

Назначение и принцип действия

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

---

# ПРЕИМУЩЕСТВА

---

- электрические машины постоянного тока в настоящее время широко применяются в качестве двигателей и, в меньшей степени, в качестве генераторов.
- Электродвигатели постоянного тока имеют хорошие регулировочные свойства, значительную перегрузочную способность и позволяют получать жесткие и мягкие механические характеристики.

# ХАРАКТЕРИСТИКИ

---

- плавное регулирование частоты вращения ротора простыми способами;
- большой пусковой моментами при относительно малых пусковых токах.

# НАЗНАЧЕНИЕ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

- ▣ машины широко используют для привода различных механизмов в черной металлургии (прокатные станы, роликовые транспортеры), на транспорте (электровозы, тепловозы, электропоезда, электромобили), в грузоподъемных и землеройных устройствах (краны, шахтные подъемники, экскаваторы), на морских и речных судах, в металлообрабатывающей, бумажной, текстильной, полиграфической промышленности и др.
- ▣ Двигатели небольшой мощности применяют во многих системах автоматики в качестве исполнительных звеньев, а специальные генераторы используются как усилители электрических сигналов и как датчики частоты вращения.
- ▣ Генераторы постоянного тока ранее широко использовались для питания электродвигателей постоянного тока в стационарных и передвижных установках, а также как источники электрической энергии для заряда аккумуляторных батарей, питания электролизных и гальванических ванн, для электроснабжения различных электрических потребителей на автомобилях, самолетах, пассажирских вагонах, электровозах, тепловозах и др.

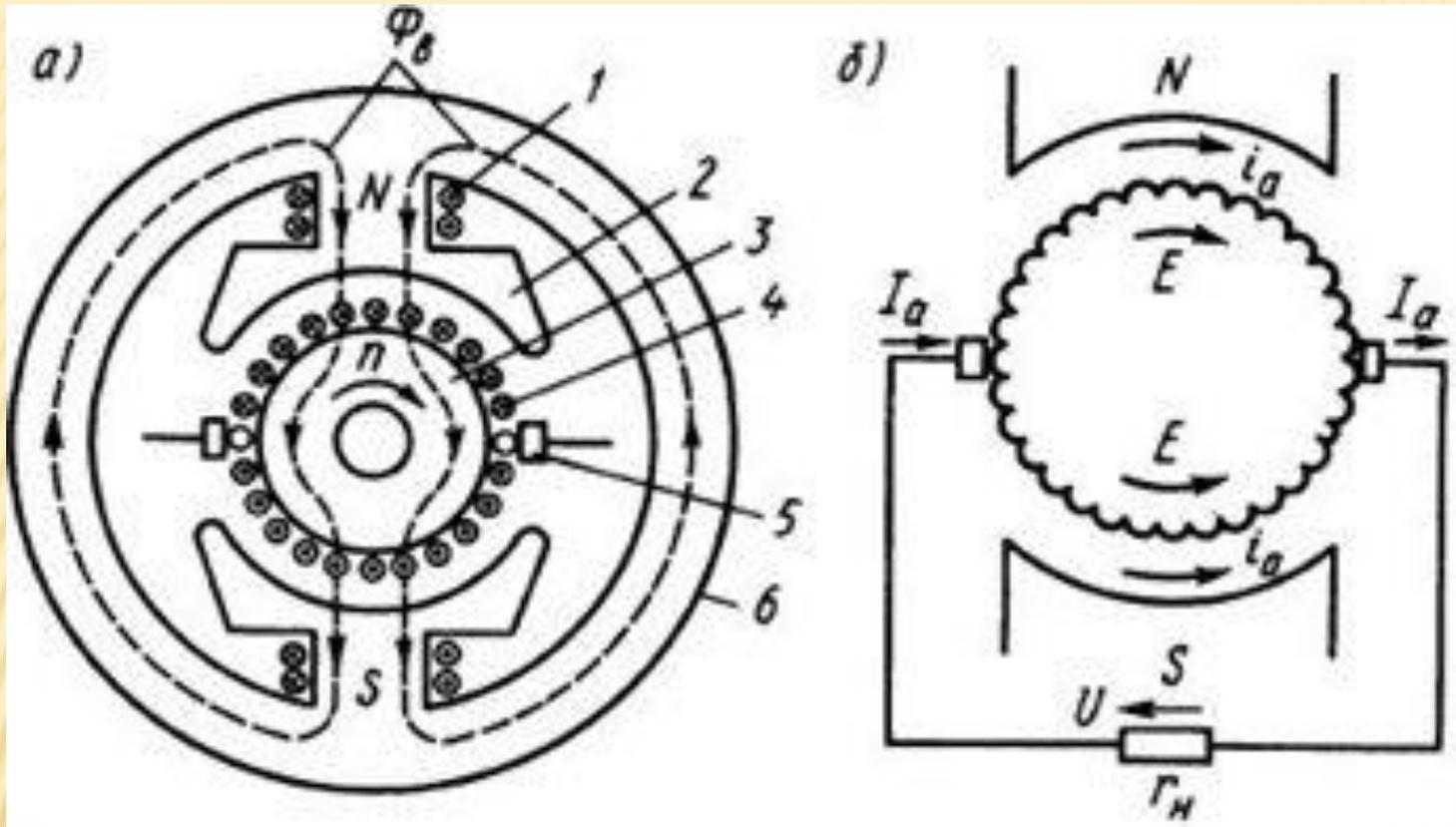


Рисунок 1. Электромагнитная схема двухполюсной машины постоянного тока (а) и эквивалентная схема ее обмотки якоря (б): 1 — обмотка возбуждения; 2 — главные полюсы; 3 — якорь; 4 — обмотка якоря; 5- щетки; 6 — корпус (станина)

## НЕДОСТАТОК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

наличие щеточноколлекторного аппарата, который требует тщательного ухода в эксплуатации и снижает надежность работы машины.

Машина имеет два полюса (1). Вращающаяся часть машины состоит из укрепленных на валу цилиндрического якоря (2) и коллектора (3). Якорь состоит из сердечника, набранного из листов электротехнической стали, и обмотки, укрепленной на сердечнике якоря. Обмотка в простейшей машине имеет один виток. Концы витка соединены с изолированными от вала медными пластинами коллектора, число которых в рассматриваемом случае равно двум. На коллектор налегают две неподвижные щетки (4), с помощью которых обмотка якоря соединяется с внешней цепью.

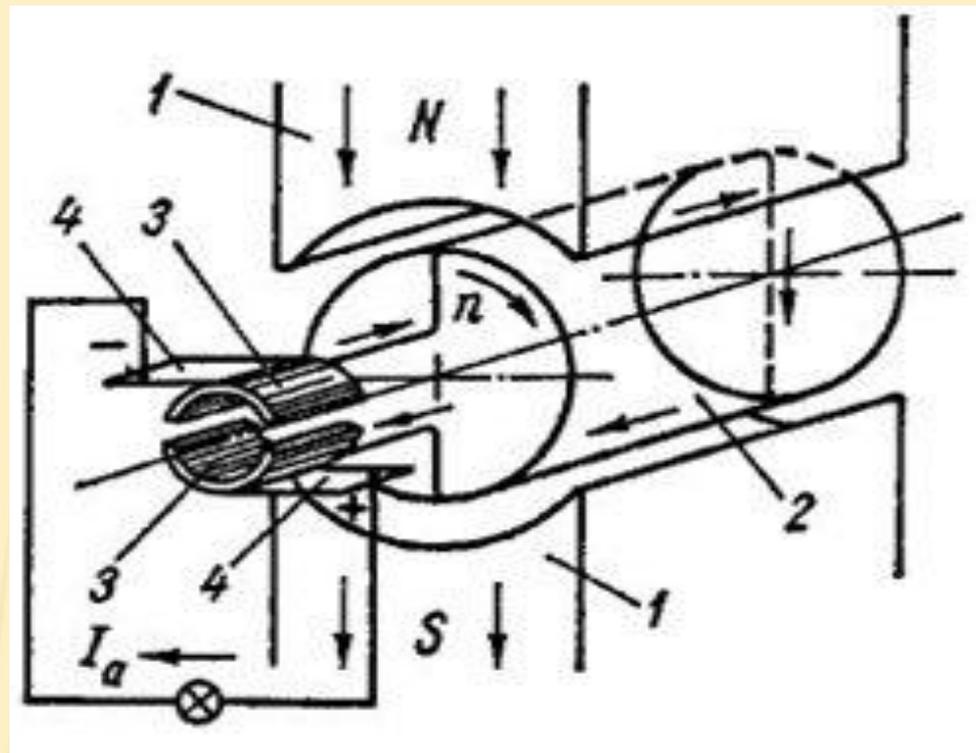


Рисунок 2.Простейшая машина постоянного тока

Основной магнитный поток в нормальных машинах постоянного тока создается обмоткой возбуждения, которая расположена на сердечниках полюсов и питается постоянным током. Магнитный поток проходит от северного полюса  $N$  через якорь к южному полюсу  $S$  и от него через ярмо снова к северному полюсу. Сердечники полюсов и ярмо также изготавливаются из ферромагнитных материалов. В данном случае основной магнитный поток создается постоянными магнитами, но в большинстве случаев используются электромагниты.

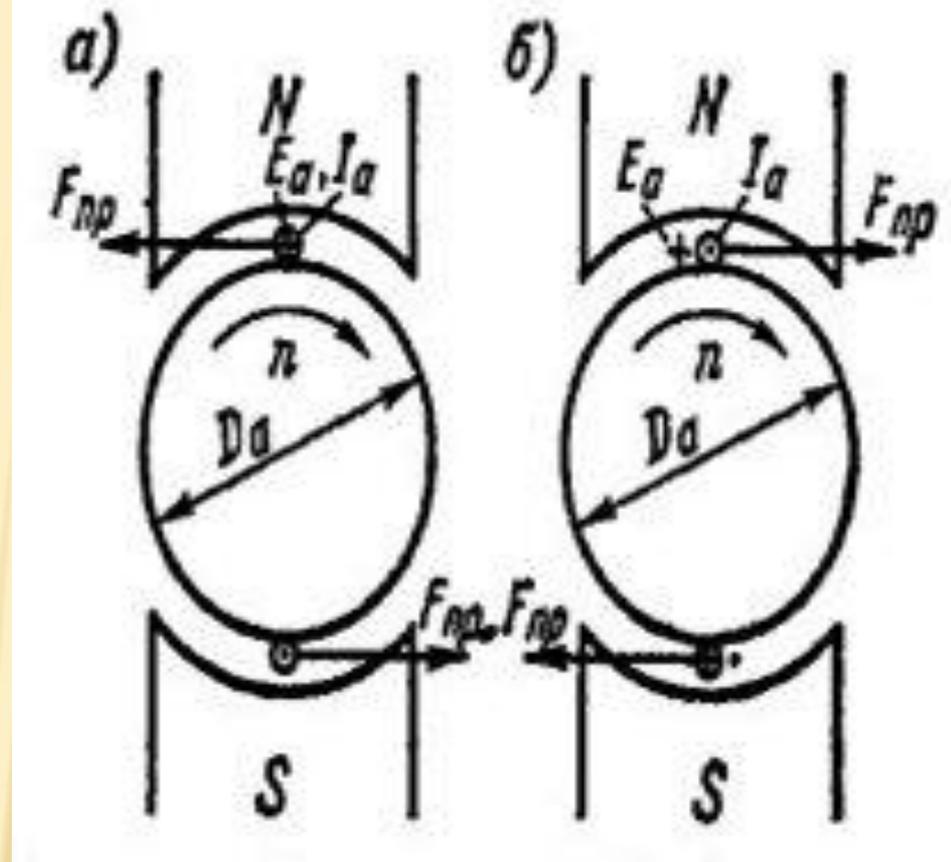


Рисунок 3. Работа простейшей машины тока в режиме генератора (а) и в режиме двигателя (б).

# РАБОТА В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАТОРА

- Предположим, что якорь машины приводится во вращение по часовой стрелке. Тогда в проводниках обмотки якоря индуцируется ЭДС, направление которой может быть определено по правилу правой руки. Поскольку поток полюсов предполагается неизменным, то эта ЭДС индуцируется только вследствие вращения якоря и называется ЭДС вращения. Величина индуцируемой в проводнике обмотки якоря ЭДС
- $e_{\text{пр}} = Blv$ ,
- где  $B$  – величина магнитной индукции в воздушном зазоре между полюсом и якорем в месте расположения проводника;  $l$  – активная длина проводника, т.е. та длина, на протяжении которой он расположен в магнитном поле;  $v$  – линейная скорость движения проводника.

В обоих проводниках вследствие симметрии индуктируются одинаковые ЭДС, которые по контуру витка складываются, и поэтому полная ЭДС якоря рассматриваемой машины  $E_a = 2e_{\text{пр}} = 2Blv$ .

Эта ЭДС является переменной, так как проводники обмотки якоря проходят попеременно под северным и южным полюсами, в результате чего направление ЭДС в проводниках меняется. По форме кривая ЭДС проводника в зависимости от времени  $t$  повторяет кривую распределения индукции  $B$  вдоль воздушного зазора. Частота ЭДС  $f$  в двухполюсной машине равна скорости вращения якоря  $n$ , выраженной в оборотах в секунду:  $f=n$ , а в общем случае, когда машина имеет  $p$  пар полюсов с чередующейся полярностью,  $f=pn$ .

Если обмотка якоря с помощью щеток замкнута через внешнюю цепь, то в этой цепи, а так же в обмотке якоря возникает ток  $I_a$ . В обмотке якоря этот ток будет переменным, и кривая его по форме аналогична кривой ЭДС. Однако во внешней цепи направление тока будет постоянным, что объясняется действием коллектора.

При повороте якоря и коллектора на  $90^0$  и изменении направления ЭДС в проводниках одновременно происходит также смена коллекторных пластин под щетками. Вследствие этого под верхней щеткой всегда будет находиться пластина, соединенная с проводником, расположенным под северным полюсом, а под нижней щеткой – пластина, соединенная с проводником, расположенным под южным полюсом.

В результате этого полярность щеток и направление тока во внешней цепи остаются неизменными. В генераторе коллектор является механическим выпрямителем, который преобразовывает переменный ток обмотки якоря в постоянный ток во внешней цепи.

# РЕЖИМ ДВИГАТЕЛЯ

---

Простейшая машина может работать также двигателем, если к обмотке ее якоря подвести постоянный ток от внешнего источника. При этом на проводники обмотки якоря будут действовать электромагнитные силы  $F_{\text{пр}}$  и возникнет электромагнитный момент  $M_{\text{эм}}$ . Величины  $F_{\text{пр}}$  и  $M_{\text{эм}}$ , как и для генератора. При достаточной величине  $M_{\text{эм}}$  якорь машины придет во вращение и будет развивать механическую мощность. Момент  $M_{\text{эм}}$  при этом является движущим и действует в направлении вращения.

Если полярность полюсов направления вращения генератора и двигателя были одинаковы, то направление действия  $M_{\text{эм}}$ , а следовательно и направление тока  $I_a$  у двигателя должны быть обратными по сравнению с генератором.

В режиме двигателя коллектор превращает потребляемый из внешней цепи постоянный ток в обмотке якоря и работает, таким образом, в качестве механического инвертора тока.

Проводники обмотки якоря двигателя также вращаются в магнитном поле, и поэтому в обмотке якоря двигателя тоже индуцируется ЭДС  $E_a$ , величина которой определяется равенством . Направление ЭДС в двигателе такое же, как и в генераторе. Таким образом, в двигателе ЭДС якоря  $E_a$  направлена против тока  $I_a$  и приложенного к зажимам якоря напряжения  $U_a$ . Поэтому ЭДС якоря двигателя называется также *противоэлектродвижущей силой*.

Приложенное к якорю двигателя напряжение уравнивается ЭДС  $E_a$  и падением напряжения в обмотке якоря:

$$U_a = E_a + I_a r_a.$$

Из сравнения равенств видно, что в генераторе  $U_a < E_a$ , а в двигателе  $U_a > E_a$ .

# УСТРОЙСТВО МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

---

- Сердечники полюсов набираются из листов, выштампованных из электротехнической стали, а иногда из листов конструкционной стали. Так как магнитный поток полюсов в стационарных режимах не изменяется, то листы друг от друга обычно не изолируются. Расположенная на полюсе обмотка часто разбивается на 2-4 катушки для лучшего ее охлаждения.

Число главных полюсов всегда четное, причем северные и южные полюсы чередуются, что достигается соответствующим соединением катушек возбуждения отдельных полюсов. Катушки всех полюсов соединяются обычно последовательно.

Для улучшения токосъема с коллектора в машинах мощностью более  $0,5$  квт между главными полюсами устанавливаются также дополнительные полюсы, которые меньше главных по своим размерам. Сердечники дополнительных полюсов обычно изготавливаются из конструкционной стали.

Как главные, так и дополнительные полюсы крепятся к ярму с помощью болтов. Ярмо в современных машинах обычно выполняется из стали (из стальных труб в машинах малой мощности, из стального листового проката, а так же из стального литья).

В машинах постоянного тока массивное ярмо является одновременно также станиной, т.е. той частью, к которой крепятся другие неподвижные части машины и с помощью которой машина обычно крепится к фундаменту или другому основанию.

Сердечник якоря набирается из штампованных дисков электротехнической стали. Диски насаживаются либо непосредственно на вал, либо набираются на якорную втулку, которая надевается на вал.

Сердечники якоря диаметром 100 см и выше состояются из штампованных сегментов электротехнической стали. Сегменты набираются на корпус якоря, который изготавливается обычно из листового стального проката и с помощью втулки соединяется с валом. В пазы на внешней поверхности якоря укладываются катушки обмотки якоря. Выступающие с каждой стороны из сердечника якоря лобовые части обмотки 3 имеют вид цилиндрического кольца и своими внутренними поверхностями опираются на обмоткодержатели 5, а по внешней поверхности крепятся проволочными бандажами 7. Обмотка соединяется с коллектором 4.

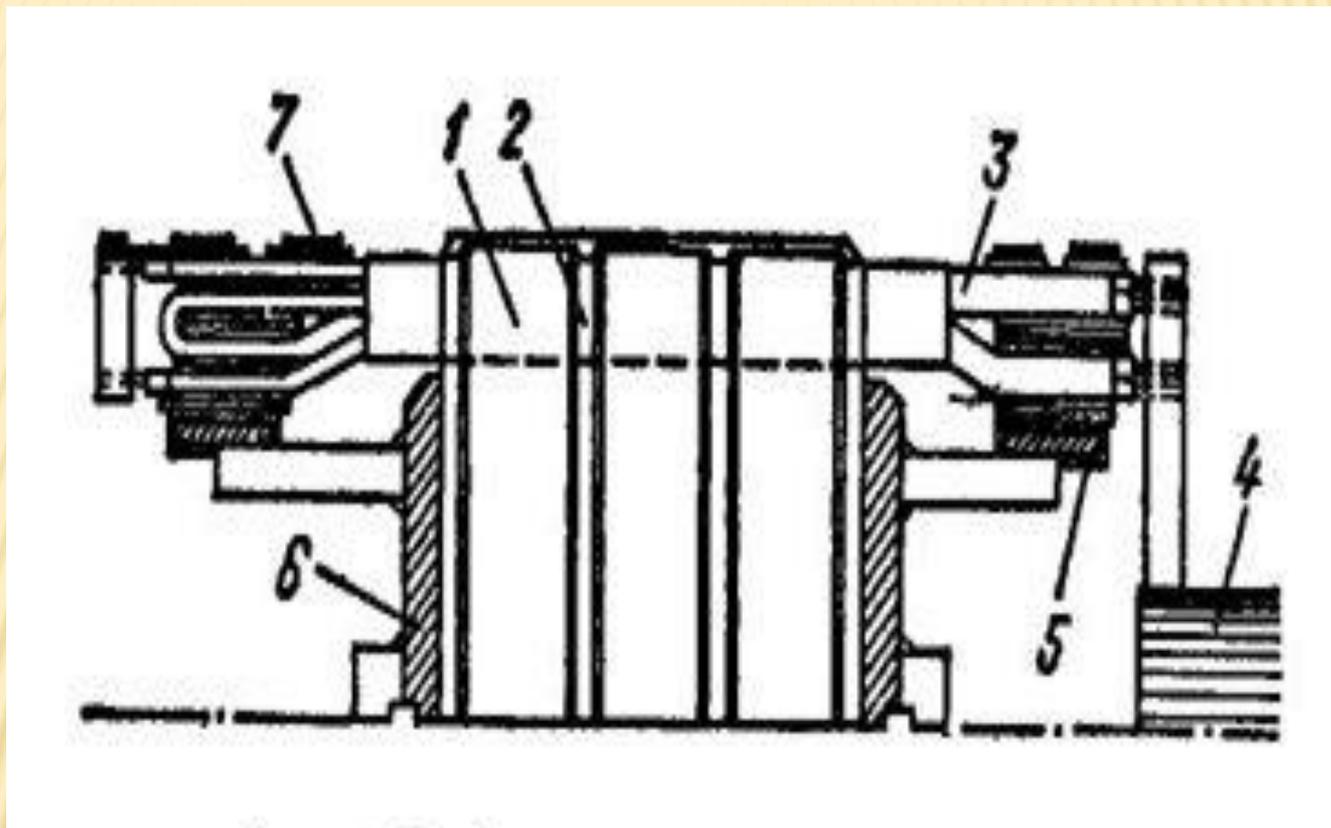


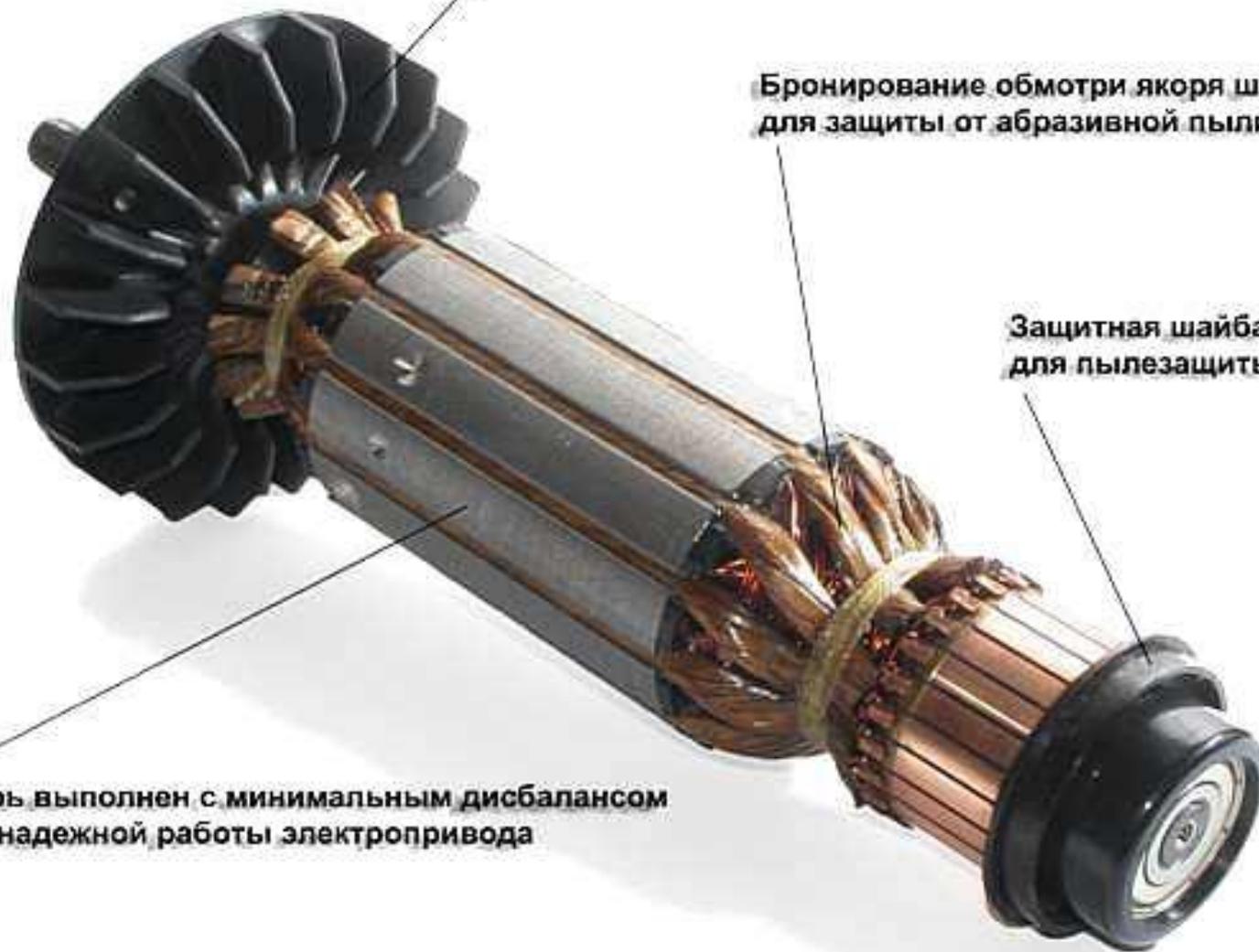
Рисунок 4. Сердечник якоря с обмоткой.

**Вентилятор эффективно охлаждает  
для продолжительной работы**

**Бронирование обмотки якоря шнурами  
для защиты от абразивной пыли**

**Защитная шайба  
для пылезащиты подшипника**

**Якорь выполнен с минимальным дисбалансом  
для надежной работы электропривода**



## ТРЕБОВАНИЯ ЯКОРЯ:

---

- обмотка должна быть рассчитана на заданные величины напряжения и тока нагрузки, соответствующие номинальной мощности;
- обмотка должна иметь необходимую электрическую, механическую и термическую прочность;
- конструкция обмотки должна обеспечить удовлетворительные условия токосъема с коллектора, без вредного искрения;
- расход материала при заданных эксплуатационных показателях должен быть минимальным;
- технология изготовления обмотки должна быть по возможности простой.

В современных машинах постоянного тока якорная обмотка укладывается в пазах на внешней поверхности якоря. Такие обмотки называются *барабанными*. Обмотки якорей подразделяют на *петлевые* и *волновые*. Существуют также обмотки, которые представляют собой сочетание этих двух обмоток.

Коллектор состоит из медных пластин изолированных друг от друга миканитовыми прокладками. Пластины имеют трапецеидальное сечение и вместе с прокладками составляют кольцо. Коллектор крепится на валу с помощью шпонки. К каждой пластине коллектора присоединяются соединительные проводники от обмотки якоря.

Для отвода тока от вращающегося коллектора и подвода к нему тока применяется щеточный аппарат, который состоит из щеток, щеткодержателей, щеточных пальцев, щеточной траверсы и токособирающих шин.

Коллектор и щеточный аппарат являются весьма ответственными узлами машины, от конструкции и качества изготовления которых в большей степени зависит бесперебойная работа машины и надежность электрического контакта между коллектором и щетками.

На корпусе машины имеется коробка с зажимами, куда выведены концы обмотки якоря и обмотки возбуждения. Обычно на корпусе присутствует паспортный щиток, на котором указаны номинальные параметры машины (отдаваемая электрическая мощность генератора или механическая мощность двигателя, напряжение, ток, частота вращения, способ возбуждения, коэффициент полезного действия, масса, номер машины, данные производителя).

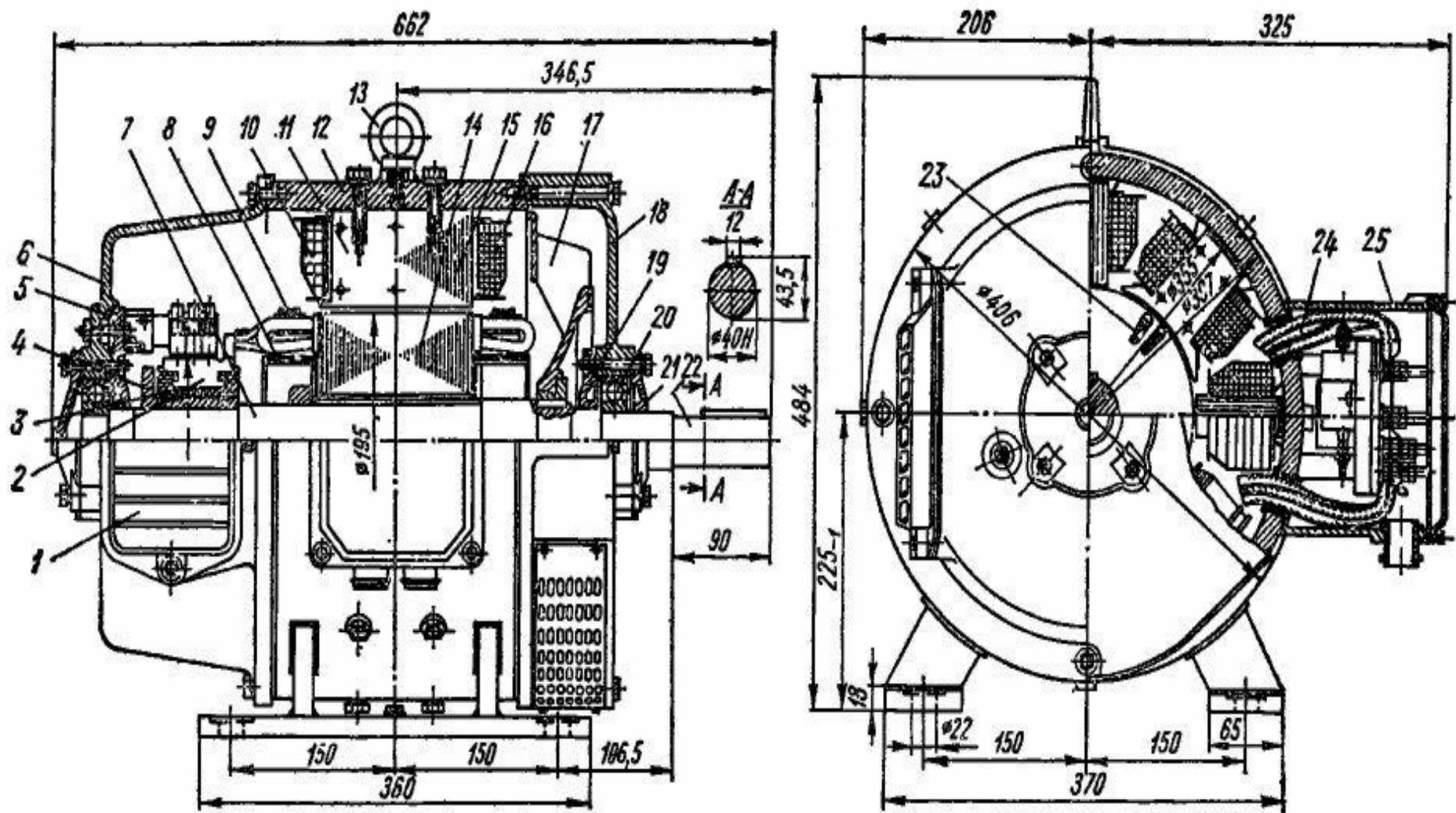


Рис.5-9 . Общий вид электродвигателя постоянного тока 14 квт, 220 в, 1500 об/мин

1 — люковая крышка; 2 — коллекторная пластина; 3 — крепление коллектора пластмассой; 4 — кольцо для размещения балансировочных грузов; 5 — траверса; 6 — передний подшипниковый щит; 7 — вал; 8 — обмоткодержатель; 9 — баидаж лобовых частей обмотки якоря; 10 — катушка добавочного полюса; 11 — сердечник добавочного полюса; 12 — станина; 13 — рым; 14 — сердечник якоря; 15 — сердечник главного полюса; 16 — катушка главного полюса; 17 — вентилятор; 18 — задний подшипниковый щит; 19 — задняя крышка подшипника; 20 — шариковый подшипник; 21 — передняя крышка подшипника; 22 — свободный конец вала; 23 — паз якоря; 24 — соединительные провода (выводы) от обмоток к доске выводов; 25 — коробка выводов

# РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАТОРА

Любая электрическая машина обладает свойством обратимости, т.е. может работать в режиме генератора или двигателя. Если к зажимам приведенного во вращение якоря генератора присоединить сопротивление нагрузки, то под действием ЭДС якорной обмотки в цепи возникает ток

$$E = U + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$$

где  $U$  - напряжение на зажимах генератора;

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

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

называется основным уравнением генератора

С появлением тока в проводниках обмотки возникнут электромагнитные силы. На рис.7 схематично изображен генератор постоянного тока, показаны направления токов в проводниках якорной обмотки.

Воспользовавшись правилом левой руки, видим, что электромагнитные силы создают электромагнитный момент  $M_{эм}$ , препятствующий вращению якоря генератора. Чтобы машина работала в качестве генератора, необходимо первичным двигателем вращать ее якорь, преодолевая тормозной электромагнитный момент, возникающий по правилу Ленца.

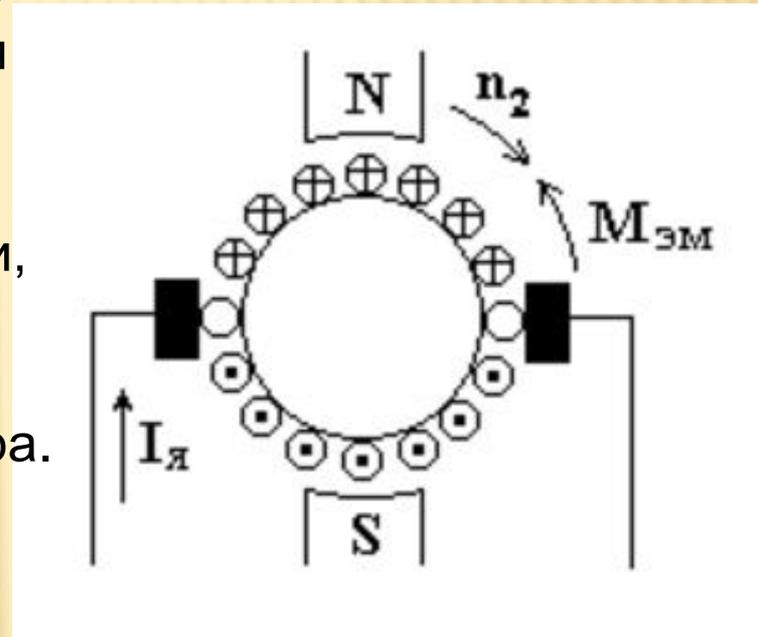


Рисунок 7. Генератор постоянного тока .

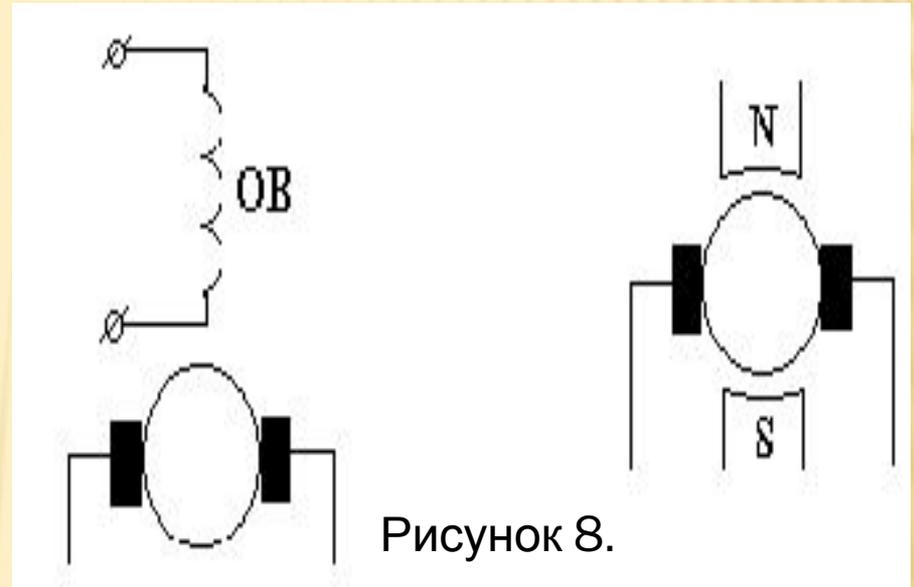
# ГЕНЕРАТОРЫ С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ.

Магнитное поле генератора с независимым возбуждением создается током, подаваемым от постороннего источника энергии в обмотку возбуждения полюсов.

Схема генератора с независимым возбуждением показана на рис. 8.

Магнитное поле генераторов с независимым возбуждением может создаваться от постоянных магнитов.

С ростом тока нагрузки напряжение на зажимах генератора уменьшается из-за увеличения падения напряжения в якорной обмотке.



**Недостатком** генератора с независимым возбуждением является необходимость иметь отдельный источник питания. Но при определенных условиях обмотку возбуждения можно питать током якоря генератора.

# ГЕНЕРАТОРЫ С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ. ПРИНЦИП САМОВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Самовозбуждающиеся генераторы имеют одну из трех схем: с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением. На рис. 9. изображен генератор с параллельным возбуждением.

Обмотка возбуждения подключена параллельно якорной обмотке. В цепь возбуждения включен реостат  $R_{\text{в}}$ . Генератор работает в режиме холостого хода. Чтобы генератор самовозбудился, необходимо выполнение определенных условий.

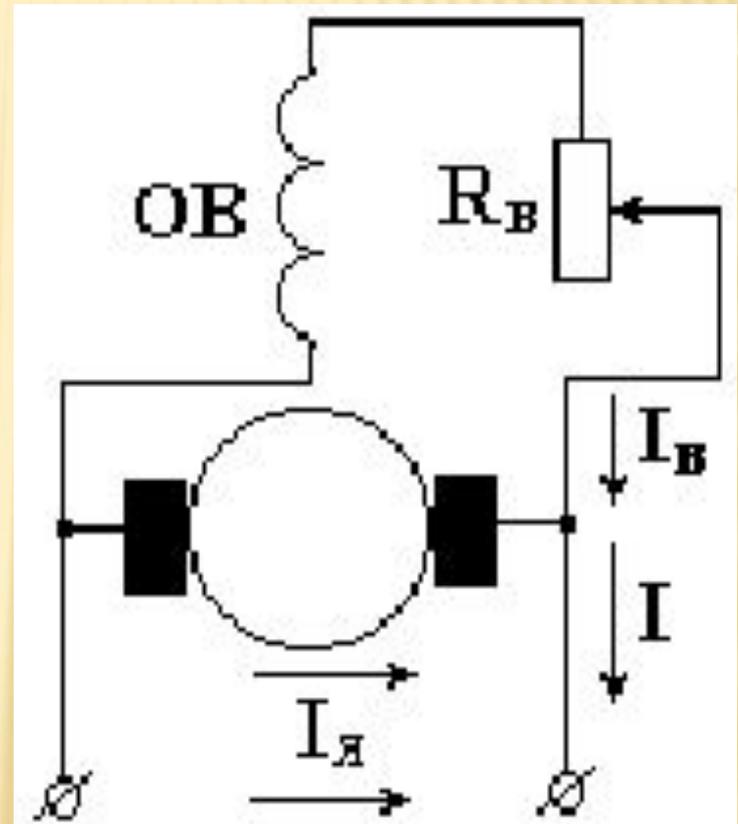


Рисунок 9

# УСЛОВИЯ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ

- Первым из этих условий является наличие остаточного магнитного потока между полюсами. При вращении якоря остаточный магнитный поток индуцирует в якорной обмотке небольшую остаточную ЭДС
- Вторым условием является согласное включение обмотки возбуждения. Обмотки возбуждения и якоря должны быть соединены таким образом, чтобы ЭДС якоря создавала ток, усиливающий остаточный магнитный поток. Усиление магнитного потока приведет к увеличению ЭДС. Машина самовозбуждается и начинает устойчиво работать с каким-то током возбуждения  $I_v = \text{const}$  и ЭДС  $E = \text{const}$ , зависящими от сопротивления  $R_v$  в цепи возбуждения.
- Третьим условием является то, что сопротивление цепи возбуждения при данной частоте вращения должно быть меньше критического. Ток обмотки возбуждения увеличивает магнитный поток полюсов при согласном включении обмотки возбуждения. ЭДС, индуцированная в якоре, возрастает, что приводит к дальнейшему увеличению тока обмотки возбуждения, магнитного потока и ЭДС. Рост ЭДС от тока возбуждения замедляется при насыщении магнитной цепи машины.

# КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

- Из чего состоит машина постоянного тока ?
- Принцип действия машины постоянного тока?
- Назовите основное уравнение генератора?
- Где создает магнитное поле у генератора с независимым возбуждением?
- Недостатки машин постоянного тока?
- Перечислить условия генератора самовозбуждения?
- Назначение машин постоянного тока.

# ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

---

**Найти и дополнить конспект по теме «Механические характеристики электродвигателей постоянного тока» :**

- Двигатель смешанного возбуждения ;
- Двигатели с параллельным возбуждением;
- Двигатели с последовательным возбуждением .