и вспомогательную (пусковую), которая соединяется с однофазной сетью кратковременно только в период пуска двигателя.

Роторная обмотки, как правило, выполняется короткозамкнутой в виде беличьей клетки.

В качестве однофазного асинхронного двигателя может быть использован трехфазный двигатель с отсоединенной одной из фаз статора.

Особенность однофазных асинхронных двигателей — отсутствие начального или пускового момента, т. е. при включении такого двигателя в сеть ротор его остается неподвижным.

Если же под действием какой-либо внешней силы вывести ротор из состояния покоя, то двигатель будет развивать вращающий момент.

37.2. Пуск однофазных асинхронных двигателей

Отсутствие начального момента - существенный недостаток однофазных асинхронных двигателей. Поэтому эти двигатели всегда снабжают пусковым устройством.

Наиболее простое пусковое устройство — две обмотки, помещенные на статоре и сдвинутые друг относительно друга на половину полюсного деления (90 эл. град.).

Для получения угла сдвига фаз между токами в катушках, примерно равного $\pm\pi/2$, одну из катушек (рабочую) включают в сеть непосредственно, а вторую катушку (пусковую) - через индуктивную катушку (рис.42.1.) или конденсатор (рис. 42.2.).

Пусковая обмотка включается, только на период пуска.

В момент, когда ротор приобретает определенную частоту вращения, пусковая обмотка отключается от сети и двигатель работает как однофазный. Отключается пусковая обмотка центробежным выключателем или специальным реле

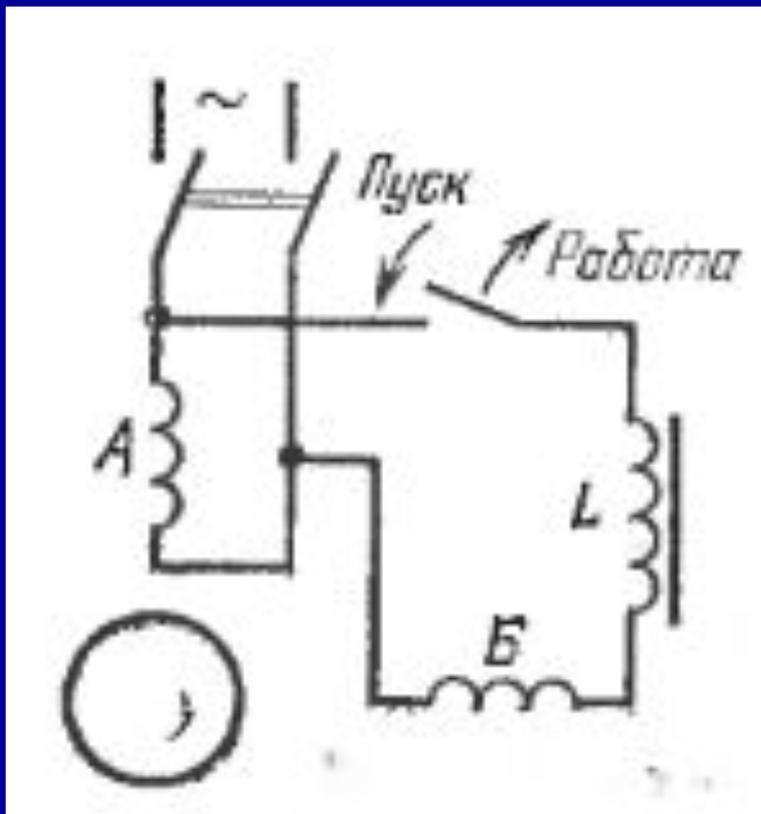


Рис. 37.1. Схема включения пусковой обмотки однофазного двигателя через индуктивную катушку

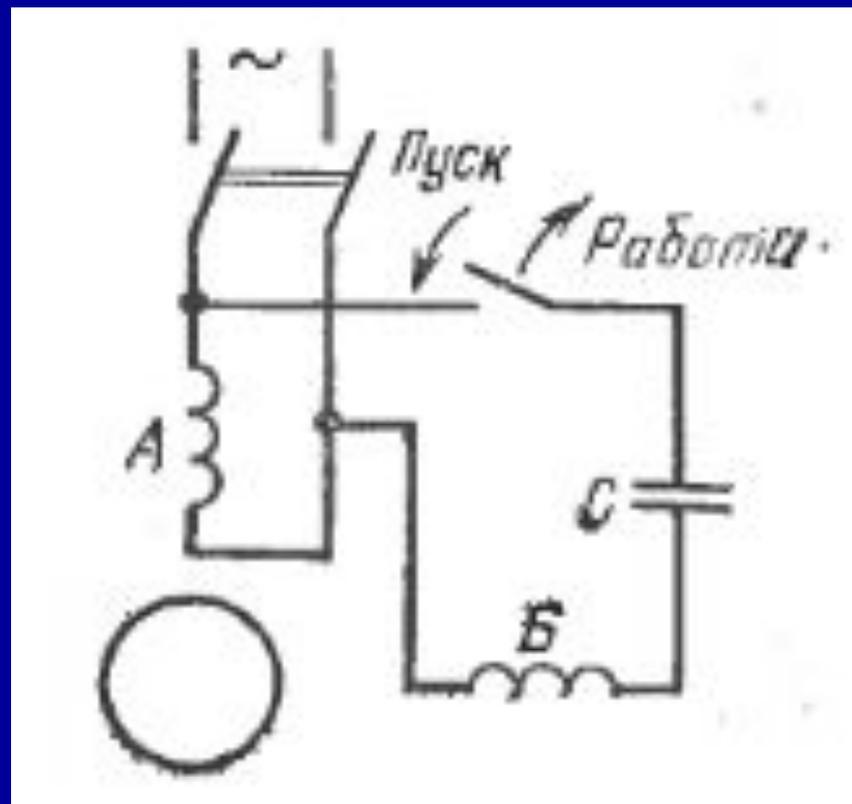


Рис. 37.2. Схема включения пусковой обмотки однофазного двигателя через конденсатор

В качестве однофазного двигателя может быть использован любой трехфазный асинхронный двигатель (рис. 37.3,а),

тогда его рабочая или главная обмотка, состоящая из двух последовательно соединенных фаз трехфазного двигателя, включается непосредственно в однофазную сеть,

третья фаза, являющаяся пусковой или вспомогательной обмоткой, включается в ту же сеть через пусковой элемент — сопротивление (рис. 37.3,б), индуктивность (рис. 37.3, в) или конденсатор (рис. 37.3,г).

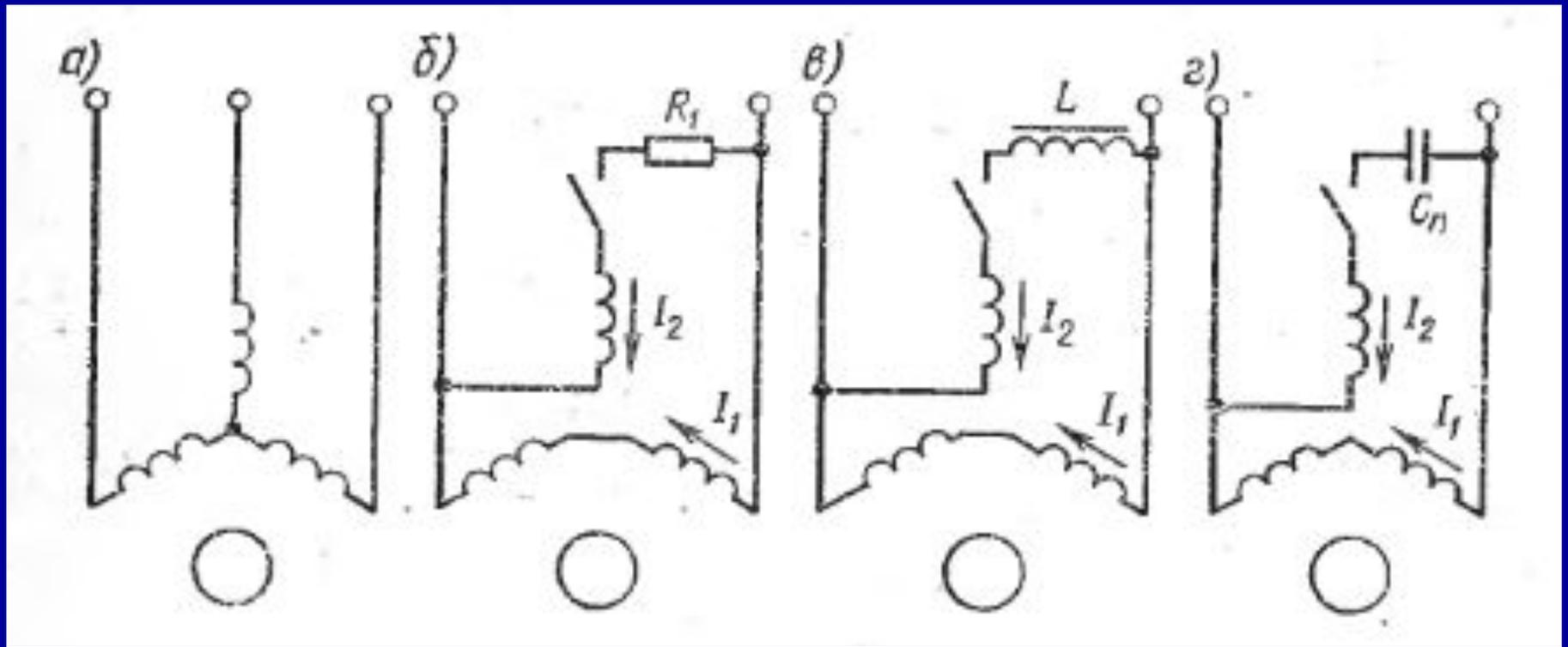


Рис. 37.3. Схема включения в однофазную сеть асинхронного трехфазного двигателя

(б) с пусковым активным сопротивлением

(в) с пусковым индуктивным сопротивлением

(г) с пусковым емкостным сопротивлениями

(а) Схема трехфазного двигателя в трехфазной сети

Дополнительно (сверх программы МДК):

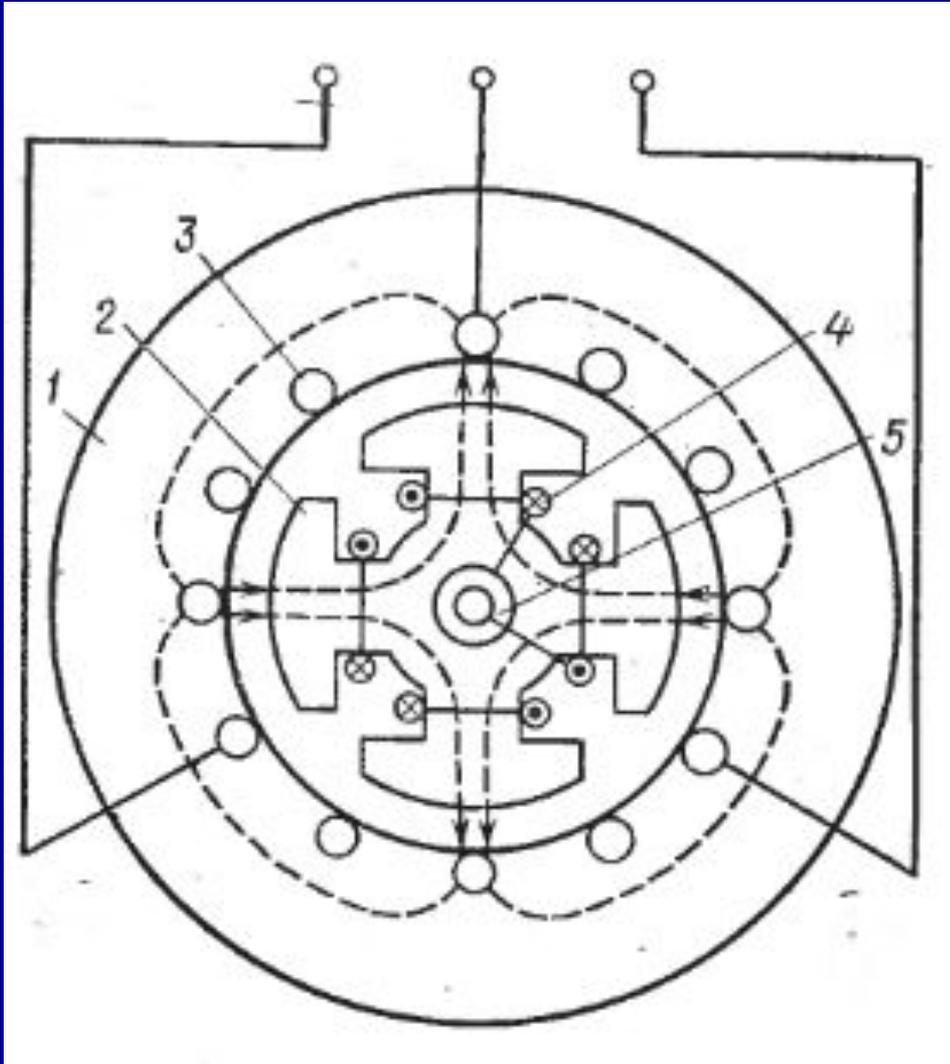
Тема 8.

Синхронные машины

Занятие 44.

**Основные элементы конструкции
синхронных машин**

44.1. Принцип действия синхронной машины



1. сердечник статора
2. ротор с полюсами
3. обмотка якоря
4. обмотка возбуждения
5. контактные кольца

Рис.44.1. Электромагнитная схема четырехполюсной синхронной машины.

. На сердечнике статора 1 помещена обмотка якоря 3. Если ротор с полюсами 2 привести во вращение первичным двигателем, а к обмотке возбуждения 4 подвести постоянный ток через контактные кольца 5, то возникает магнитное поле, вращающееся с частотой вращения ротора.

Линии магнитного поля будут пересекать проводники обмотки якоря, индуктируя в ней переменную э. д. с.

Полный цикл" изменения э. д. с. происходит за время, в течение которого ротор повернется на угол, соответствующий паре соседних полюсов.

Машина переменного тока, частота вращения ротора которой находится в строгой зависимости от частоты тока сети и равна частоте вращения магнитного поля, участвующего в процессе преобразования энергии, называется синхронной.

Наиболее распространенная форма конструкции синхронной машины — расположение обмотки якоря на статоре, а обмотки возбуждения—на роторе.

В этом случае для включения статорной обмотки в сеть переменного тока требуется три или четыре неподвижных контакта, что особенно важно при больших мощностях и высоких напряжениях.

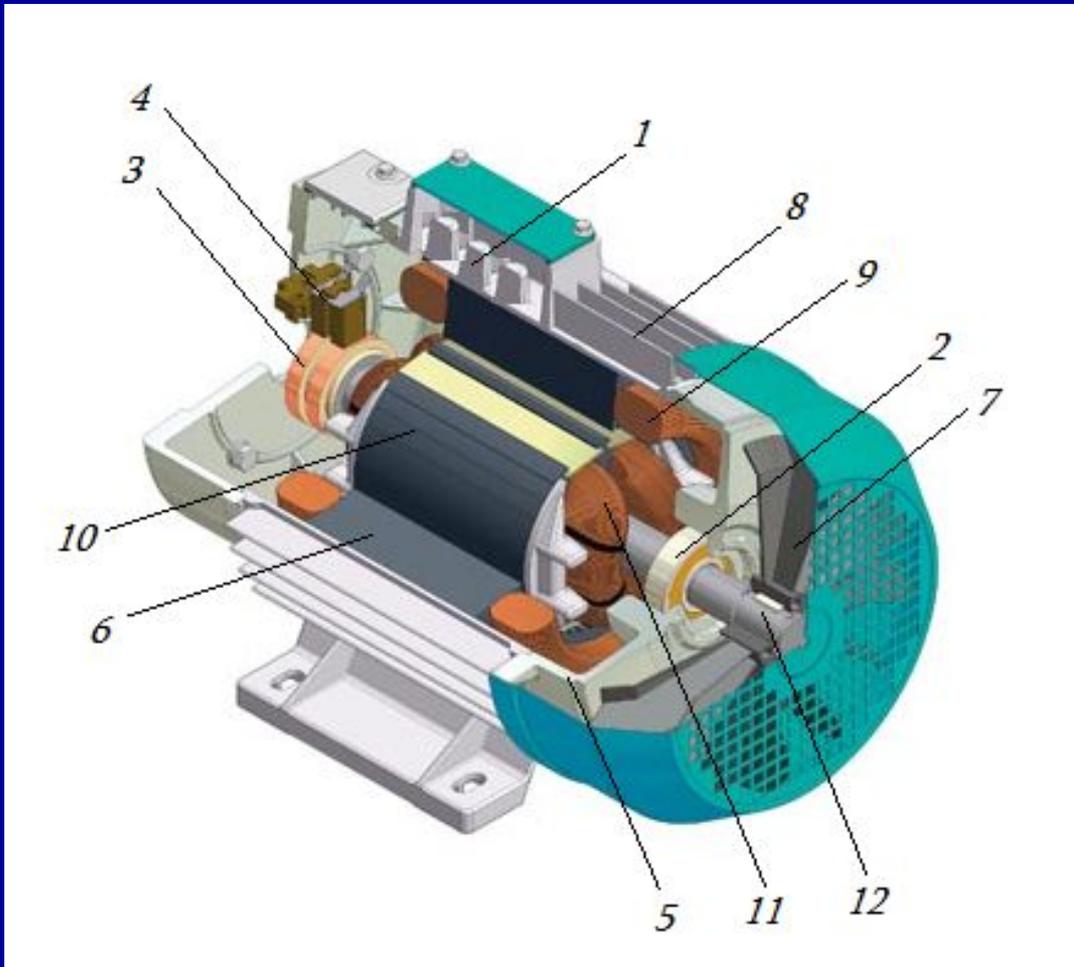
Включение обмотки возбуждения в сеть постоянного тока через два контактных кольца и щетки не вызывает затруднений, так как напряжение не превышает 300—400 В, а мощность, потребляемая ею, составляет всего 0,2—2,5% номинальной мощности машины.

Наиболее широкое применение получили синхронные машины в качестве генераторов переменного тока

44.2. Основные элементы конструкции синхронных машин

Генераторы малой мощности (мощностью до 1000 кВ-А), сочлененные с двигателем внутреннего сгорания, находят широкое применение в передвижных или малых стационарных электростанциях.

Обычно эти генераторы выполняют явнополюсными (рис. 44.2.).



- 1 - выводы обмотки статора
- 2 - подшипник
- 3 - контактные кольца
- 4 - щеткодержатели
- 5 - подшипниковые щиты
- 6 - сердечник статора
- 7 - вентилятор
- 8 - станина
- 9 - статорная обмотка
- 10 - полюса
- 11 - обмотка возбуждения
- 12 - вал

Рис.44.2 Синхронный генератор малой мощности.

Возбудитель (генератор постоянного тока) может быть прикреплен к фланцу на торце подшипникового щита и иметь общий вал с генератором или установлен на общей фундаментной плите и соединен с машиной эластичной муфтой.

В настоящее время широко применяются полупроводниковые выпрямители для выпрямления переменного тока, вырабатываемого самим генератором. Постоянный ток с выпрямителя поступает в обмотки возбуждения через контактные кольца.

Станина 8 и щиты генераторов 5 — литые чугунные, некоторые генераторы имеют станину сварную неразъемную из листовой стали. Сердечник статора 6 набирается из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм, которые запрессовывают в расточку станины и закрепляют в ней стопорной шпилькой или нажимными кольцами.

Ротор генератора состоит из цельнокованого вала 12, остова и полюсов 10. Катушки обмотки возбуждения удерживаются на полюсах полюсными наконечниками .

Контактные кольца 3 из меди насажены на изолированную миканитом стальную втулку и расположены внутри подшипникового щита.

На контактных кольцах расположены щетки, закрепленные в щеткодержателях 4.

Обмотка статора соединяется с внешней сетью выводами 1

Синхронные двигатели предназначены для привода механизмов, не требующих регулирования частоты вращения (вентиляторов, насосов, мельниц и т. д.). Они в подавляющем числе случаев имеют горизонтальное расположение вала и явнополюсный ротор.

Занятие 45 .

Характеристики и параметры трехфазного синхронного генератора

При исследовании синхронных машин пользуются их характеристиками, т. е. кривыми, определяющими зависимости между величинами, характеризующими рабочие свойства машины.

45.1. Характеристика холостого хода

Эта характеристика представляет собой зависимость ЭДС генератора E_0 на холостом ходу от тока возбуждения I_B

Характеристика холостого хода (х. х. х.) является основной характеристикой, так как дает возможность выявить важные свойства машины (ее используют для построения других характеристик

- На рис.45.1. изображена характеристика х.х. при изменении тока возбуждения I_B от нуля до максимально возможного значения и от максимально возможного значения до нуля.

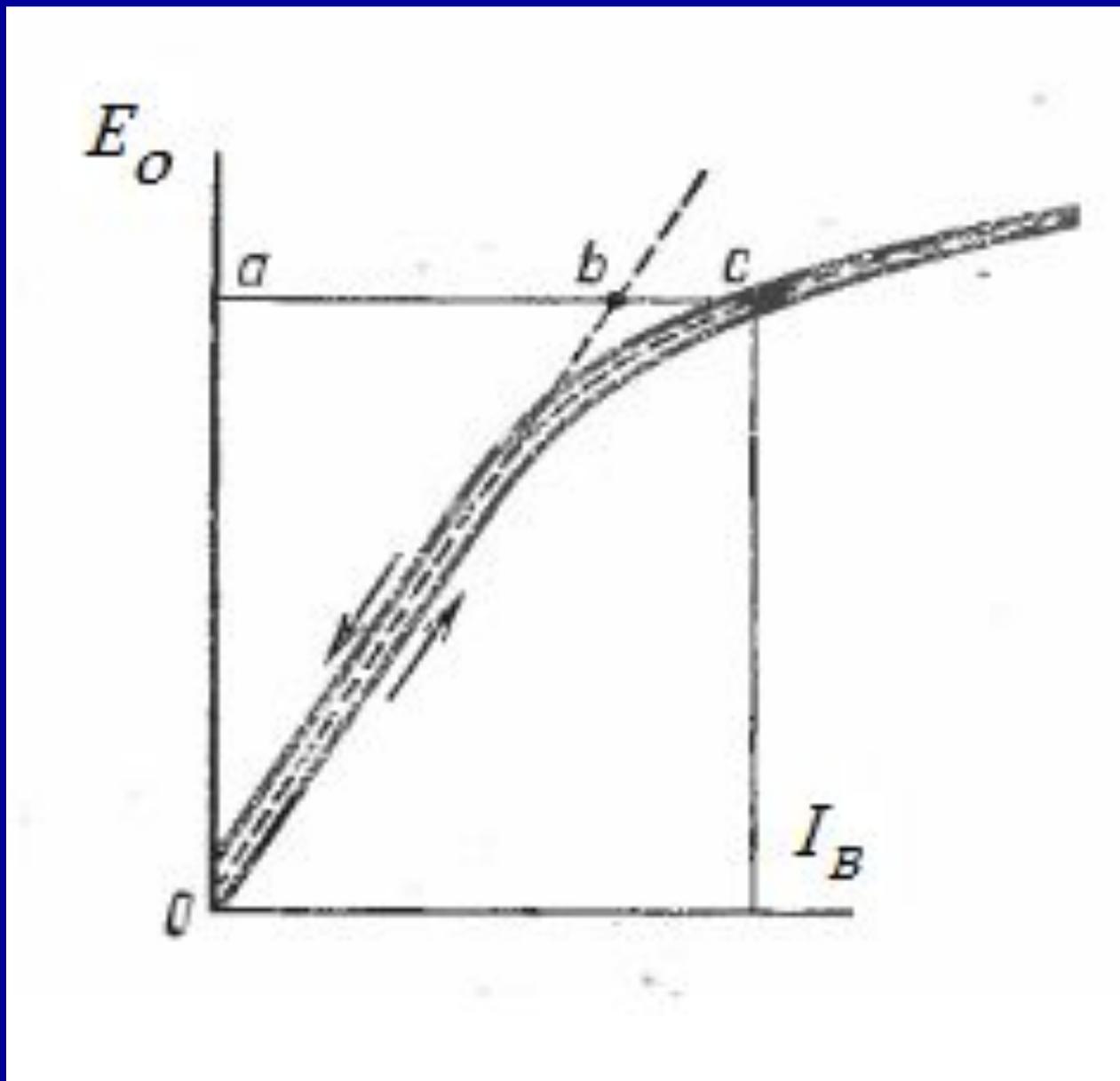


Рис.45.1. Характеристика холостого хода синхронного генератора

Характеристика представляет собой две ветви (восходящую и нисходящую). Расхождение ветвей обусловлено гистерезисом. При расчетах принимают среднее значение обозначенное пунктиром.

На характеристике имеется точка С, которая обозначает нелинейный участок характеристики. В этой области с увеличением тока возбуждения, магнитный поток растет незначительно, а затем рост его вообще прекращается. Эта область характеристики холостого хода синхронного генератора называется областью насыщения.

45.2. Внешняя характеристика.

Представляет собой зависимость $U=f(I)$ при ($n = n_{ном} = const$), $I_B = const$ и $\cos \varphi = const$.

Внешняя характеристика имеет большое практическое значение - по ней можно судить о том, как изменяется напряжение на зажимах генератора при изменении его нагрузки и отсутствии регулирования напряжения (в естественных условиях работы машины).

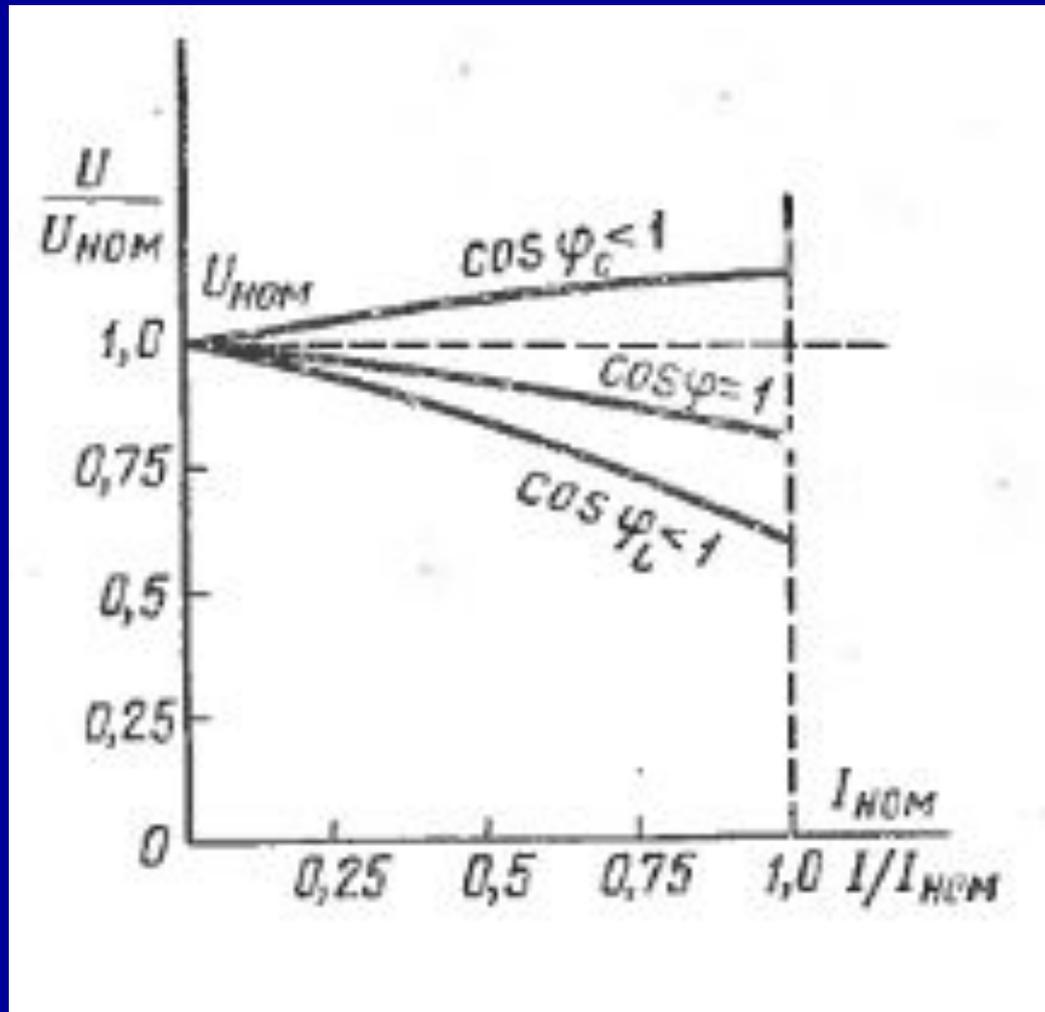


Рис.45.2. Внешняя характеристика синхронного генератора
в относительных единицах

По этой характеристике процентное изменение напряжения при данном $\cos \varphi$ определяется по формуле:

$$\Delta U = \frac{U_0 - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 \quad \%$$

Где: U_0 – напряжение холостого хода

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение

Занятие 46. Потери и к. п. д. синхронного генератора

46.1. Классификация потерь в синхронных машинах

Синхронная машина имеет ряд потерь.

1. Общие механические потери, которые складываются из:

- потерь на трение в подшипниках,
- потерь на трение щеток о коллектор или контактные кольца,
- потерь на трение вращающихся частей о воздух
- вентиляционных потерь.

2. Основные магнитные потери в стали на гистерезис и вихревые токи .

3. Основные электрические потери (кВт) в обмотке якоря, пропорциональные квадрату тока фазы якоря

$$P_{\text{э.я.}} = m \cdot I_{\phi}^2 \cdot r \cdot 10^{-3} \quad \text{кВт}$$

где m — число фаз;

r — сопротивление фазы обмотки

I_{ϕ} — ток в фазе

4. Основные электрические потери (кВт) в обмотке возбуждения и в регулирующей аппаратуре включают в себя потери в возбудителе, если они находятся на одном валу с синхронной машиной.

При отсутствии возбудителя

$$P_{э.в.} = (I_{\epsilon}^2 \cdot r_{\epsilon} + 2\Delta U_{щ} I_{\epsilon}) \cdot 10^{-3} \quad \text{кВт}$$

$$r_{\epsilon} = \left(\frac{P_{э.в.}}{10^{-3}} - 2\Delta U_{щ} I_{\epsilon} \right) \cdot \frac{1}{I_{\epsilon}^2} \quad \text{Ом}$$

$$\Delta U_{щ} = \left(\frac{P_{э.в.}}{10^{-3}} - I_{\epsilon}^2 \cdot r_{\epsilon} \right) \frac{1}{2I_{\epsilon}} \quad \text{В}$$

при наличии возбудителя

$$P_{э.в.} = \frac{I_v^2 \cdot r_v + 2\Delta U_{щ} I_v}{\eta_v} \cdot 10^{-3} \text{ кВт}$$

Для возбудителя малой мощности $\eta_v = 0,7 \dots 0,8$.

5. Добавочные потери $P_{доб}$ обусловлены вихревыми токами, индуцированными потоками рассеяния, потерями, связанными с зубчатостью статора и ротора в неявполюсных машинах. Добавочные потери в синхронных машинах до 100 кВ-А учитываются в размере 0,5% от номинальной мощности .

Коэффициент полезного действия синхронной машины для генераторов

$$\eta_{\Gamma} = \frac{P_{2\Gamma}}{P_{1\Gamma}} = \frac{mU_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi}{mU_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi + \Sigma P} = 1 - \frac{\Sigma P}{mU_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi + \Sigma P}$$

Коэффициент полезного действия синхронной машины для двигателей:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{P_{2Д}}{P_{1Д}} = \frac{mU_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi - \Sigma P}{mU_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi} = 1 - \frac{\Sigma P}{mU_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi}$$

Занятие 47. Параллельная работа синхронных генераторов

47.1. Общие положения.

На современных электрических станциях устанавливают несколько синхронных генераторов, предназначенных для параллельной работы. При переменном графике нагрузки целесообразно включать на параллельную работу или отключать отдельные машины с таким расчетом, чтобы каждая из них работала с номинальной нагрузкой, при которой к. п. д. и другие показатели генераторов и первичных двигателей имеют наибольшую величину.

Параллельная работа генераторов и объединение электростанции для параллельной работы увеличивают надежность и бесперебойность электроснабжения потребителей и позволяет иметь меньшую резервную мощность.

Для правильного подключения синхронного генератора к сети необходимо выполнить ряд условий, чтобы не была нарушена нормальная работа сети и потребителей.

47.2. Включение на параллельную работу синхронных генераторов

Включение на параллельную работу может быть осуществлено двумя способами:

- способом точной синхронизации
- способом самосинхронизации

47.2.1.Способ точной синхронизации.

Такое название получил способ, при котором к сети подключают предварительно возбужденную машину при условии, что эдс генератора равна напряжению сети.

При невыполненных условиях включения генератора в сети с другими генераторами в контуре, состоящем из параллельно работающих генераторов и подключаемого генератора, появится ток, вызванный суммарной величиной эдс включаемого генератора и напряжения сети . В этом случае ток включения может достигнуть опасной величины и вызвать аварию.

Во избежание возникновения большого тока при подключении машины необходимо выполнить следующие условия:

- эдс включаемого генератора и напряжение в сети должны быть равны по величине и противоположны по знаку,
- частота включаемого генератора и частота сети должны быть равны по величине
- порядок следования фаз генератора и сети должен быть одинаковым.

Это достигается изменением тока возбуждения генератора и регулированием частоты его вращения.

Определяют момент включения рубильника (момент синхронизации) при помощи лампового синхроскопа.

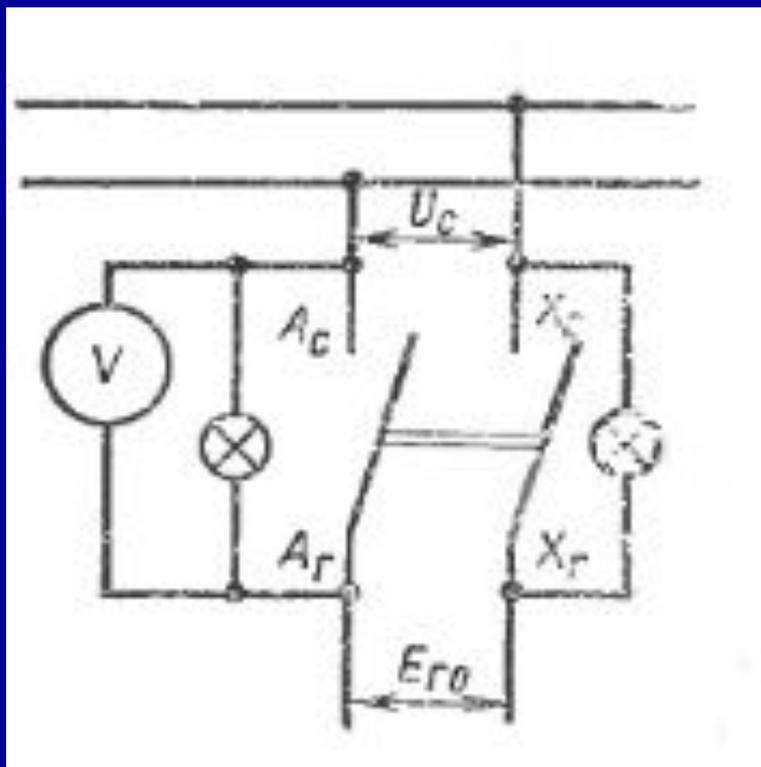


Рис.47.1. Схема включения однофазного генератора в сеть при помощи ламп по способу потухания

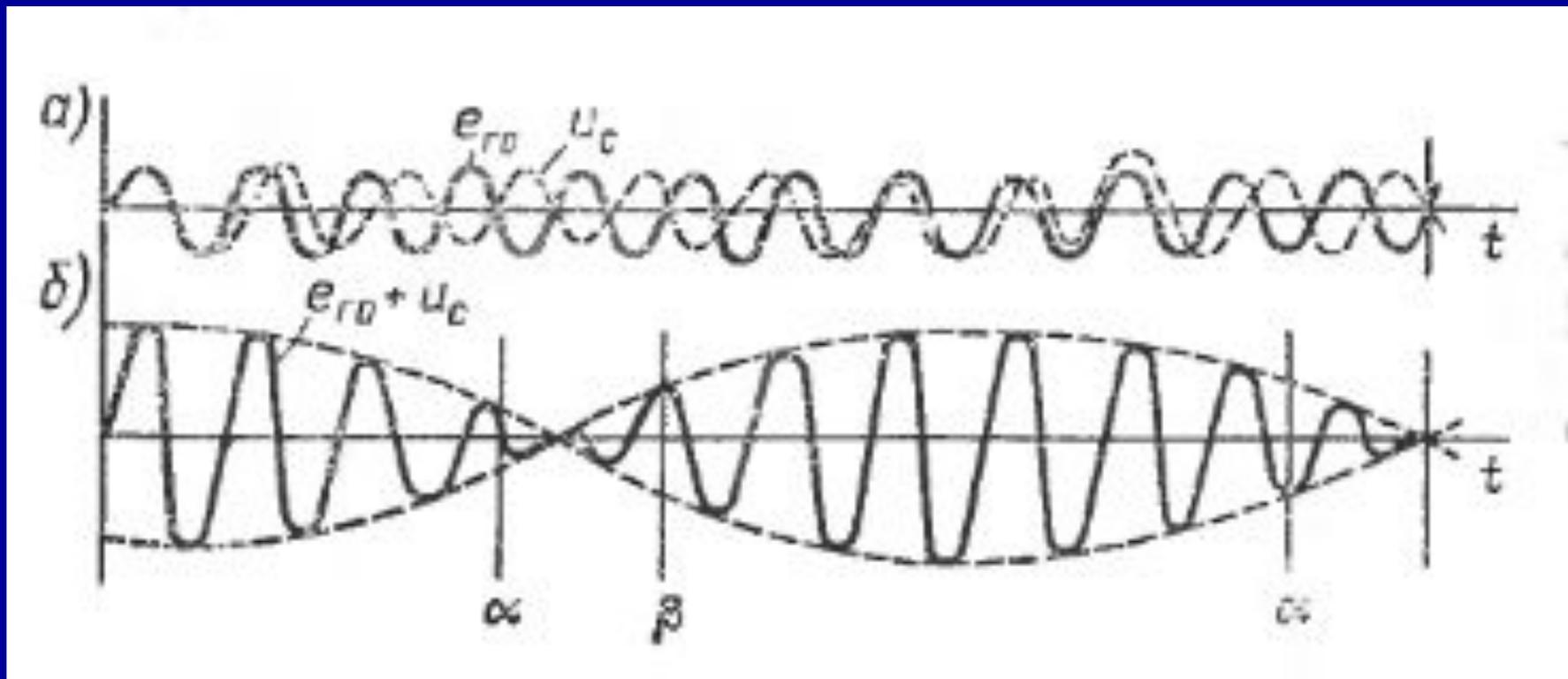


Рис. 47.2. Биение напряжений:

а — изменение напряжения сети и генератора;

б — кривая результирующего напряжения

На рис. 47.2, а показано изменение напряжения сети (кривая $u_c=f(t)$) и изменение э. д. с. генератора (кривая $u_r=f(t)$)

Сложив ординаты обеих кривых, получим кривую $u_c + u_r = f(t)$ (рис. 47.2,б) изменения напряжения на лампах. Промежуток времени от α до β соответствует потуханию ламп, а промежуток времени от β до α — горению ламп.

Регулируя частоту вращения подключаемого генератора, добиваются, чтобы промежуток времени от α до β был достаточно велик и включают генератор в середине темного промежутка.

Для включения на параллельную работу трехфазного генератора кроме указанных выше условий необходимо еще иметь соответствие порядков чередования фаз подключаемого генератора и сети.

Лампы будут одновременно гаснуть и загораться, если порядки чередования фаз сети и генератора совпадают. Подключение к сети осуществляется так же, как и однофазного генератора

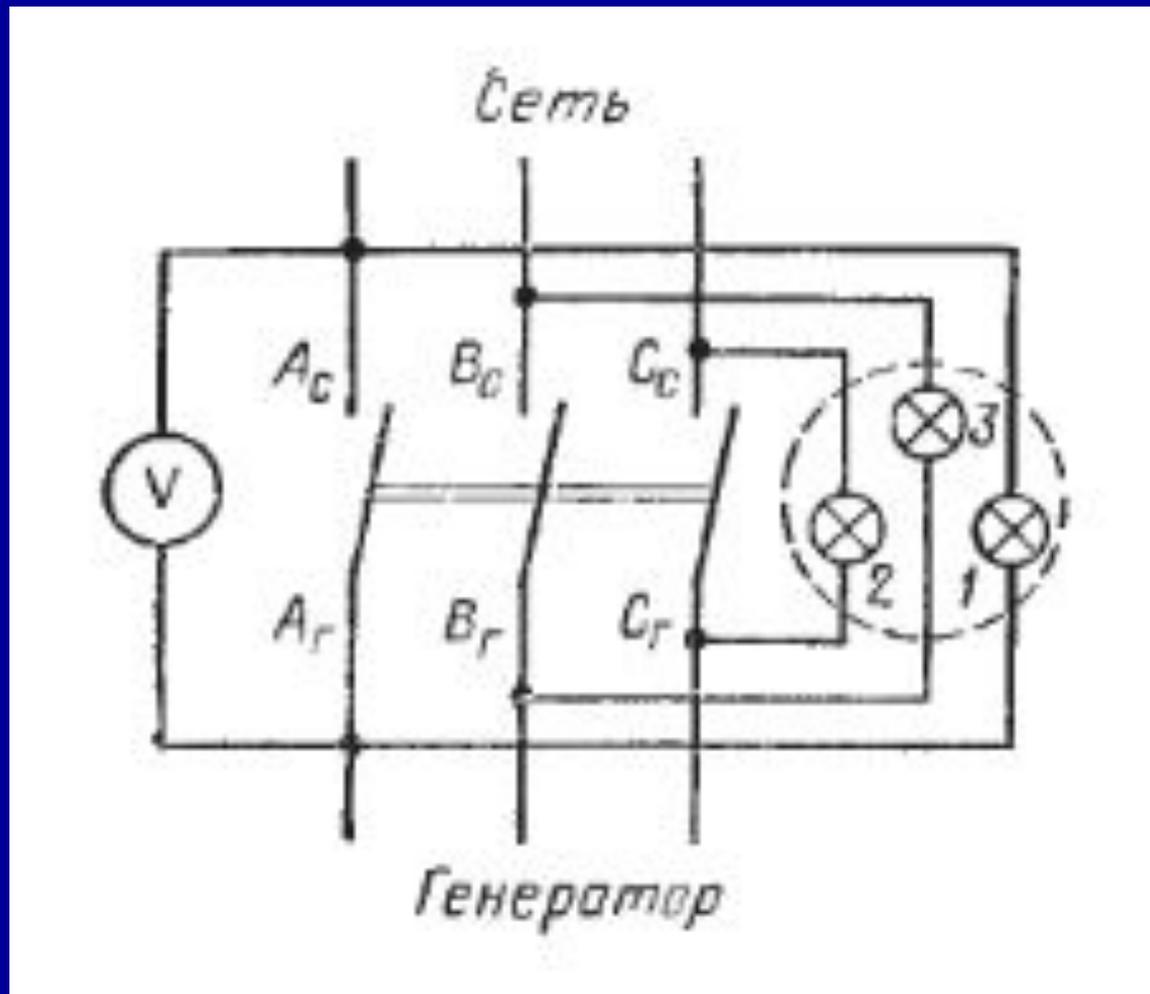


Рис.47.3. Схема включения трехфазного генератора в сеть при помощи ламп по способу потухания.

Таким образом для подключения синхронного генератора к сети методом точной синхронизации необходимо:

1. привести генератор во вращение с частотой, близкой к синхронной;
2. возбудить генератор и установить напряжение, близкое к напряжению сети;
3. проверить порядок следования фаз и собрать схему лампового синхрооскопа на потухание света;
4. регулируя частоту вращения и возбуждение подключаемого генератора, получить достаточно медленные загорания и потухания ламп.

После выполнения этих условий в нужный момент включают рубильник;

если при этом появляются значительные колебания напряжения, машину надо немедленно отключить и тщательно проверить правильность условий включения.

Несоблюдение условий, требуемых точной синхронизации включения, может привести к тяжелым последствиям.

Поэтому для осуществления точной синхронизации с помощью ручных устройств необходим высококвалифицированный персонал.

47.2.2. Способ самосинхронизации.

Сущность его заключается в том, что генератор, приведенный во вращение с частотой, близкой к синхронной, подключают к сети не возбужденным, и только после этого дают полное возбуждение и генератор сам втягивается в синхронизм под действием синхронизирующего момента.

Основные преимущества этого метода следующие:

- он прост и не требует дополнительной аппаратуры;
- время включения значительно меньше, чем при точной синхронизации;
- наибольший бросок тока меньше наибольшего броска тока при включении в неблагоприятный момент по методу точной синхронизации.

Для подключения синхронного генератора к сети методом самосинхронизации необходимо:

- привести генератор во вращение с частотой, близкой к синхронной;
- проверить правильность чередования фаз;
- определить положение реостатов и автоматических устройств, установленных в цепи возбуждения для регулирования напряжения, в которое они должны быть установлены сразу после подключения генератора к сети.
- после подключения обмотки статора к сети подключить цепь возбуждения и произвести ее настройку.

Занятие 48. Возбуждение синхронных генераторов.

48.1. Основные сведения

Синхронные генераторы выполняют с независимым возбуждением и с самовозбуждением.

При независимом или постороннем возбуждении для питания обмотки возбуждения генератора необходим источник энергии постоянного либо переменного тока с выпрямительным устройством.

Источник постоянного тока, непосредственно питающий обмотку возбуждения генератора, называется возбудителем.

Генераторы с собственным возбуждением, не требуют постороннего источника энергии для возбуждения магнитного потока.

Для этих машин используется остаточный магнетизм для самовозбуждения.

В качестве возбудителя используется либо генератор постоянного тока или полупроводниковые выпрямители.

Совокупность возбудителя, вспомогательных машин и регулирующих устройств составляет систему возбуждения.

48.2. Генераторы с независимым возбуждением

Системы независимого возбуждения нашли широкое применение. Основная их ценность состоит в том, что возбуждение синхронной машины не зависит от режима электрической сети, в которой работает машина.

В схеме независимого возбуждения обмотка возбуждения 2 синхронного генератора 1 питается от генератора постоянного тока 3.

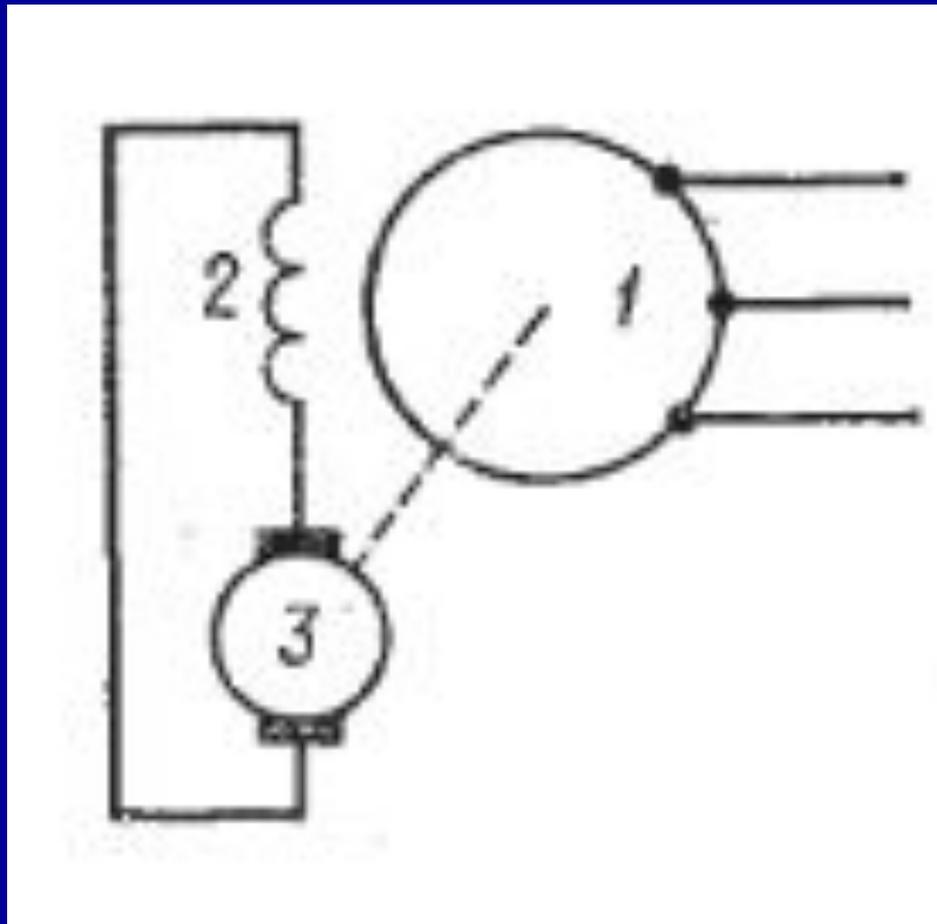


Рис.48.1. Схема независимого возбуждения с электромашинным возбудителем, представляющим собой генератор постоянного тока

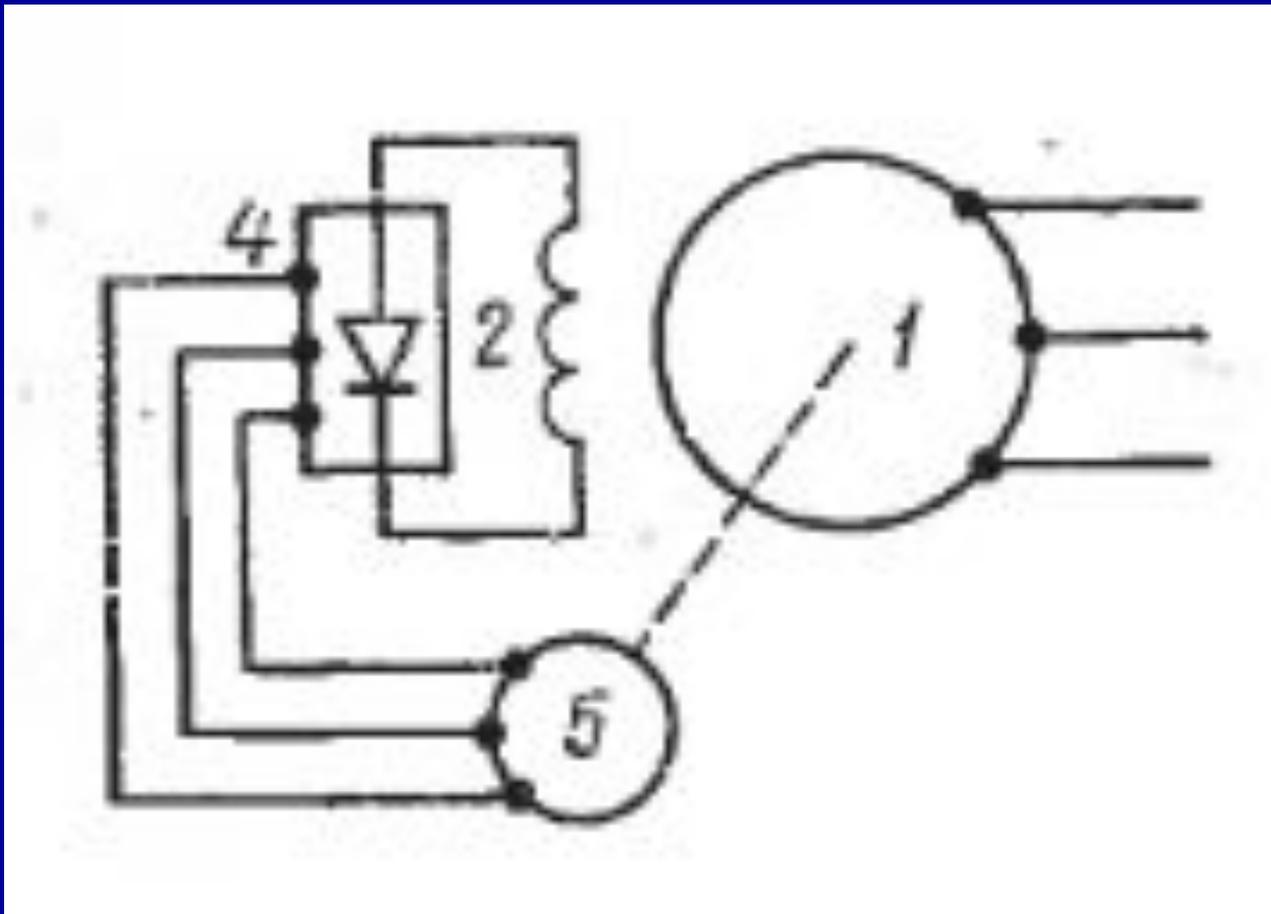


Рис. 48.2 Схема независимого возбуждения, в которой в качестве возбудителя полупроводниковый преобразователь .

На рис. 48.2 представлена принципиальная схема независимого возбуждения, в которой в качестве возбудителя используется ионный или полупроводниковый преобразователь 4, получающий питание от вспомогательного синхронного генератора 5, установленного на валу основного синхронного генератора 1.

В маломощных синхронных генераторах выпрямитель может питаться непосредственно от фазы основного синхронного генератора.

Занятие 49.

Защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и от попадания внутрь машины твердых тел и воды

49.1. Общие положения

Свойства электрических машин определяются не только их электромеханическими параметрами и формой характеристик. Прежде всего, электрическая машина должна быть безопасной в эксплуатации для обслуживающего персонала, удобной при монтаже, успешно противостоять воздействиям внешних факторов.

Перечисленные требования учитываются конструктивными формами исполнения электрических машин, которые определяются степенью защиты, способами охлаждения и монтажа, климатическими условиями и местом эксплуатации.

Степень защиты электрических машин обозначается двумя буквами *IP* - и двумя цифрами.

Первая цифра обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и от попадания внутрь машины твердых тел.

Вторая цифра обозначает степень защиты от попадания внутрь машины воды.

49.2. Степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и от попадания внутрь машины твердых тел.

Для машин напряжением до 1000 В установлено шесть степеней защиты, обозначаемых следующим образом:

- 0 — защита отсутствует;
- 1 — защита от случайного соприкосновения большого участка человеческого тела с токоведущими и вращающимися частями; отсутствует защита от преднамеренного соприкосновения; имеется защита от попадания внутрь твердых тел диаметром не менее 52,5 мм;

- 2 — защита от соприкосновения пальцев человека с токоведущими и вращающимися частями и защита от попадания внутрь машины твердых тел диаметром не менее 12,5 мм;
- 3 — защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями инструмента, проволоки и других предметов, толщина которых превышает 2,5 мм; защита от попадания внутрь машины твердых тел диаметром не менее 2,5 мм;
- 4 — защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями предметов толщиной более 1 мм и защита от попадания внутрь машины твердых тел толщиной не менее 1 мм;
- 5 — полная защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и полная защита от вредных отложений пыли внутри машины.

49.3. Степень защиты от попадания внутрь машины воды.

Существует девять степеней защиты от проникания воды внутрь машины:

0 — защита отсутствует;

1 — защита от капель сконденсировавшейся воды, падающих вертикально;

2 — защита от капель воды, падающих под углом не более 15° к вертикали.

3 — защита от дождя, падающего под углом не более 60° к вертикали;

4 — защита от брызг воды любого направления;

- 5 — защита от водяных струй в любом направлении;
- 6 — защита от воздействий, характерных для палубы корабля, включая захлестывание морской волной;
- 7 — защита при погружении в воду в течение времени и давления, указанных в стандарте;
- 8 — защита при погружении в воду на неограниченное время при давлении указанном в стандарте.

| Степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и от попадания посторонних тел внутрь машины | Степени защиты от проникновения воды внутрь машины | | | | | | | | |
|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | IP00 | IP01 | — | — | — | — | — | — | — |
| 1 | IP10 | IP11 | IP12 | IP13 | — | — | — | — | — |
| 2 | IP20 | IP21 | IP22 | IP23 | — | — | — | — | — |
| 3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | — | — | — | IP43 | IP44 | — | — | — | — |
| 5 | — | — | — | — | IP54 | IP55 | IP56 | IP57 | IP58 |

Занятие 50. Конструктивные формы исполнения по высоте оси вращения вала машины

Конструктивные формы исполнения по степени защиты увязаны со способами охлаждения (табл. 50.1).

За высоту оси вращения машины принимается расстояние от оси вращения вала до опорной плоскости лап (рис. 50.1.).

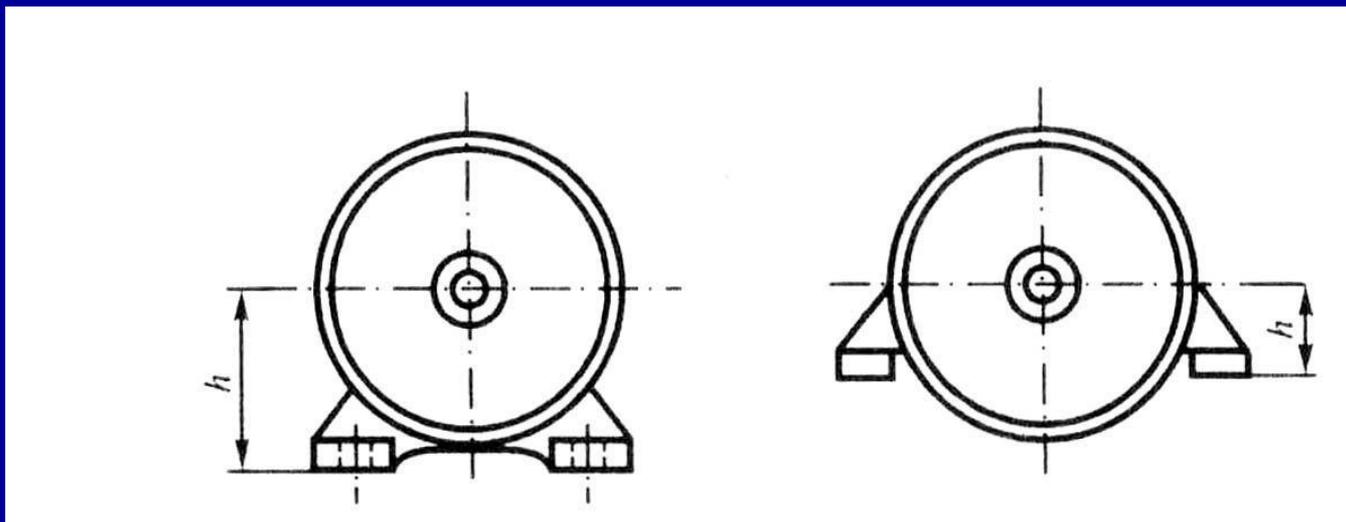


Рис. 50.1.. Высота оси вращения электрической машины

| Электрическая машина | Степень защиты | Высота оси вращения, мм |
|----------------------|----------------|-------------------------|
| Асинхронный | IP23 | 160—560 |
| | IP44 | 50—355 |
| | IP44 | 400—630 |
| Постоянного тока | IP22 | 80—315 |
| | IP22 | 355—560 |
| | IP44 | 80—200 |
| | IP44 | 132—200 |
| | IP44 | 225—500 |

Занятие 51.

Разновидности конструктивного исполнения машин по способу монтажа

Монтаж электрических машин в местах их установки осуществляется обычно на лапах или посредством фланцев. При этом возможно горизонтальное или вертикальное расположение оси вала машины.

Разновидности конструктивного исполнения машин по способу монтажа определены стандартом. При этом имеется в виду крепление двигателя на месте его установки и способ сочленения с рабочим механизмом.

Условное обозначение этого исполнения состоит из букв *IM* и четырех цифр.

Первая цифра — конструктивное исполнение:

- 1 — на лапах с подшипниковыми щитами;
- 2 — на лапах с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном или двух щитах;
- 3 — без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном или двух щитах;
- 4 — без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на станине;
- 5 — без подшипниковых щитов;

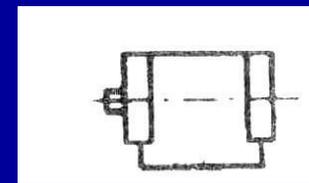
- 6 — на лапах с подшипниковыми щитами с со стояковыми подшипниками;
- 7 — на лапах со стояковыми подшипниками (беч подшипниковых щитов);
- 8 — с вертикальным валом, кроме позиций 1, 2, 3 и 4 данного перечня;
- 9 — специальное исполнение по способу монтажа.

Вторая и третья цифры — способы монтажа (пространственное положение машины и направление выступающего конца вала).

Четвертая цифра — исполнение конца вала (цилиндрический или конический, один или два выступающих конца вала).

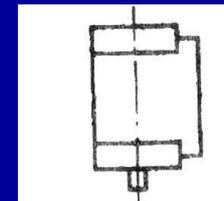
IM1001

С двумя подшипниковыми щитами на лапах, вал горизонтальный с цилиндрическим концом



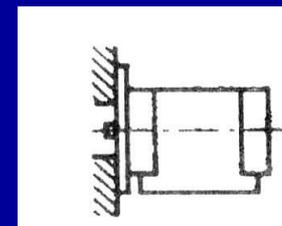
IM1011

С двумя подшипниковыми щитами на лапах, вал вертикальный с цилиндрическим концом, направленным вниз



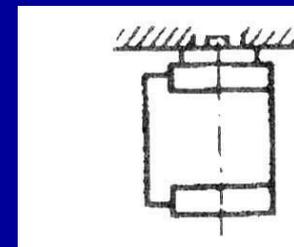
IM2001

С двумя подшипниковыми щитами, на лапах, с фланцем на одном щите, доступным с обратной стороны, вал горизонтальный с цилиндрическим концом



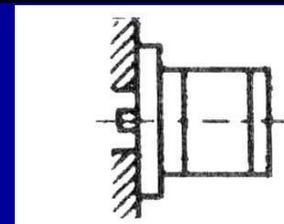
IM2131

С двумя подшипниковыми щитами, на лапах, с фланцем на одном щите, не доступным с обратной стороны, вал вертикальный с цилиндрическим концом, направленным вверх



IM3001

Без лап, с двумя подшипниковыми щитами, с фланцем на одном щите, доступным с обратной стороны, вал горизонтальный с цилиндрическим концом



Занятие 52.

Климатическое исполнение двигателей

- На надежность эксплуатации электрических машин значительное влияние оказывают климатические условия внешней среды, к которым относятся: температура и диапазон ее колебаний, относительная влажность, атмосферное давление, солнечная радиация, дождь, ветер, пыль, соляной туман, иней, действие плесневых грибов, содержание в окружающей среде коррозионно-активных материалов.

Климатическое исполнение двигателей обозначается буквами:

двигатели, предназначенные для эксплуатации на суше,
реках, озерах в макроклиматических районах:

- с умеренным климатом.....У
- с холодным климатом.ХЛ
- с влажным тропическим климатом.ТВ
- с сухим тропическим климатомТС
- как с сухим, так и с влажным тропическим климатом..Т
- для всех микроклиматических районов на суше
(общеклиматическое исполнение).....О
- для всех микроклиматических районов на суше и на
море.....В

Занятие 53. Исполнение электрических машин в зависимости от места размещения их при эксплуатации

Стандартом также устанавливается
исполнение электрических машин в
зависимости от места размещения их
при эксплуатации;

Место размещения обозначается цифрой:

- 1 — на открытом воздухе;
- 2 — на открытом воздухе или в помещениях, где колебания температуры и влажности не отличаются от параметров на открытом воздухе
- 3 — в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий;
- 4 — в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями;
- 5 — в помещениях с повышенной влажностью.

Пример обозначения типоразмера электрической машины:

4А112М4УЗ — трехфазный асинхронный двигатель серии **4А** (основное исполнение), степень защиты IP44, высота оси вращения **112 мм**, условная длина статора **М**, число полюсов **4** (синхронная частота вращения 1500 об/мин), климатические условия (**У**) — умеренный климат, место размещения при эксплуатации (**З**) — в закрытом помещении с естественной вентиляцией.

Для особых условий эксплуатации разработаны специальные серии двигателей.

Взрывозащищенные двигатели предназначены для работы во взрывоопасных и пожароопасных средах. Эти двигатели имеют особо прочную оболочку, исключающую возможность воспламенения окружающей двигатель пожароопасной и взрывоопасной среды при возникновении возгорания или взрыва внутри двигателя вследствие его эксплуатации. Такие двигатели применяются на предприятиях химической промышленности, газо - и нефтеразработках и т.п.

Погружные двигатели имеют непроницаемую оболочку и предназначены для работы в условиях их погружения в жидкость.

Такие двигатели предназначены для работы в скважинах, заполненных водой, в шахтных забоях и т.п.

Занятие 54. Серии трехфазных асинхронных двигателей

54.1. Серия трехфазных асинхронных двигателей 4А

Охватывает диапазон мощностей от 0,06 до 400 кВт.

В основу разделения двигателей на типоразмеры положен конструктивный параметр - высота оси вращения h

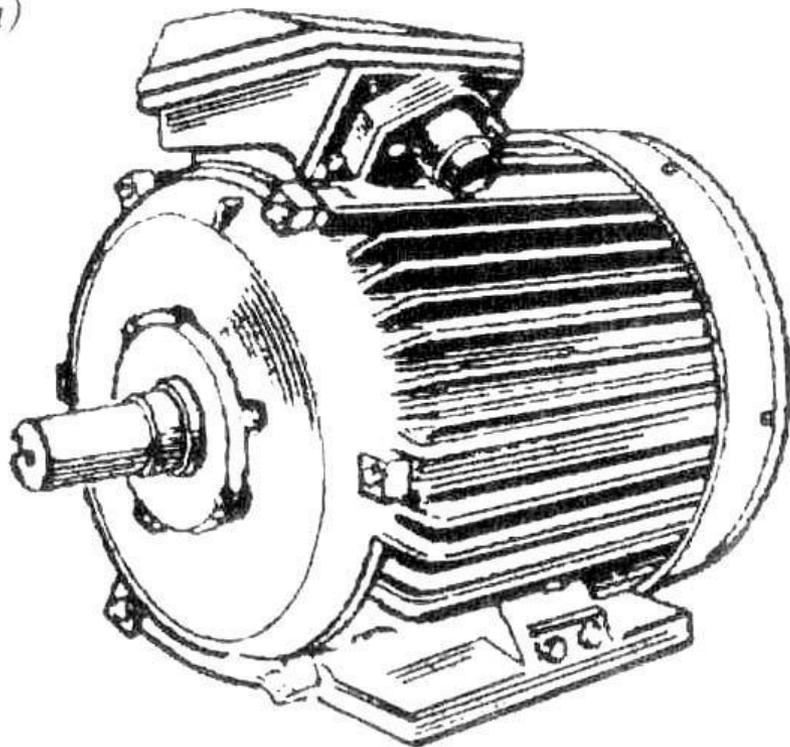
Двигатели серии 4А изготавливаются с высотой оси вращения 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315 и 355 мм.

Двигатели каждой высоты оси вращения выполняются двух типоразмеров с разной длиной пакетов сердечников, но одинаковым штампом их пластин. Двигатели изготавливаются на синхронные частоты вращения 3000, 1500, 1000, 750, 600 и 500 об/мин.

Двигатели серии 4А изготавливаются в двух исполнениях: закрытое обдуваемое (рис. 54.1. а) и защищенное с внутренней самовентиляцией (рис. 54.1, б).

Двигатели закрытого исполнения всего диапазона осей вращения изготавливаются с короткозамкнутым ротором, а осей вращения 200, 225 и 250 мм — еще и с фазным ротором (4АК). Асинхронные двигатели серии 4А предназначены для самого широкого применения во всех отраслях хозяйства, а поэтому они помимо основного исполнения, имеют несколько модификаций и специализированных исполнений.

a)



б)

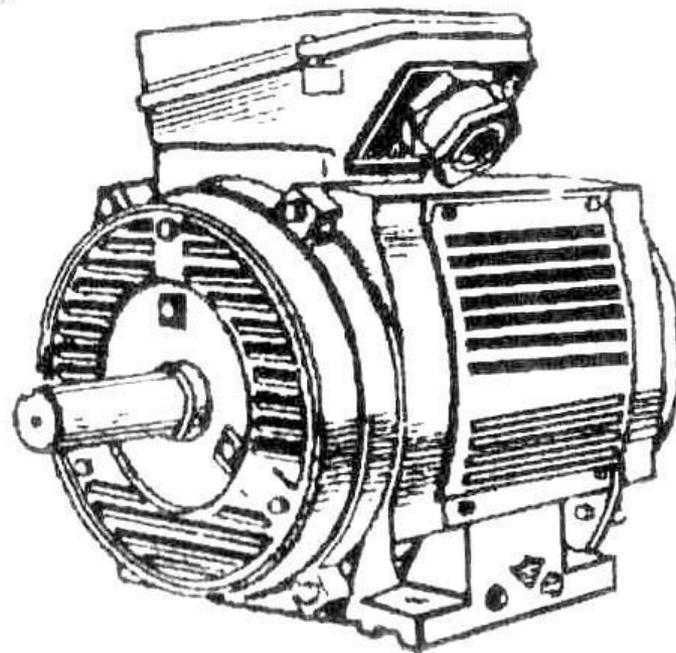


Рис. 54.1. Асинхронные двигатели серии 4А:
а — закрытого обдуваемого исполнения, б — защищенного исполнения

54.2 Серия трехфазных асинхронных двигателей АИ.

Двигатели этой серии имеют общепромышленное назначение. Они изготавливаются с высотами осей вращения от 45 до 355 мм мощностью от 0,025 до 315 кВт на напряжение 220/380 и 380/660 В, частотой 50 Гц.

По степени защиты двигатели этой серии имеют исполнения: закрытое обдуваемое для всех высот оси вращения или защищенное с внутренней самовентиляцией для высот оси вращения от 160 до 355 мм.

В отличие от серии 4А в двигателях серии АИ более широко использованы высокопрочные алюминиевые сплавы и пластмассы и применена более совершенная система вентиляции, обеспечивающая снижение температуры нагрева двигателей

В двигателях серии АИ применены подшипники с улучшенными виброакустическими характеристиками.

Улучшение вентиляционного и подшипниковых узлов обеспечило двигателям серии АИ снижение уровня шума и повышение надежности.