

ЛЕКЦИЯ 8

Электрические машины постоянного тока

Устройство электрической машины постоянного тока

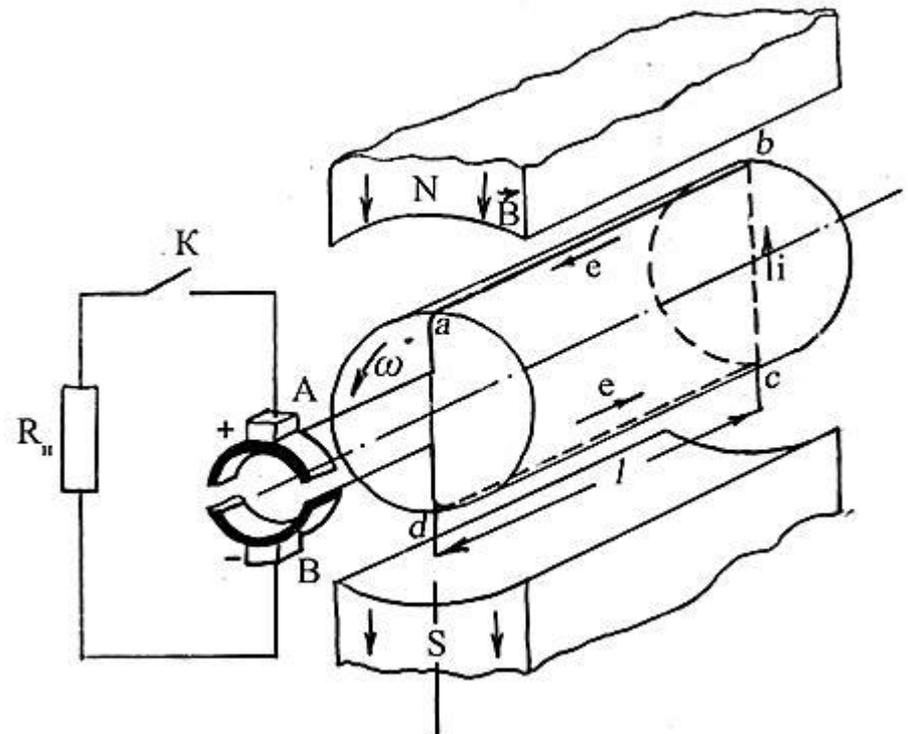
Электрическими машинами называются устройства, предназначенные для преобразования механической энергии вращения в электрическую (генератор) и наоборот, электрическую энергию в механическую (двигатель).

Работа электрической машины основана на единстве закона электромагнитной индукции и закона электромагнитных сил.

Возьмем устройство, состоящее из двух магнитных полюсов создающих постоянное магнитное поле, и якоря – стального цилиндра с уложенным на нем витком из электропроводного материала.

Концы витка присоединены к двум металлическим полукольцам, изолированным друг от друга и от вала.

Полукольца соприкасаются с неподвижными щетками, соединенными с внешней цепью

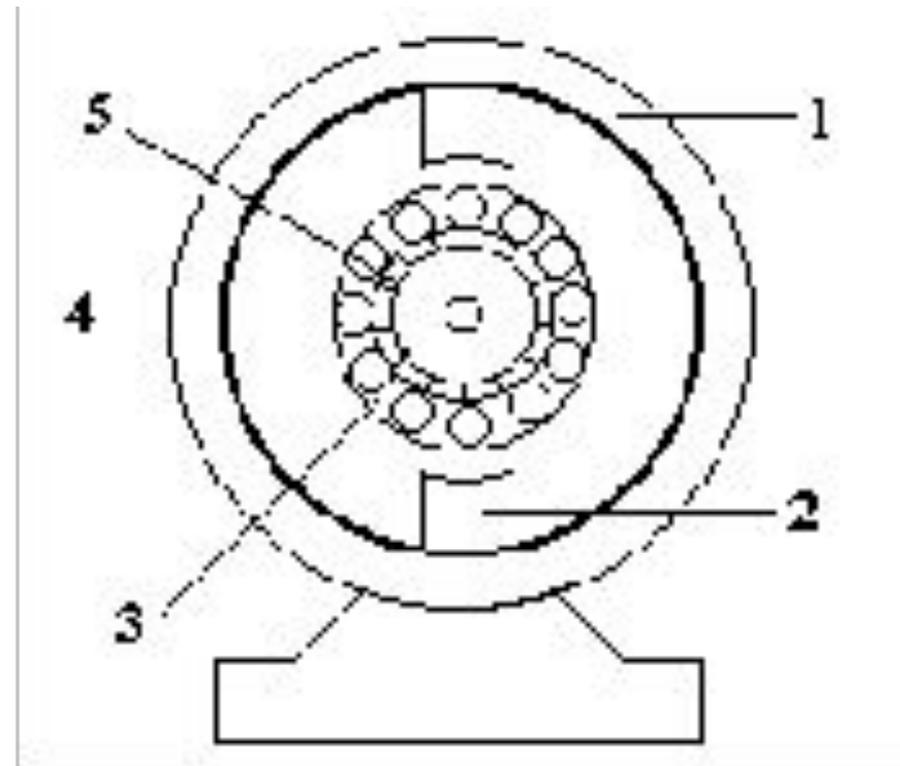


Электрическая машина постоянного тока состоит из двух основных частей: **неподвижной части (индуктора)** и **вращающейся части (якоря с барабанной обмоткой)**.

На рисунке изображена конструктивная схема машины постоянного тока:

Якорь состоит из следующих элементов: сердечника 3, обмотки 4, уложенной в пазы сердечника, коллектора 5.

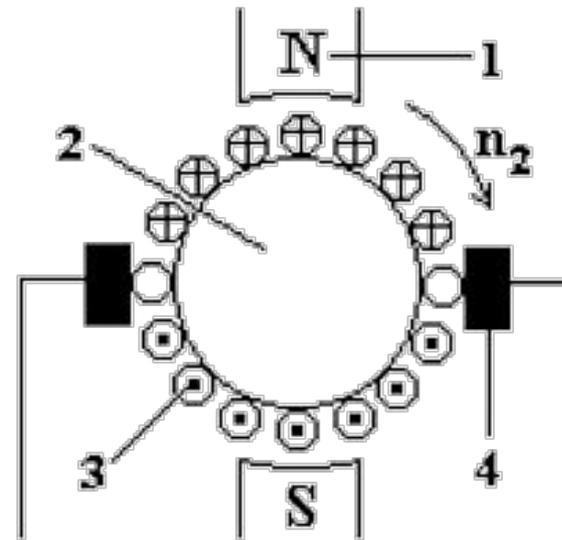
Сердечник якоря для уменьшения потерь на вихревые токи набирается из изолированных друг от друга листов электротехнической стали.



Принцип действия машины постоянного тока

Рассмотрим работу машины постоянного тока на представленной модели:

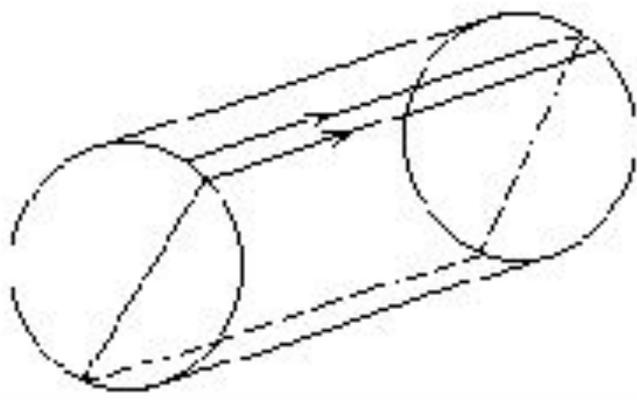
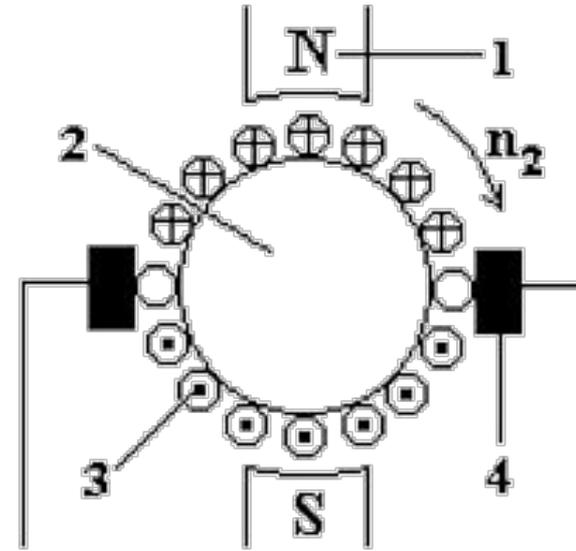
- 1 – полюсы индуктора,
- 2 - якорь,
- 3 - проводники,
- 4 - контактные щетки.



Проводники якорной обмотки расположены на поверхности якоря. Очистим внешние поверхности проводников от изоляции и наложим на проводники неподвижные контактные щетки. Контактные щетки размещены на линии геометрической нейтрали, проведенной посередине между полюсами.

Определим направление ЭДС, индуцированных в проводниках якорной обмотки по правилу правой руки.

На рисунке крестиком обозначены ЭДС, направленные от нас, точками - ЭДС, направленные к нам.

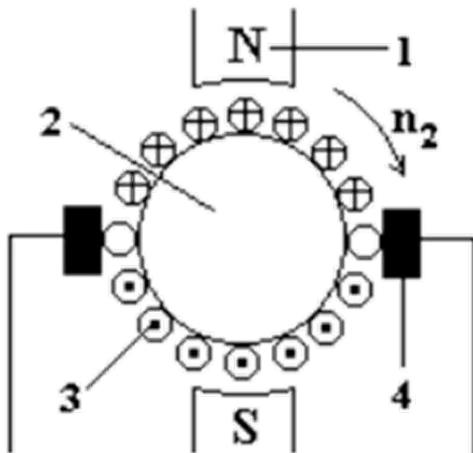
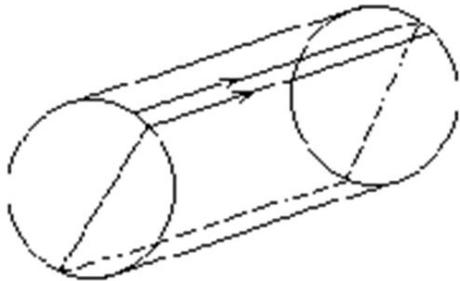


Соединим проводники между собой так, чтобы ЭДС в них складывались. Для этого соединяют последовательно конец проводника, расположенного в зоне одного полюса с концом проводника, расположенного в зоне полюса противоположной полярности.

Два проводника, соединенные последовательно, образуют один виток или одну катушку.

ЭДС проводников, расположенных в зоне одного полюса, различны по величине.

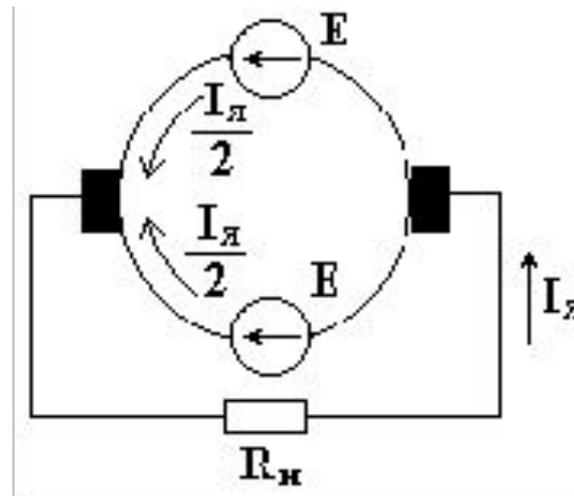
Наибольшая ЭДС индуцируется в проводнике, расположенном под серединой полюса, **ЭДС, равная нулю**, - в проводнике, расположенном на линии геометрической нейтрали.



Если соединить все проводники обмотки по определенному правилу последовательно, то результирующая ЭДС якорной обмотки равна нулю, ток в обмотке отсутствует.

Контактные щетки делят якорную обмотку на две параллельные ветви. В верхней параллельной ветви индуцируется ЭДС одного направления, в нижней параллельной ветви - противоположного направления. ЭДС, снимаемая контактными щетками, равна сумме электродвижущих сил проводников, расположенных между щетками.

На рисунке представлена схема замещения якорной обмотки:



В параллельных ветвях действуют одинаковые ЭДС, направленные встречно друг другу.

При подключении к якорной обмотке сопротивления в параллельных ветвях возникают одинаковые токи $\frac{I_{Я}}{2}$, через сопротивление $R_{Я}$ протекает ток $I_{Я}$

ЭДС якорной обмотки пропорциональна частоте вращения якоря n_2 и магнитному потоку индуктора Φ :

$$E = C_e \cdot n_2 \cdot \Phi$$

где - C_e константа.

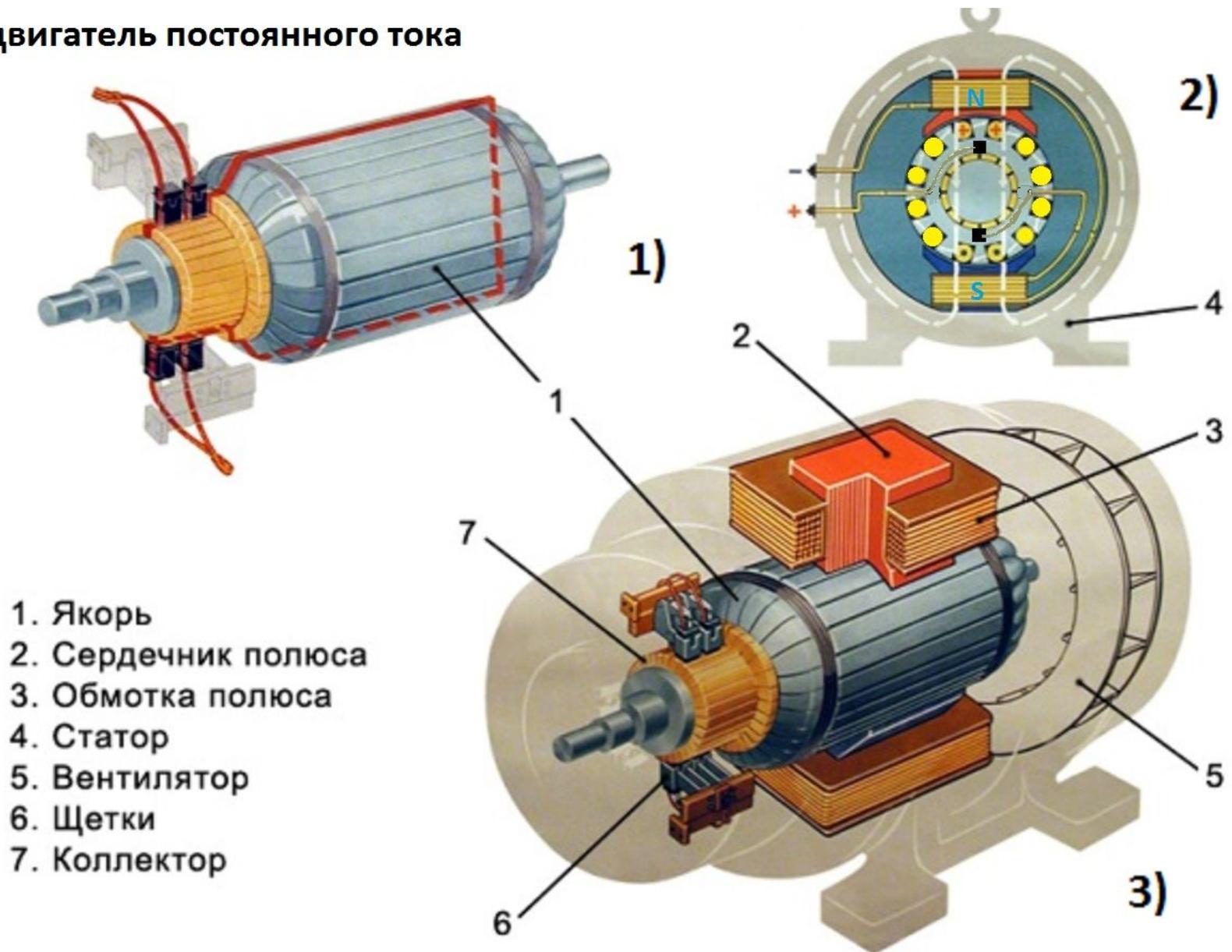
В реальных электрических машинах постоянного тока используется специальное контактное устройство - коллектор.

Коллектор устанавливается на одном валу с сердечником якоря и состоит из отдельных изолированных друг от друга и от вала якоря медных пластин.

Каждая из пластин соединена с одним или несколькими проводниками якорной обмотки.

На коллектор накладываются неподвижные контактные щетки. С помощью контактных щеток вращающаяся якорная обмотка соединяется с сетью постоянного тока или с нагрузкой.

Двигатель постоянного тока



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.

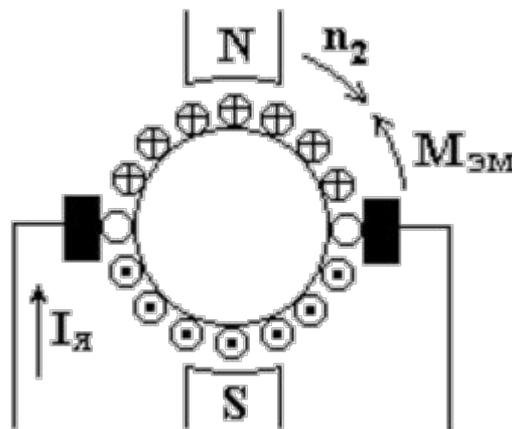
$$E = U + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}},$$

где U - напряжение на зажимах генератора; $R_{\text{я}}$ - сопротивление обмотки якоря.

$U = E - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$ - основное уравнение генератора.

С появлением тока в проводниках обмотки возникнут электромагнитные силы.

На рисунке схематично изображен генератор постоянного тока, показаны направления токов в проводниках якорной обмотки.



Воспользовавшись правилом левой руки, видим, что электромагнитные силы создают электромагнитный момент, препятствующий вращению якоря генератора.

Чтобы машина работала в качестве генератора, необходимо первичным двигателем вращать ее якорь, преодолевая тормозной электромагнитный момент.

Генераторы с независимым возбуждением. Характеристики генераторов

Магнитное поле генератора с независимым возбуждением создается током, подаваемым от постороннего источника энергии в обмотку возбуждения полюсов. Схема генератора с независимым возбуждением показана на рисунке 1:

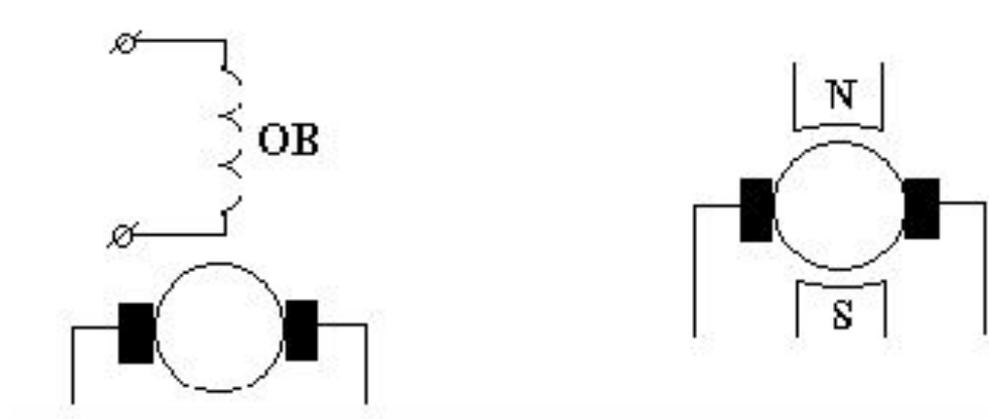


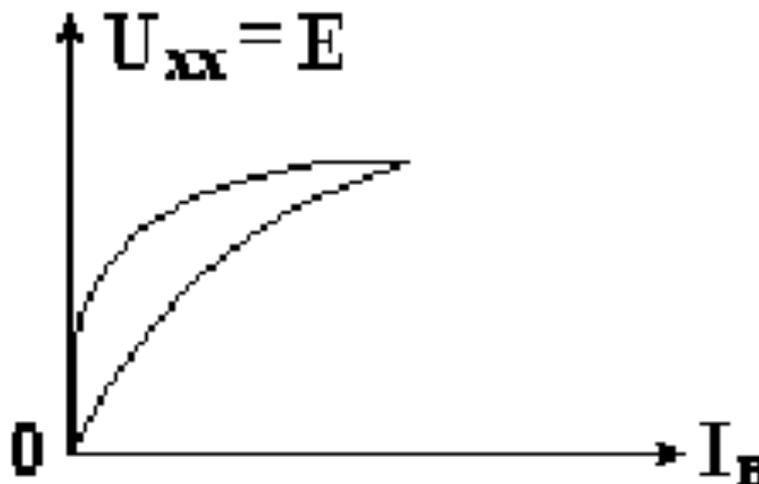
Рисунок 1

Рисунок 2

Магнитное поле генераторов с независимым возбуждением может создаваться от постоянных магнитов (рисунок 2).

Зависимость ЭДС генератора от тока возбуждения называется характеристикой холостого хода $E = U_{XX} = f(I_B)$. Характеристику холостого хода получают при разомкнутой внешней цепи ($I_A = 0$) и при постоянной частоте вращения ($n_2 = const$). Характеристика холостого хода генератора показана на рисунке:

Из-за остаточного магнитного потока ЭДС генератора не равна нулю при токе возбуждения, равном нулю. При увеличении тока возбуждения ЭДС генератора сначала возрастает пропорционально.

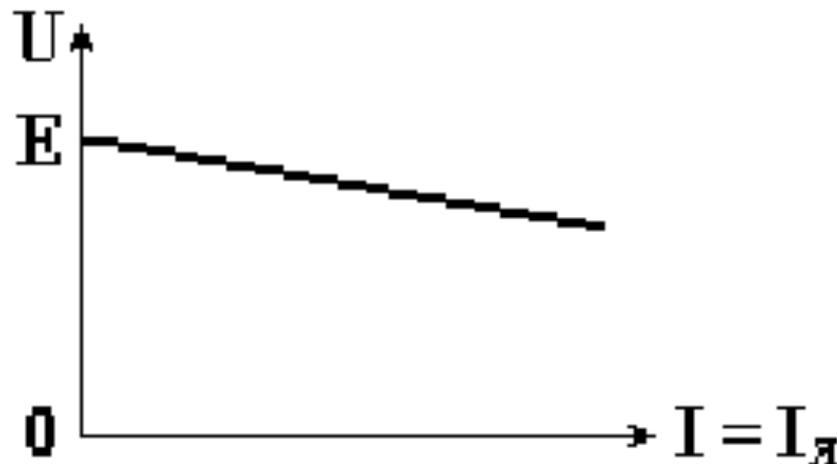


Соответствующая часть характеристики холостого хода будет прямолинейна. Но при дальнейшем увеличении тока возбуждения происходит магнитное насыщение машины, отчего кривая будет иметь изгиб. При последующем возрастании тока возбуждения ЭДС генератора почти не меняется. Если уменьшать ток возбуждения, кривая намагничивания не совпадает с кривой намагничивания из-за явления гистерезиса.

Зависимость напряжения на внешних зажимах машины от величины тока нагрузки $U = f(I)$ при токе возбуждения $I_B = \text{const}$ - называют **внешней характеристикой генератора**.

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

Внешняя характеристика генератора изображена на рисунке:



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

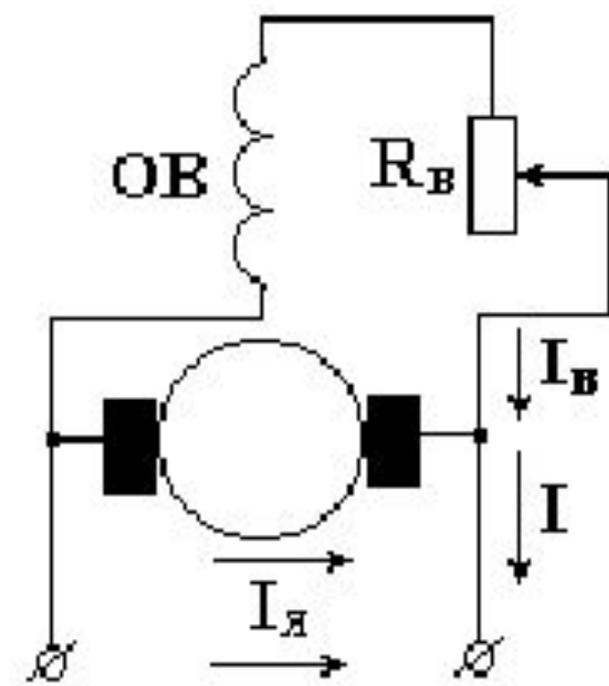
Генераторы с самовозбуждением.

Принцип самовозбуждения генератора с параллельным возбуждением

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

Самовозбуждающиеся генераторы имеют одну из трех схем: с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением.

На рисунке изображен генератор с параллельным возбуждением:



Обмотка возбуждения подключена параллельно якорной обмотке. В цепь возбуждения включен реостат. Генератор работает в режиме холостого хода.

Чтобы генератор самовозбудился, необходимо выполнение определенных условий.

Первым из этих условий является наличие остаточного магнитного потока между полюсами. При вращении якоря остаточный магнитный поток индуцирует в якорной обмотке небольшую остаточную ЭДС.

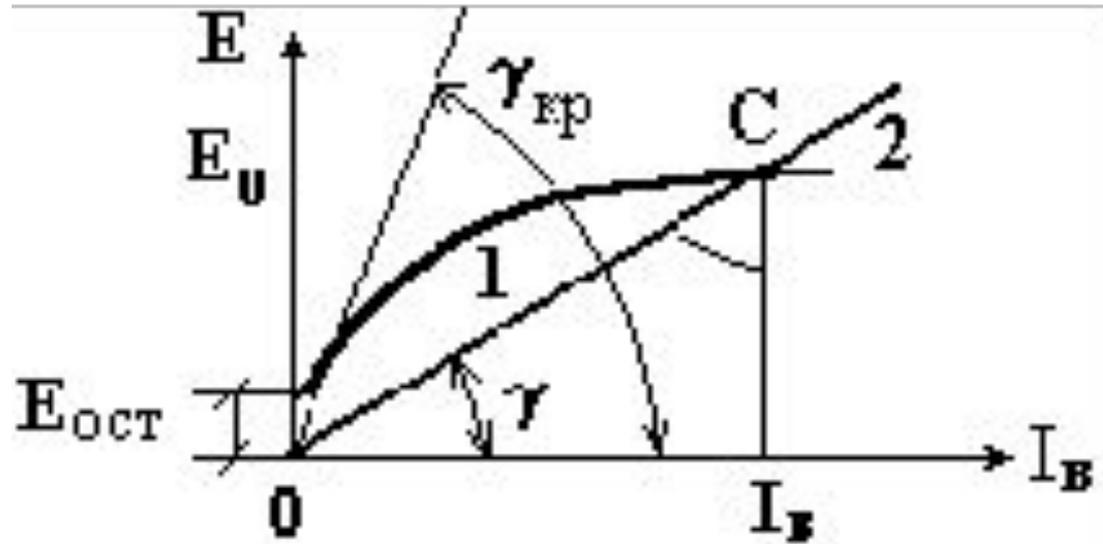
Вторым условием является согласное включение обмотки возбуждения. Обмотки возбуждения и якоря должны быть соединены таким образом, чтобы ЭДС якоря создавала ток, усиливающий остаточный магнитный поток. Усиление магнитного потока приведет к увеличению ЭДС. Машина самовозбуждается и начинает устойчиво работать с каким-то током возбуждения $I_B = const$ и ЭДС $E = const$, зависящими от сопротивления R_B в цепи возбуждения.

Третьим условием является то, что сопротивление цепи возбуждения при данной частоте вращения должно быть меньше критического.

Изобразим на рисунке характеристику холостого хода генератора $E = f(I_B)$ (кривая 1) и вольт - амперную характеристику сопротивления цепи возбуждения $U_B = R_B I_B$, где U_B - падение напряжения в цепи возбуждения.

Эта характеристика представляет собой прямую линию 2, наклоненную к оси абсцисс под углом γ ($\text{tg}\gamma \sim R_B$).

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.



Падение напряжения в цепи возбуждения пропорционально росту тока. В точке пересечения характеристики холостого хода машины 1 с прямой 2 процесс самовозбуждения заканчивается. Машина работает в устойчивом режиме.

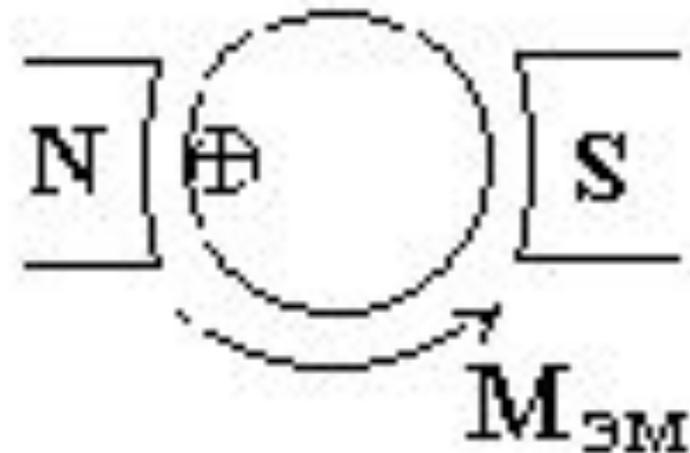
Работа электрической машины постоянного тока в режиме двигателя. Основные уравнения

Под действием напряжения, подведенного к якору двигателя, в обмотке якоря появится ток $I_{\text{Я}}$. При взаимодействии тока с магнитным полем индуктора возникает электромагнитный вращающий момент

$$M_{\text{ЭМ}} = C_M \cdot I_{\text{Я}} \cdot \Phi,$$

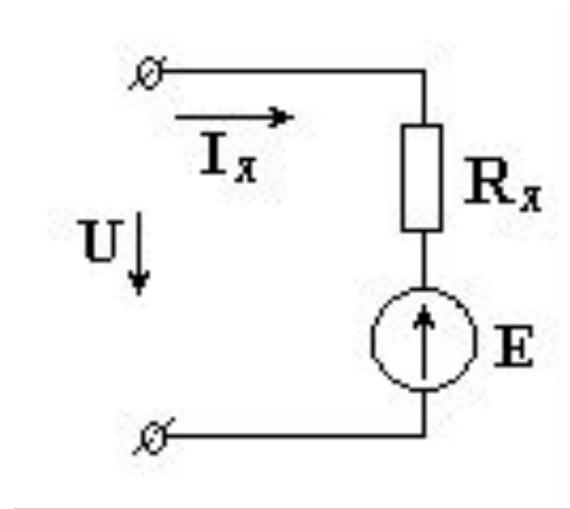
где C_M - коэффициент, зависящий от конструкции двигателя.

На рисунке изображен схематично двигатель постоянного тока, выделен проводник якорной обмотки.



В установившемся режиме электромагнитный вращающий момент $M_{ЭМ}$ уравновешивается противодействующим тормозным моментом M_2 механизма, приводимого во вращение.

$$M_{ЭМ} = M_2$$



На рисунке показана схема замещения якорной обмотки двигателя. ЭДС направлена встречно току якоря. В соответствии со вторым законом Кирхгофа $-E = -U + I_{Я} \cdot R_{Я}$, откуда

$U = E + I_{Я} \cdot R_{Я} = C_e \cdot \Phi \cdot n_2 + I_{Я} \cdot R_{Я}$ - *основное уравнение двигателя.*

Из основного уравнения двигателя можно получить формулы:

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

$$n_2 = \frac{U - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi}$$

Магнитный поток Φ зависит от тока возбуждения $I_{\text{в}}$, создаваемого в обмотке возбуждения.

Из этих формул видно, что частоту вращения двигателя постоянного тока n_2 можно регулировать следующими способами:

1. изменением тока возбуждения с помощью реостата в цепи обмотки возбуждения;
2. изменением тока возбуждения с помощью реостата в цепи обмотки возбуждения;
3. изменением напряжения U на зажимах якорной обмотки.

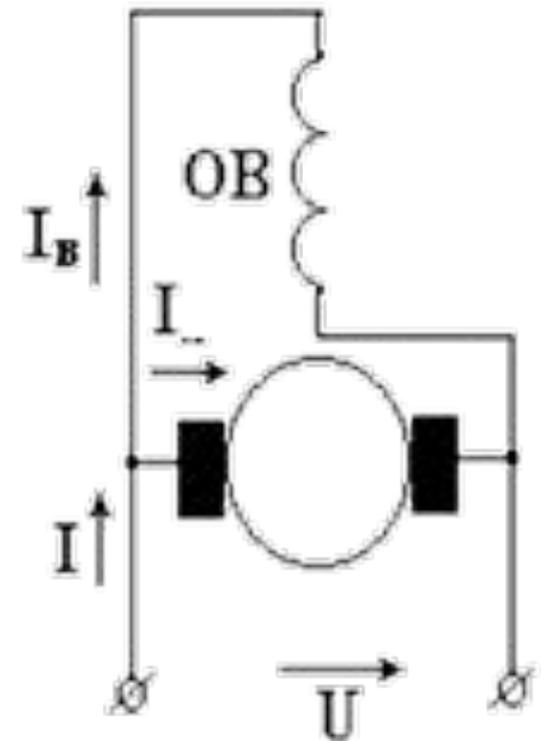
Чтобы изменить направление вращения двигателя на обратное (реверсировать двигатель), необходимо изменить направление тока в обмотке якоря или индуктора.

Механические характеристики электродвигателей постоянного тока

Рассмотрим двигатель с параллельным возбуждением в установившемся режиме работы:

Обмотка возбуждения подключена параллельно якорной обмотке.

$$M_{ЭМ} = M_2 = C_M \cdot \Phi \cdot I_{Я}, \text{ откуда } I_{Я} = \frac{M_2}{C_M \cdot \Phi}$$



Механической характеристикой двигателя называется зависимость частоты вращения якоря n_2 от момента на валу M_2 при $U = const$ и $I_B = const$.

$$n_2 = \frac{U}{C_e \cdot \Phi} - \frac{I_{Я} \cdot R_{Я}}{C_e \cdot \Phi} = \frac{U}{C_e \cdot \Phi} - \frac{R_{Я} \cdot M_2}{C_e \cdot C_M \cdot \Phi^2}$$

- это уравнение является **уравнением механической характеристики двигателя с параллельным возбуждением**.

Эта характеристика является жесткой.
С увеличением нагрузки частота вращения такого двигателя уменьшается в небольшой степени (рисунок 3).

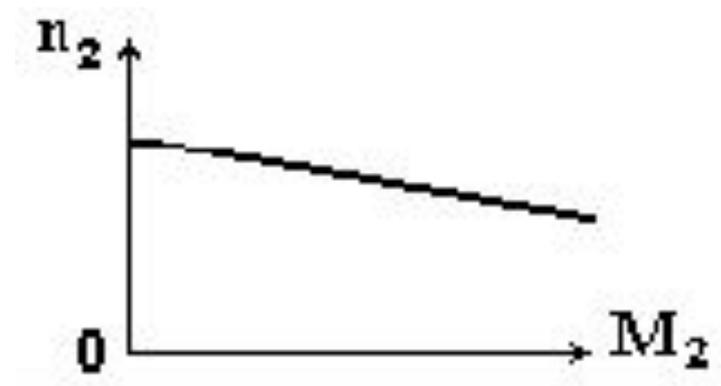
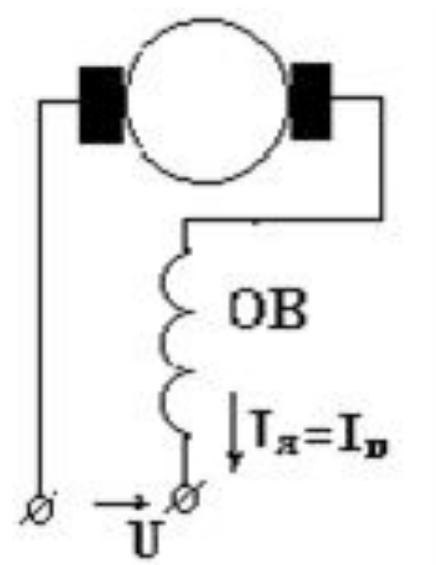


Рисунок 3

На рисунке 4 изображен двигатель последовательного возбуждения. Якорная обмотка и обмотка возбуждения включены последовательно.



Ток возбуждения двигателя одновременно является током якоря. Магнитный поток индуктора пропорционален току якоря.

$$\Phi = k \cdot I_{\text{я}}$$

где k - коэффициент пропорциональности.

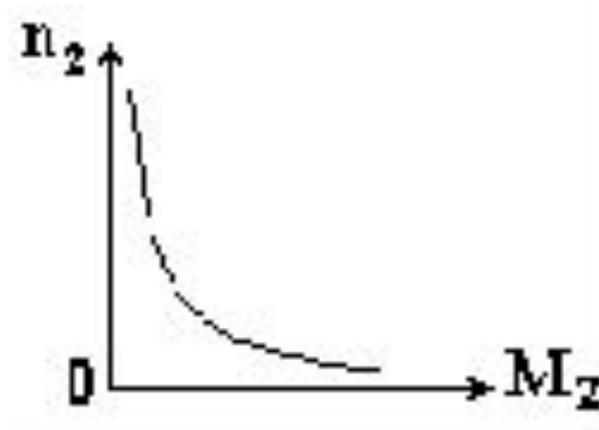
Момент на валу двигателя пропорционален квадрату тока якоря.

$$M_2 = C_M \cdot I_{\text{я}} \cdot \Phi = C_M \cdot k \cdot I_{\text{я}}^2$$

откуда

$$I_{\text{я}} = \sqrt{\frac{M_2}{C_M \cdot k}}$$

Механическая характеристика двигателя последовательного возбуждения является мягкой (рисунок 5).



Уравнение механической характеристики двигателя последовательного возбуждения выглядит следующим образом:

$$n_2 = \frac{U \cdot \sqrt{C_M \cdot k}}{C_e \cdot k \cdot \sqrt{M_2}} - \frac{R_{\text{Я}}}{C_e \cdot k}$$

С увеличением нагрузки скорость двигателя резко падает. С уменьшением нагрузки на валу двигатель развивает очень большую частоту вращения. Говорят, что двигатель идет вразнос. Работа двигателя последовательного возбуждения без нагрузки недопустима.

Двигатель смешанного возбуждения имеет механическую характеристику, представляющую собой нечто среднее между механическими характеристиками двигателя параллельного и последовательного возбуждения.

Двигатели с параллельным возбуждением применяются для привода станков и различных механизмов, требующих широкой регулировки скорости.

Двигатели с последовательным возбуждением применяются в качестве тяговых двигателей электровозов, трамваев и т.д.

***Спасибо
за внимание!***