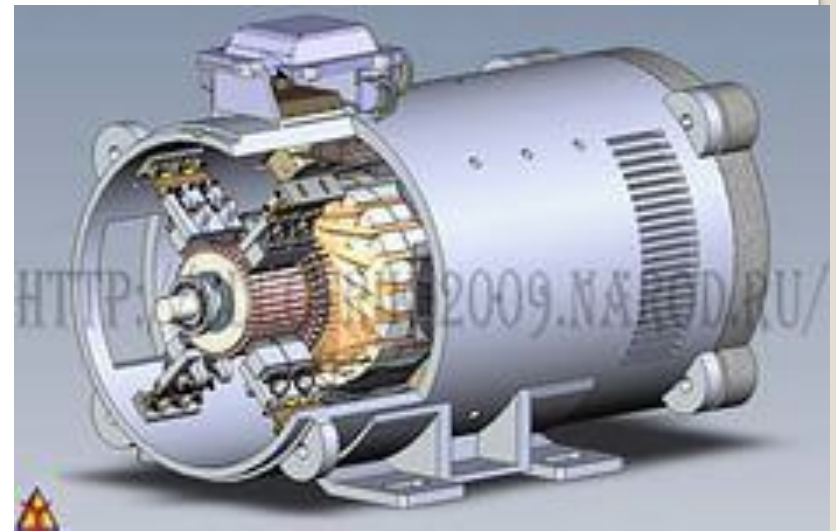


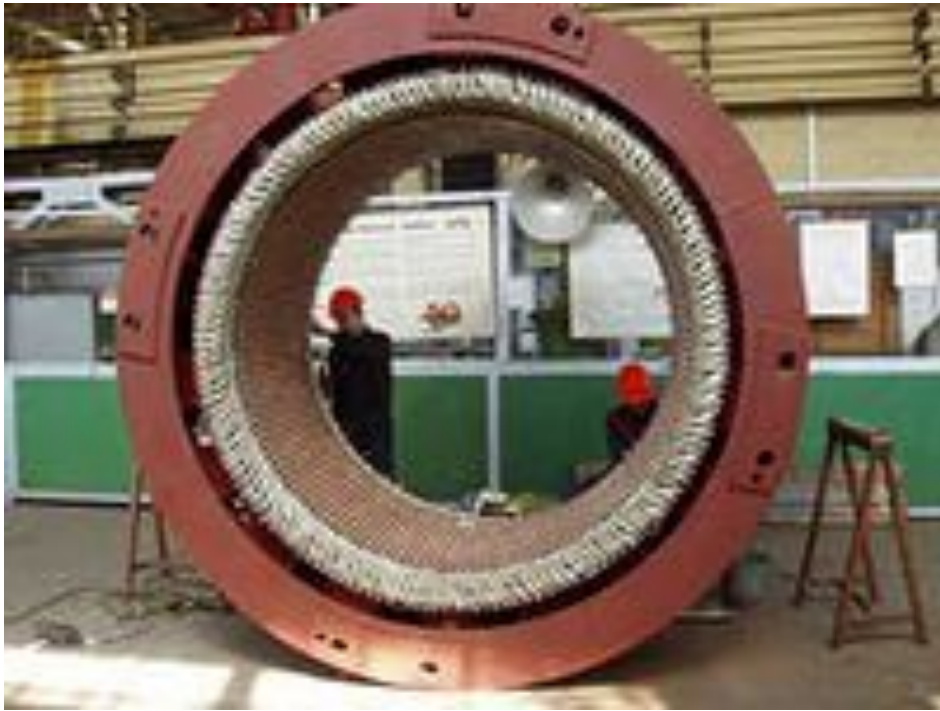
23	Принцип действия и устройство коллекторных машин
24	Магнитное поле и коммутация машин постоянного тока.
25	Реакция якоря. Способы возбуждения машин постоянного тока
26	Классификация генераторов постоянного тока по способу возбуждения. Условия самовозбуждения
27	Характеристики генераторов
28	Назначение, области использования, технические характеристики двигателей постоянного тока
29	Потери и КПД двигателей постоянного тока.
30	Типы машин постоянного тока специального назначения и исполнения

# Тема 23.

## Принцип действия и устройство коллекторных машин

**Электрические машины постоянного тока (коллекторные машины)** используются как в качестве генераторов, так и в качестве двигателей. Наибольшее применение имеют двигатели постоянного тока, области применения и диапазон мощности которых достаточно широки: от долей ватт (для привода устройств автоматики) до нескольких тысяч киловатт (для привода прокатных станов, шахтных подъемников и других механизмов).





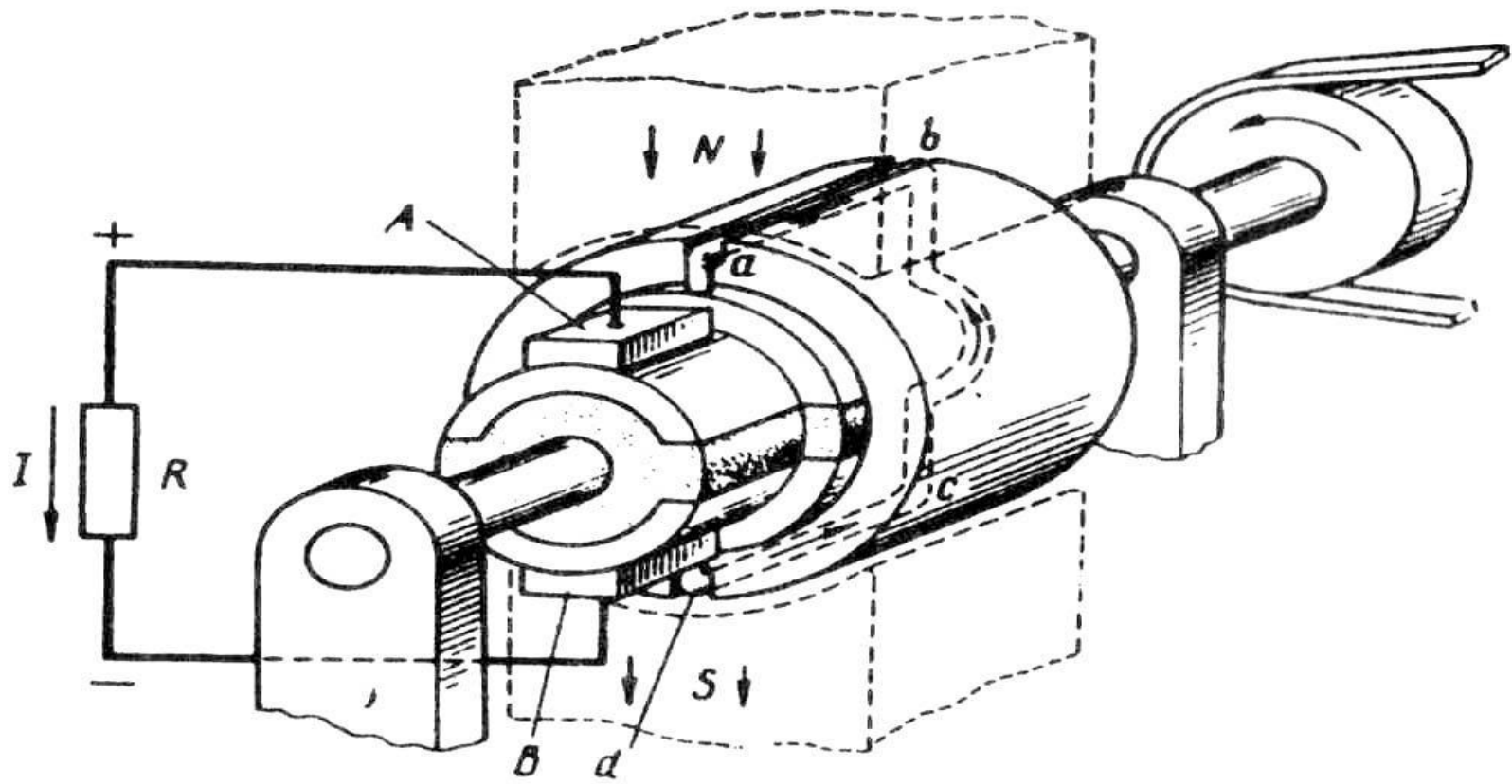
Характерным признаком коллекторных машин является наличие у них **коллектора** — механического преобразователя переменного тока в постоянный и наоборот.

Необходимость в таком преобразователе объясняется тем, что в обмотке якоря коллекторной машины должен протекать переменный ток, так как только в этом случае в машине происходит непрерывный процесс электромеханического преобразования энергии.

Рассмотрим принцип действия **коллекторного генератора** постоянного тока.

Упрощенная модель такого генератора: между полюсами  $N$  и  $S$  постоянного магнита находится вращающаяся часть генератора — якорь, вал которого посредством шкива и ременной передачи механически связан с приводным двигателем — источником механической энергии. В двух продольных пазах на сердечнике якоря расположена обмотка в виде одного витка  $a, b, c, d$ , концы которого присоединены к двум медным изолированным друг от друга полукольцам, образующим простейший коллектор. На поверхность коллектора наложены щетки  $A$  и  $B$ , осуществляющие скользящий контакт с коллектором и связывающие генератор с внешней цепью, куда включена нагрузка сопротивлением  $R$ .



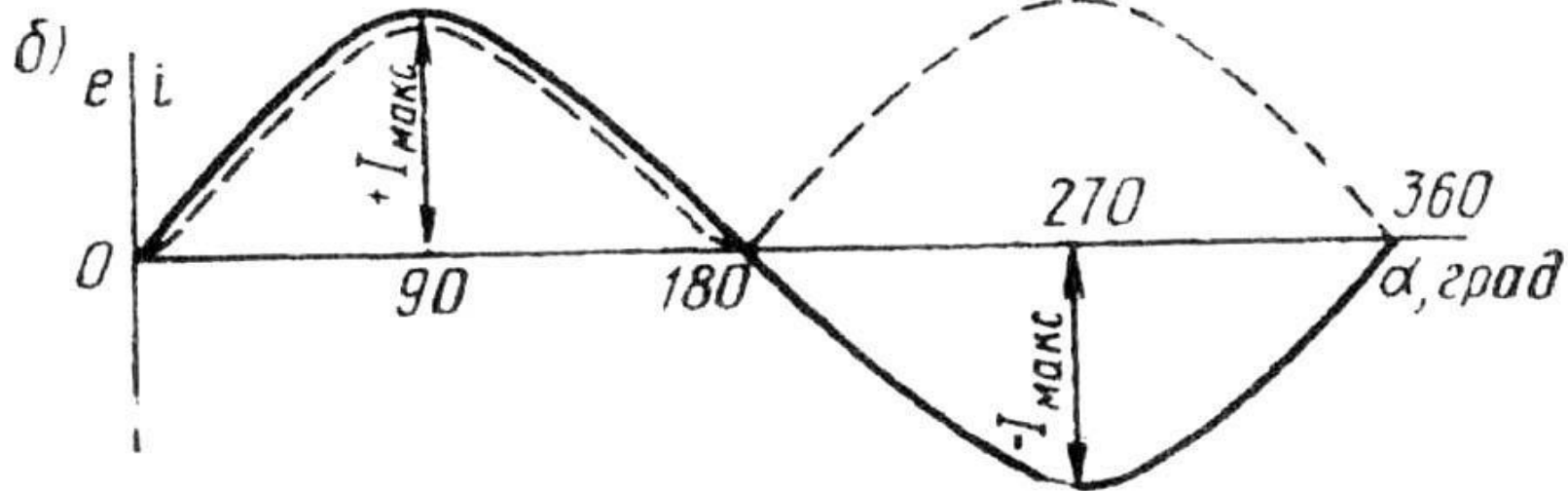
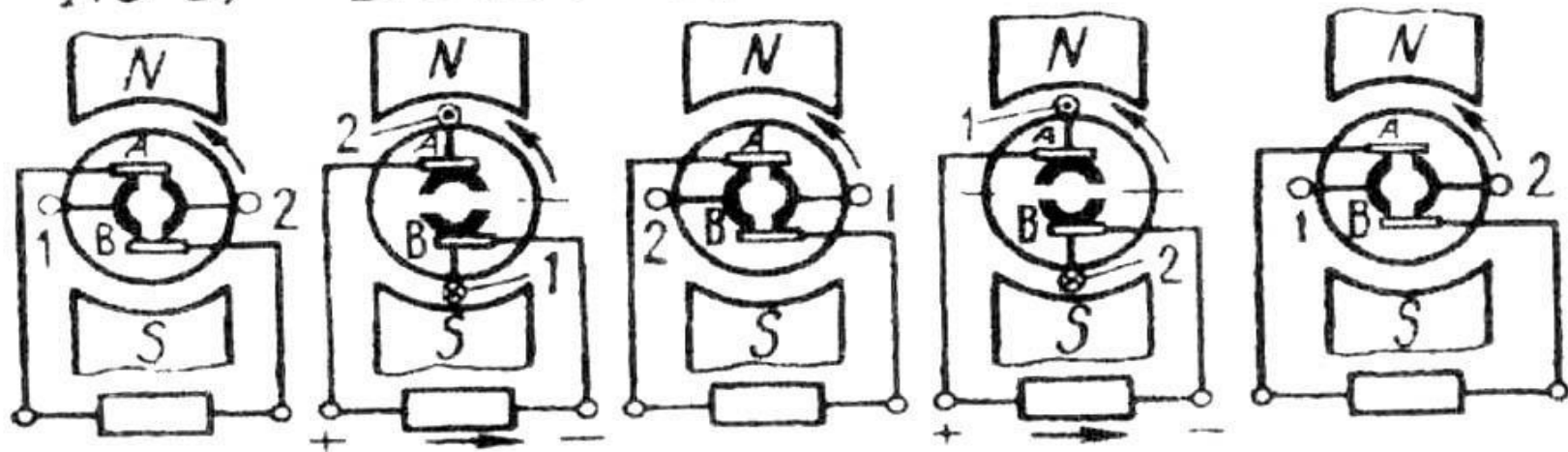


Предположим, что приводной двигатель вращает якорь генератора против часовой стрелки, тогда в витке на якоре, вращающемся в магнитном поле постоянного магнита, наводится ЭДС, мгновенное значение которой  $e = 2Blv$ , а направление для положения якоря, изображенного на рисунке, указано стрелками. В процессе работы генератора якорь вращается и виток  $a, b, c, d$ , занимает разное пространственное положение, поэтому *в обмотке якоря наводится переменная ЭДС*. Если бы в машине не было коллектора, то ток во внешней цепи (в нагрузке  $R$ ) был бы переменным, но посредством коллектора и щеток переменный ток обмотки якоря преобразуется в *пульсирующий ток* во внешней цепи генератора, т. е. ток, неизменный по направлению.

При положении витка якоря, показанном на рисунке, ток во внешней цепи (в нагрузке) направлен от щетки *A* к щетке *B*; следовательно, щетка *A* является положительной, а щетка *B* -- отрицательной. После поворота якоря на  $180^{\circ}$  направление тока в витке якоря изменится на обратное, однако полярность щеток, а следовательно, и направление тока во внешней цепи (в нагрузке) останутся неизменными. Объясняется это тем, что в тот момент, когда ток в витке якоря меняет свое направление, происходит смена коллекторных пластин под щетками. Таким образом, под щеткой *A* всегда находится пластина, соединенная с проводником, расположенным под северным магнитным полюсом, а под щеткой *B* - пластина, соединенная с проводником, расположенным под южным полюсом

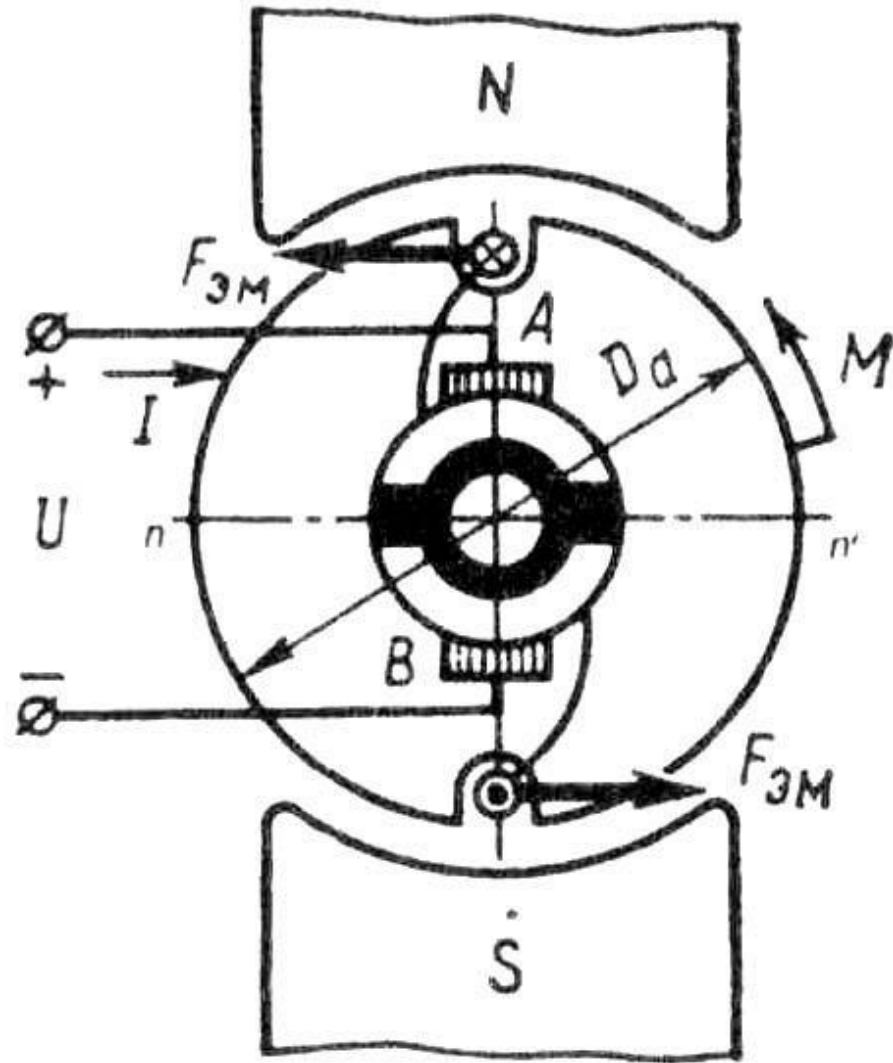
Благодаря этому полярность щеток генератора остается неизменной независимо от положения витка якоря. Что же касается пульсаций тока во внешней цепи, то они намного ослабятся при увеличении числа витков в обмотке якоря при их равномерном распределении по поверхности якоря и соответствующем увеличении числа пластин в коллекторе.

а) I ( $\alpha=0^\circ$ )    II ( $\alpha=90^\circ$ )    III ( $\alpha=180^\circ$ )    IV ( $\alpha=270^\circ$ )    V ( $\alpha=360^\circ$ )



В соответствии с принципом обратимости электрических машин упрощенная модель машины постоянного тока может быть использована в качестве двигателя постоянного тока. Для этого необходимо отключить нагрузку генератора  $R$  и подвести к щеткам машины напряжение от источника постоянного тока. Например, если к щетке  $A$  подключить зажим «плюс», а к щетке  $B$  «минус», то в обмотке якоря появится ток  $I$ , направление которого показано на рисунке.

В результате взаимодействия этого тока с магнитным полем постоянного магнита (полем возбуждения) появятся электромагнитные силы создающие на якоре электромагнитный момент  $M$  и вращающие его против часовой стрелки. После поворота якоря на  $180^{\circ}$  электромагнитные силы не изменят своего направления, так как одновременно с переходом каждого проводника обмотки якоря из зоны одного магнитного полюса в зону другого полюса в этих проводниках меняется направление тока.



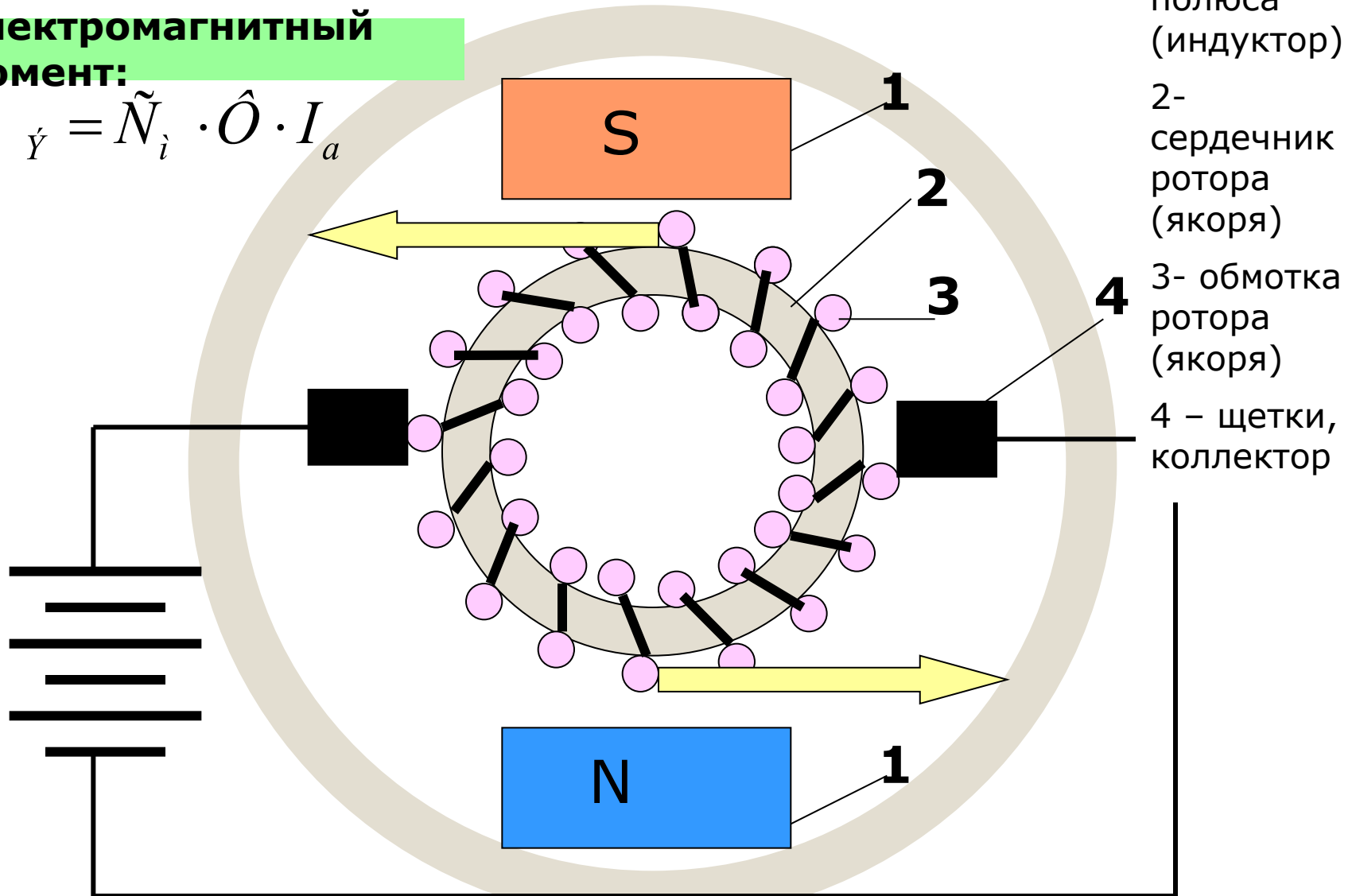


Таким образом, назначение коллектора и щеток в двигателе постоянного тока — изменять направление тока в проводниках обмотки якоря при их переходе из зоны магнитного полюса одной полярности в зону полюса другой полярности.

# Принцип действия МПТ двигатель (2р=2, 2а=2)

Электромагнитный  
момент:

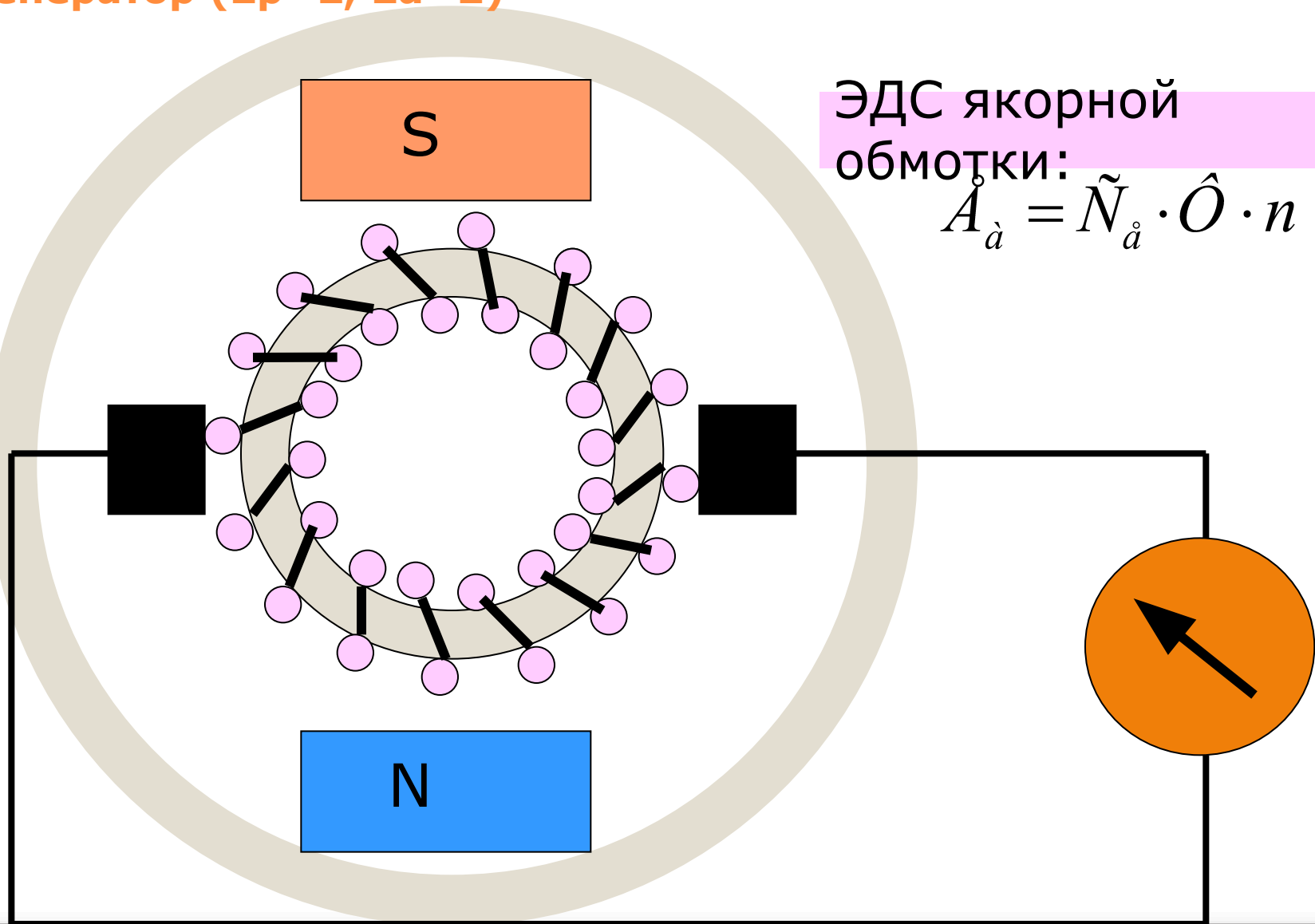
$$\dot{I}_{\dot{Y}} = \tilde{N}_i \cdot \hat{O} \cdot I_a$$



- 1 - статор и главные полюса (индуктор)
- 2 - сердечник ротора (якоря)
- 3 - обмотка ротора (якоря)
- 4 - щетки, коллектор

# Принцип действия МПТ

генератор ( $2p=2, 2a=2$ )



ЭДС якорной обмотки:

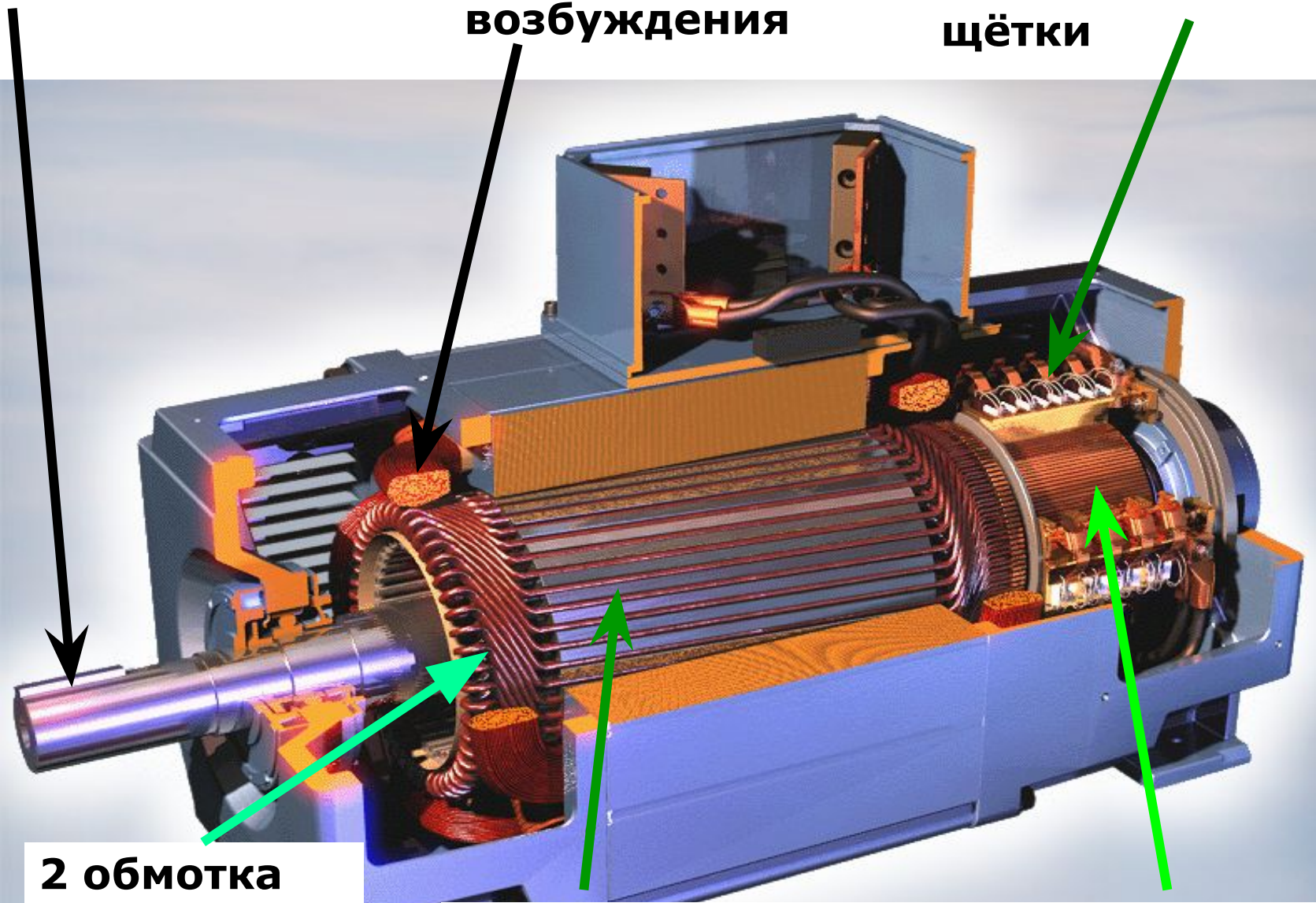
$$E_a = \tilde{N}_a \cdot \hat{O} \cdot n$$

# Устройство КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИН

Неподвижная часть машины  
постоянного тока называется  
**статором,**  
вращающаяся часть — **якорем**

**1. Обмотка возбуждения**

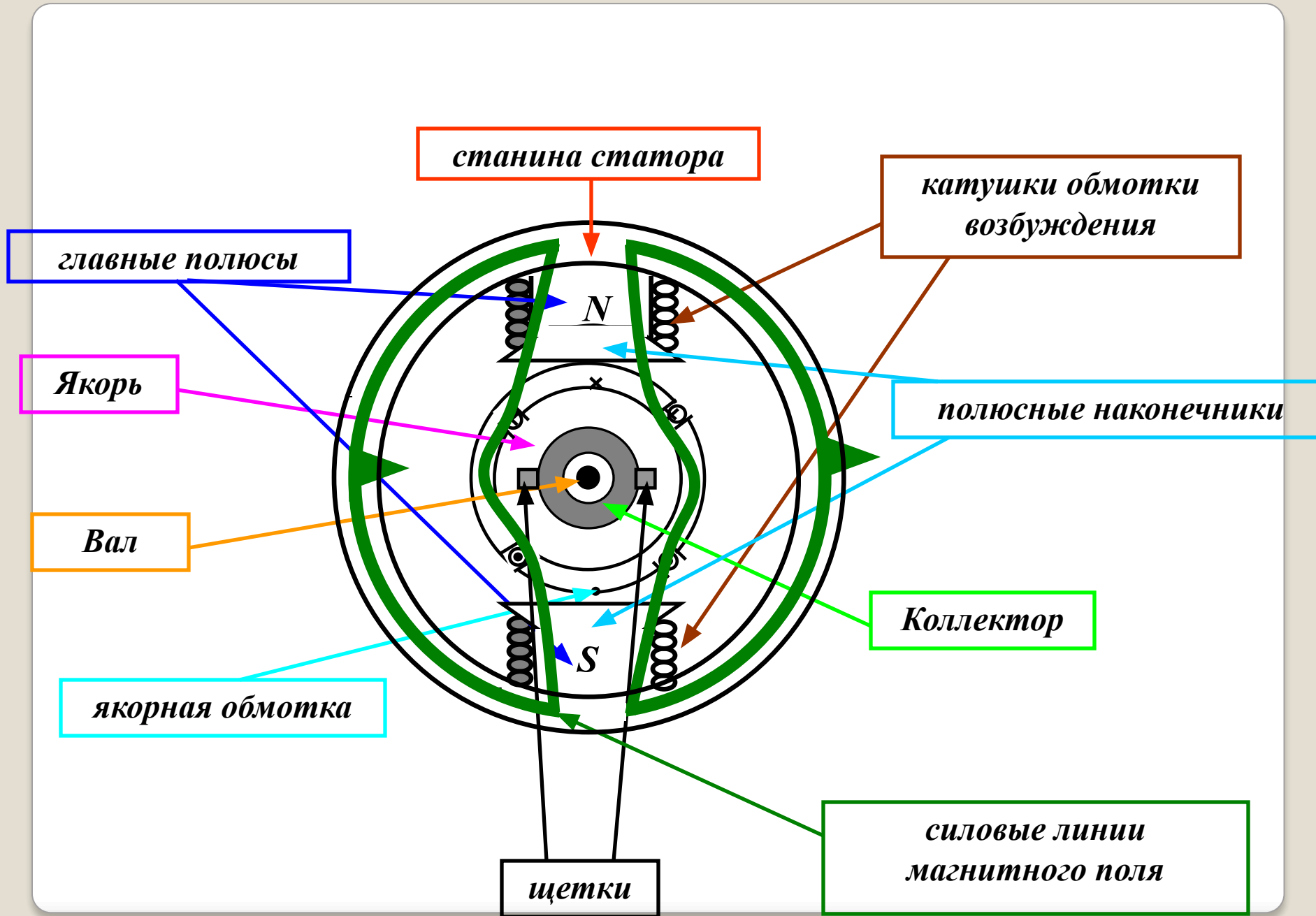
**4. Угольные щётки**



**2 обмотка якоря**

**2 Сердечник якоря**

**4. Коллектор**



станина статора

катушки обмотки  
возбуждения

главные полюсы

Якорь

полюсные наконечники

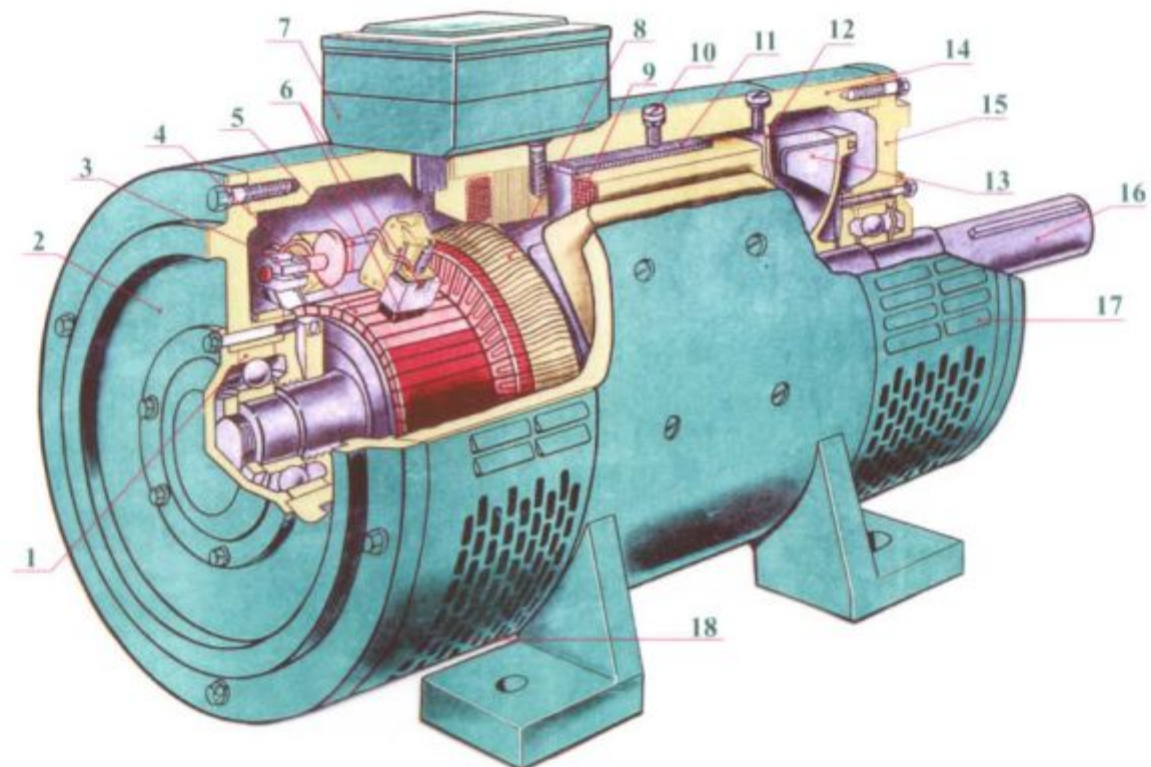
Вал

Коллектор

якорная обмотка

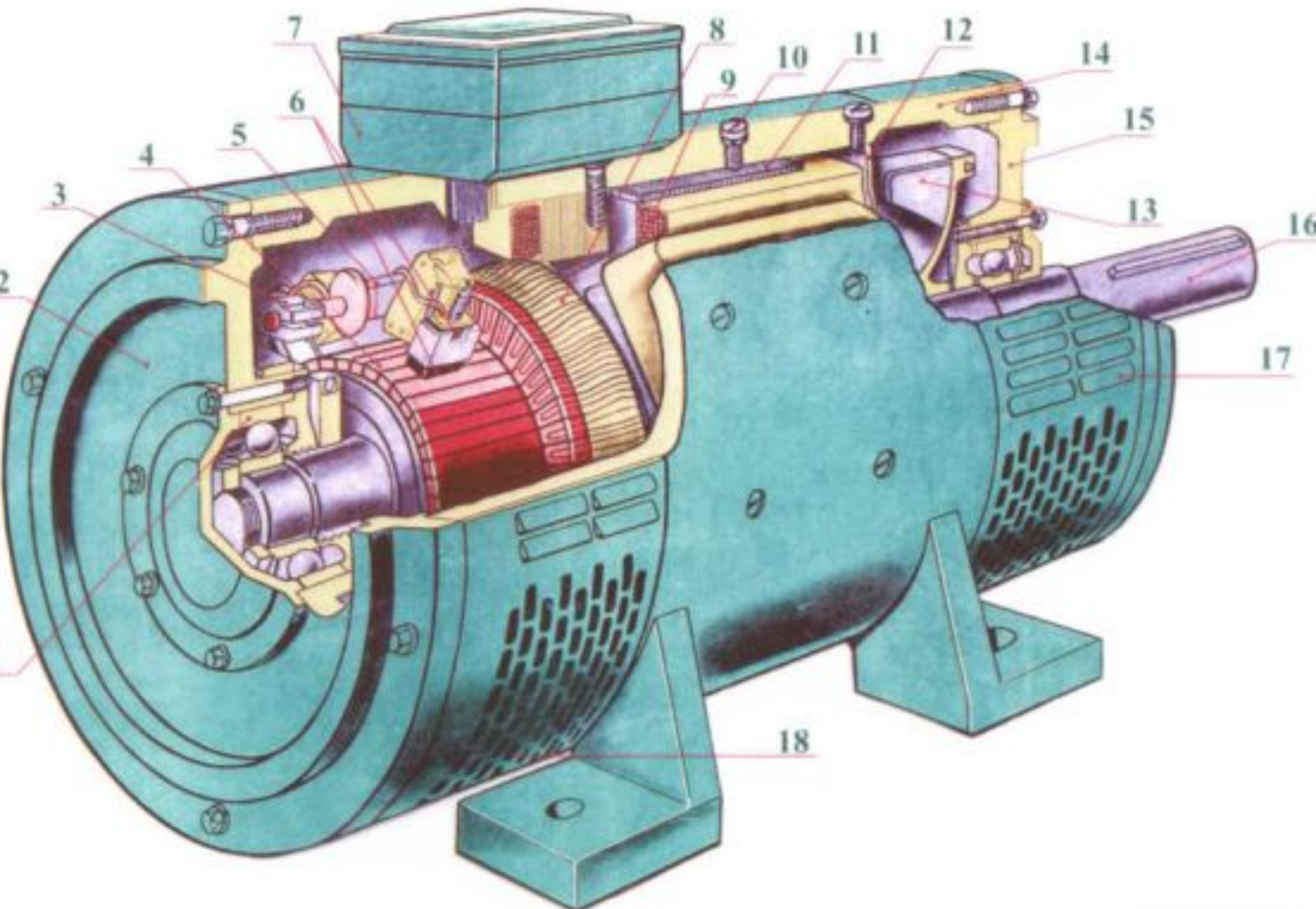
силовые линии  
магнитного поля

щетки



- |                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1 - подшипник;                | 10 - болты крепления полюсов;    |
| 2 - задний подшипниковый щит; | 11 - сердечник полюса;           |
| 3 - траверса щеткодержателя;  | 12 - воздухонаправляющий щиток;  |
| 4 - коллектор;                | 13 - вентилятор;                 |
| 5 - палец щеткодержателя;     | 14 - корпус;                     |
| 6 - щетки;                    | 15 - передний подшипниковый щит; |
| 7 - коробка выводов;          | 16 - вал;                        |
| 8 - обмотка якоря;            | 17 - жалюзи для выхода воздуха;  |
| 9 - обмотка возбуждения;      | 18 - жалюзи для входа воздуха    |





**Статор** состоит из станины и главных полюсов .

**Станина** служит для крепления полюсов и подшипниковых щитов и является частью магнитопровода, так как через нее замыкается магнитный поток машины.

**Главные полюсы**  
предназначены для создания в  
машине магнитного поля  
возбуждения.

Главный полюс состоит из  
сердечника и полюсной  
катушки .

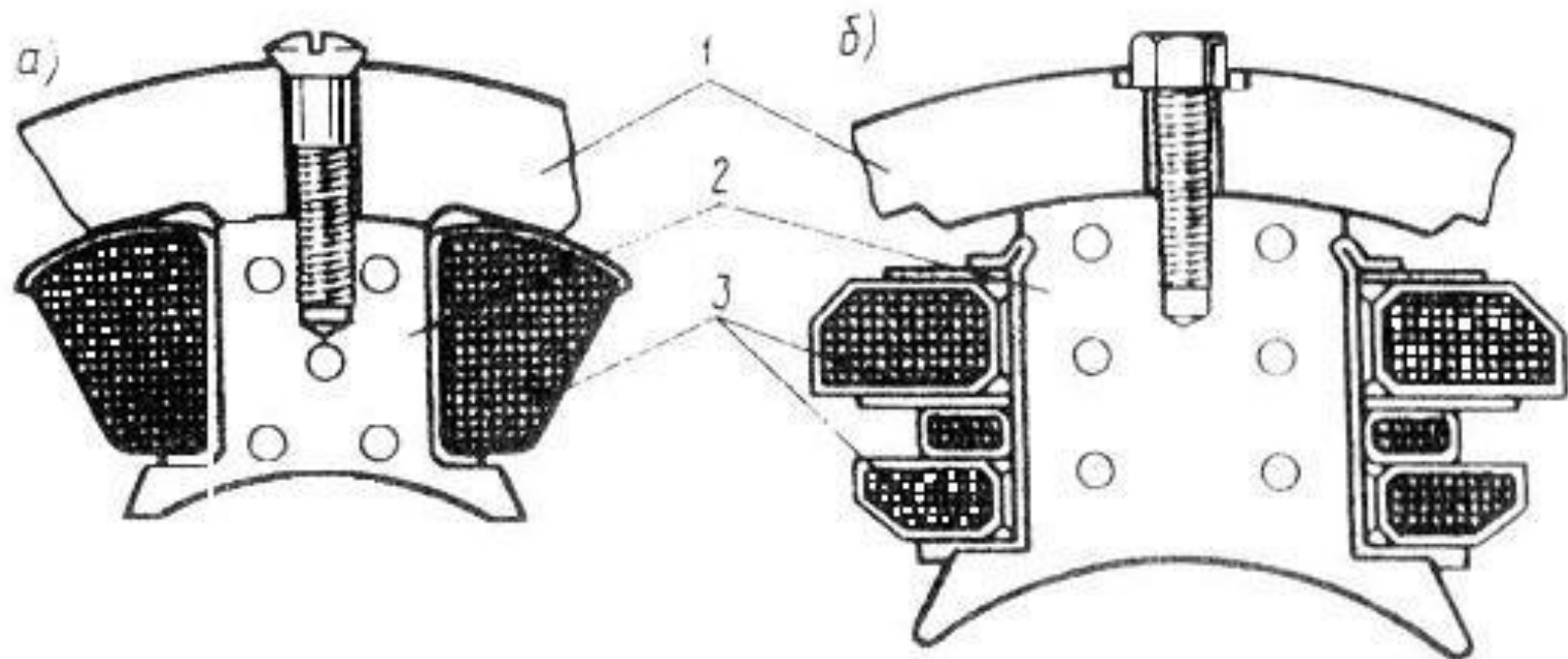
Со стороны, обращенной к якорю, сердечник полюса имеет полюсный наконечник, который обеспечивает необходимое распределение магнитной индукции в зазоре машины.

Сердечники главных полюсов делают шихтованными из листовой конструкционной стали толщиной 1—2 мм или из тонколистовой электротехнической анизотропной холоднокатаной стали.

В машинах постоянного тока небольшой мощности полюсные катушки делают бескаркасными — намоткой медного обмоточного провода непосредственно на сердечник полюса, предварительно наложив на него изоляционную прокладку.

В большинстве машин (мощностью 1 кВт и более) полюсную катушку делают каркасной: обмоточный провод наматывают на каркас (обычно пластмассовый), а затем надевают на сердечник полюса.

В некоторых конструкциях машин полюсную катушку для более интенсивного охлаждения разделяют по высоте на части, между которыми оставляют вентиляционные каналы.



# **Якорь** машины постоянного тока

**состоит из:**

- 1. Вала,**
- 2. Сердечника с обмоткой**
- 3. Коллектора .**



Сердечник якоря имеет шихтованную конструкцию и набирается из штампованных пластин тонколистовой электротехнической стали.

Листы покрывают изоляционным лаком, собирают в пакет и запекают. Готовый сердечник напрессовывают на вал якоря.

Такая конструкция сердечника якоря позволяет значительно ослабить в нем вихревые токи, возникающие в результате его перемагничивания в процессе вращения в магнитном поле.

На поверхности сердечника якоря имеются продольные пазы, в которые укладывают обмотку якоря.

*Обмотку* выполняют медным проводом круглого или прямоугольного сечения. Пазы якоря после заполнения их проводами обмотки обычно закрывают клиньями (текстолитовыми или гетинаксовыми).

В некоторых машинах пазы не закрывают клиньями, а накладывают на поверхность якоря бандаж. Бандаж делают из проволоки или стеклоленты с предварительным натягом. Лобовые части обмотки якоря крепят к обмоткодержателям бандажом.

**Коллектор** является одним из сложных узлов машины постоянного тока. Основными элементами коллектора являются пластины трапецеидального сечения из твердотянутой меди, собранные таким образом, что коллектор приобретает цилиндрическую форму.

В зависимости от способа закрепления коллекторных пластин различают два основных типа коллекторов: со стальными конусными шайбами и на пластмассе.

Электрический контакт с  
коллектором осуществляется  
посредством щеток, располагаемых в  
щеткодержателях

Щеткодержатель состоит из обоймы, в которую помещают щетку, курка, представляющего собой откидную деталь, передающую давление пружины на щетку. Щеткодержатель крепят на пальце зажимом. Щетка снабжается гибким тросиком для включения ее в электрическую цепь машины. Все щеткодержатели одной полярности соединены между собой сборными шинами, подключенными к выводам машины.

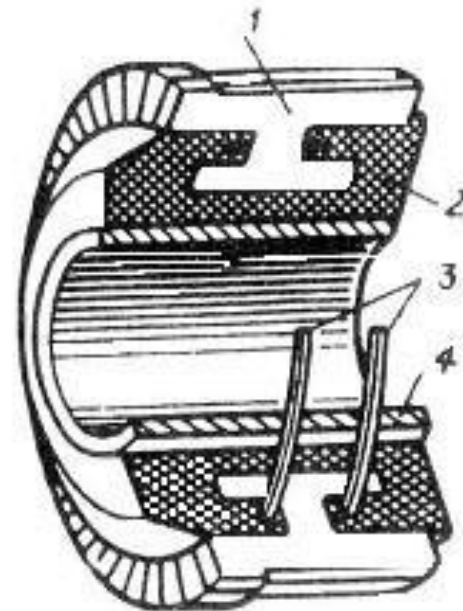
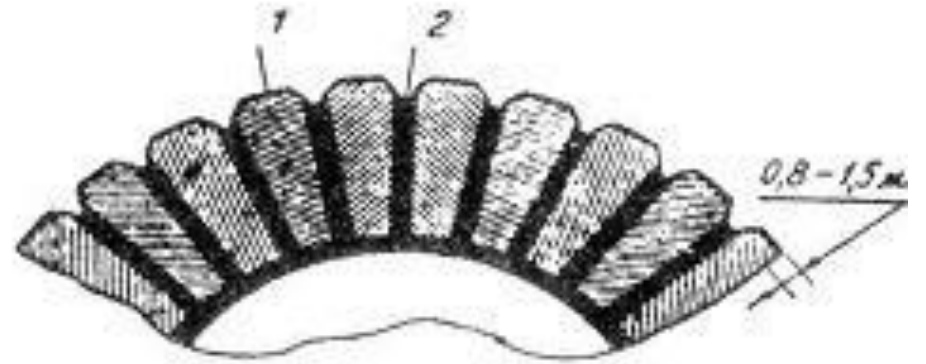
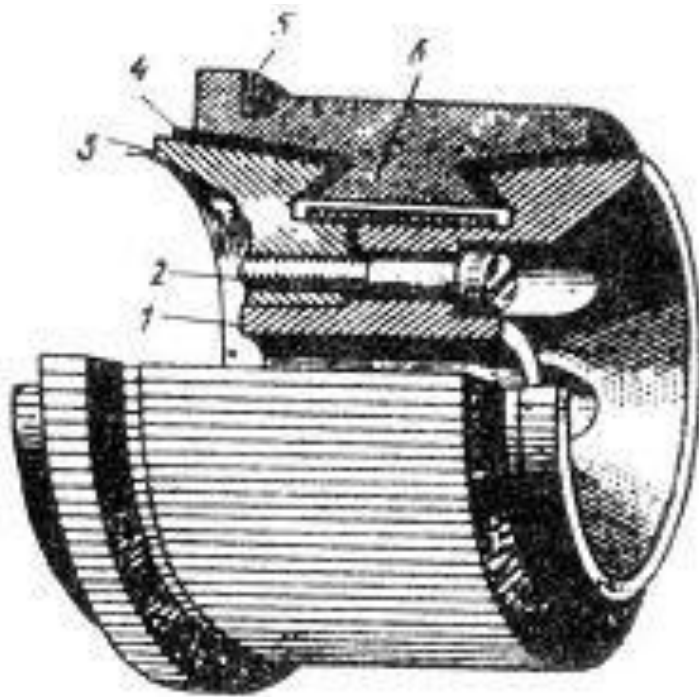
Одно из основных условий бесперебойной работы машины — плотный и надежный контакт между щеткой и коллектором.

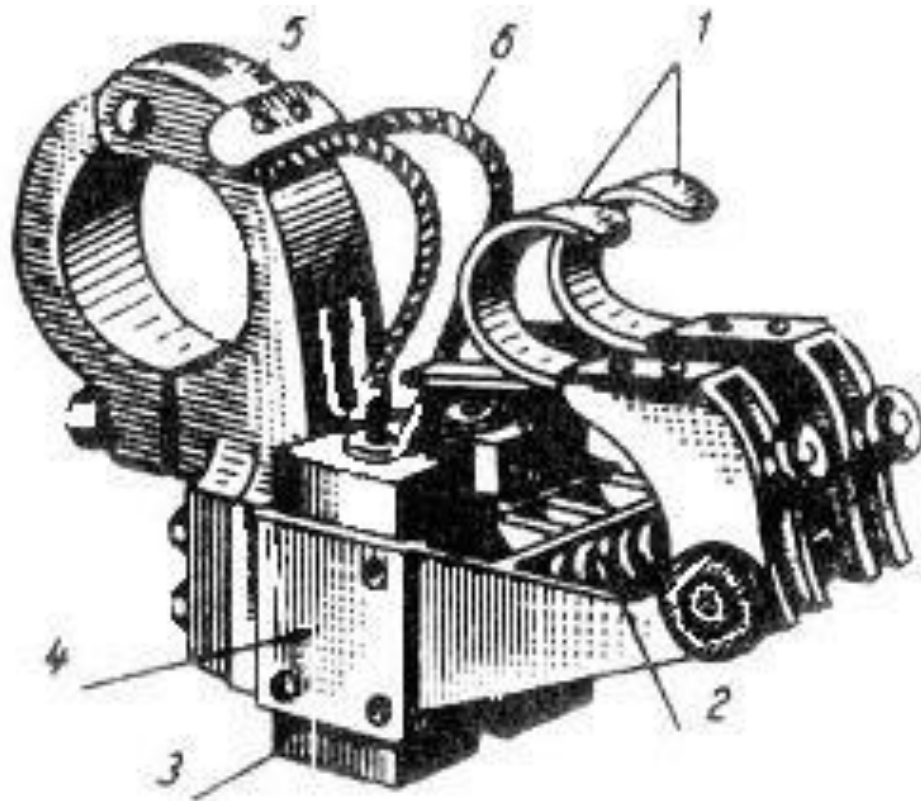
Помимо указанных частей машина постоянного тока имеет два подшипниковых щита: передний (со стороны коллектора) и задний .

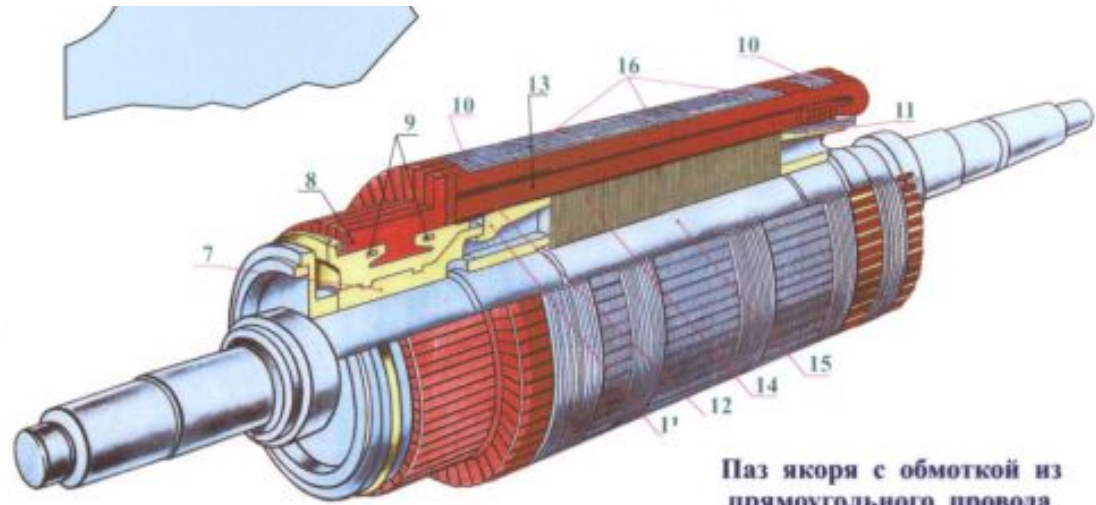
В центральной части щита имеется расточка под подшипник. На переднем подшипниковом щите имеется смотровое окно (люк) с крышкой, через которое можно осмотреть коллектор и щетки, не разбирая машины. Концы обмоток выведены на зажимы коробки выводов.

Вентилятор служит для самовентиляции машины: воздух поступает в машину обычно со стороны коллектора, омывает нагретые части (коллектор, обмотки и сердечники) и выбрасывается с противоположной стороны через решетку.

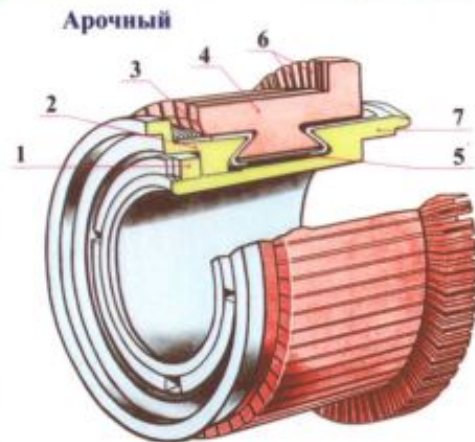




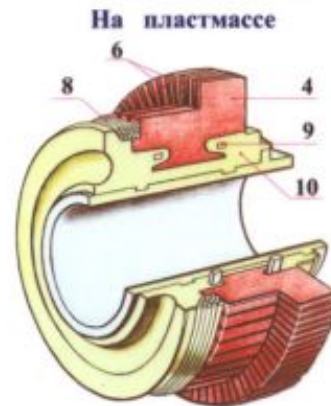




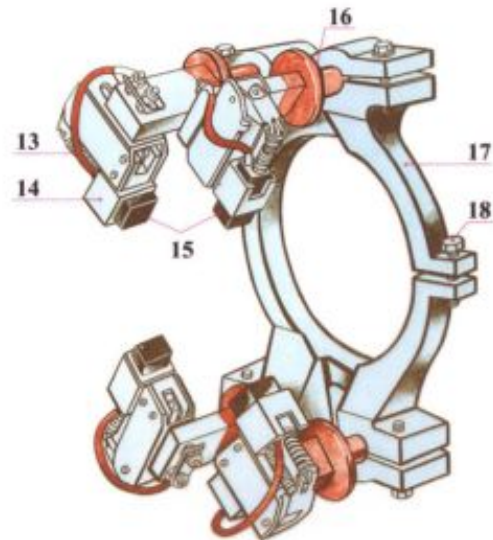
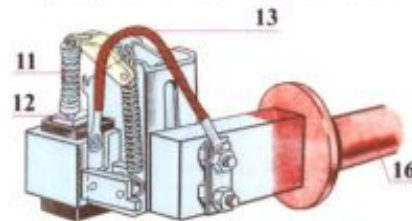
**Паз якоря с обмоткой из  
прямоугольного провода**



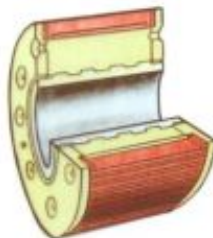
- 1 - стяжная гайка;
- 2 - нажимной конус;
- 3 - изолирующая манжета;
- 4 - коллекторная пластина;
- 5 - изолирующий цилиндр;
- 6 - изолирующая прокладка;
- 7 - втулка коллектора;

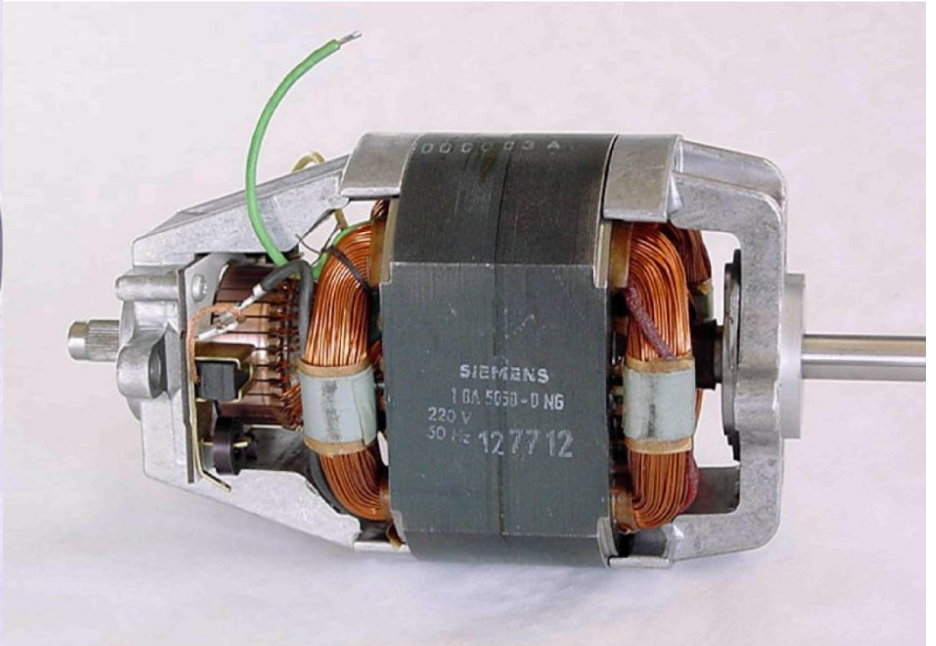
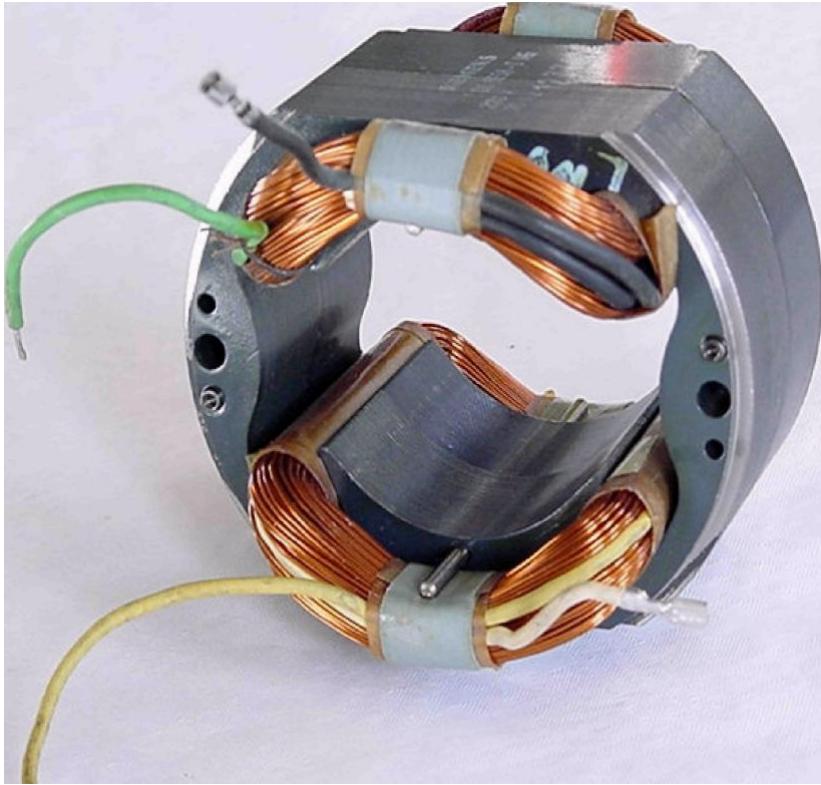


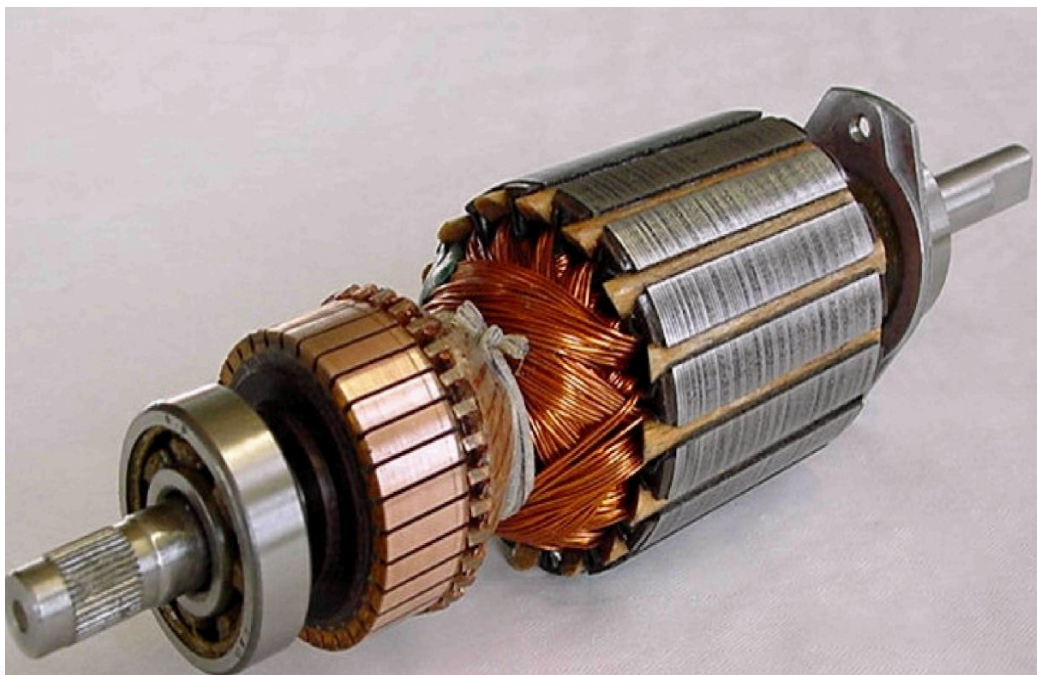
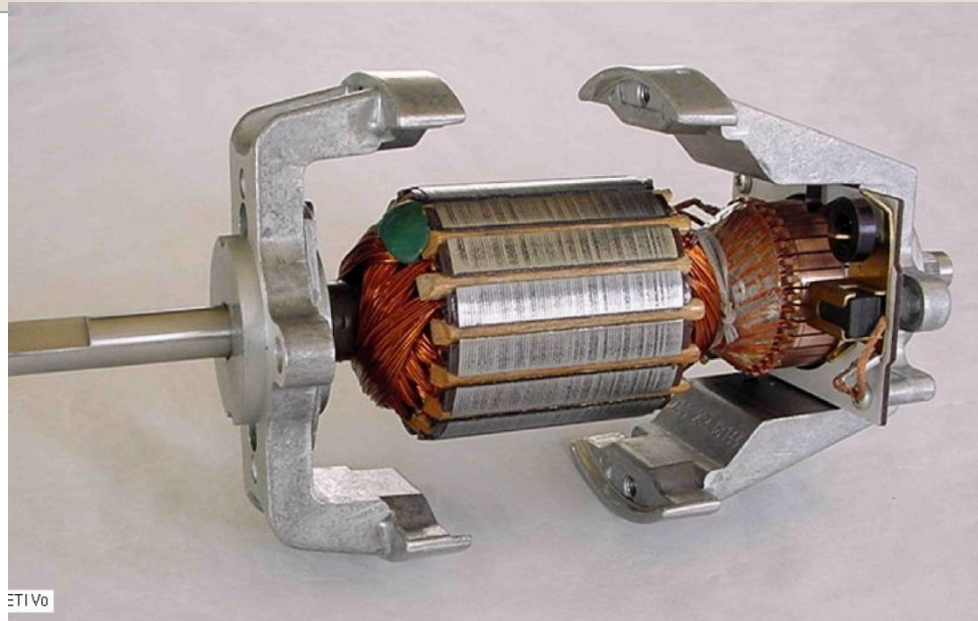
### Траверса и щеткодержатели



### На пластмассе



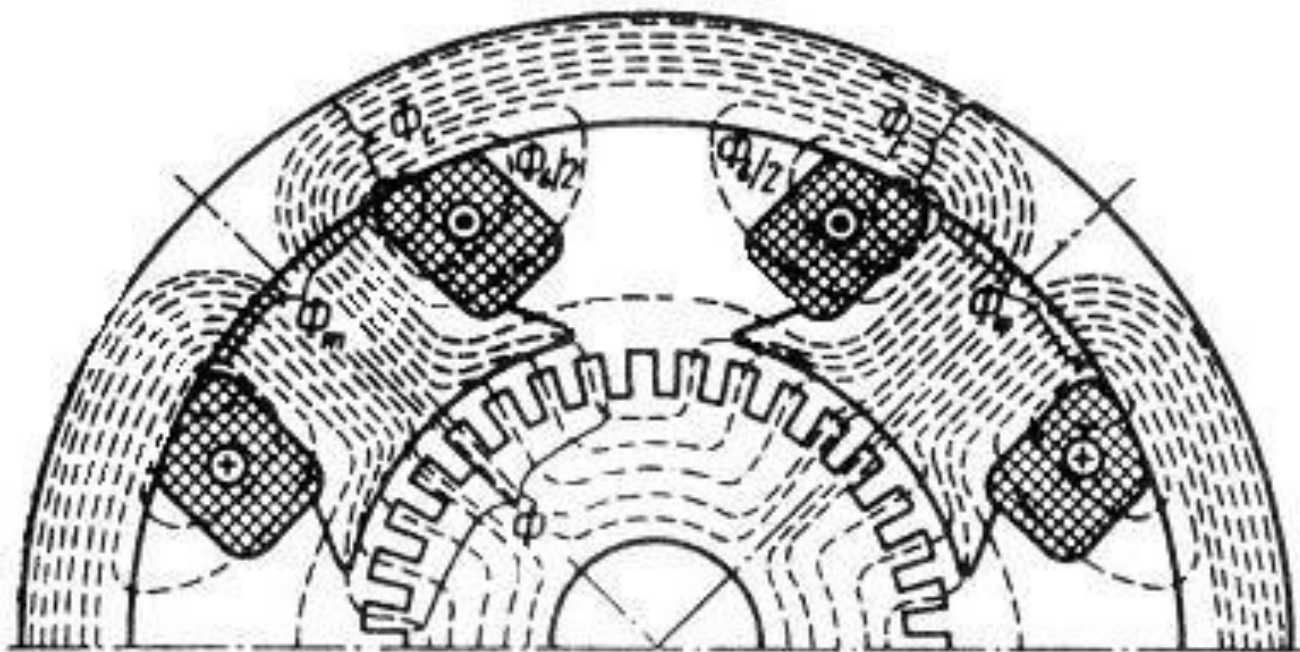




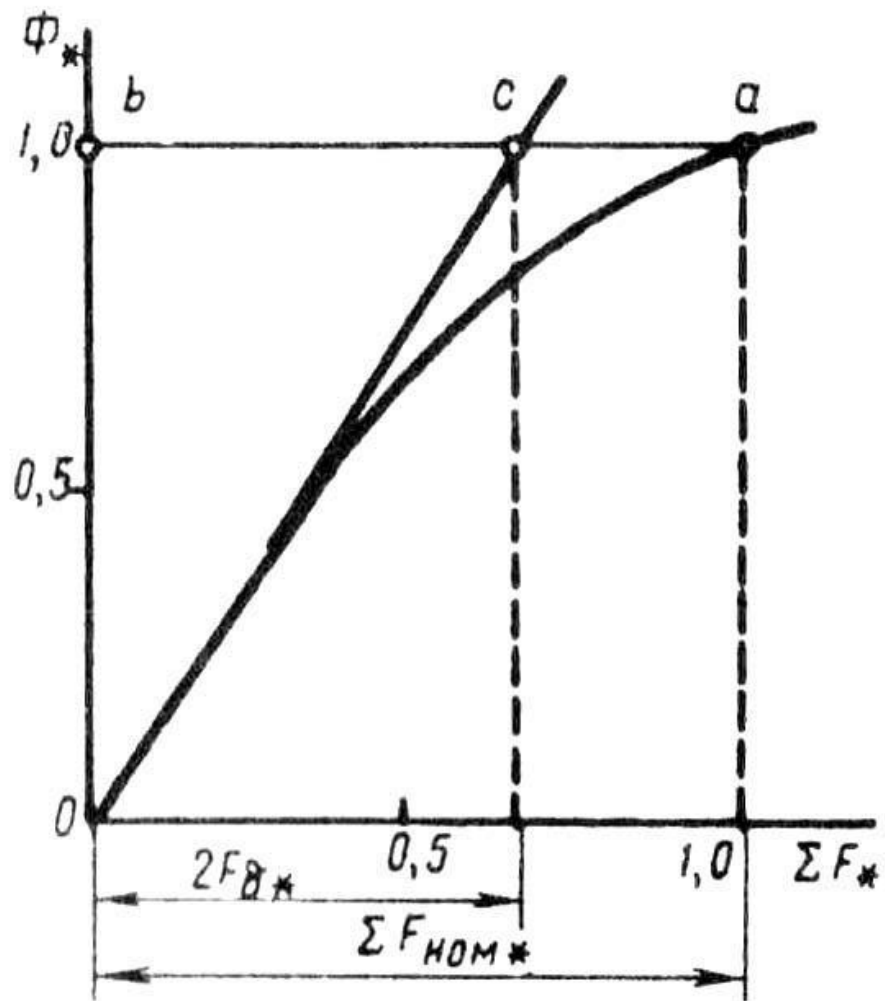
# Тема 24.

Магнитное поле и  
коммутация машин  
постоянного тока.

Магнитная система машины постоянного тока состоит из станины (ярма), сердечников главных полюсов с полюсными наконечниками, воздушного зазора и сердечника якоря.





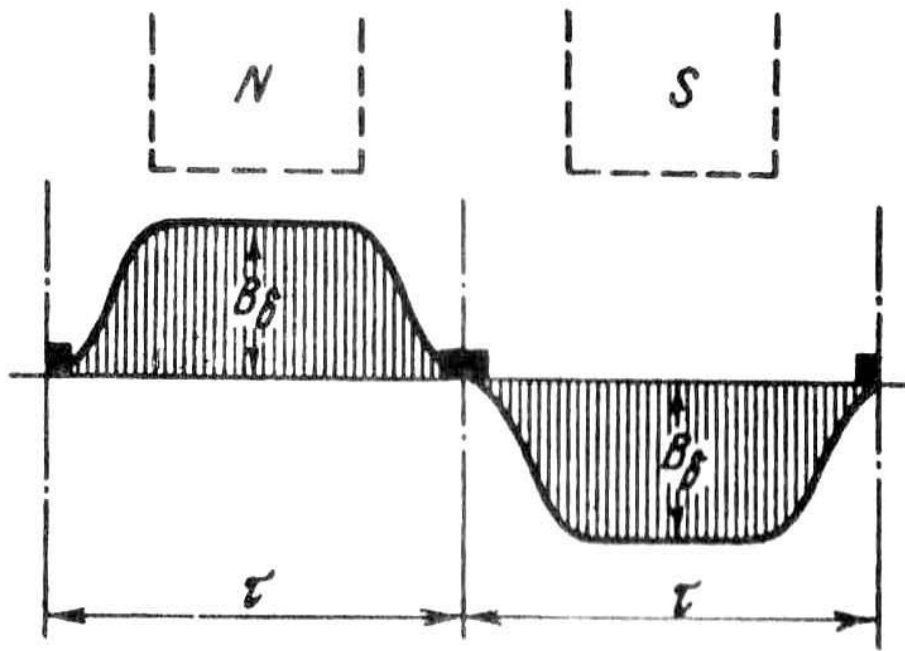
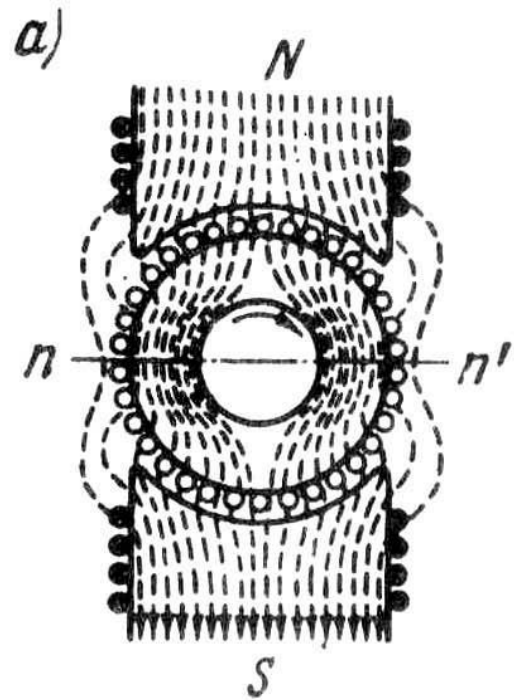


Магнитная характеристика

При работе машины в режиме х.х. ток в обмотке якоря практически отсутствует, а поэтому в машине действует лишь МДС обмотки возбуждения.

Магнитное поле машины в этом случае симметрично относительно оси полюсов .

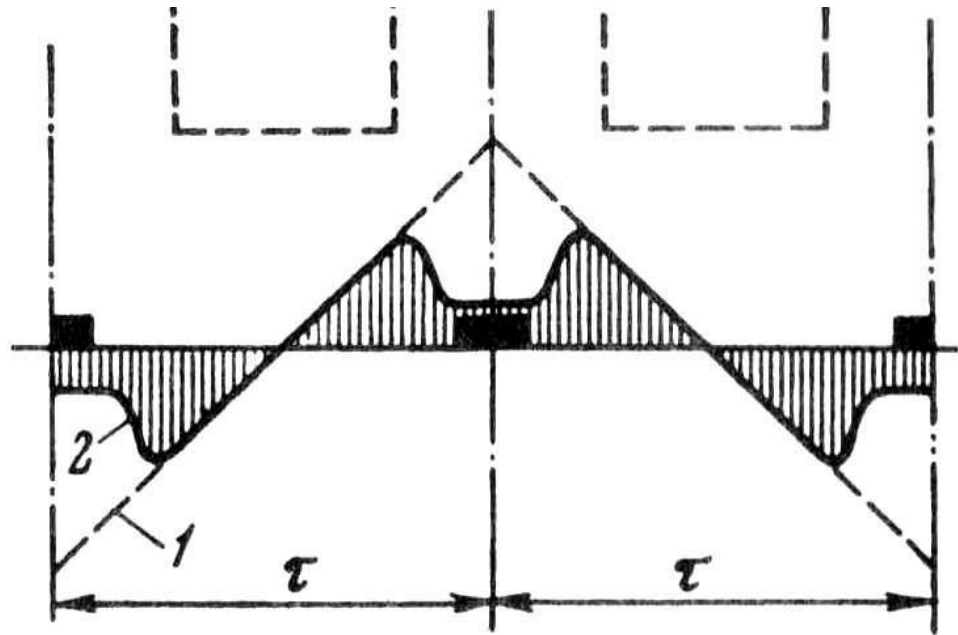
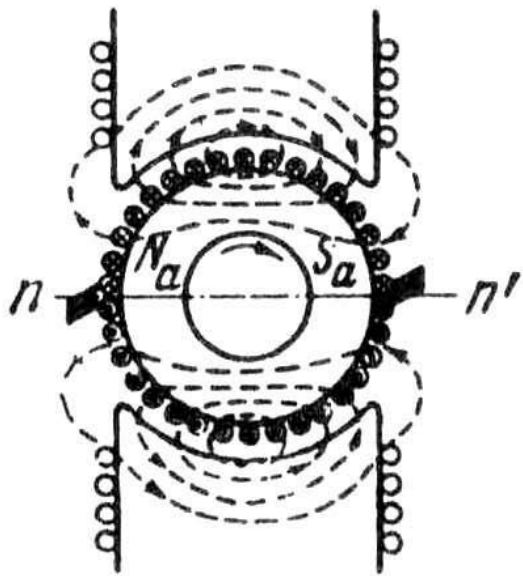
График распределения магнитной индукции в воздушном зазоре представляет собой кривую, близкую к трапеции.



Если же машину нагрузить, то в обмотке якоря появится ток, который создаст в магнитной системе машины МДС якоря.

Допустим, что МДС возбуждения равна нулю и в машине действует лишь МДС якоря. Тогда магнитное поле, созданное этой МДС, будет иметь вид, представленный на рисунке. Из этого рисунка видно, что МДС обмотки якоря направлена по линии щеток (в данном случае по **геометрической нейтрали**).

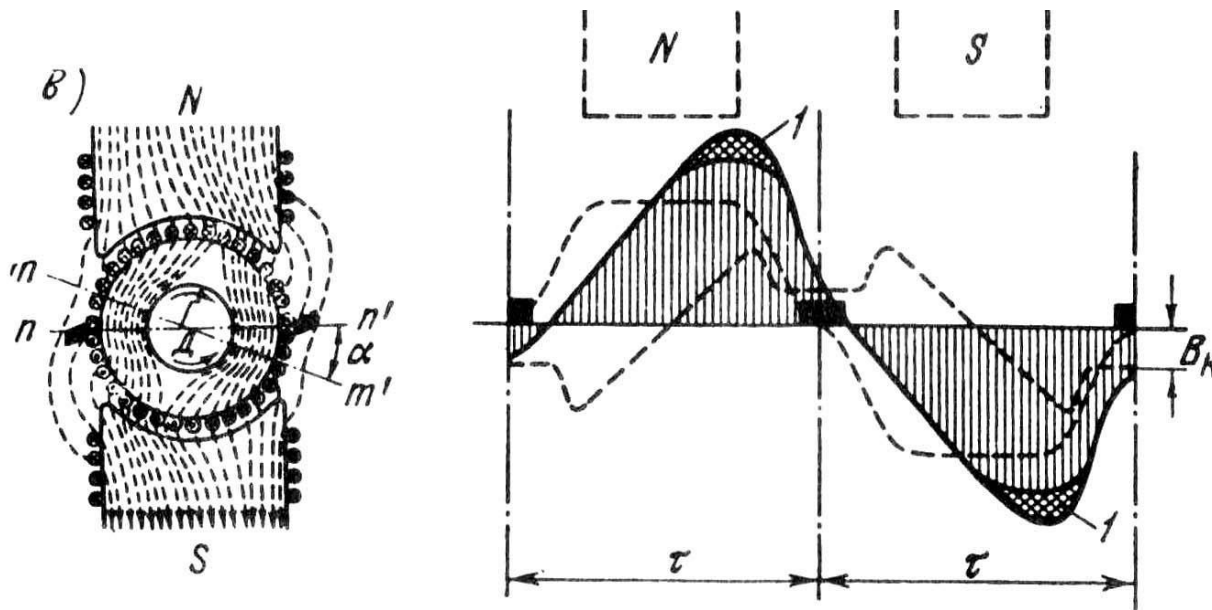
1



Влияние МДС обмотки якоря на магнитное поле машины называют **реакцией якоря.**

Реакция якоря искажает магнитное поле машины, делает его несимметричным относительно оси полюсов.

На рисунке показано распределение магнитных силовых линий результирующего поля машины, работающей в генераторном режиме при вращении якоря по часовой стрелке.



Если принять, что магнитная система машины *не насыщена*, то реакция якоря будет лишь искажать результирующий магнитный поток, не изменяя его значения: край полюса и находящийся под ним зубцовый слой якоря, где МДС якоря совпадает по направлению с МДС возбуждения, *подмагничиваются*; другой край полюса и зубцовый слой якоря, где МДС направлена против МДС возбуждения, *размагничиваются*.



При этом результирующий магнитный поток как бы поворачивается относительно оси главных полюсов на некоторый угол, а **физическая нейтраль** (линия, проходящая через точки на якоре, в которых индукция равна нулю) смещается относительно геометрической нейтрали

Чем больше нагрузка машины, тем сильнее искажение результирующего поля, а следовательно, тем больше угол смещения физической нейтрали.

При работе машины в режиме **генератора** физическая **нейтраль** смещается по **направлению вращения якоря**, а при работе **двигателем** — **против вращения якоря**.

Искажение результирующего поля машины неблагоприятно отражается на ее рабочих свойствах.

1. Сдвиг физической нейтрали относительно геометрической приводит к более тяжелым условиям работы щеточного контакта и может послужить причиной усиления искрения на коллекторе.

2. Искажение результирующего поля машины влечет за собой перераспределение магнитной индукции в воздушном зазоре машины.

В связи с тем что реакция якоря неблагоприятно влияет на рабочие свойства машины постоянного тока , при проектировании машины принимают меры к устранению реакции якоря или хотя бы к ослаблению ее влияния до допустимых пределов.

**Компенсационная обмотка.** Наиболее эффективным средством подавления влияния реакции якоря по поперечной оси является применение в машине компенсационной обмотки.

Эту обмотку укладывают в пазы полюсных наконечников и включают последовательно с обмоткой якоря таким образом, чтобы МДС компенсационной обмотки была противоположна по направлению МДС обмотки якоря

Компенсационные обмотки применяют лишь в машинах средней и большой мощности — более 150 кВт при  $U > 440$  В, работающих с резкими колебаниями нагрузки, например в двигателях для прокатных станов. Объясняется это тем, что компенсационная обмотка удорожает и усложняет машину и ее применение в некоторых случаях экономически не оправдывается.

Включение компенсационной обмотки последовательно в цепь якоря обеспечивает автоматичность компенсации МДС якоря при любой (в пределах номинальной) нагрузке машины. Таким образом, в машине постоянного тока с компенсационной обмоткой при переходе от холостого хода к режиму нагрузки закон распределения магнитной индукции в зазоре главных полюсов остается практически неизменным.

Однако в межполюсном пространстве часть МДС якоря остается нескомпенсированной.

Нежелательное влияние этой МДС на работу щеточного контакта устраняют применением в машине добавочных полюсов



## Коммутация в машинах постоянного тока

При вращении якоря машины постоянного тока коллекторные пластины поочередно вступают в соприкосновение со щетками. При этом переход щетки с одной пластины (сбегающей) на другую (набегающую) сопровождается переключением секции обмотки из одной параллельной ветви в другую и изменением как значения, так и направления тока в этой секции.

Процесс переключения секции из одной параллельной ветви в другую и сопровождающие его явления называются **коммутацией.**

При работе машины постоянного тока щетки и коллектор образуют скользящий контакт. Площадь контакта щетки выбирают по значению рабочего тока машины, приходящегося на одну щетку, в соответствии с допустимой плотностью тока для выбранной марки щеток.

Если по какой-то причине щетка прилегает к коллектору не всей поверхностью, то возникают чрезмерные местные плотности тока, приводящие к искрению на коллекторе.

Причины, вызывающие искрение на коллекторе, разделяют на

- 1.механические,**
- 2.потенциальные,**
- 3.коммутационные.**

## **Механические причины искрения:**

1. слабое давление щеток на коллектор,
2. биение коллектора,
3. эллиптичность или негладкая поверхность коллектора
4. загрязнение поверхности коллектора, 5. выступание миканитовой изоляции над медными пластинами,
6. неплотное закрепление траверсы, пальцев или щекодержателей, и т.д.

**Потенциальные причины** искрения  
появляются при возникновении  
напряжения между смежными  
коллекторными пластинами,  
превышающего допустимое значение.

В этом случае искрение наиболее  
опасно, так как оно обычно  
сопровождается появлением на  
коллекторе электрических дуг.

**Коммутационные причины**  
искрения создаются физическими  
процессами, происходящими в  
машине при переходе секций обмотки  
якоря из одной параллельной ветви в  
другую.

Согласно ГОСТу, искрение на коллекторе оценивается степенью искрения (классом коммутации) под сбегающим краем щетки.

**Степень 1** — искрения нет (темная коммутация).

**Степень  $1\frac{1}{4}$**  — слабое искрение под небольшой частью щетки, не вызывающее почернения коллектора и появления нагара на щетках.

**Степень  $1\frac{1}{2}$**  — слабое искрение под большей частью щетки, приводящее к появлению следов почернения на коллекторе, легко устранимого протиранием поверхности коллектора бензином, и следов нагара на щетках.



**Степень 2** — искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и при перегрузке.

Приводит к появлению следов почернения на коллекторе, не устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках.

**Степень 3** — значительное искрение под всем краем щетки с появлением крупных вылетающих искр, приводящее к значительному почернению коллектора, не устраняемое протиранием поверхности коллектора бензином, а также к подгару и разрушению щеток.

Допускается только для моментов прямого (безреостатного) включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы.

При выпуске готовой машины с завода в ней настраивают темную коммутацию, исключающую какое-либо искрение. Если допустимая степень искрения в паспорте электрической машины не указана, то при номинальной нагрузке она не должна превышать  $1\frac{1}{2}$ .

# Способы улучшения коммутации

Основная причина неудовлетворительной коммутации в машинах постоянного тока — добавочный ток коммутации

$$i_{\partial} = \sum e / \sum r_k$$

Здесь  $\sum r_k$  — сумма электрических сопротивлений добавочному току коммутации

$i_{\partial}$ :  $\sum r_k$  — сопротивления мест пайки в петушках, переходного контакта между коллекторными пластинами и щеткой и собственно щетки.

Однако из перечисленных сопротивлений, входящих в  $\sum r_k$ , наибольшее значение имеет сопротивление щетки и переходного контакта, поэтому, обозначив их  $r_{щ}$ , с некоторым приближением можно записать

$$i_{\partial} = \sum e / r_{щ}$$

Из полученного выражения следует, что уменьшить ток  $i_d$ , а следовательно улучшить коммутацию, можно либо увеличением сопротивления  $r_{щ}$ , либо уменьшением суммарной ЭДС  $\sum e$  в коммутирующей секции.

Отсюда вытекает ряд способов улучшения коммутации, основные из которых рассмотрены ниже.

**1.Выбор щеток.** С точки зрения обеспечения удовлетворительной коммутации целесообразнее применять щетки с большим переходным падением напряжения в переходном контакте и собственно щетке, т. е. щетке с большим сопротивлением  $r_{щ}$ , и с небольшим рабочим током.

Однако допустимая плотность тока в щеточном контакте этих щеток невелика, а поэтому их применение в машинах со значительным рабочим током ведет к необходимости увеличения площади щеточного контакта, что требует увеличения площади коллектора за счет его длины. Это привело бы к увеличению габаритов машины и дополнительному расходу меди. Поэтому щетки с большим  $r_{щ}$  применяют преимущественно в машинах с относительно высоким напряжением.



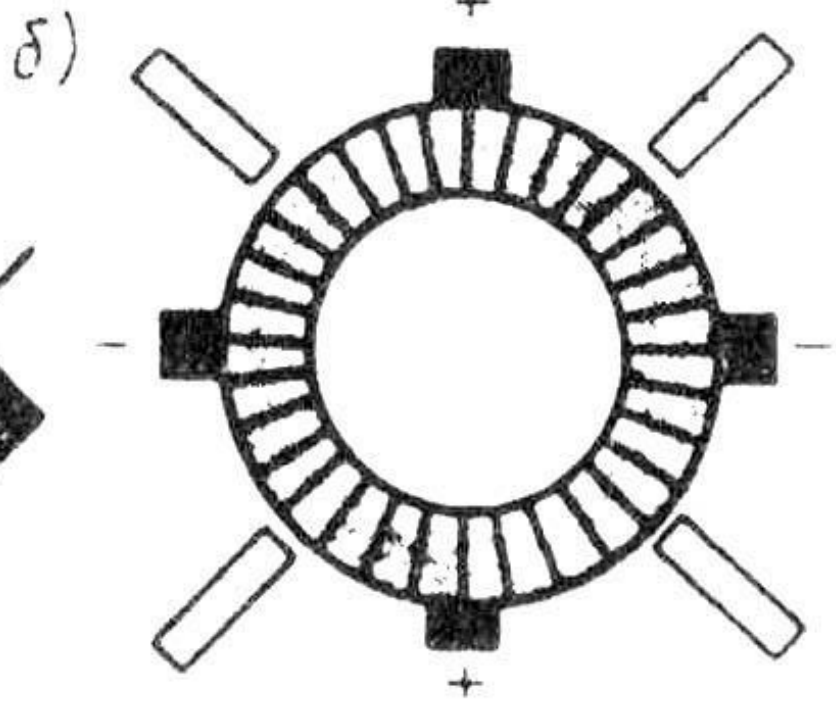
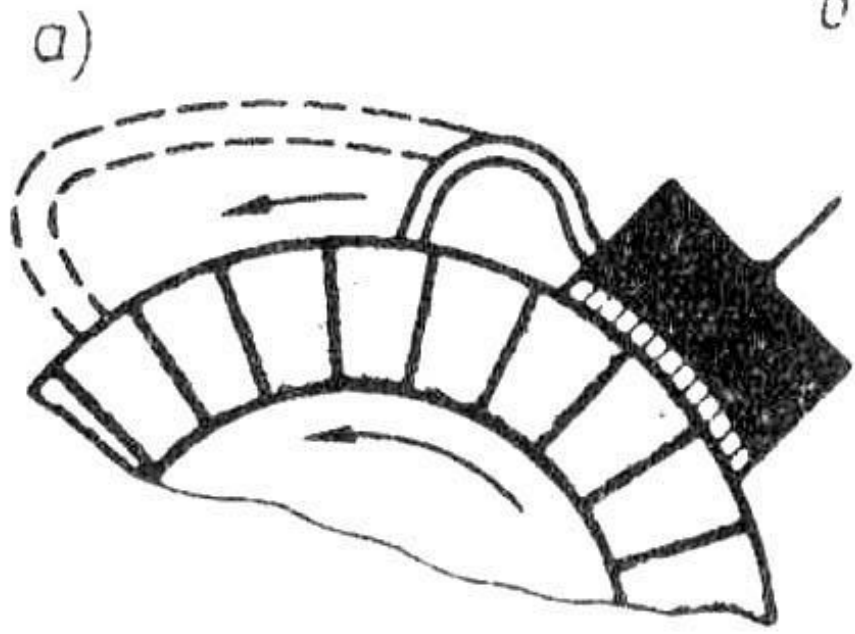
Группа щеток, обозначение	Переходное падение напряжения на пару щеток при номинальном токе, В	Номинальная плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	Область применения
Графитовые Г, 611М	1,9—2,0	0,11—0,12	Для машин с облегченными условиями коммутации
Электрографитированные ЭГ	2,0—2,7	0,10—0,15	Для машин со средними и затрудненными условиями коммутации и для контактных колец
Угольно-графитовые УГ;Т	2,0	0,06—0,07	Для машин со средними условиями коммутации
Медно-графитовые М, МГ	0,2—1,5	0,15—0,20	Для низковольтных (до 48 В) машин и контактных колец

**2.Добавочные полюсы.** Назначение добавочных полюсов – создать в зоне коммутации магнитное поле такой величины и направления, чтобы наводимая этим полем в коммутирующей секции ЭДС вращения  $e_{вр}$  компенсировала реактивную ЭДС  $e_p$ . Добавочные полюсы располагают между главными. При этом щетки устанавливают на геометрической нейтрали.

Все машины постоянного тока мощностью свыше 1 кВт снабжаются добавочными полюсами, число которых принимают равным числу главных полюсов или же вдвое меньшим.

Наличие добавочных полюсов позволяет увеличить линейную нагрузку машины и при заданной мощности получить машину меньшего веса и габаритов.

При значительных перегрузках или внезапном коротком замыкании машины постоянного тока коммутация приобретает резко замедленный характер. В этом случае между сбегающей коллекторной пластиной и сбегающим краем щетки возникает электрическая дуга. Так как коллектор вращается, то дуга механически растягивается. Все это создает условия для возникновения электрической дуги между щеткой и коллекторными пластинами.



Таким образом, в условиях значительной перегрузки в машине постоянного тока появляются коммутационные и потенциальные причины для возникновения электрической дуги на коллекторе.

При этом электрические дуги, вызванные коммутационными причинами, сливаются с дугами, вызванными потенциальными причинами, образуя вокруг коллектора мощную электрическую дугу, которая может перекинуться также и на корпус машины.

Описанное явление называется **круговым огнем** по коллектору.

Круговой огонь очень опасен, так как может привести к тяжелой аварии машины, включая возникновение в машине пожара.

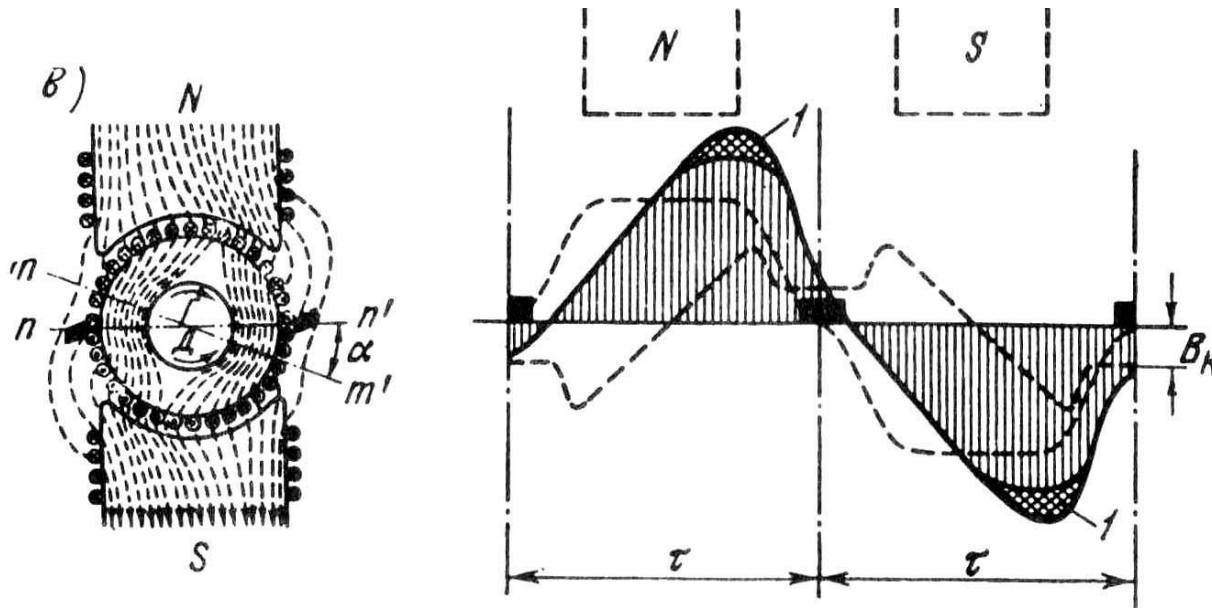
**Тема 25.**  
**Реакция якоря. Способы  
возбуждения машин  
постоянного тока**



Влияние МДС обмотки якоря на магнитное поле машины называют **реакцией якоря.**

Реакция якоря искажает магнитное поле машины, делает его несимметричным относительно оси полюсов.

На рисунке показано распределение магнитных силовых линий результирующего поля машины, работающей в генераторном режиме при вращении якоря по часовой стрелке.



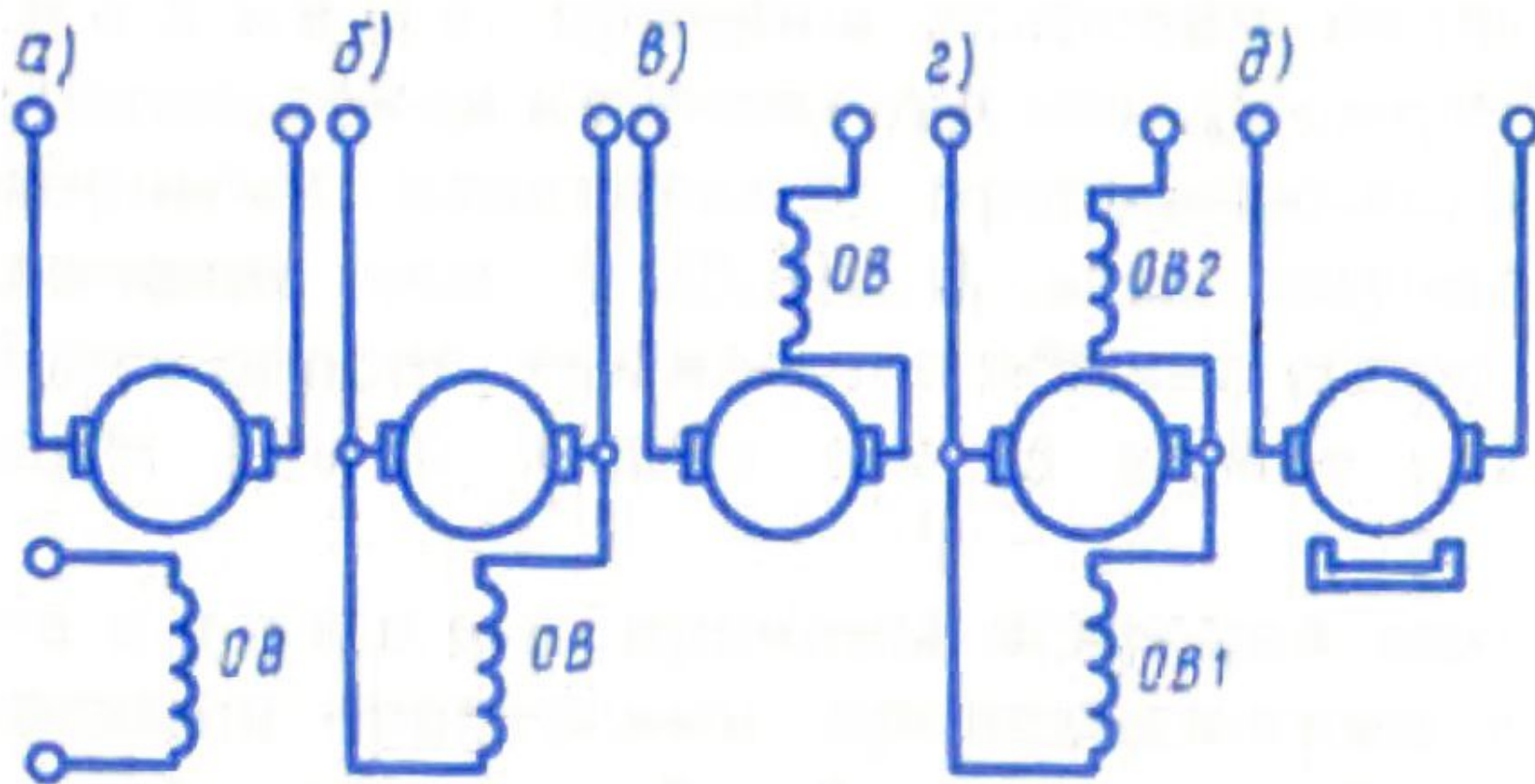
Если принять, что магнитная система машины *не насыщена*, то реакция якоря будет лишь искажать результирующий магнитный поток, не изменяя его значения: край полюса и находящийся под ним зубцовый слой якоря, где МДС якоря совпадает по направлению с МДС возбуждения, *подмагничиваются*; другой край полюса и зубцовый слой якоря, где МДС направлена против МДС возбуждения, *размагничиваются*.

При этом результирующий магнитный поток как бы поворачивается относительно оси главных полюсов на некоторый угол, а **физическая нейтраль** (линия, проходящая через точки на якоре, в которых индукция равна нулю) смещается относительно геометрической нейтрали

Чем больше нагрузка машины, тем сильнее искажение результирующего поля, а следовательно, тем больше угол смещения физической нейтрали.

При работе машины в режиме генератора физическая нейтраль смещается по направлению вращения якоря, а при работе двигателем — против вращения якоря.

# Способы возбуждения машин постоянного тока

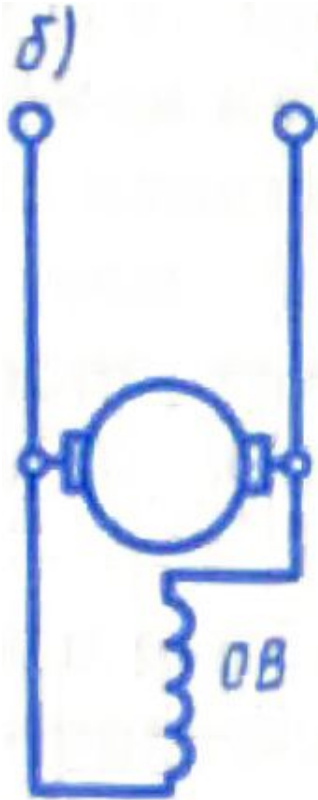


# Способы возбуждения машин постоянного тока



а) машины независимого возбуждения, в которых обмотка возбуждения (ОВ) питается постоянным током от источника, электрически не связанного с обмоткой якоря (возбудителя);

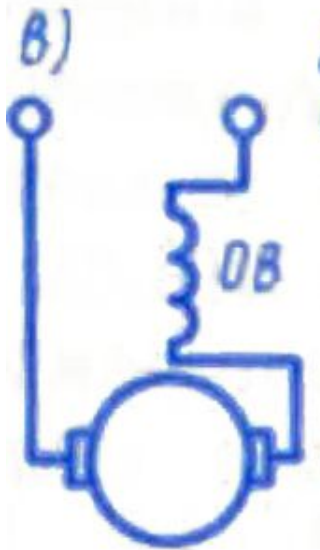
# Способы возбуждения машин постоянного тока



б) машины параллельного возбуждения (**шунтовые**), в которых обмотка возбуждения и обмотка якоря соединены параллельно;

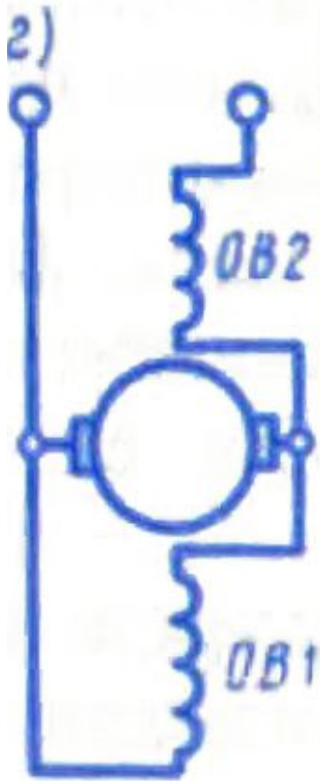


# Способы возбуждения машин постоянного тока



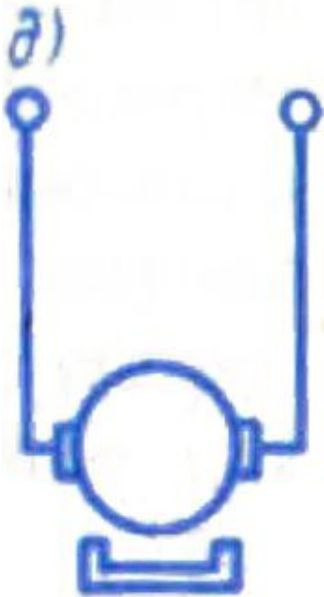
в) машины последовательного возбуждения (**сериесные**), в которых обмотка возбуждения и обмотка якоря соединены последовательно;

# Способы возбуждения машин постоянного тока



г) машины смешанного возбуждения (**компаундные**), в которых имеются две обмотки возбуждения - параллельная OB1 и последовательная OB2;

# Способы возбуждения машин постоянного тока



д) машины с возбуждением постоянными магнитами.

# Обозначение обмоток машин постоянного тока

	обмотка возбуждения главных полюсов, включенная независимо или параллельно обмотке якоря
	обмотка возбуждения, включенная последовательно с обмоткой якоря
	компенсационная обмотка
	обмотка возбуждения добавочных полюсов

Начала и концы обмоток обозначаются следующим образом:

**обмотка якоря - Я1 и Я2;**

**обмотка добавочных полюсов - Д1 и Д2;**

**компенсационная обмотка - К1 и К2;**

**обмотка возбуждения независимая -  
М1 и М2;**

**обмотка возбуждения параллельная -  
Ш1 и Ш2;**

**обмотка возбуждения  
последовательная - С1 и С2.**

## Тема 26.

Классификация генераторов  
постоянного тока по способу  
возбуждения.

Условия самовозбуждения

В процессе работы генератора постоянного тока в обмотке якоря индуцируется ЭДС. При подключении к генератору нагрузки в цепи якоря возникает ток, а на выводах генератора устанавливается напряжение, определяемое уравнением напряжений для цепи якоря генератора:

$$U = E_a - I_a \Sigma r$$

$$E_a = c$$

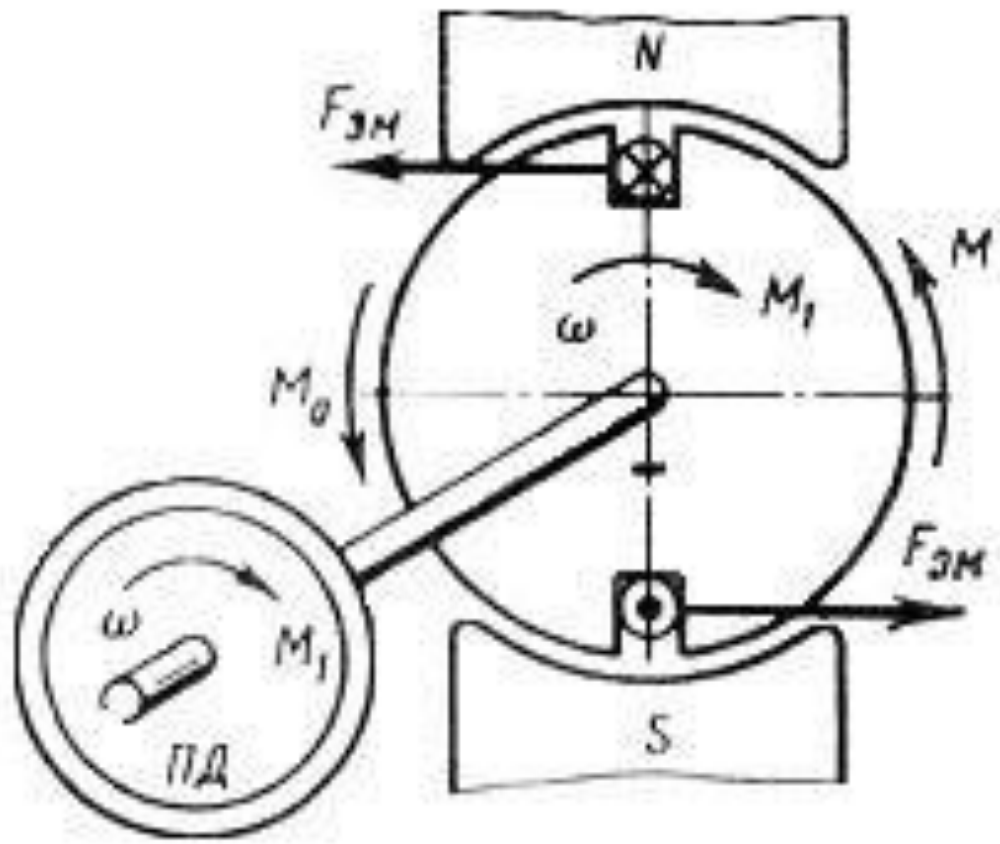
Якорь генератора приводится во вращение приводным двигателем, который создает на валу генератора вращающий момент  $M_1$ .

Если генератор работает в режиме х.х. то для вращения его якоря нужен сравнительно небольшой момент холостого хода  $M_0$ . Этот момент обусловлен тормозными моментами, возникающими в генераторе при его работе в режиме х.х.: моментами от сил трения и вихревых токов в якоре.



При работе нагруженного генератора в проводах обмотки якоря появляется ток, который, взаимодействуя с магнитным полем возбуждения, создает на якоре электромагнитный момент  $M$ .

В генераторе этот момент направлен встречно вращающему моменту приводного двигателя  $PД$ , т. е. он является нагрузочным (тормозящим).

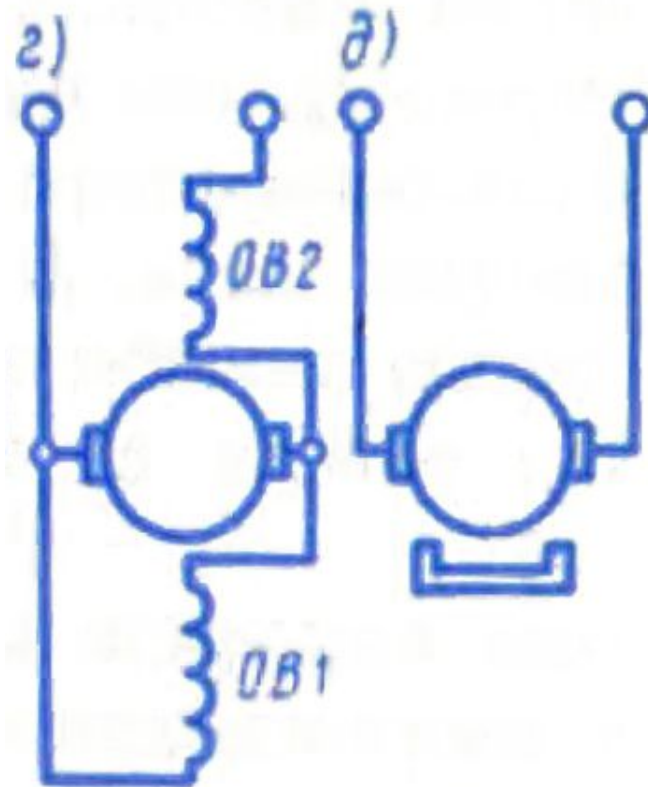
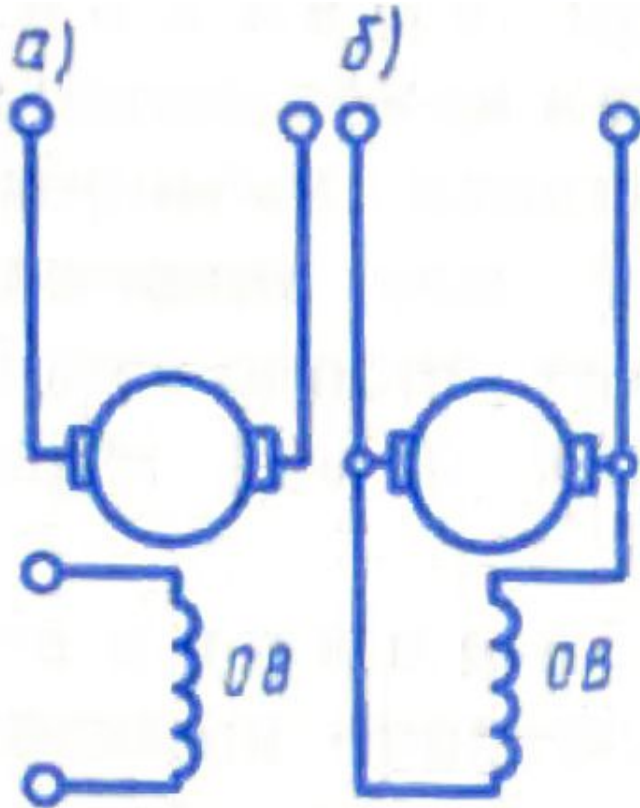


Механическая мощность, развиваемая приводным двигателем  $P_1$  преобразуется в генераторе в полезную электрическую мощность  $P_2$  передаваемую нагрузке, и мощность, затрачиваемую на покрытие потерь

$$(P_0 + P_{\text{Эа}} + P_{\text{ЭВ}})$$

Так как генераторы обычно работают при неизменной частоте вращения, то их характеристики рассматривают при условии  $n = \text{const}$

Генераторы постоянного тока выпускаются с независимым, параллельным, смешанным возбуждением и возбуждением от постоянных магнитов



Принцип самовозбуждения  
генератора постоянного тока  
**параллельного возбуждения**  
основан на том, что магнитная  
система машины, будучи  
намагниченной, сохраняет  
длительное время небольшой  
магнитный поток остаточного  
магнетизма сердечников полюсов и  
станины (порядка 2—3% от полного  
потока).

**Самовозбуждение генераторов  
постоянного тока возможно при  
соблюдении следующих условий:**

а) магнитная система машины должна обладать остаточным магнетизмом;

б) присоединение обмотки возбуждения должно быть таким, чтобы МДС обмотки совпадала по направлению с потоком остаточного магнетизма ;

в) сопротивление цепи возбуждения должно быть меньше критического;

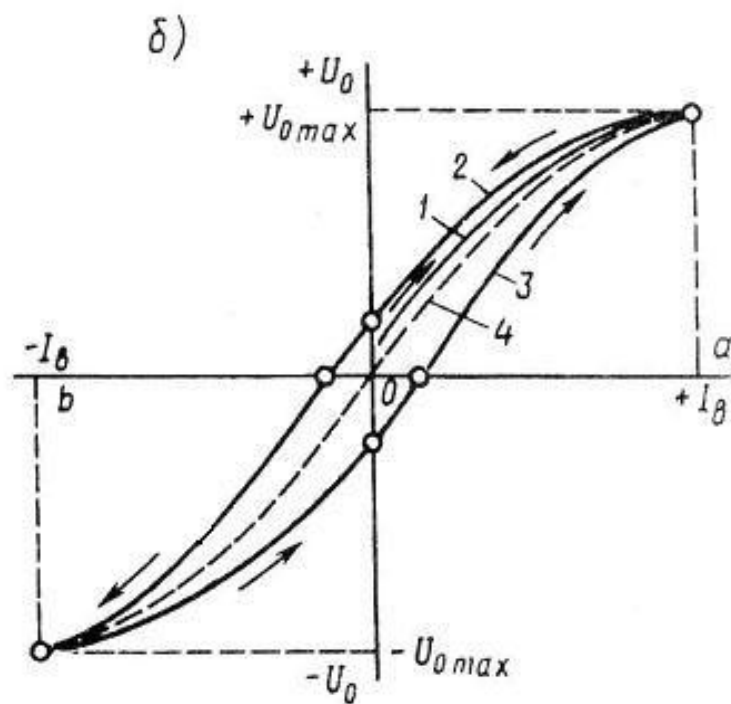
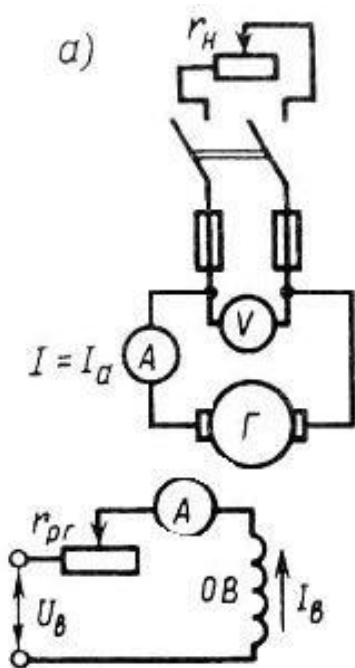
г) частота вращения якоря должна быть больше критической.



# Тема 27.

## Характеристики генераторов

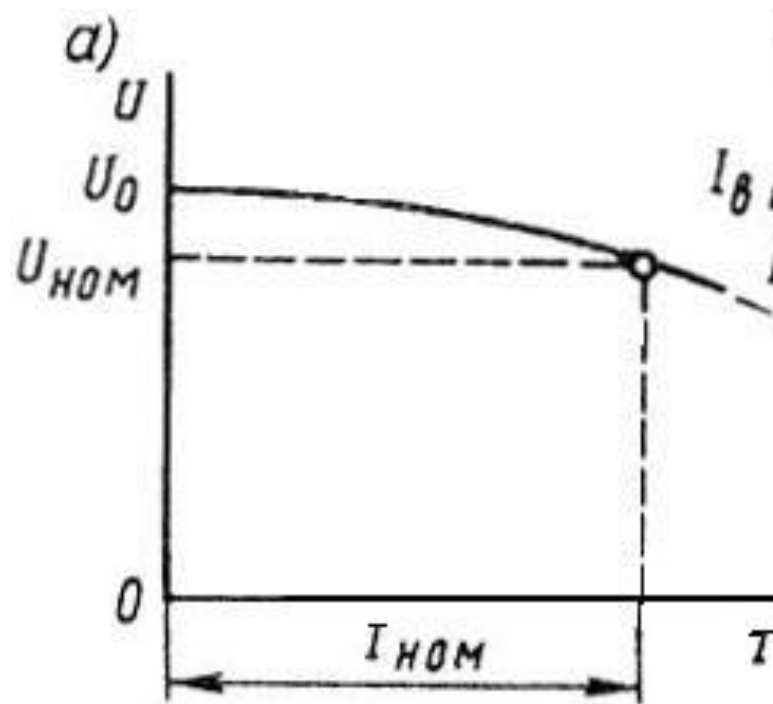
**Характеристика холостого хода —**  
 зависимость напряжения на выходе  
 генератора  $U_0$  в режиме х.х. от тока  
 возбуждения  $I_B$   $U_0 = f(I_B)$  при  $I = 0$   $n = const$





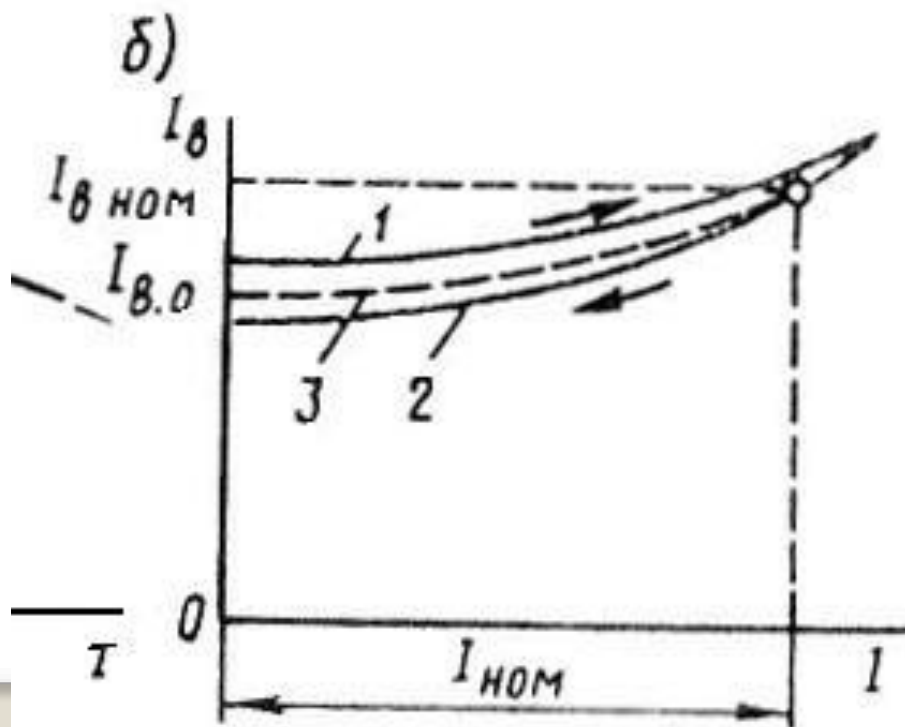
**Внешняя характеристика** —  
зависимость напряжения на выходе  
генератора  $U$  от тока нагрузки  $I$

$$U = f(I) \quad \text{при} \quad r_{pg} = const \quad n = const$$

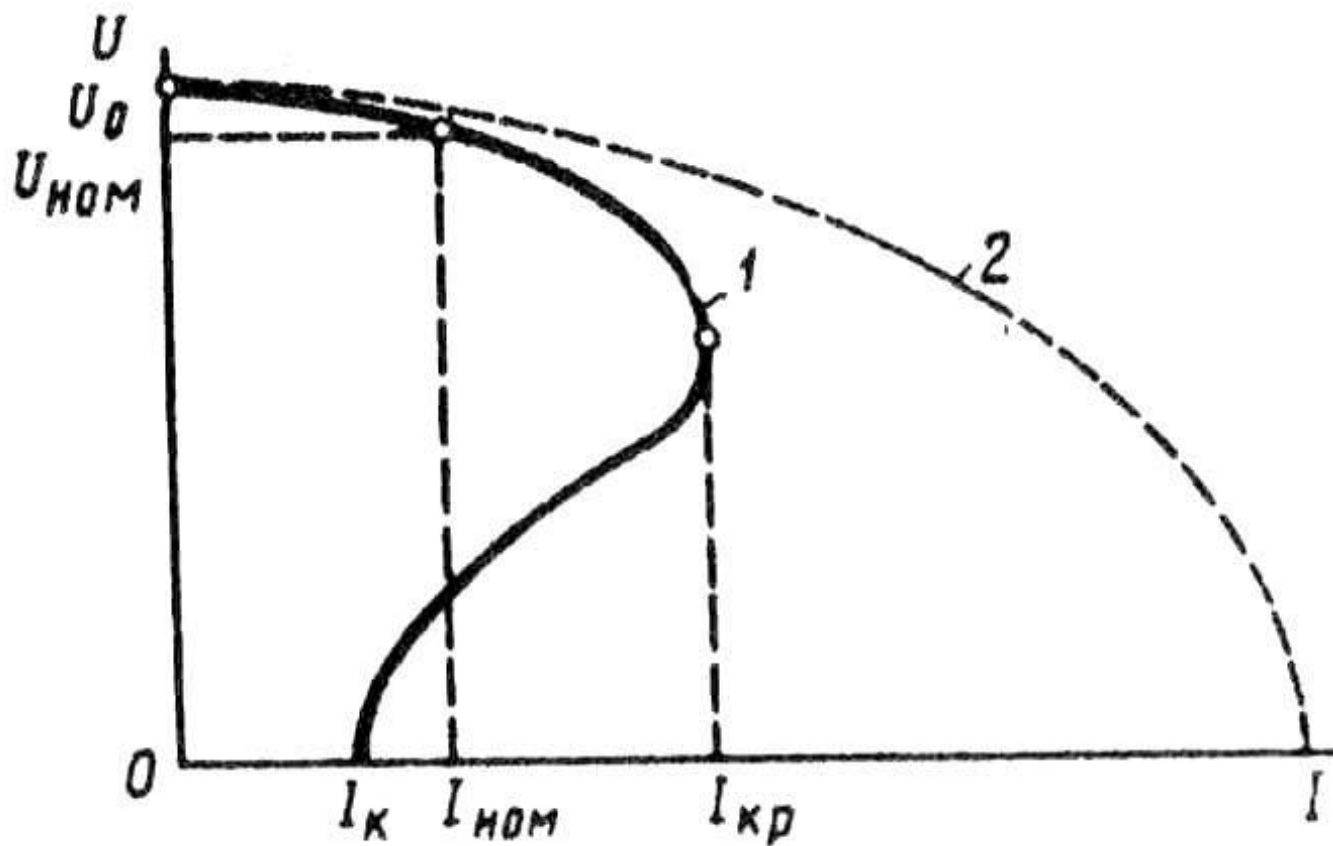


**Регулировочная характеристика** — зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при неизменном напряжении на выходе генератора

$$I_B = f(I) \quad \text{при } U = \text{const} \quad n = \text{const}$$



**Внешняя характеристика** генератора параллельного возбуждения менее жесткая, чем у генератора независимого возбуждения.



Объясняется это тем, что в генераторе параллельного возбуждения помимо причин, вызывающих уменьшение напряжения в генераторе независимого возбуждения (**1. реакция якоря и 2. падение напряжения в цепи якоря**), действует еще и **третья причина** — уменьшение тока возбуждения, вызванное снижением напряжения от действия первых двух причин.

Этим же объясняется и то, что при постепенном уменьшении сопротивления нагрузки ток увеличивается лишь до критического значения а затем при дальнейшем уменьшении сопротивления нагрузки ток начинает уменьшаться.



Дело в том, что с увеличением тока усиливается размагничивание генератора (усиление реакции якоря и уменьшение тока возбуждения), машина переходит в *ненасыщенное* состояние, при котором даже небольшое уменьшение сопротивления нагрузки вызывает резкое уменьшение ЭДС машины .

Так как ток определяется напряжением на выводах генератора и сопротивлением нагрузки то при токах нагрузки  $I < I_{кр}$  когда напряжение генератора уменьшается медленнее, чем убывает сопротивление нагрузки, происходит рост тока нагрузки.

Таким образом, короткое замыкание, вызванное медленным уменьшением сопротивления нагрузки, не опасно для генератора параллельного возбуждения.

Но при внезапном к.з. магнитная система генератора не успевает размагнититься и ток достигает опасных для машины значений .

В машинах постоянного тока имеется ряд трудно учитываемых потерь — *добавочных*.

Эти потери складываются из потерь от вихревых токов в меди обмоток, потерь в уравнивательных соединениях, в стали якоря из-за неравномерного распределения индукции при нагрузке, в полюсных наконечниках, обусловленных пульсацией основного потока из-за наличия зубцов якоря, и др.

Добавочные потери составляют хотя и небольшую, но не поддающуюся точному учету величину.

Поэтому, согласно ГОСТу, в машинах без компенсационной обмотки значение добавочных потерь принимают равным 1% от полезной мощности для генераторов или 1% от подводимой мощности для двигателей.

В машинах с компенсационной обмоткой значение добавочных потерь принимают равным соответственно 0,5%.

**Тема 28.**  
**Назначение, области**  
**использования,**  
**технические**  
**характеристики**  
**двигателей постоянного**  
**тока**

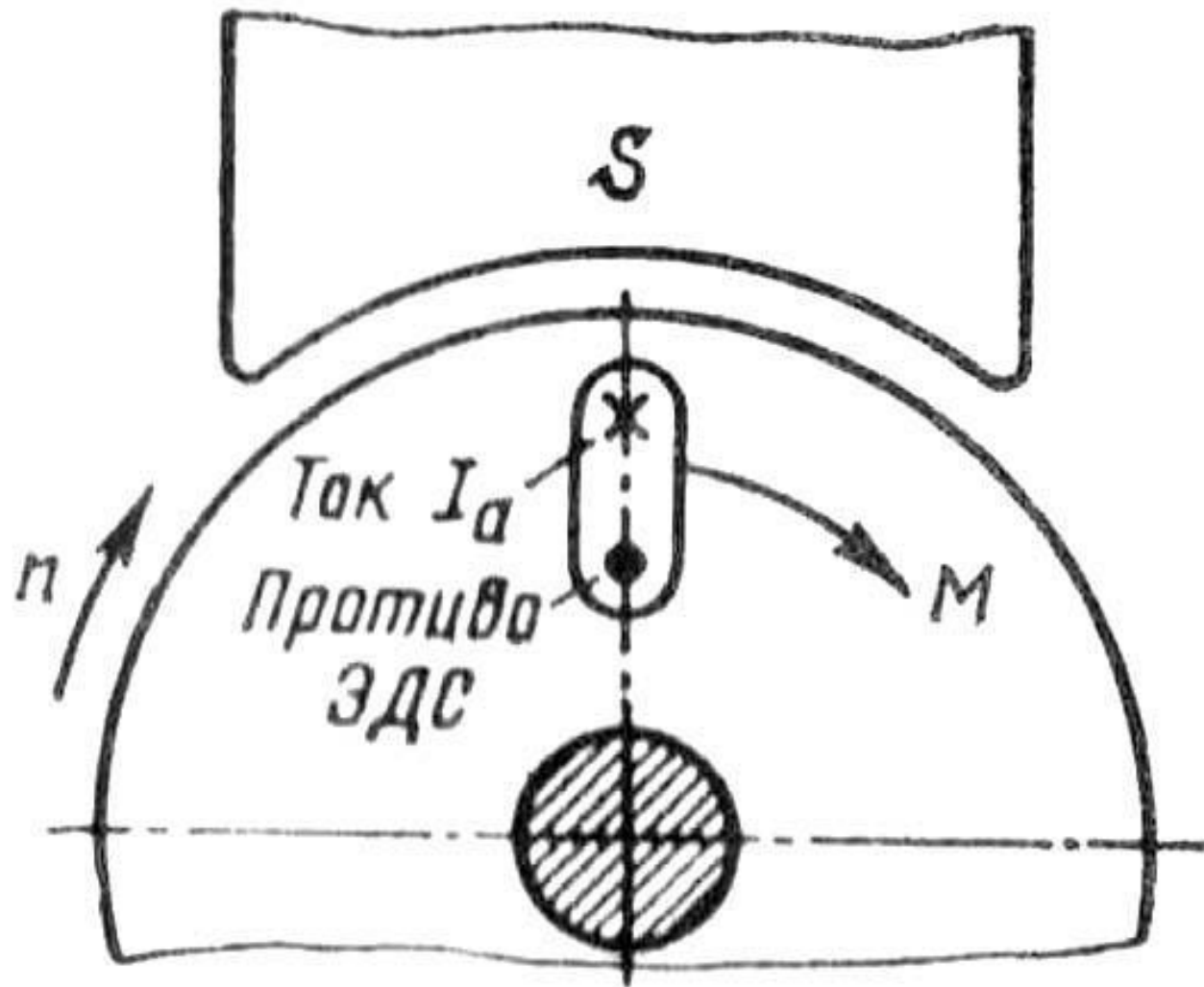
Если машину постоянного тока подключить к источнику энергии постоянного тока, то в обмотке возбуждения и в обмотке якоря машины появятся токи.

Взаимодействие тока якоря с полем возбуждения создает на якоре электромагнитный момент  $M$ , который является вращающим.

Под действием электромагнитного момента якоря машина начнет вращаться, т. е. машина будет работать в режиме двигателя, потребляя из сети электрическую энергию и преобразуя ее в механическую.

В процессе работы двигателя его якорь вращается в магнитном поле. В обмотке якоря индуцируется ЭДС, которая направлена против тока, и поэтому ее называют противоэлектродвижущей силой (противо-ЭДС) якоря





Для двигателя, работающего с постоянной частотой вращения

$$U = E_a + I_a \sum r$$

$$\sum r = r_a + r_D + r_{к.о} + r_c + r_{щ}$$

сумма сопротивлений всех участков цепи якоря:

- обмотки якоря  $r_a$ ,
- обмотки добавочных полюсов  $r_D$ ,
- компенсационной обмотки  $r_{к.о}$ ,
- последовательной обмотки возбуждения  $r_c$
- переходного щеточного контакта  $r_{щ}$

$$E_a = \frac{pN}{60a} \Phi n = c_e \Phi n$$

$$c_e = pN / (60a)$$

$p$  – число пар полюсов;  $N$  - число пазовых проводников,  $a$  – число параллельных ветвей

Подведенное к двигателю напряжение уравнивается противо-ЭДС обмотки якоря и падением напряжения в цепи якоря.

# Ток якоря

$$I_a = \frac{U - E_a}{\Sigma r}$$

Умножив обе части этого уравнения на ток якоря получим уравнение мощности для цепи якоря:

$$UI_a = I_a^2 \sum r + E_a I_a$$

$UI_a$  - мощность в цепи обмотки якоря,

$I_a^2 \sum r$  - мощность электрических потерь в цепи якоря,

$E_a I_a = M\omega = P_{ЭМ}$  - электромагнитная мощность двигателя,

$\omega$  - угловая частота

вращения якоря

$M$  - электромагнитный момент

двигателя  $\Phi I_a$

$$M = \frac{pN}{2\pi\alpha} \Phi I_a = c_M \Phi I_a \quad c_M = pN / (2\pi\alpha)$$

$$UI_a = M\omega + I_a^2 \sum r$$

Анализ этого уравнения показывает, что с увеличением нагрузки на вал двигателя, т. е. с увеличением электромагнитного момента  $M$ , возрастает мощность в цепи обмотки якоря, т. е. мощность на входе двигателя.

Но так как напряжение, подводимое к двигателю, поддерживается неизменным, то увеличение нагрузки двигателя сопровождается ростом тока в обмотке якоря

В соответствии с формулой ЭДС  
частота вращения двигателя  $E_a = c_e \Phi n$

$$n = E_a / (c_e \Phi)$$

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{c_e \Phi}$$

Из последней формулы следует, что регулировать частоту вращения двигателя можно изменением:

1. Напряжения  $U$ , подводимого к двигателю,
2. Основного магнитного потока  $\Phi$ ,
3. Электрического сопротивления  $R$  в цепи якоря.



Направление вращения якоря зависит от направлений магнитного потока возбуждения  $\Phi$  и тока в обмотке якоря. Поэтому, изменив направление какой-либо из указанных величин, можно изменить направление вращения якоря. Следует иметь в виду, что переключение общих зажимов схемы у рубильника не дает изменения направления вращения якоря, так как при этом одновременно изменяется направление тока и в обмотке якоря, и в обмотке возбуждения.

# Система обозначений

**Серия 2П** машин постоянного тока охватывает высоты осей вращения от 90 до 315 мм и диапазон мощностей от 0,37 до 200 кВт. Машины этой серии предназначены для работы в широкорегулируемых электроприводах. Структура условного обозначения машин постоянного тока серии 2П:

<b>2П</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Т</b>	<b>Т</b>	<b>Т</b>	<b>Т</b>	<b>Т</b>	<b>Т</b> ,
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>

Двигатели выполняются с полным, числом добавочных полюсов; ДПТ с высотами оси вращения 90 и 100 мм — двухполюсные, 112 мм — четырехполюсные.

1 — название серии:

вторая серия машин постоянного тока;

2 — исполнение по способу защиты и вентиляции:

Н — защищенное с самовентиляцией,

Ф — защищенное с независимой вентиляцией от постоянного вентилятора,

Б — закрытое с естественным охлаждением,

О — закрытое с внешним обдувом от постоянного вентилятора;

- 3 — высота оси вращения, мм;
- 4 — условное обозначение длины сердечника якоря:  
М — средняя,  
L — большая;
- 5 — буква Г при наличии встроенного тахогенератора (в обозначении ДПТ без тахогенератора опускается);
- 6 — климатическое исполнение и категория размещения.

**Климатическое исполнение** - возможность использования оборудования при определенных климатических параметрах.

**Первая цифра** обозначает климатическую зону размещения оборудования:

У — умеренный климат;

ХЛ — холодный климат;

УХЛ — умеренный и холодный климат;

Т — тропический климат;

М — морской умеренно-холодный климат;

О — общеклиматическое исполнение (кроме морского);

ОМ — общеклиматическое морское исполнение;

В — всеклиматическое исполнение.

Следующая за буквенной цифровая часть означает **категорию размещения**:

1 — на открытом воздухе;

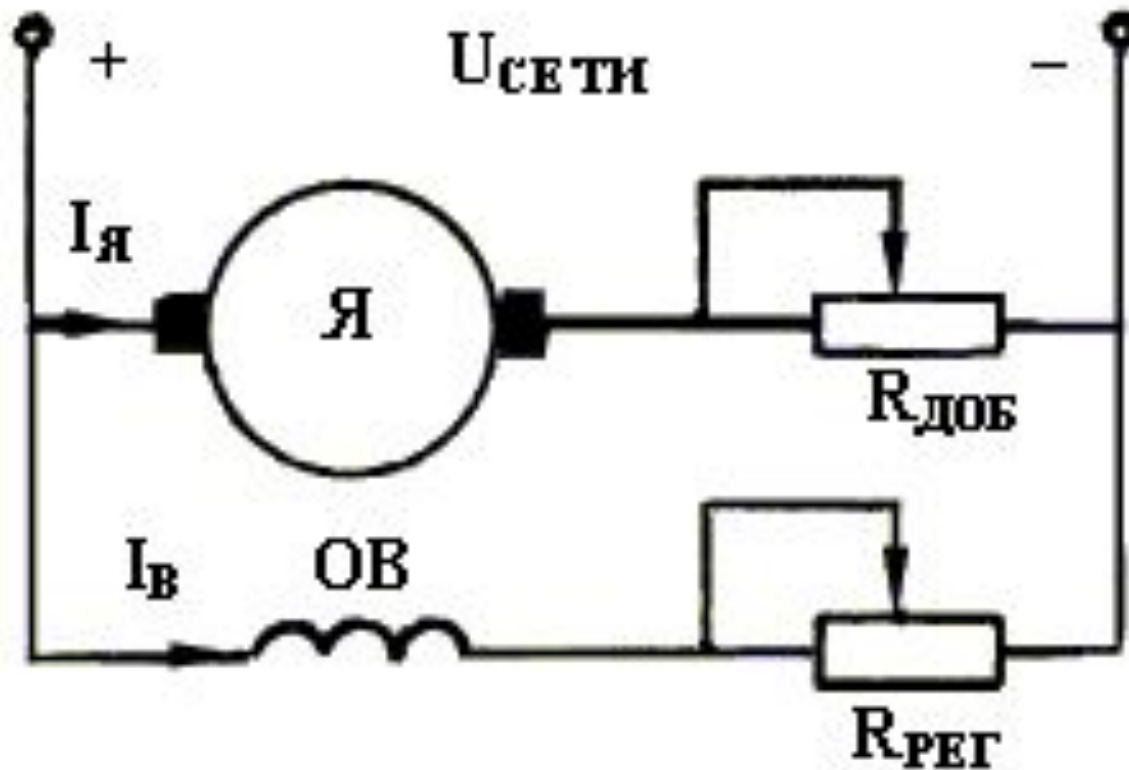
2 — под навесом или в помещении, где условия такие же, как на открытом воздухе, за исключением солнечной радиации, атмосферных осадков;

3 — в закрытом помещении без искусственного регулирования климатических условий;

4 — в закрытом помещении с искусственным регулированием климатических условий (вентиляция, отопление);

5 — в помещениях с повышенной влажностью, без искусственного регулирования климатических условий

# Пуск, реверс и регулирование частоты вращения двигателя параллельного возбуждения



Ток якоря двигателя определяется формулой

$$I_a = \frac{U - E_a}{\sum r}$$

Если принять  $U$  и  $\sum r$  неизменными, то ток зависит от противо-ЭДС.

Наибольшего значения ток достигает при пуске двигателя в ход. В начальный момент пуска якорь двигателя неподвижен и в его обмотке не индуцируется ЭДС .



Поэтому при непосредственном подключении двигателя к сети в обмотке его якоря возникает пусковой ток

$$I'_a = U / \Sigma r$$

Обычно сопротивление невелико, поэтому значение пускового тока достигает недопустимо больших значений, в 10—20 раз превышающих номинальный ток двигателя.

Такой большой пусковой ток весьма опасен для двигателя.

**Во-первых**, он может вызвать в машине круговой огонь

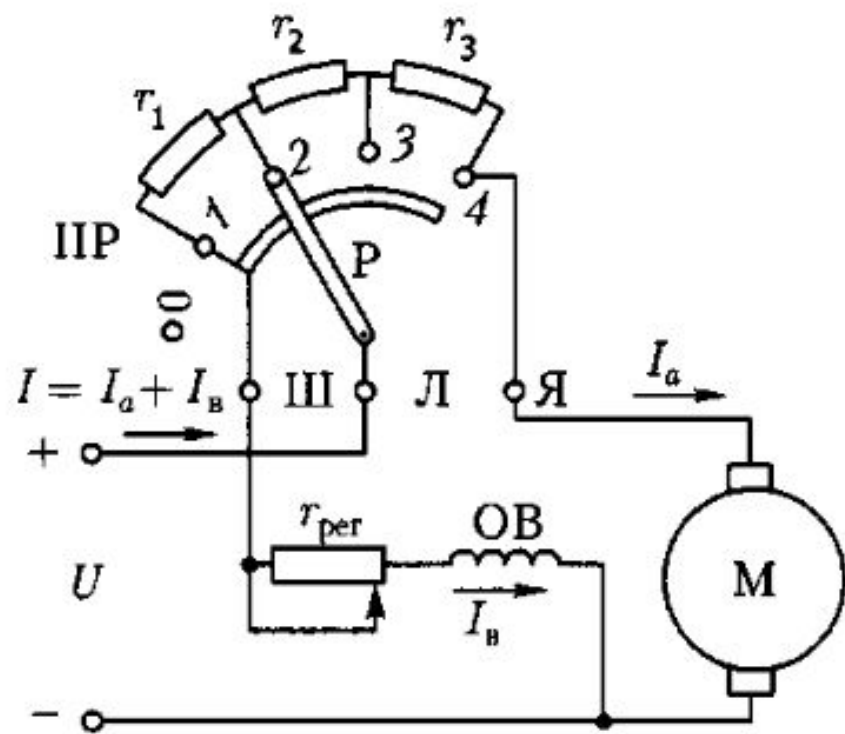
**Во-вторых**, при таком токе в двигателе развивается чрезмерно большой пусковой момент, который оказывает ударное действие на вращающиеся части двигателя и может механически их разрушить.

**В-третьих** этот ток вызывает резкое падение напряжения в сети, что неблагоприятно отражается на работе других потребителей, включенных в эту сеть.

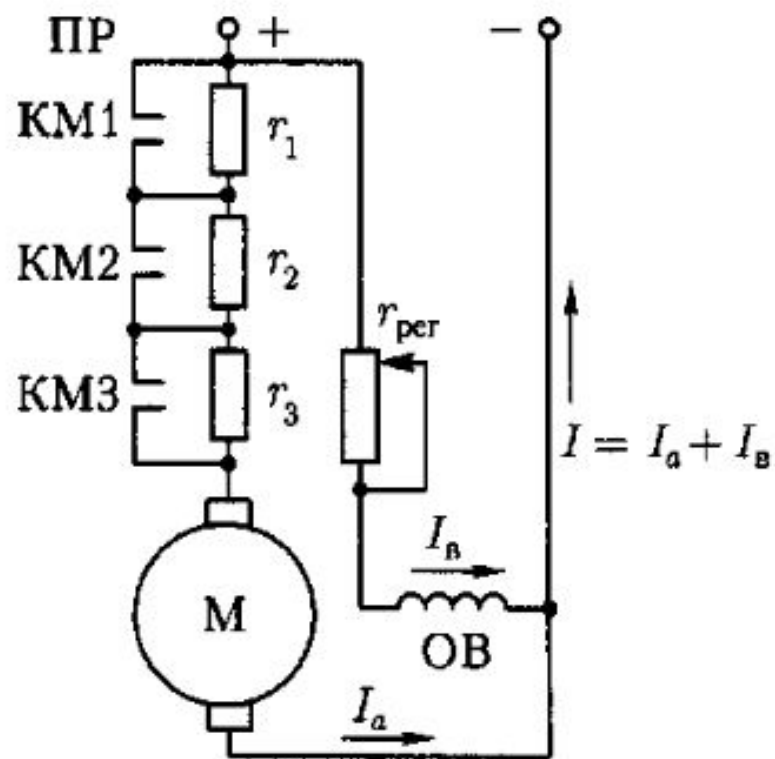
Поэтому пуск двигателя непосредственным подключением в сеть (безреостатный пуск) обычно применяют для двигателей мощностью не более 0,7—1,0 кВт.

В этих двигателях благодаря повышенному сопротивлению обмотки якоря и небольшим вращающимся массам значение пускового тока лишь в 3—5 раз превышает номинальный, что не представляет опасности для двигателя.

Что же касается двигателей большей мощности, то при их пуске для ограничения пускового тока используют *пусковые реостаты* (ПР), включаемые последовательно в цепь якоря (реостатный пуск).



*a*

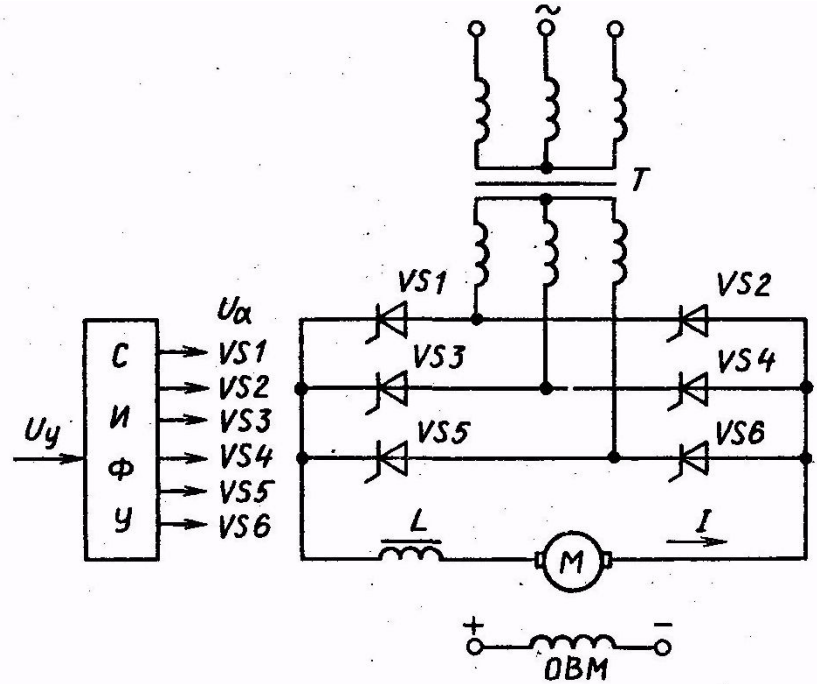
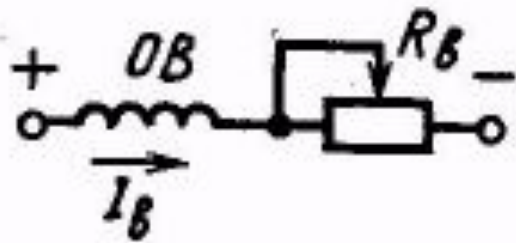
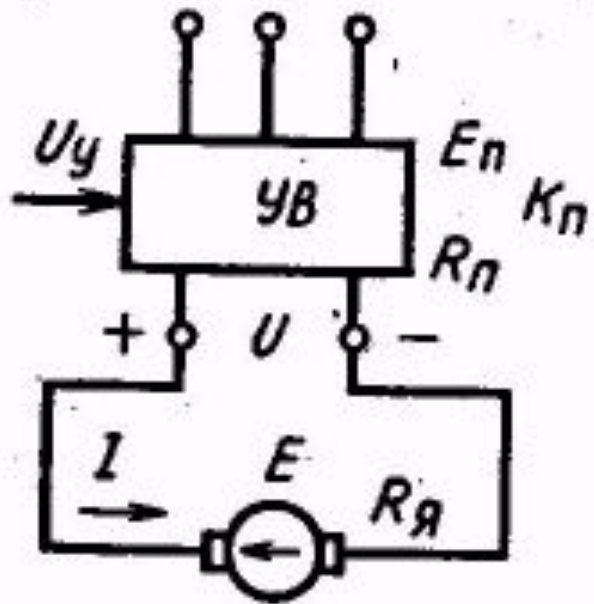


*б*

Для пуска двигателей большей мощности применять пусковые реостаты нецелесообразно, так как это вызвало бы значительные потери энергии.

Кроме того, пусковые реостаты были бы громоздкими.

Поэтому в двигателях большой мощности применяют безреостатный пуск двигателя путем понижения напряжения.





Направление вращения якоря зависит от направлений магнитного потока возбуждения  $\Phi$  и тока в обмотке якоря. Поэтому, изменив направление какой-либо из указанных величин, можно изменить направление вращения якоря.

# Регулирование частоты вращения.

Зависимость частоты вращения двигателя от тока якоря  $n = n_a(I_a)$  называется

**электромеханической характеристикой**

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{c_e \Phi} = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{I_a \Sigma r}{c_e \Phi}$$

$$c_e = pN / (60a)$$

$$M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a = c_M \Phi I_a$$

Зависимость частоты вращения двигателя от вращающего момента называется **механической характеристикой**  $n = f(M)$

$$n = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{M \Sigma r}{c_e c_M \Phi^2} = n_0 - \Delta n$$

Где  $n_0$  - частота вращения в режиме х. х.;  $\Delta n$  - изменение частоты вращения, вызванное изменением нагрузки на валу двигателя.

Если пренебречь реакцией якоря, то так как  $I_B = const$  можно принять

$$\Phi = const$$

Тогда механическая характеристика двигателя параллельного возбуждения представляет собой прямую линию, несколько наклоненную к оси абсцисс.

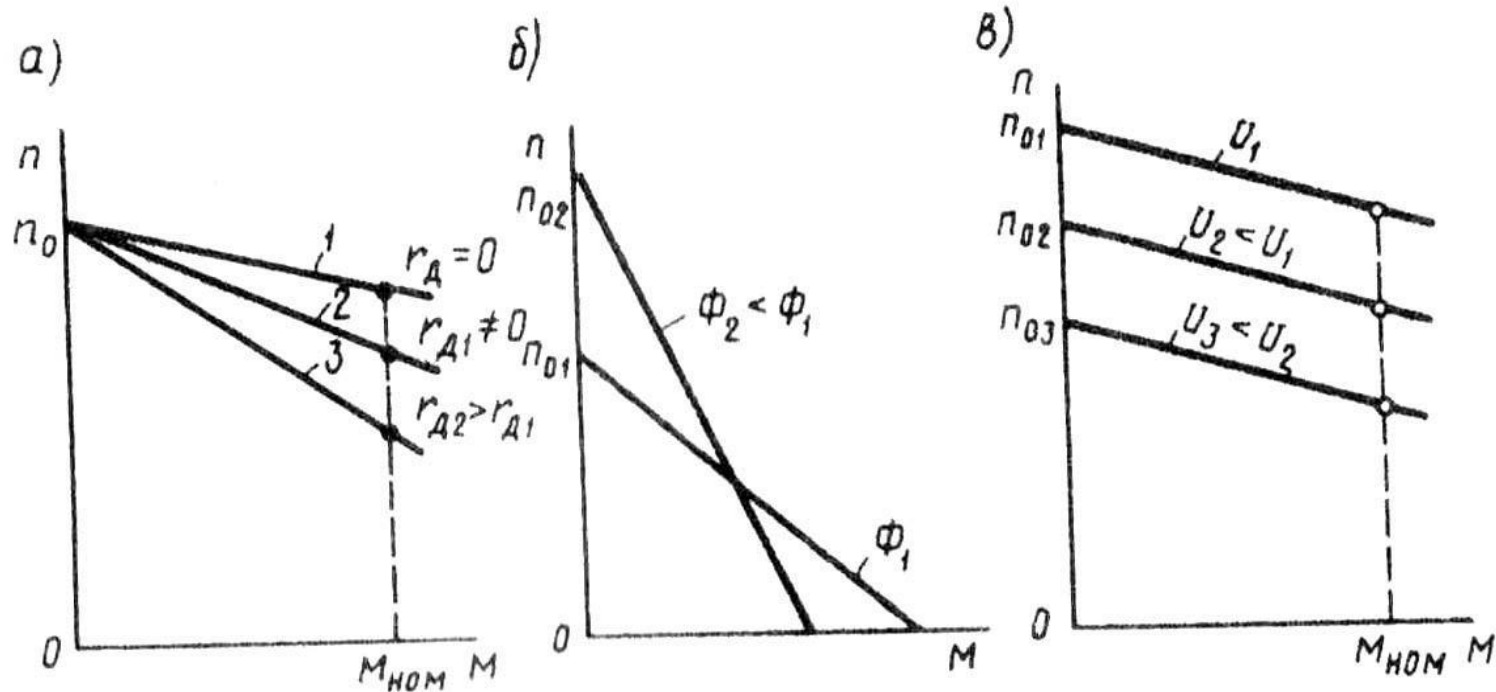
Угол наклона механической характеристики тем больше, чем больше значение сопротивления, включенного в цепь якоря и меньше магнитный поток.

Механическую характеристику двигателя при отсутствии дополнительного сопротивления в цепи якоря и номинальных значениях напряжения и магнитного потока называют ***естественной*** (прямая 1).

Механические характеристики двигателя, полученные при введении дополнительного сопротивления в цепь якоря или изменении напряжения или потока, называют ***искусственными*** (прямые 2 и 3).

Из уравнения механической характеристики следует, что регулировать частоту вращения двигателя параллельного возбуждения можно тремя способами:

1. изменением сопротивления в цепи якоря  $\sum r$ ,
2. изменением основного магнитного потока  $\Phi$ ,
3. изменением напряжения в цепи якоря  $U$ .



Механические характеристики двигателя параллельного возбуждения:

а — при введении в цепь якоря добавочного сопротивления;

б — при изменении основного магнитного потока;

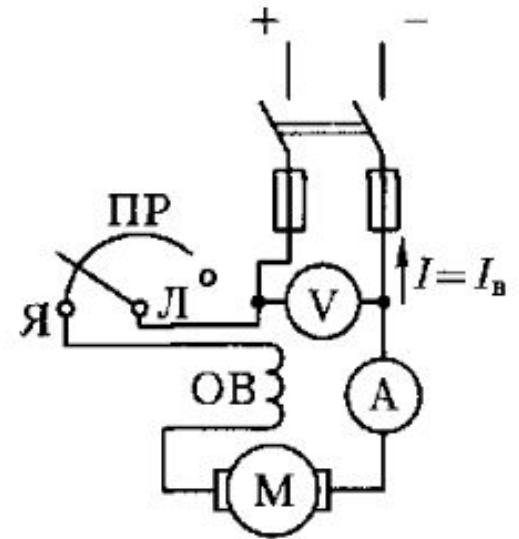
в — при изменении напряжения в цепи якоря

**Двигатель  
последовательного и  
смешанного возбуждения**



# Двигатель последовательного возбуждения

В двигателе последовательного возбуждения обмотка возбуждения включена последовательно в цепь якоря, поэтому магнитный поток  $\Phi$  в нем зависит от тока нагрузки  $I = I_a = I_B$



При небольших нагрузках магнитная система машины не насыщена и зависимость магнитного потока от тока нагрузки прямо пропорциональна, т. е.  $\Phi = k_{\Phi} I_a$ . В этом случае электромагнитный момент:

$$M = c_M k_{\Phi} I_a I_a = c'_M I_a^2$$

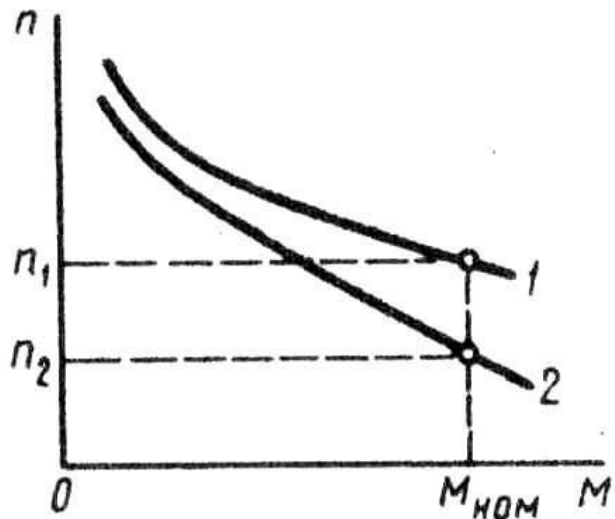
Формула частоты вращения

$$n = \frac{U - I_a \sum r}{c_e \Phi}$$

примет вид

$$n = \frac{U - I_a \sum r}{c_e k_{\Phi} I_a} = \frac{U - I_a \sum r}{c'_e I_a}$$

Механическая характеристика двигателя последовательного возбуждения имеет вид



При больших нагрузках наступает насыщение магнитной системы двигателя. В этом случае магнитный поток при возрастании нагрузки практически не изменяется и характеристики двигателя приобретают почти прямолинейный характер.

Характеристика частоты вращения двигателя последовательного возбуждения показывает, что частота вращения двигателя значительно меняется при изменениях нагрузки.

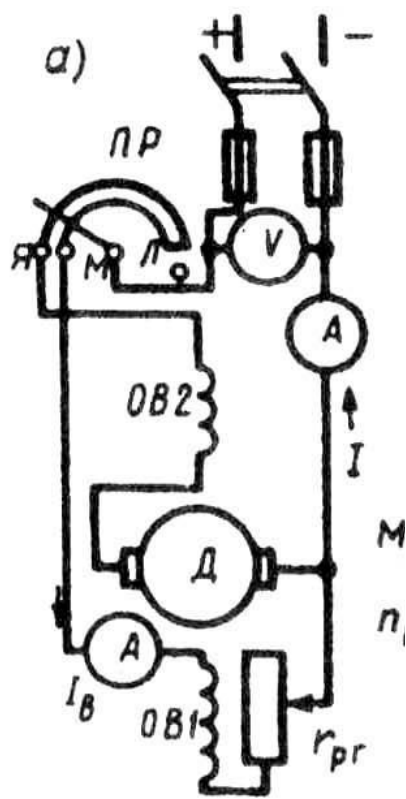
Такую характеристику принято называть *мягкой*. При уменьшении нагрузки двигателя последовательного возбуждения частота вращения резко увеличивается и при нагрузке **меньше 25%** от номинальной может достигнуть опасных для двигателя значений («разнос»).

Поэтому работа двигателя последовательного возбуждения или его пуск при нагрузке на валу **меньше 25%** от номинальной недопустима.

Для более надежной работы вал двигателя последовательного возбуждения должен быть жестко соединен с рабочим механизмом посредством муфты и зубчатой передачи.

Применение ременной передачи недопустимо, так как при обрыве или сбросе ремня может произойти «разнос» двигателя.

Двигатель смешанного возбуждения имеет две обмотки возбуждения: параллельную и последовательную.



Частота вращения этого двигателя

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{c_e (\Phi_1 \pm \Phi_2)}$$

Где  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  потоки параллельной и последовательной обмоток возбуждения.





При *встречном* включении обмоток поток при увеличении нагрузки размагничивает машину (знак минус), что, наоборот, повышает частоту вращения. Работа двигателя при этом становится неустойчивой, так как с увеличением нагрузки частота вращения неограниченно растет. Однако при небольшом числе витков последовательной обмотки с увеличением нагрузки частота вращения не возрастает и во всем диапазоне нагрузок остается практически неизменной

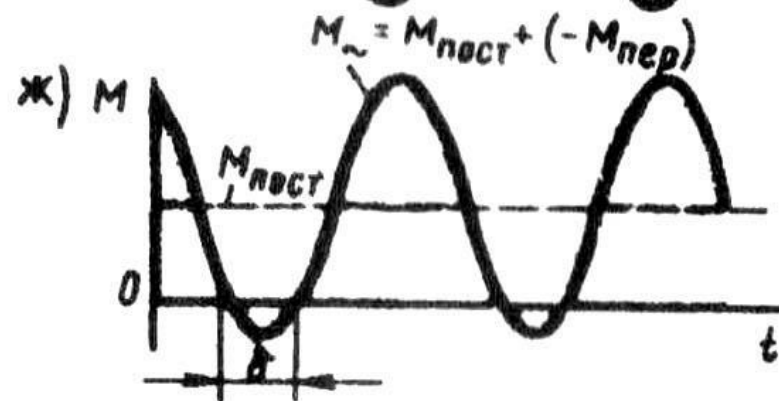
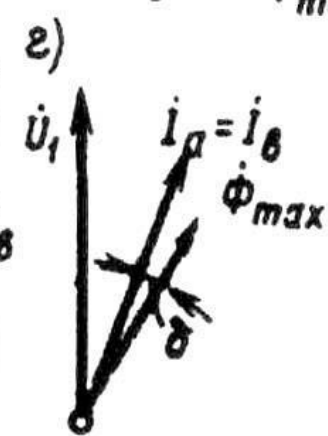
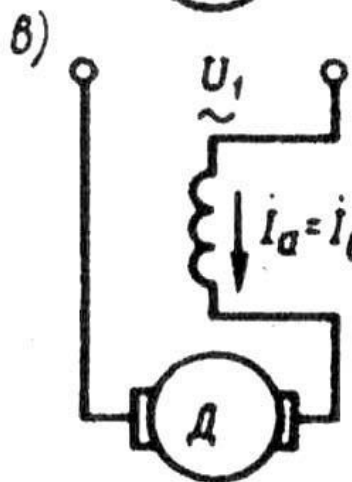
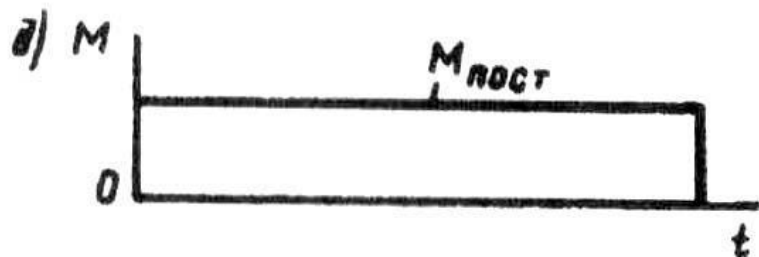
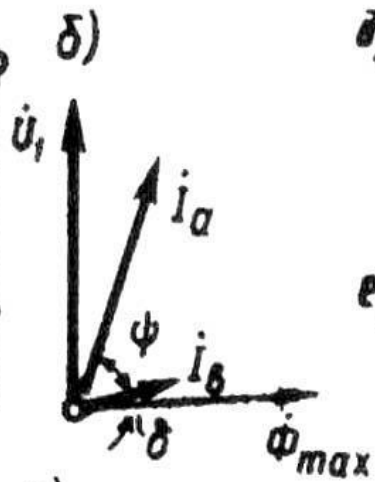
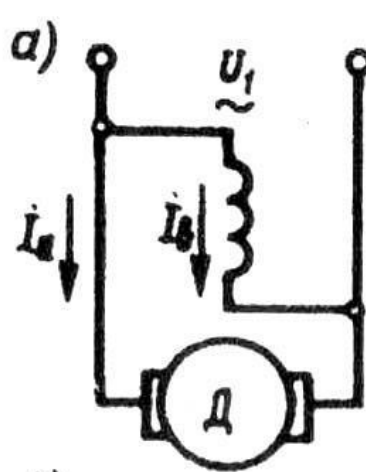
Двигатель смешанного возбуждения имеет преимущества по сравнению с двигателем последовательного возбуждения. Этот двигатель может работать вхолостую, так как поток параллельной обмотки ограничивает частоту вращения двигателя в режиме х.х. и устраняет опасность «разноса». Регулировать частоту вращения этого двигателя можно реостатом в цепи параллельной обмотки возбуждения.

Однако наличие двух обмоток возбуждения делает двигатель смешанного возбуждения более дорогостоящим по сравнению с двигателями рассмотренных выше типов, что несколько ограничивает его применение.

**Универсальными** называют коллекторные двигатели, которые могут работать как от сети постоянного, так и от сети однофазного переменного тока.

Коллекторный двигатель постоянного тока в принципе может работать от сети переменного тока, так как при переходе от положительного полупериода переменного напряжения к отрицательному направление электромагнитного момента сохраняется неизменным.

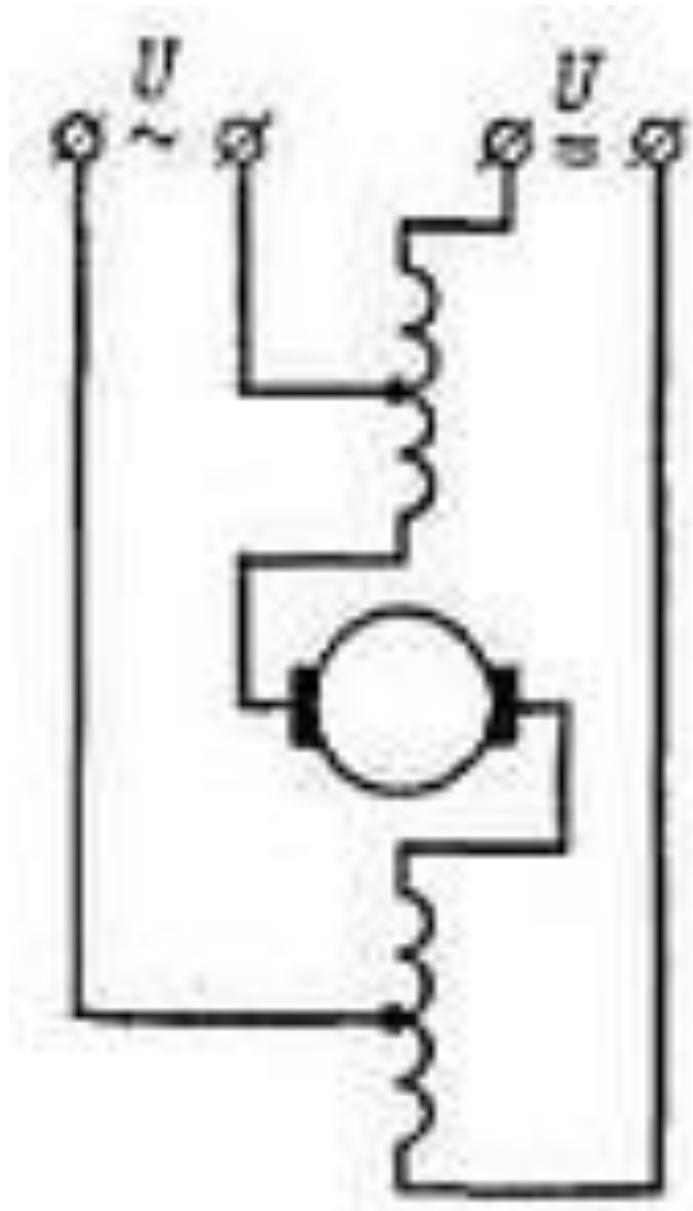
Объясняется это тем, что при переходе к отрицательному полупериоду почти одновременно с изменением направления тока в обмотке якоря меняется направление тока в обмотке возбуждения, т. е. меняется полярность полюсов.





По своей конструкции универсальные коллекторные двигатели отличаются от двигателей постоянного тока тем, что их станина и главные полюсы делаются шихтованными из листовой электротехнической стали.

Это дает возможность сократить магнитные потери, которые при работе двигателя от сети переменного тока повышаются, так как переменный ток в обмотке возбуждения вызывает перемагничивание всей магнитной цепи, включая станину и сердечники полюсов.



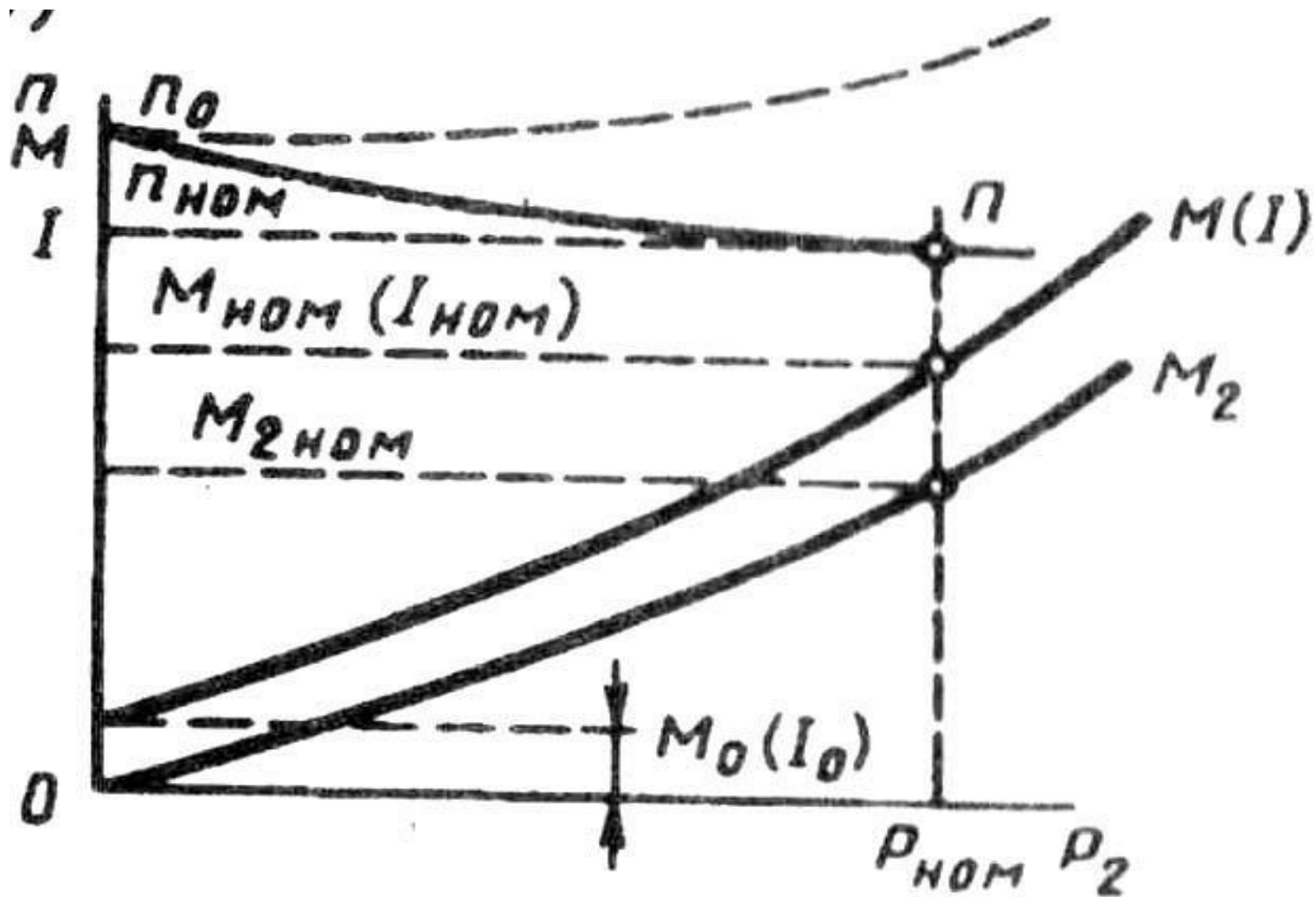
Тема 29.

Потери и КПД  
двигателей постоянного  
тока

Эксплуатационные свойства двигателя определяются его **рабочими характеристиками**, под которыми понимают зависимость частоты вращения  $n$ , тока  $I$ , полезного момента  $M_2$ , вращающего момента  $M$  от мощности на валу двигателя  $P_2$  при

$$U = const$$

$$I_B = const$$



В машинах постоянного тока, как и в других электрических машинах, имеют место

1. магнитные,

2. электрические

3. механические потери

(составляющие группу основных потерь)

4. добавочные потери.

Магнитные потери  $P_m$  происходят только в сердечнике якоря, так как только этот элемент магнитопровода машины постоянного тока подвергается перемагничиванию.

Величина магнитных потерь, состоящих из потерь от гистерезиса и потерь от вихревых токов, зависит от частоты перемагничивания значений магнитной индукции в зубцах и спинке якоря, толщины листов электротехнической стали, ее магнитных свойств и качества изоляции этих листов в пакете якоря.

$$f = pn / 60,$$



**Электрические потери** в коллекторной машине постоянного тока обусловлены нагревом обмоток и щеточного контакта.

Потери в цепи возбуждения определяются потерями в обмотке возбуждения и в реостате, включенном в цепь возбуждения:

$$P_{\text{Э.В}} = U_{\text{В}} I_{\text{В}}.$$

Потери в обмотках цепи якоря

$$P_{\text{Э.а}} = I_{\text{а}}^2 \sum r$$

Электрические потери также имеют место и в контакте щеток:

$$P_{\text{Э.щ}} = \Delta U_{\text{щ}} I_{\text{а}},$$

Электрические потери в цепи якоря и в щеточном контакте зависят от нагрузки машины, поэтому эти потери называют ***переменными.***

**Механические потери.** В машине постоянного тока механические потери складываются из потерь от трения щеток о коллектор, трения в подшипниках и на вентиляцию

$$P = P_k + P_{\Pi} + P_{вен},$$

Механические и магнитные потери при стабильной частоте вращения можно считать **постоянными**.

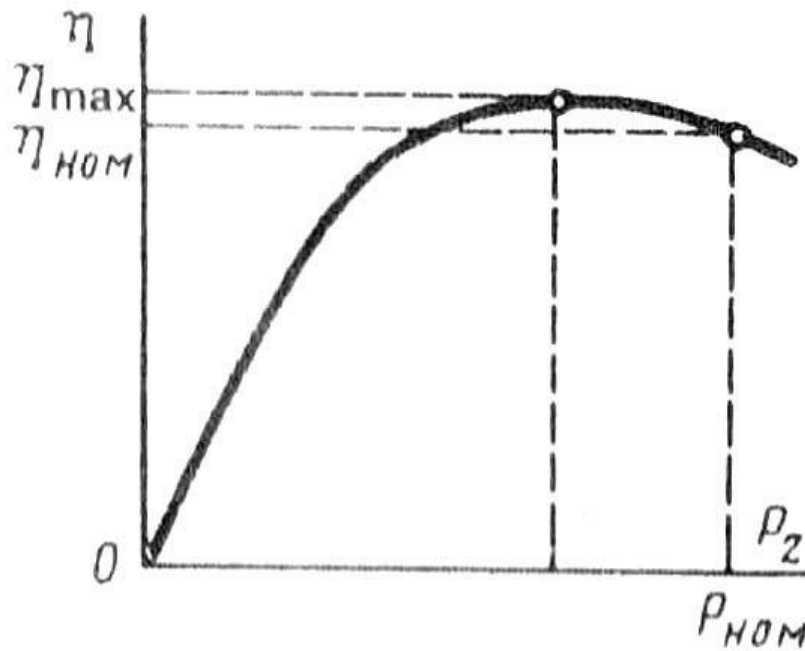
Сумма магнитных и механических потерь составляют **потери х.х.:**

$$P_0 = P_m + P_{мех}$$

# Коэффициент полезного действия.

Коэффициент полезного действия электрической машины представляет собой отношение мощностей отдаваемой (полезной)  $P_2$  к подводимой (потребляемой)  $P_1$

$$\eta = P_2 / P_1$$



# Тема 30.

## Типы машин постоянного тока специального назначения и исполнения

# **Тахогенератор постоянного тока**

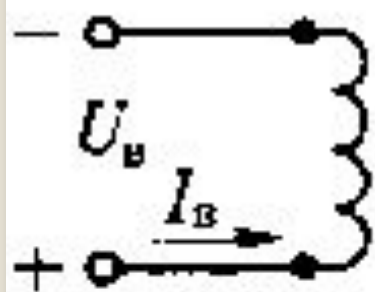
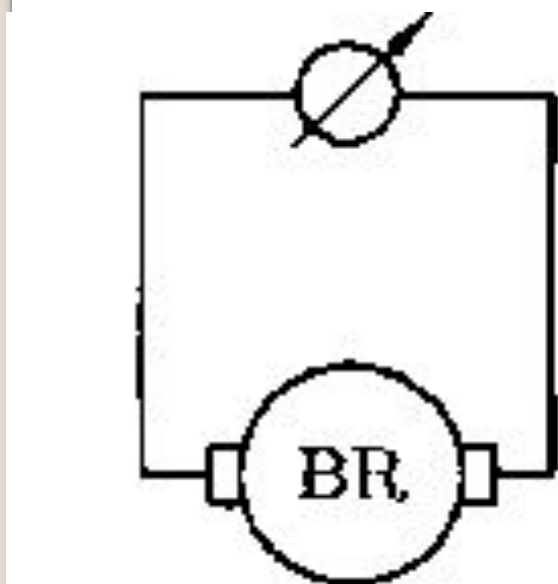
Тахогенераторы постоянного тока служат для измерения частоты вращения по величине напряжения на выходе тахогенератора, а также для получения электрических сигналов, пропорциональных частоте вращения вала в схемах автоматического регулирования.

Тахогенератор постоянного тока представляет собой генератор малой мощности с независимым электромагнитным возбуждением или с возбуждением постоянными магнитами.

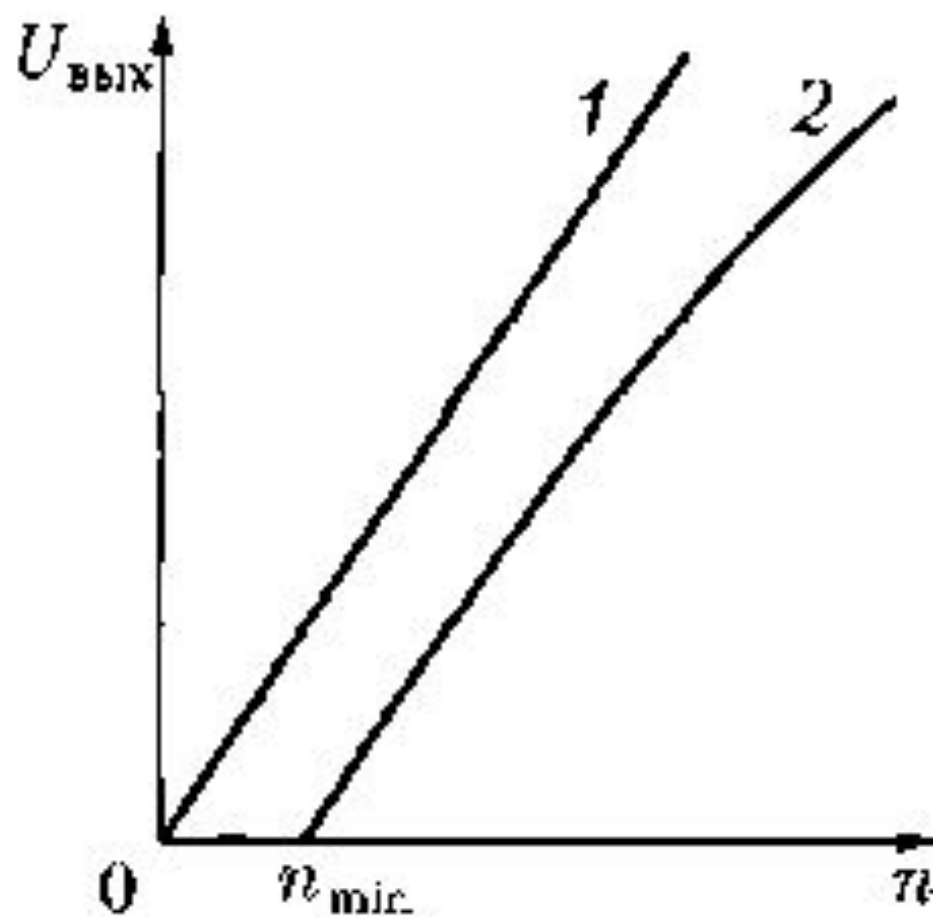
Ввиду того что при неизменном токе возбуждения  $I_B = \text{const}$  магнитный поток  $\Phi$  практически не зависит от нагрузки, выходная ЭДС тахогенератора  $E_{\text{ВЫХ}}$  прямо пропорциональна частоте вращения.

Точность работы тахогенератора определяется его *выходной характеристикой*, представляющей собой зависимость напряжения на выходе от частоты вращения  $n$  при неизменном значении сопротивления нагрузки.

Наиболее точная работа тахогенератора соответствует прямолинейной выходной характеристике



*a*



*б*



# **Исполнительные двигатели постоянного тока**

Исполнительные двигатели постоянного тока, применяются в системах автоматики для преобразования электрического сигнала в механическое перемещение.

К исполнительным двигателям предъявляется ряд специфических требований, из которых основными являются отсутствие самохода и малоинерционность

Почти все исполнительные двигатели (исключение составляют лишь двигатели с постоянными магнитами) имеют две обмотки. Одна из них постоянно подключена к сети и называется *обмоткой возбуждения*, а на другую — *обмотку управления* — электрический сигнал подается, когда необходимо привести двигатель во вращение. От величины напряжения управления зависят частота вращения и вращающий момент исполнительного двигателя, а следовательно, и развиваемая им механическая мощность.

Исполнительные двигатели постоянного тока по конструкции отличаются от двигателей постоянного тока общего назначения только тем, что имеют шихтованные (набранные из листов электротехнической стали) якорь, станину и полюса, что необходимо для работы исполнительных двигателей в переходных режимах.

Магнитная цепь исполнительных двигателей не насыщена, поэтому реакция якоря практически не влияет на их рабочие характеристики.

В качестве исполнительных двигателей постоянного тока в настоящее время применяют чаще всего двигатели с независимым возбуждением, реже — двигатели с постоянными магнитами.

У двигателей с независимым возбуждением в качестве обмотки управления используют либо обмотку якоря — двигатели с якорным управлением, либо обмотку полюсов — двигатели с полюсным управлением.

У исполнительных двигателей с якорным управлением обмоткой возбуждения является обмотка полюсов, а обмоткой управления — обмотка якоря. Обмотку возбуждения подключают к сети с постоянным напряжением на все время работы автоматического устройства. На обмотку управления подают сигнал (напряжение управления) лишь тогда, когда необходимо вызвать вращение якоря двигателя. От напряжения управления зависят вращающий момент и частота вращения двигателя. При изменении полярности напряжения управления меняется направление вращения якоря двигателя.

У исполнительных двигателей с полюсным управлением обмоткой управления является обмотка полюсов, а обмоткой возбуждения — обмотка якоря .

Якорь двигателя постоянно подключен к сети с напряжением  $U_B = \text{const}$ . Для ограничения тока иногда последовательно с якорем включают добавочный резистор сопротивлением  $R_d$ . На обмотку полюсов напряжение управления  $U_y$  (сигнал) подают, когда необходимо вызвать вращение якоря.

