

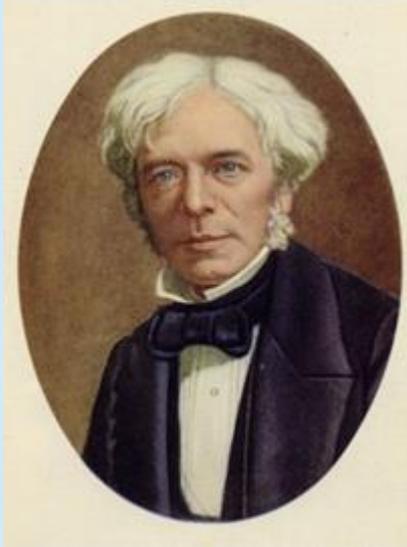
Машины постоянного тока

Определение

Это электрическая машина постоянного тока – это машина, предназначенная для преобразования электрической энергии постоянного тока в механическую.

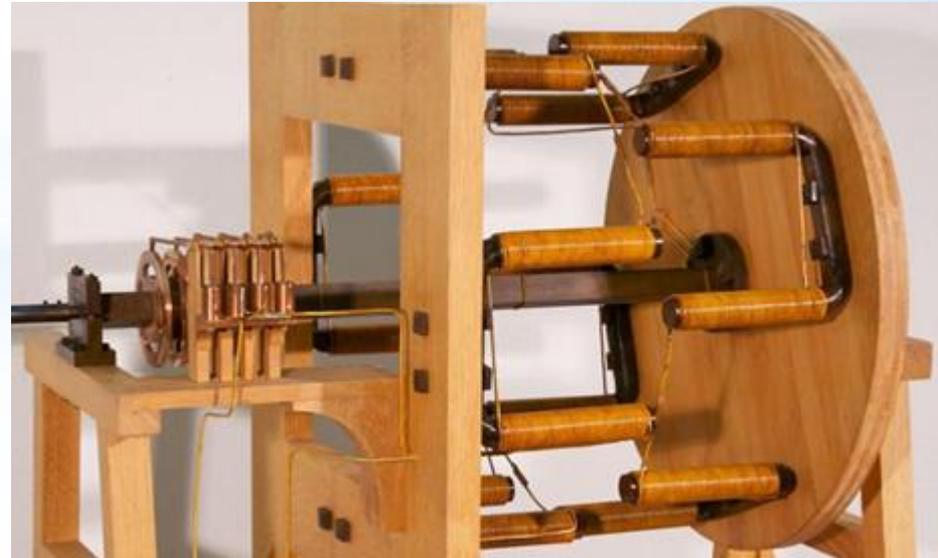
Машины постоянного тока

История создания



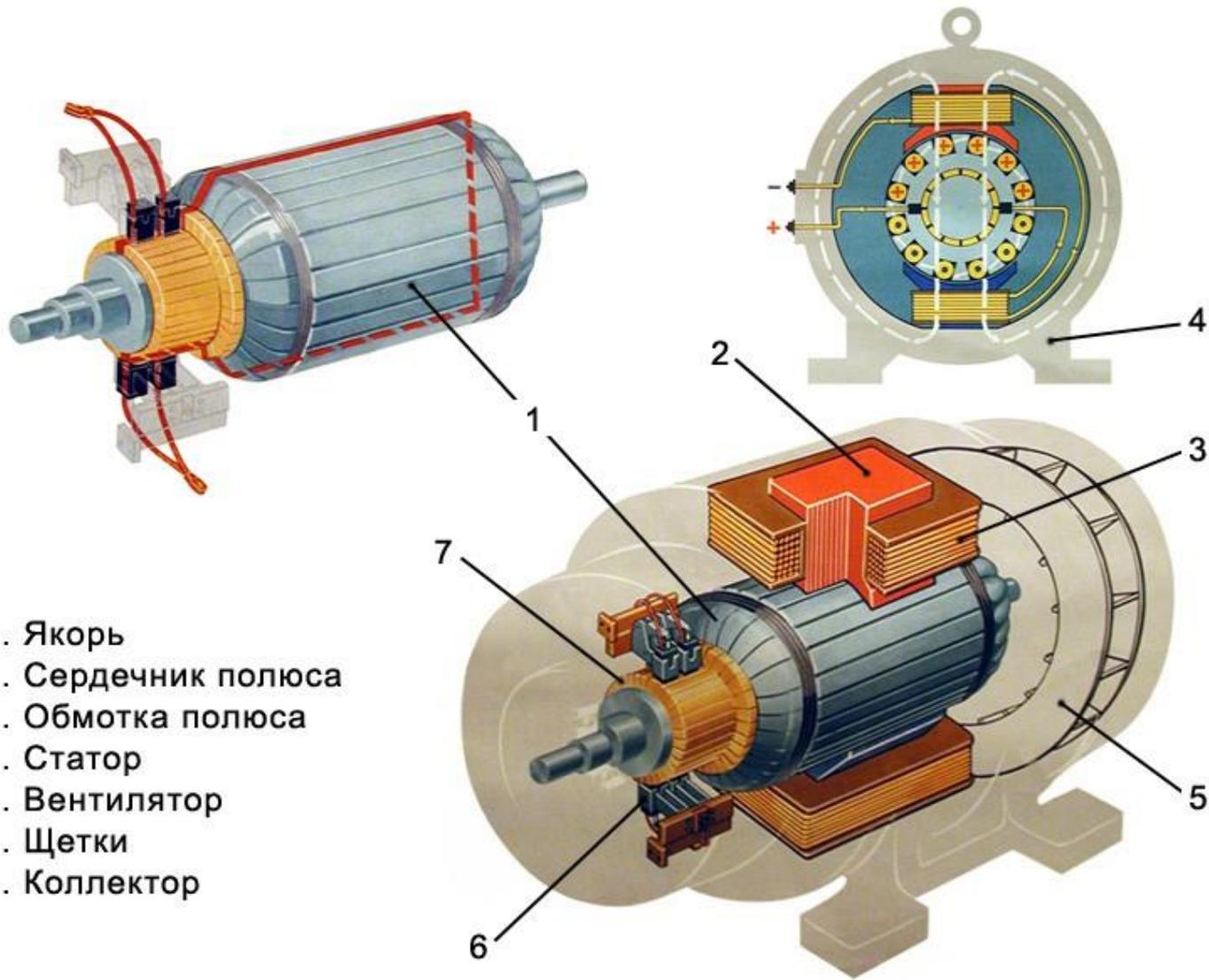
Возможность преобразования электрической энергии в механическую была впервые установлена М. Фарадеем, создавшим в 1821 году первую модель электрического двигателя, в которой электрический ток, протекая по медному проводу, вызывал его движение вокруг вертикально поставленного постоянного магнита..

В 1834 году русским академиком Б. С. Якоби была создана конструкция, послужившая прототипом современного электродвигателя.



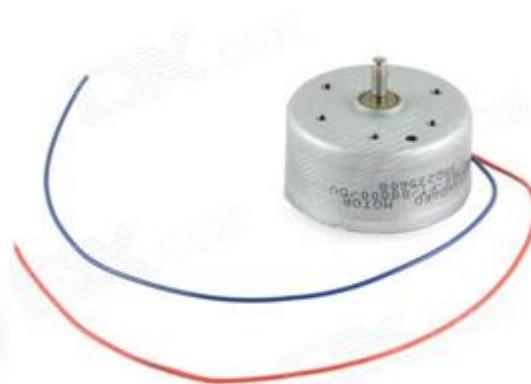
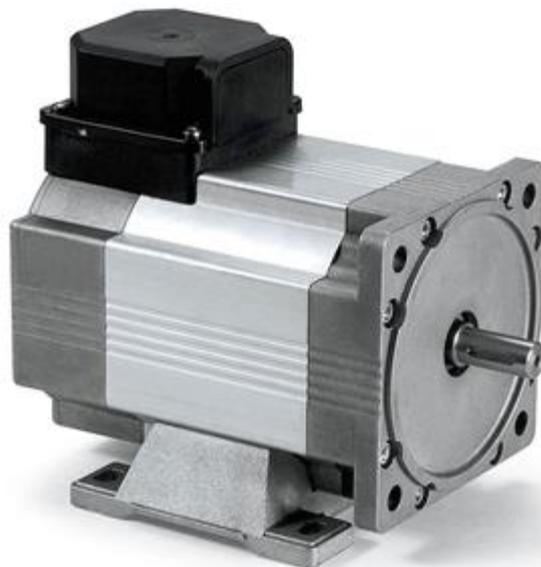
Машины постоянного тока

Конструкция



Машины постоянного тока

Конструкция



Машины постоянного тока

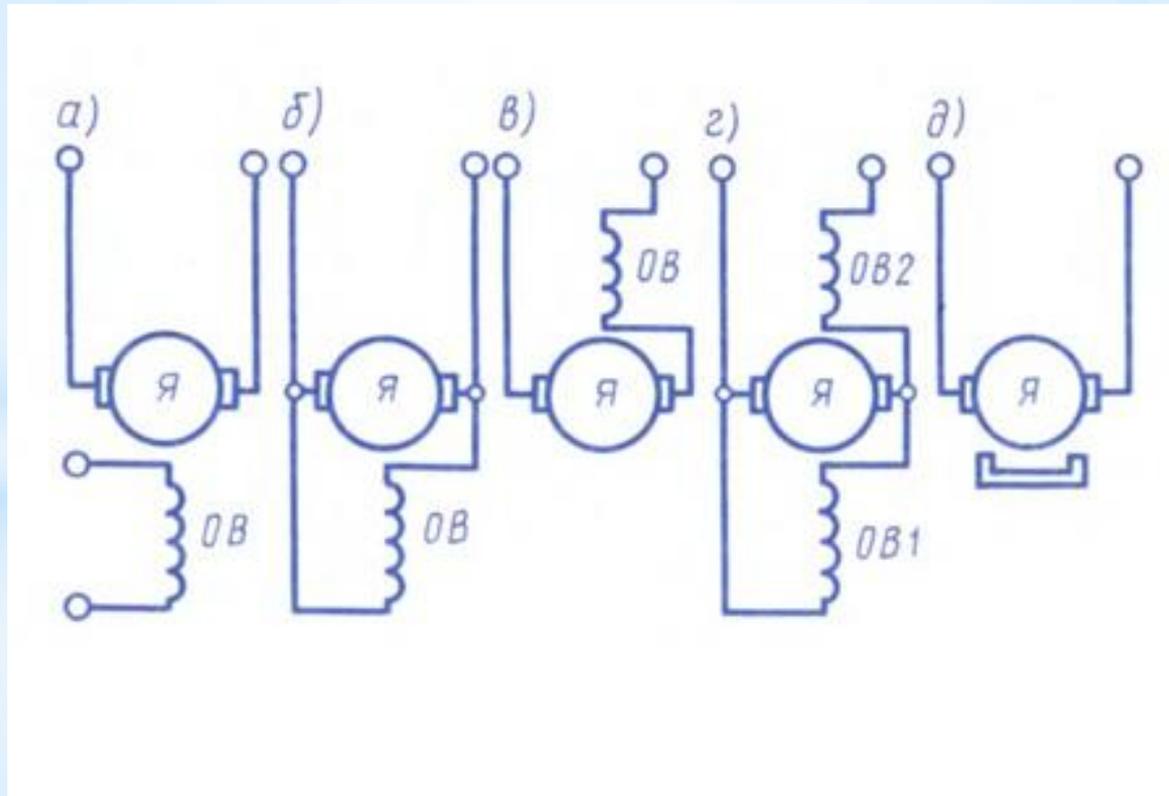
Классификация

- по наличию коммутации:
 - с коммутацией (обычные);
 - без коммутации (униполярный генератор и униполярный двигатель);
- по типу переключателей тока:
 - с коллекторными переключателями тока (с щёточно-коллекторным переключателем);
 - с бесколлекторными переключателями тока (с электронным переключателем: вентильный электродвигатель).
- по мощности:
 - микромашины — до 500 Вт;
 - малой мощности — 0,5-10 кВт;
 - средней мощности — 10-200 кВт;
 - большой мощности — более 200 кВт.
- в зависимости от частоты вращения:
 - тихоходные — до 300 об./мин.;
 - средней быстроходности — 300—1500 об./мин.;
 - быстроходные — 1500-6000 об./мин.;
 - сверхбыстроходные — более 6000 об./мин.
- по расположению вала:
 - горизонтальные;
 - вертикальные.

Машины постоянного тока

Классификация коллекторных машин

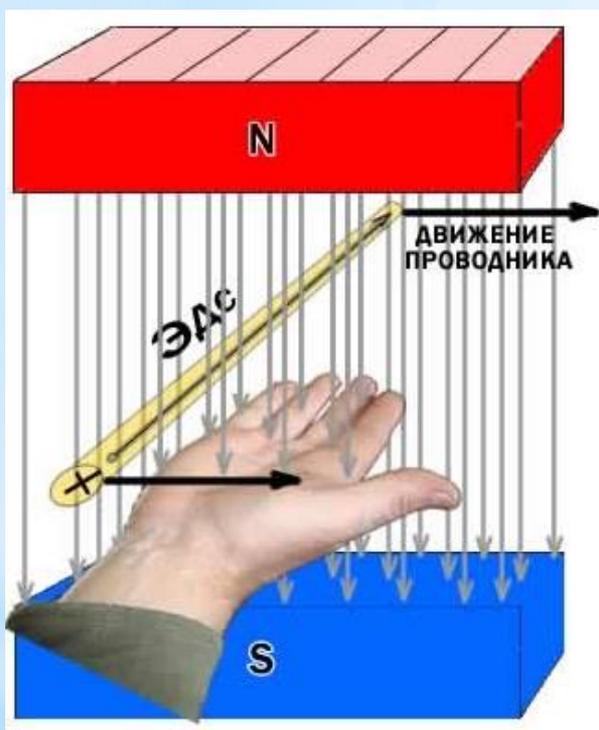
- по способу возбуждения:
 - Независимое (а);
 - Параллельное (б);
 - Последовательное (в);
 - Смешанное (г);
 - С постоянными магнитами (д).



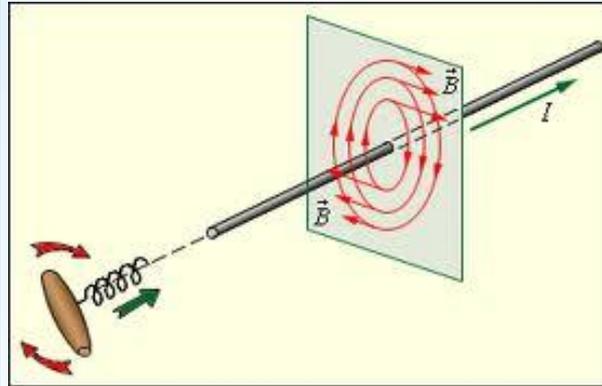
Машины постоянного тока

Принцип действия. Фундаментальные законы ТОЭ

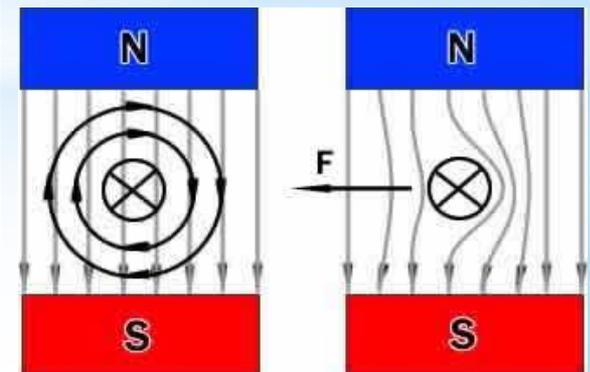
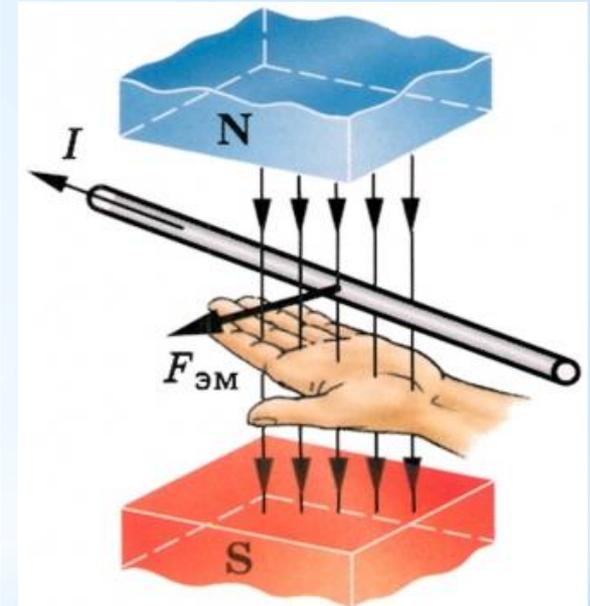
Правило правой руки



Правило буравчика

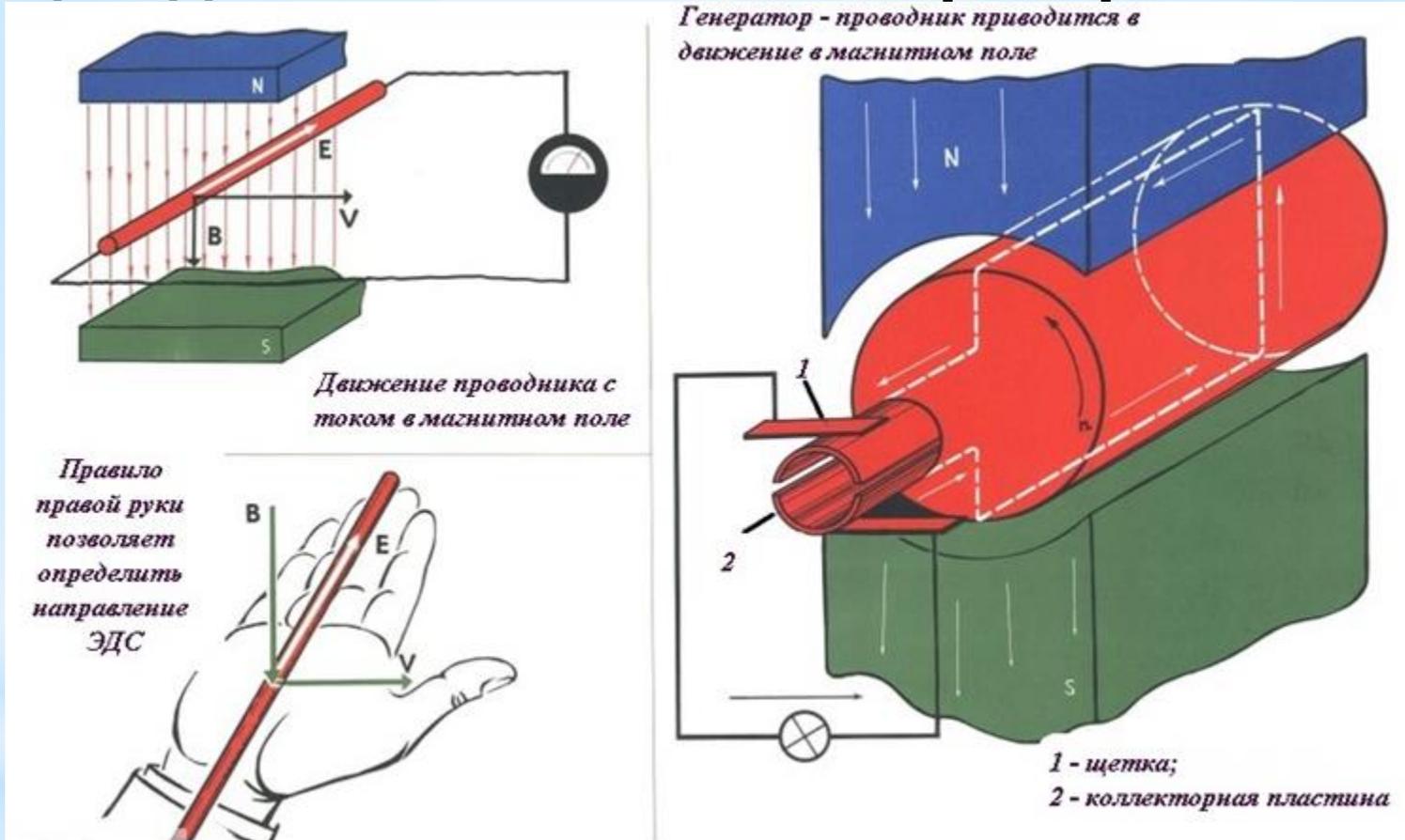


Правило левой руки



Машины постоянного тока

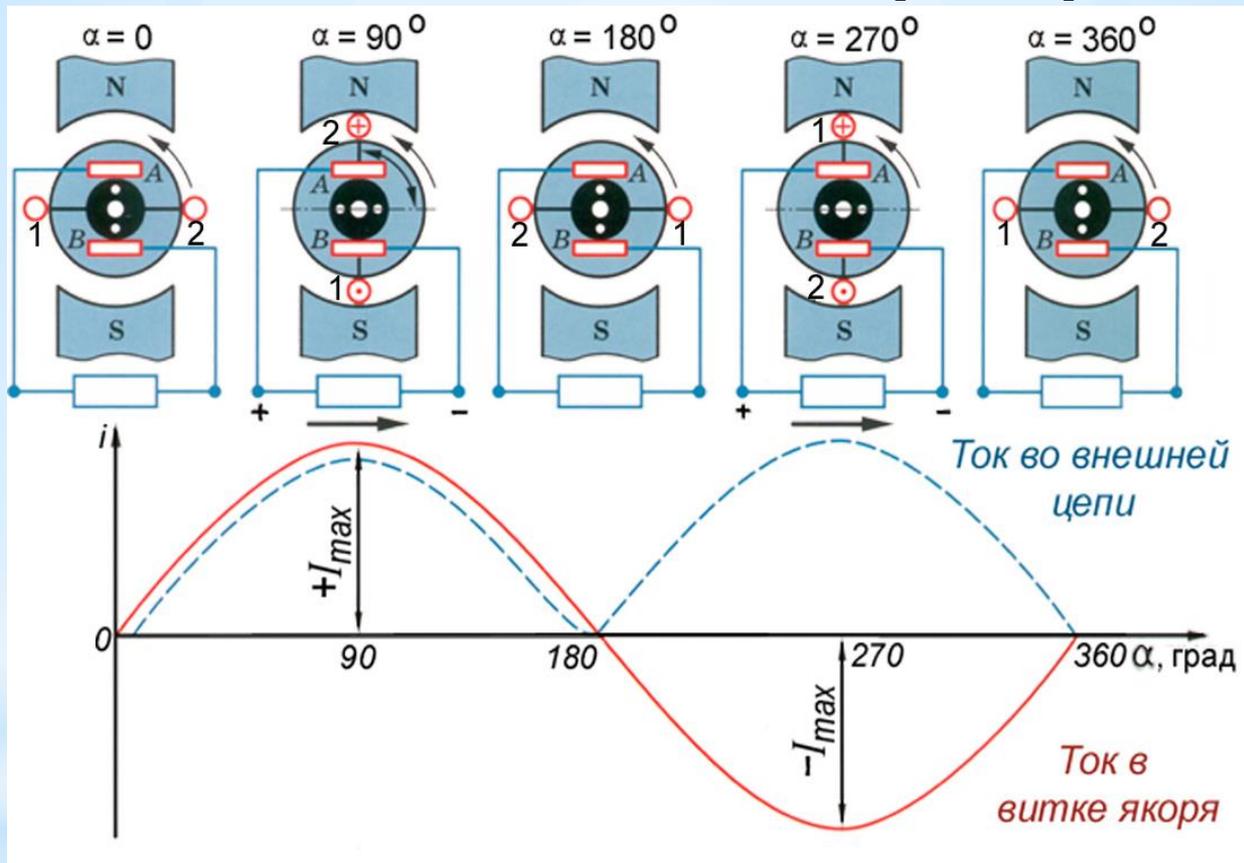
Принцип действия. Режим генератора.



В режиме генератора рамка с проводниками приводится во вращение внешней силой. В движущихся относительно магнитного поля проводниках наводится ЭДС, направление которой определяется по правилу правой руки. Наведённая ЭДС передаётся через коллекторные пластины на щётки и далее к нагрузке.

Машины постоянного тока

Принцип действия. Режим генератора.



Наведённая в проводниках ЭДС – изменяется по закону синуса (т.е. переменная). Так как коллекторная пластина «А» снимает ЭДС проводника строго под северным полюсом, а пластина «В» снимает ЭДС проводника строго над южным полюсом, то коллекторный узел преобразует сгенерированный переменный ток в электрический ток одного направления.

Машины постоянного тока

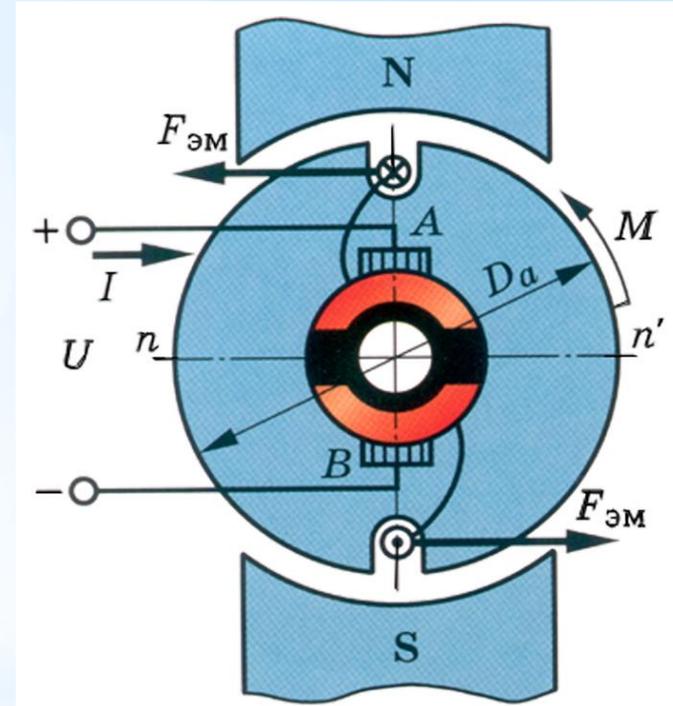
Принцип действия. Режим двигателя.

Под действием напряжения U через щетки, пластины коллектора и виток потечет ток I . По закону электромагнитной силы (закон Ампера) взаимодействие тока и магнитного поля создает силу $F_{эм}$, которая направлена перпендикулярно I . Направление силы $F_{эм}$ определяется правилом левой руки: на верхний проводник сила действует влево, на нижний – вправо. Пара сил создает вращающий момент M , поворачивающий виток против часовой стрелки.

При переходе верхнего проводника в зону южного полюса, а нижнего – в зону северного полюса концы проводников и соединенные с ними коллекторные пластины вступают в контакт со щетками другой полярности.

Направление тока в проводниках витка изменяется на противоположное, а направление сил $F_{эм}$, момента M и тока во внешней цепи не изменяется. Виток непрерывно будет вращаться в магнитном поле и может приводить во вращение вал рабочего механизма.

Таким образом, коллектор в режиме двигателя не только обеспечивает контакт внешней цепи с витком, но и выполняет функцию механического инвертора, т.е. преобразует постоянный ток во внешней цепи в переменный ток в витке.



Машины постоянного тока

Электромагнитные соотношения. Режим генератора НВ.

ЭДС якорной обмотки пропорциональна частоте вращения якоря n

и магнитному потоку индуктора Φ : $E = C_e \cdot n \cdot \Phi$, В

Если к зажимам приведенного во вращение якоря генератора присоединить сопротивление нагрузки, то под действием ЭДС якорной обмотки в цепи возникает ток якоря I_a .

По 2-му закону Кирхгофа можно составить уравнение баланса потенциалов:

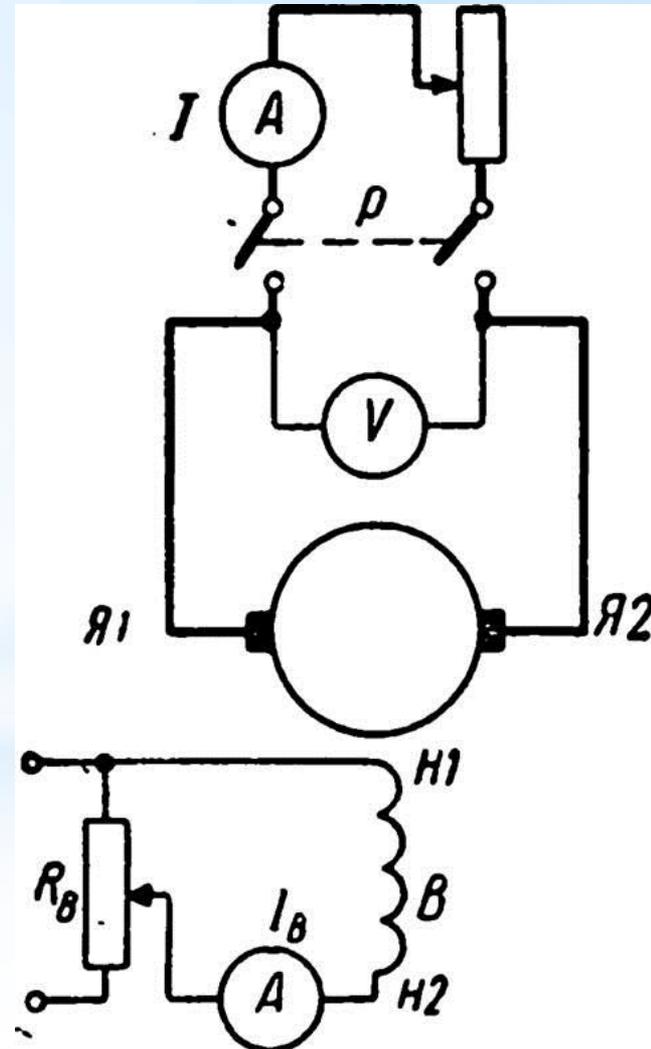
$$E = U + I_a \cdot R_a \quad U = E - I_a \cdot R_a$$

Где: U – Напряжение на зажимах генератора;

R_a – Сопротивление обмотки якоря.

С появлением тока в проводниках обмотки возникнут

электромагнитные силы. Воспользовавшись правилом левой руки, можно увидеть, 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.



Машины постоянного тока

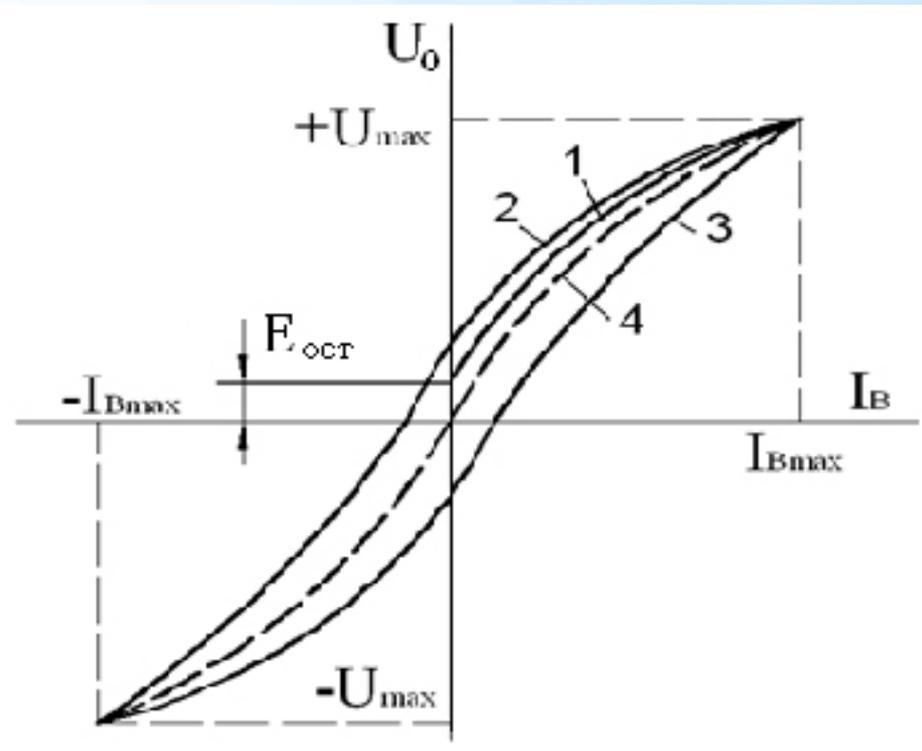
Характеристики генератора НВ.

Х.Х.Х 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) и при постоянной частоте вращения ($n = const$)

Из-за остаточного магнитного потока ЭДС генератора не равна нулю при токе возбуждения, равном нулю.

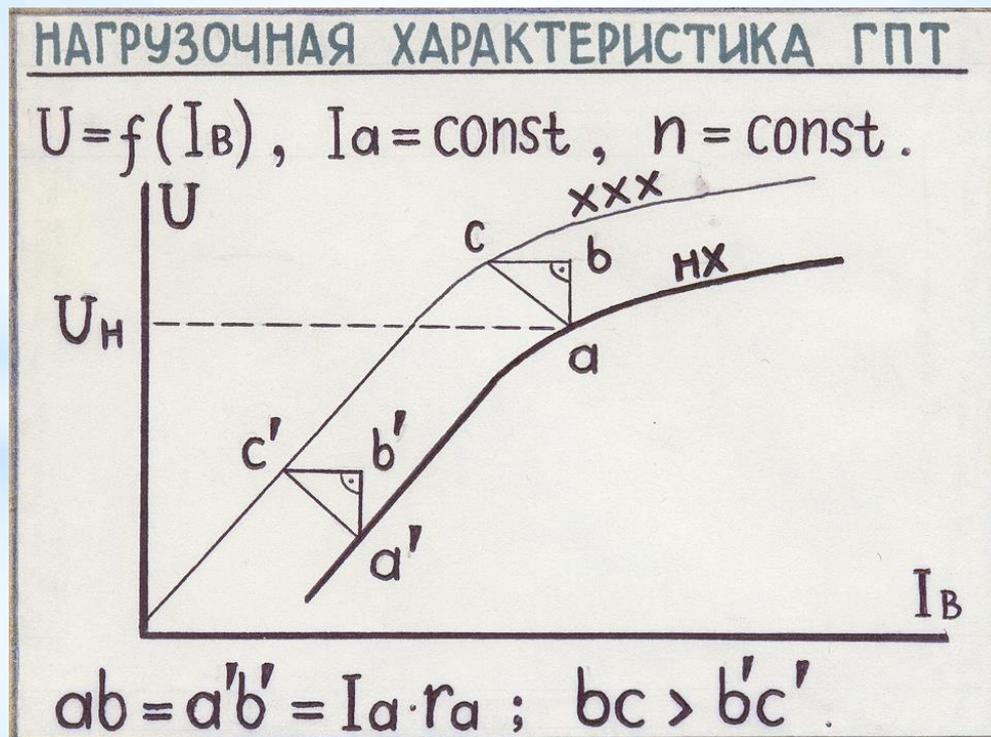
При увеличении тока возбуждения ЭДС генератора сначала возрастает пропорционально. При дальнейшем увеличении тока возбуждения происходит магнитное насыщение машины, отчего кривая будет иметь изгиб. Если уменьшать ток возбуждения, кривая размагничивания не совпадает с кривой намагничивания из-за явления гистерезиса.



Машины постоянного тока

Характеристики генератора НВ.

НГ.Х Нагрузочная характеристика располагается ниже и правее характеристики холостого хода вследствие падения напряжения в цепи якоря и размагничивающего действия реакции якоря. Прямоугольный треугольник ABC , сторона которого AB соответствует реакции якоря в масштабе тока возбуждения, и сторона BC — падению напряжения в масштабе напряжения, называется характеристическим треугольником.



Машины постоянного тока

Характеристики генератора НВ.

ВН.Х Зависимость напряжения на внешних зажимах машины от величины тока нагрузки

$U = f(I)$ при токе возбуждения $I_v = const$ называют внешней характеристикой генератора.

С ростом тока нагрузки напряжение на зажимах генератора уменьшается из-за увеличения падения напряжения в якорной обмотке $I_a \cdot R_a$:

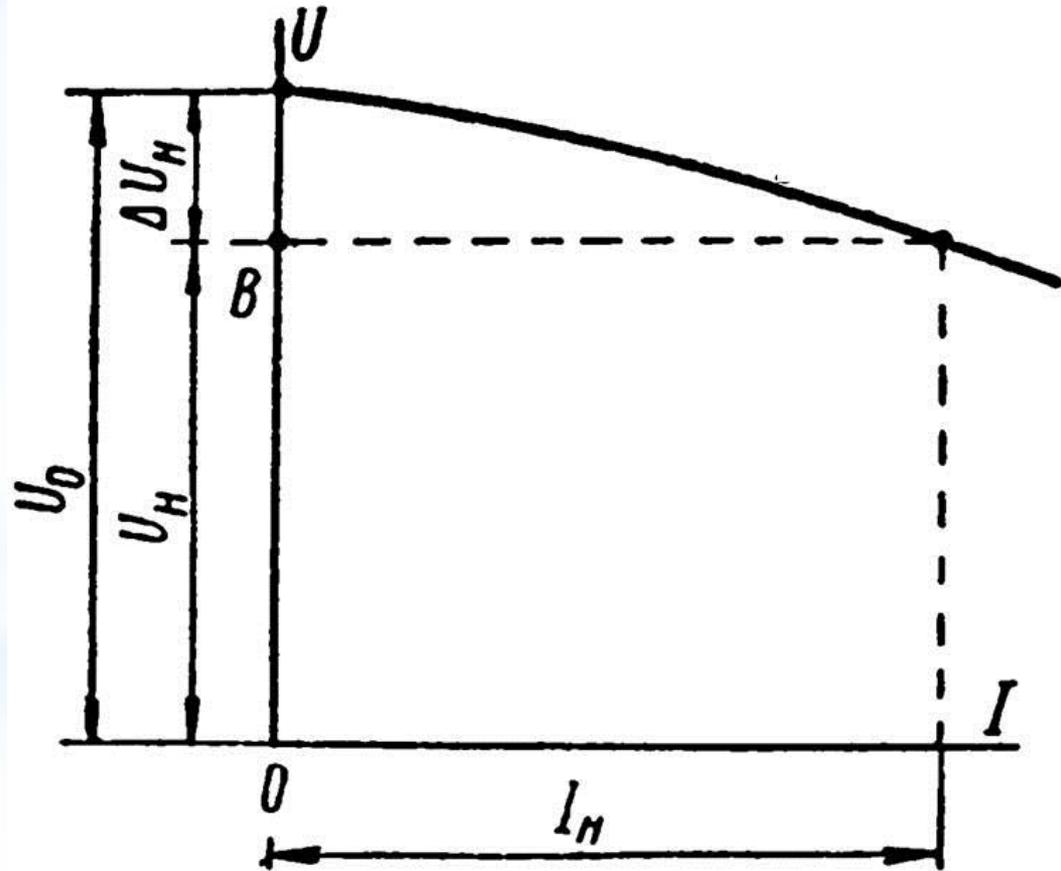
$$U = E - I_a \cdot R_a$$

А также под влиянием реакции якоря.

Т.е. из-за протекания тока через обмотку якоря в ней создаётся своё магнитное поле от этого тока.

Это магнитное поле противодействует основному полю возбуждения.

Что приводит к уменьшению наведённой ЭДС (E).

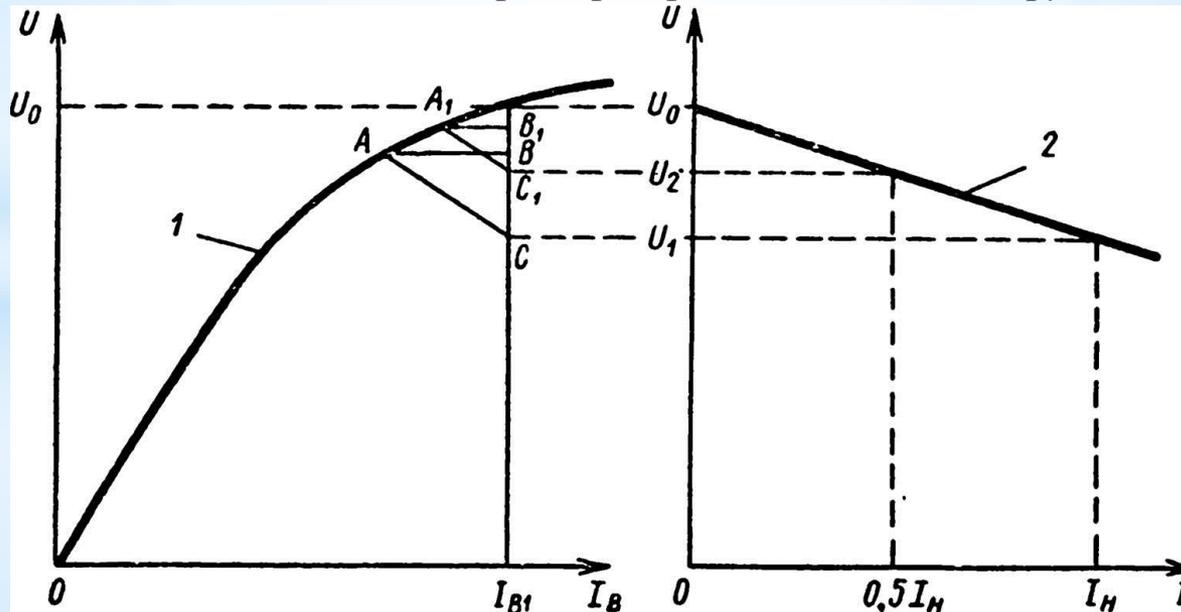


Машины постоянного тока

Характеристики генератора НВ.

ВН.Х Внешнюю характеристику можно построить по характеристике холостого хода и характеристическому треугольнику.

В координатных осях строится характеристика 1 холостого хода и характеристический треугольник ABC , определенный ранее по характеристикам холостого хода и нагрузочной для номинального тока нагрузки. Вертикальный катет BC совпадает с линией установленного тока возбуждения, а вершина A находится на характеристике холостого хода. Положение вершины C определяет напряжение U на зажимах генератора при номинальной нагрузке.



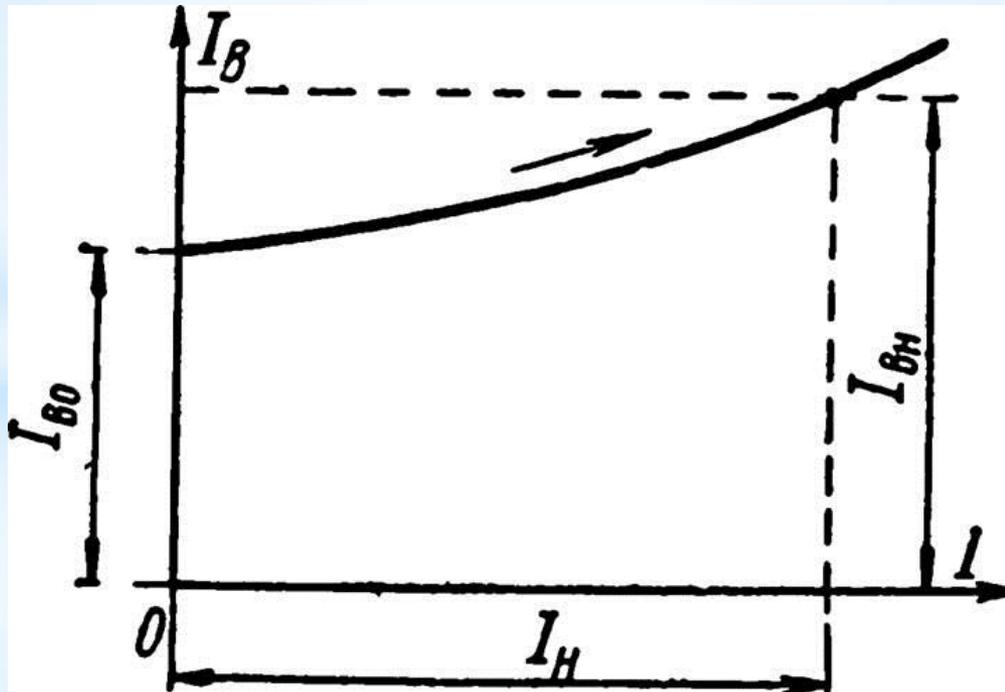
Машины постоянного тока

Характеристики генератора НВ.

РГ.Х Для поддержания постоянства напряжения на зажимах генератора при уменьшении нагрузки требуется также уменьшать ток возбуждения, а при увеличении нагрузки увеличивать ток возбуждения.

Снимается регулировочная характеристика $I_B = f(I)$ при $U = \text{const}$ и $n = \text{const}$.

Регулировочная характеристика, так же как внешняя, может быть построена по характеристике холостого хода и характеристическому треугольнику.



Машины постоянного тока

Электромагнитные соотношения. Режим двигателя НВ.

Под действием напряжения, подведенного к якору двигателя, в обмотке якоря появится ток $I_{я}$.

При взаимодействии тока с магнитным полем индуктора возникает электромагнитный

вращающий момент: $M_{эм} = C_m \cdot I_{я} \cdot \Phi$, $H \cdot m$

Где: C_m – коэффициент, зависящий от конструкции двигателя.

В проводниках якорной обмотки индуцируется ЭДС, направление которой определяется правилом правой руки. Эта ЭДС направлена встречно току якоря, ее называют противо-ЭДС.

В установившемся режиме электромагнитный

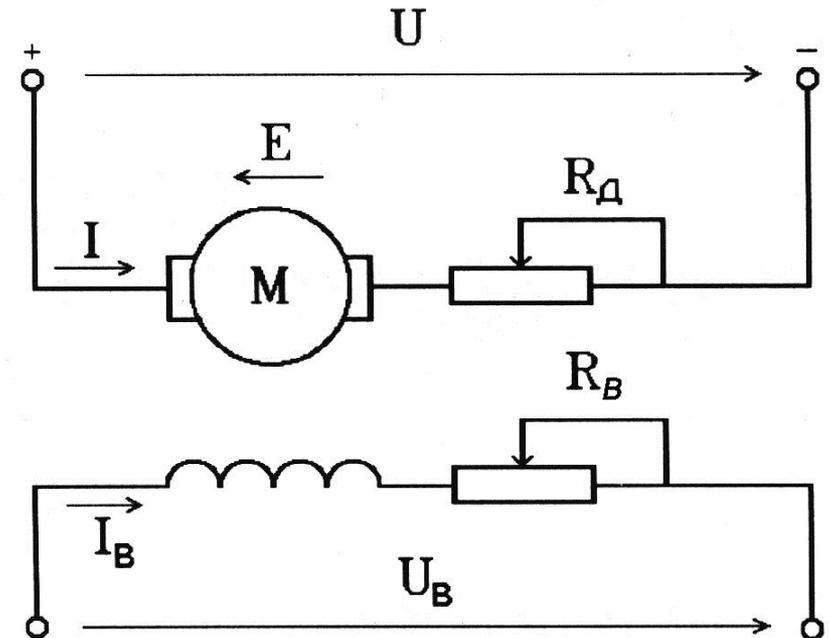
вращающий момент $M_{эм}$ уравнивается

противодействующим тормозным моментом M_2

механизма, приводимого во вращение. $M_{эм} = M_2$

В соответствии со вторым законом Кирхгофа:

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



Машины постоянного тока

Электромагнитные соотношения. Режим двигателя НВ.

$$\text{Ток якоря: } I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}} \Rightarrow \frac{U - C_e \cdot n_2 \cdot \Phi}{R_{\text{я}}}$$

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

$$\text{Так как: } M_{\text{эм}} = M_2 = C_m \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}} \Rightarrow I_{\text{я}} = \frac{M_2}{C_m \cdot \Phi} \Rightarrow n_2 = \frac{U}{C_e \cdot \Phi} - \frac{R_{\text{я}} \cdot M_2}{C_e \cdot C_m \cdot \Phi^2}$$

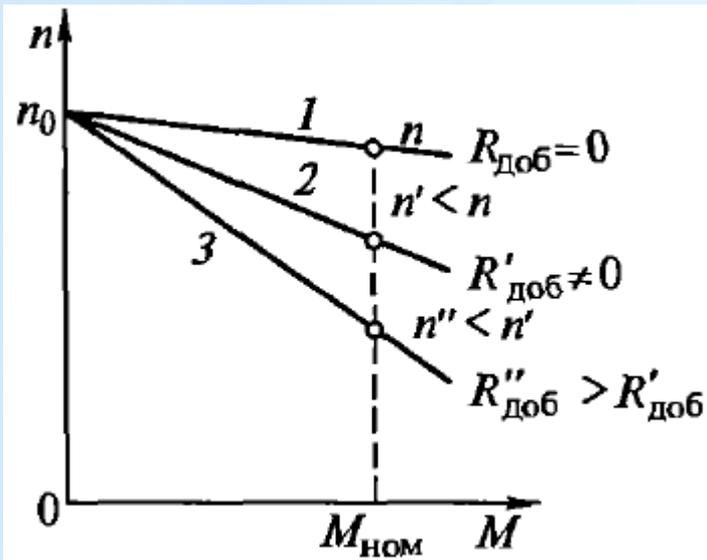
Магнитный поток Φ зависит от тока возбуждения $I_{\text{в}}$, создаваемого в обмотке возбуждения. Из формулы видно, что частоту вращения двигателя постоянного тока n_2 можно регулировать следующими способами:

1. изменением сопротивления якорной цепи путём введения добавочного сопротивления $R_{\text{д}}$;
2. изменением тока возбуждения с помощью реостата в цепи обмотки возбуждения;
3. изменением напряжения U на зажимах якорной обмотки.

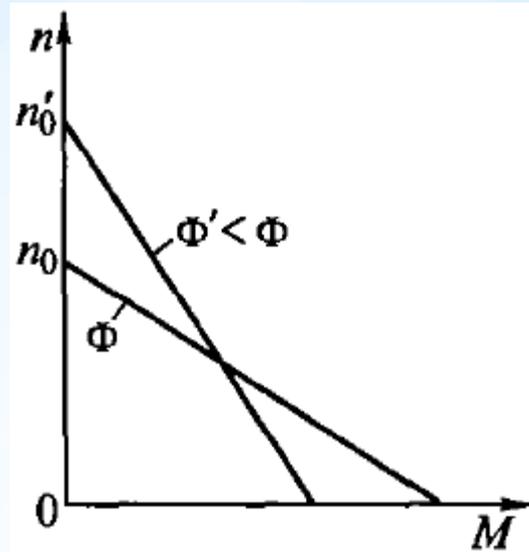
Чтобы изменить направление вращения двигателя на обратное (реверсировать двигатель), необходимо изменить направление тока в обмотке якоря или индуктора.

Машины постоянного тока

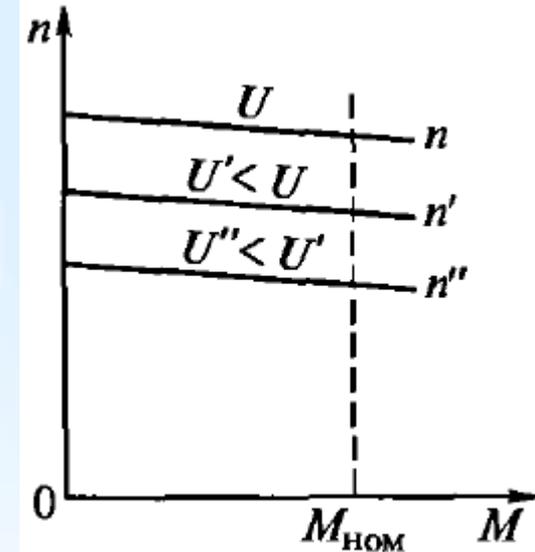
Механические характеристики. Режим двигателя НВ.



При изменении сопротивления
якорной цепи с помощью $R_{\text{доб}}$



При изменении
магнитного потока
возбуждения



При изменении
питающего
напряжения

Машины постоянного тока

Электромагнитные соотношения. Режим двигателя ПсВ.

У двигателя с последовательным возбуждением якорная обмотка и обмотка возбуждения включены последовательно. Ток возбуждения двигателя одновременно является током якоря.

Магнитный поток индуктора пропорционален току якоря.

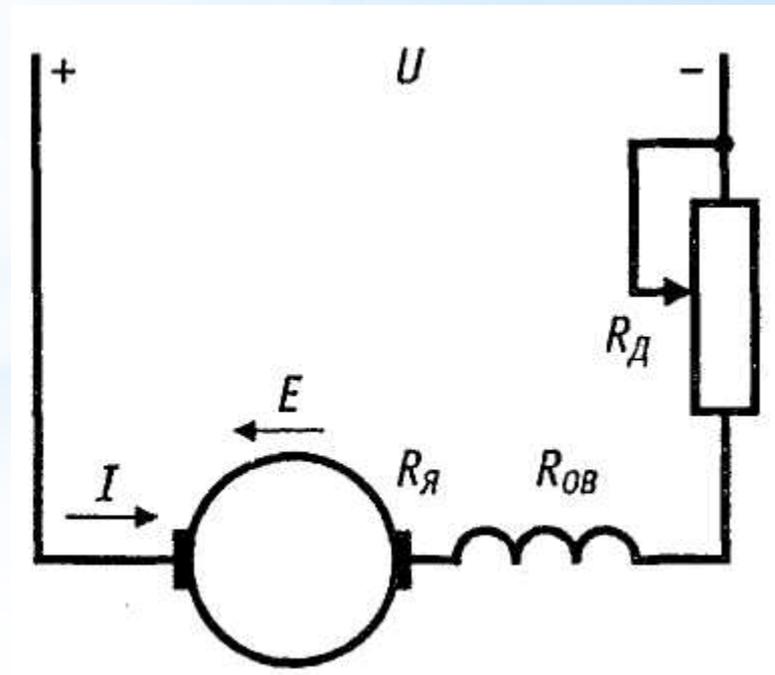
$$\Phi = k \cdot I_{\text{я}}$$

Момент на валу двигателя пропорционален квадрату тока якоря.

$$M_2 = C_m \cdot I_{\text{я}} \cdot \Phi = C_m \cdot k \cdot I_{\text{я}}^2, \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Тогда:
$$I_{\text{я}} = \sqrt{\frac{M_2}{C_m \cdot k}}$$

$$n_2 = \frac{U - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi} = \frac{U - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}}{C_e \cdot k \cdot I_{\text{я}}} = \frac{U}{C_e \cdot k \cdot \sqrt{\frac{M_2}{C_m \cdot k}}} - \frac{R_{\text{я}}}{C_e \cdot k}$$



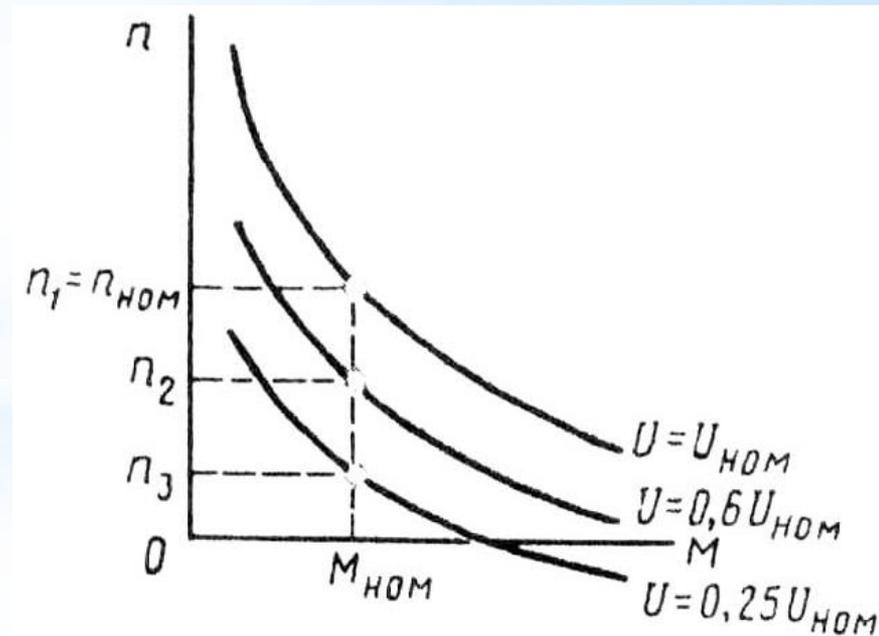
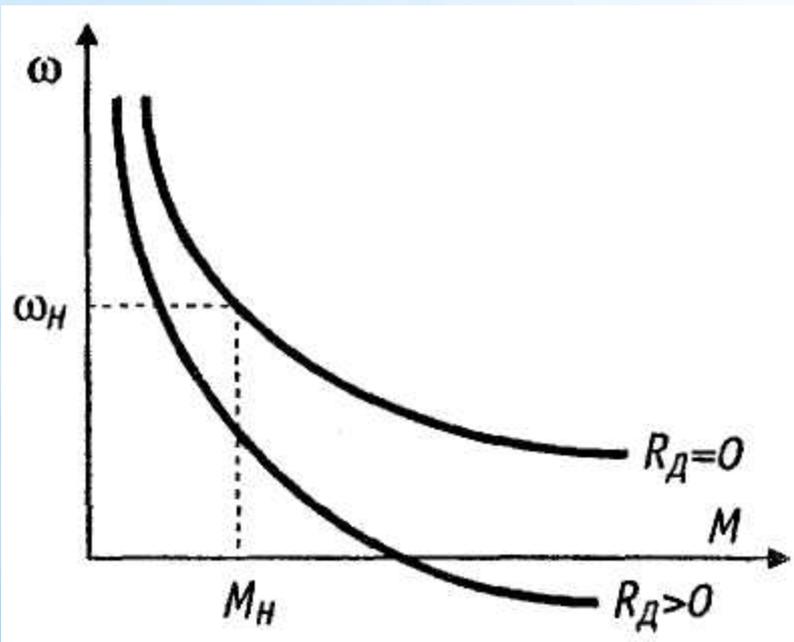
Машины постоянного тока

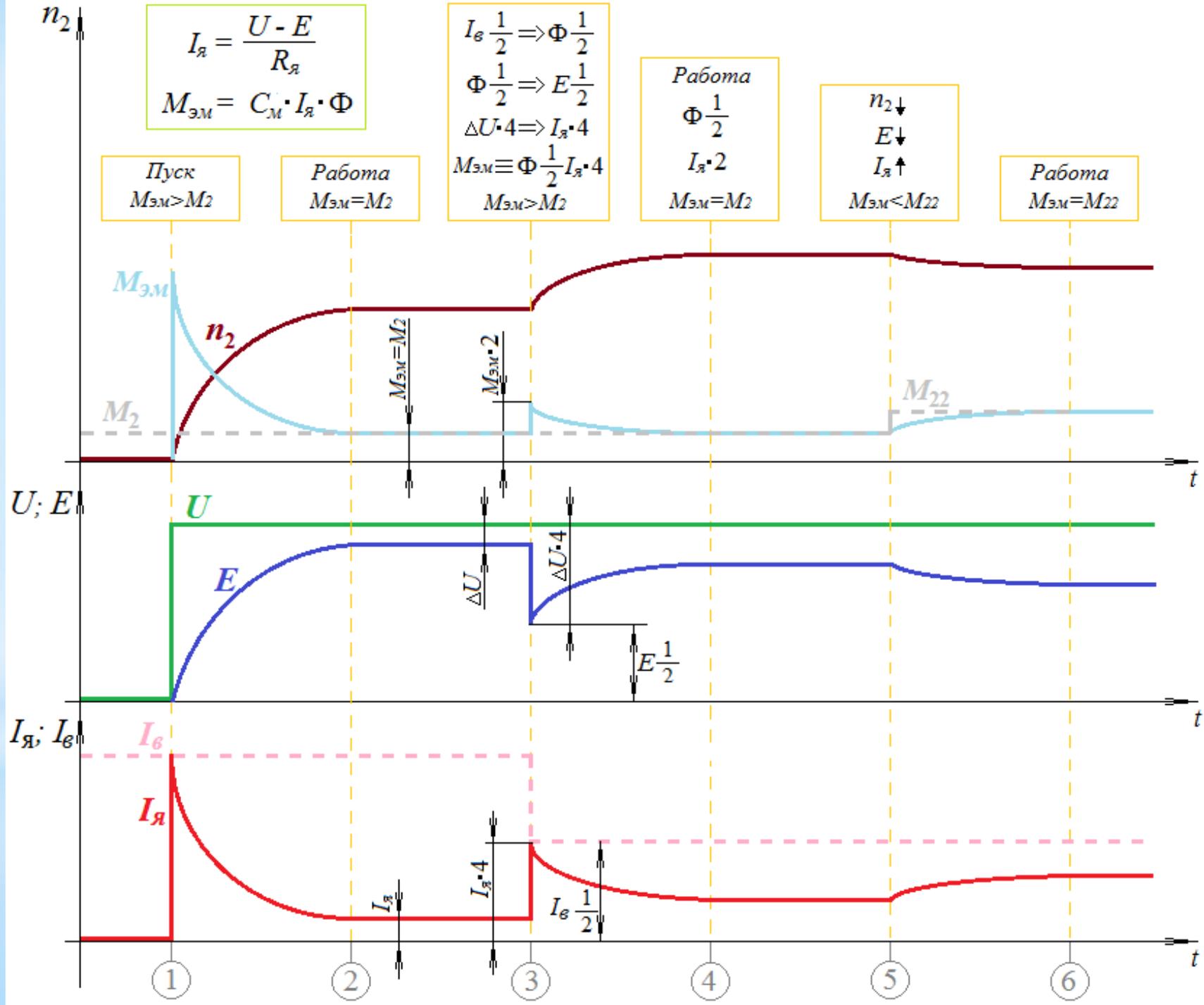
Механические характеристики. Режим двигателя ПсВ.

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

С уменьшением нагрузки на валу двигатель развивает очень большую частоту вращения.

Говорят, что двигатель идет вразнос. Работа двигателя последовательного возбуждения без нагрузки недопустима.



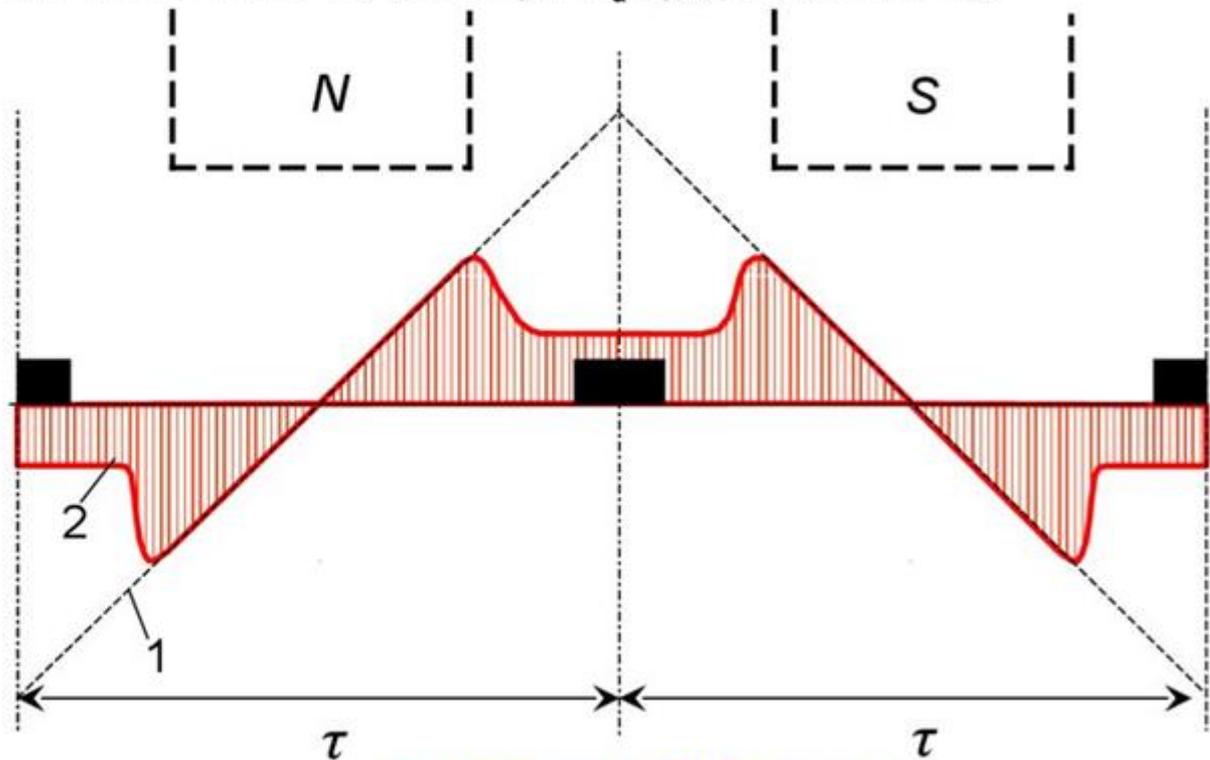
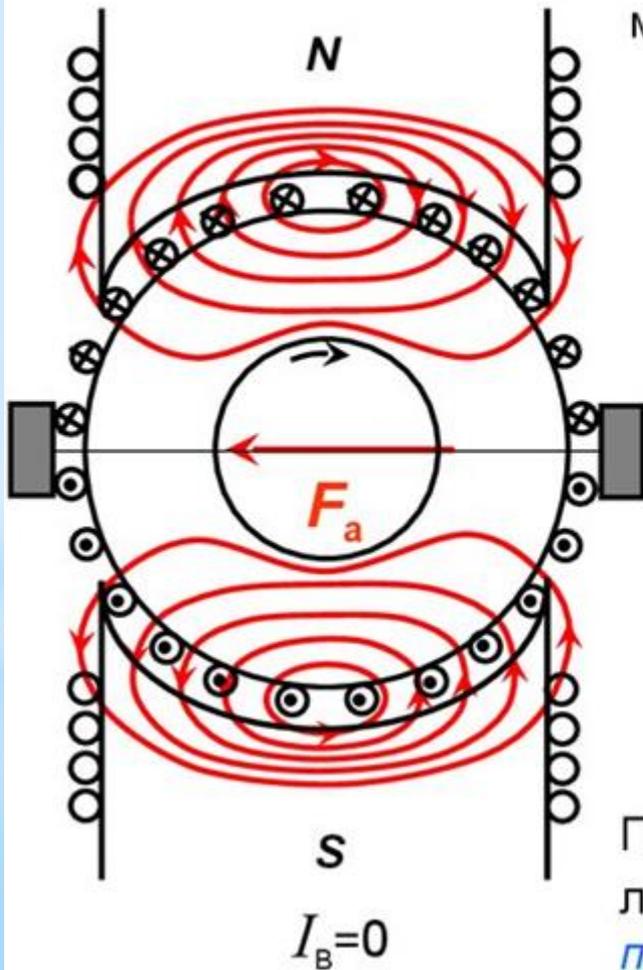


Машины постоянного тока

Реакция якоря двигателя.

Если машину нагрузить, то в обмотке якоря появится ток I_a , кот создает МДС якоря F_a .

Допустим, что МДС обмотки возбуждения $F_{\text{во}}=0$, тогда магнитное поле МДС якоря F_a будет иметь вид:

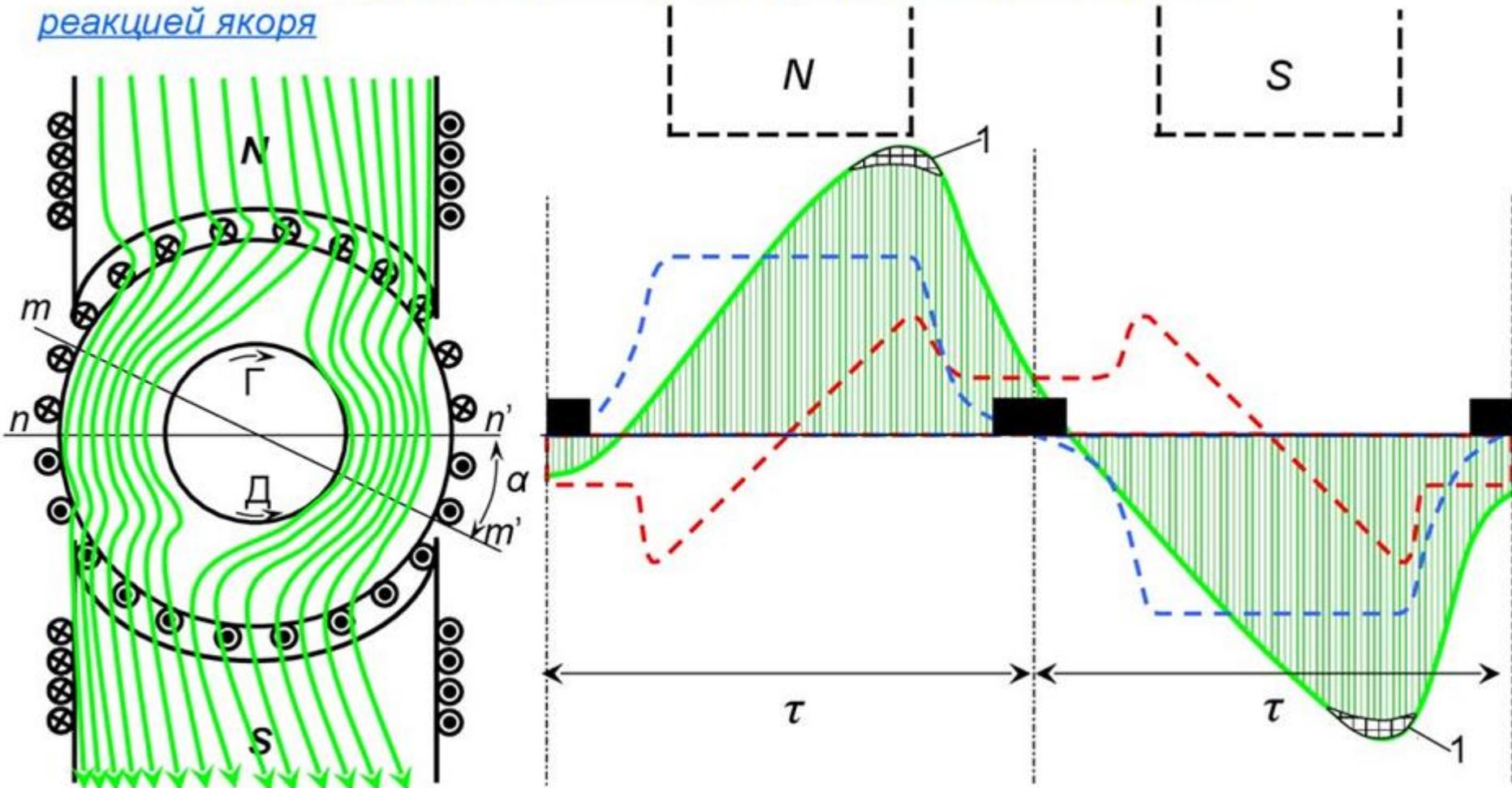


Пространственное положение МДС якоря F_a определяется положением щеток и остаётся неизменным при вращении якоря

Машины постоянного тока

Реакция якоря двигателя.

Влияние МДС обмотки якоря на магнитное поле машины называют реакцией якоря



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

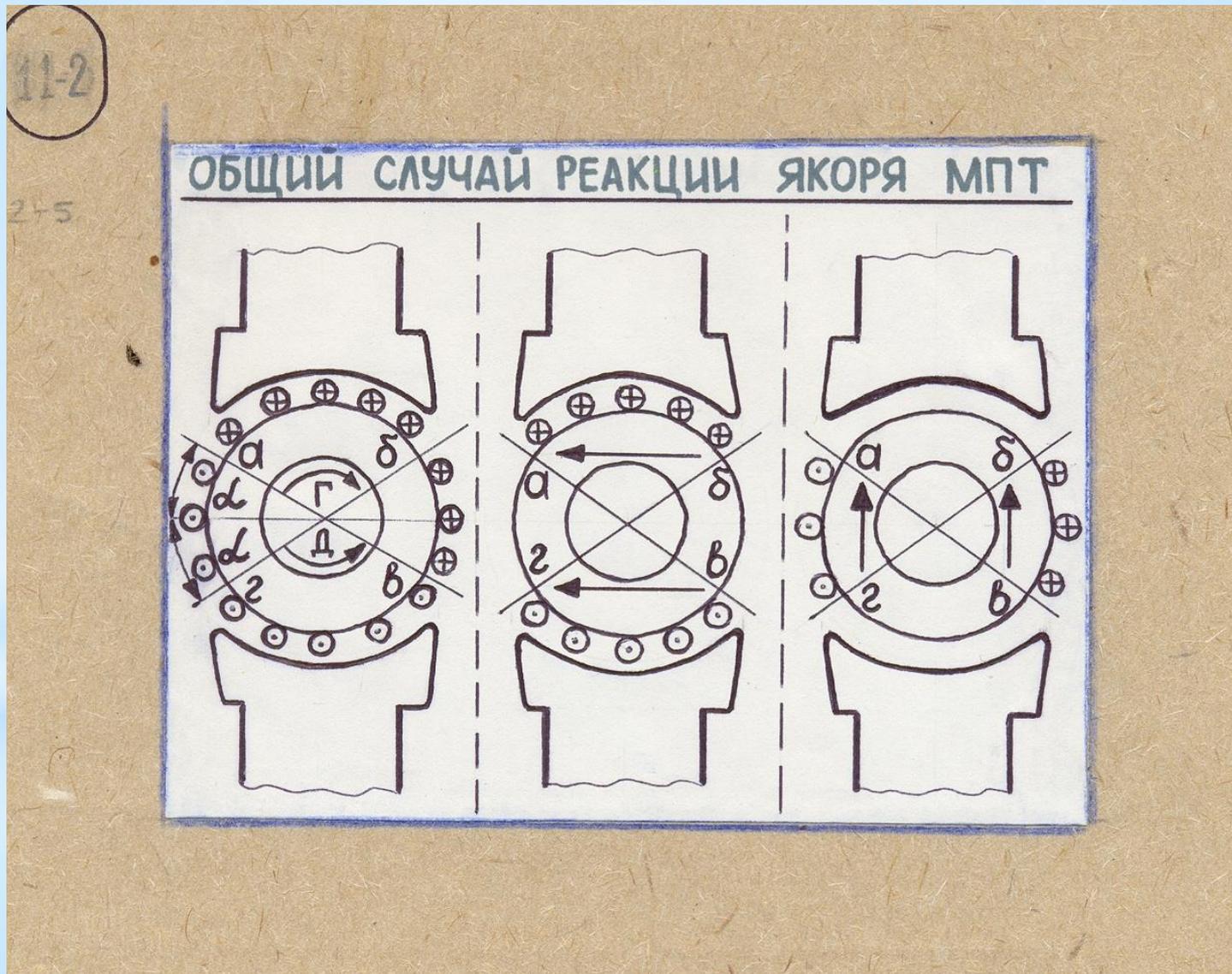
Машины постоянного тока

Реакция якоря двигателя.



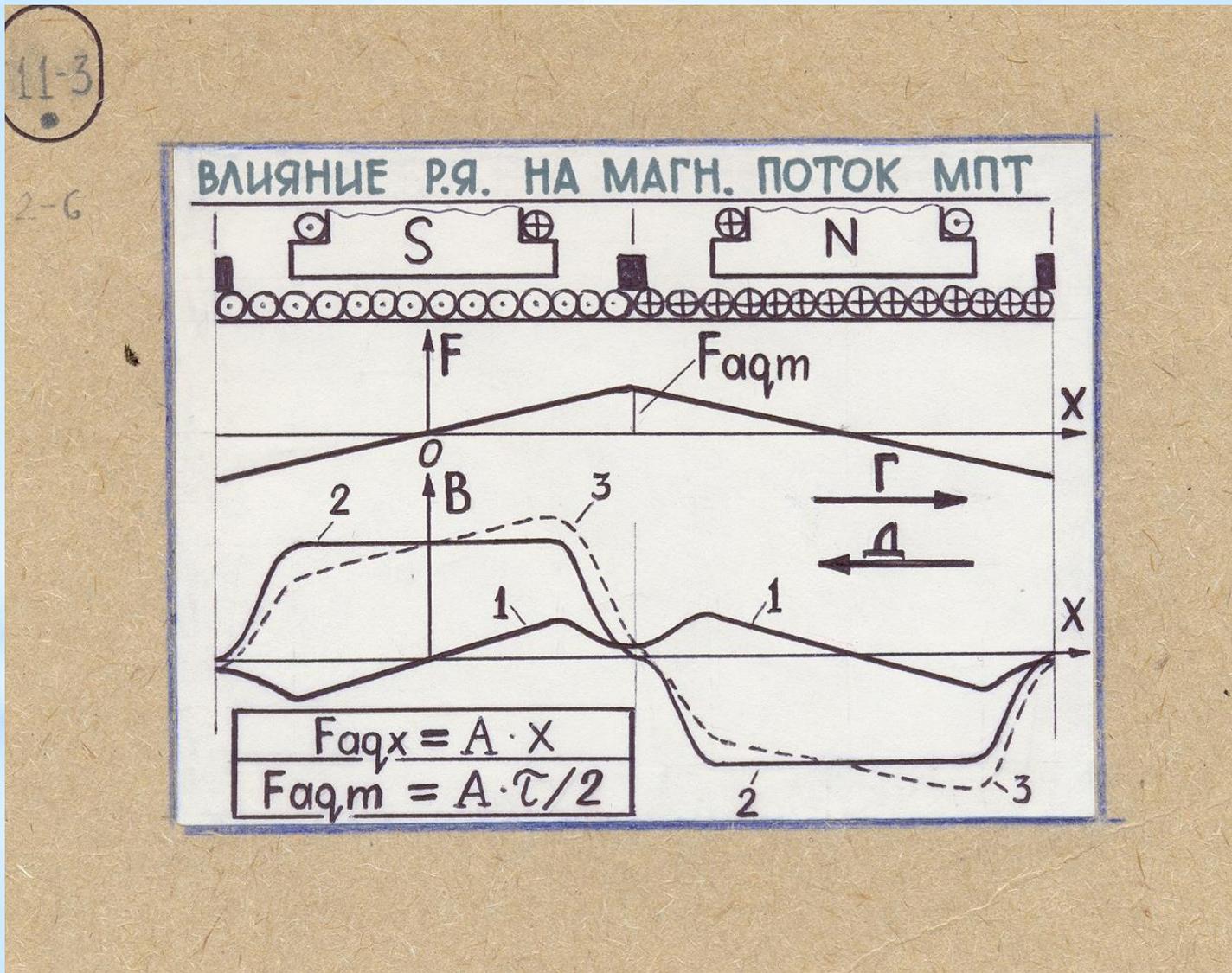
Машины постоянного тока

Реакция якоря двигателя.



Машины постоянного тока

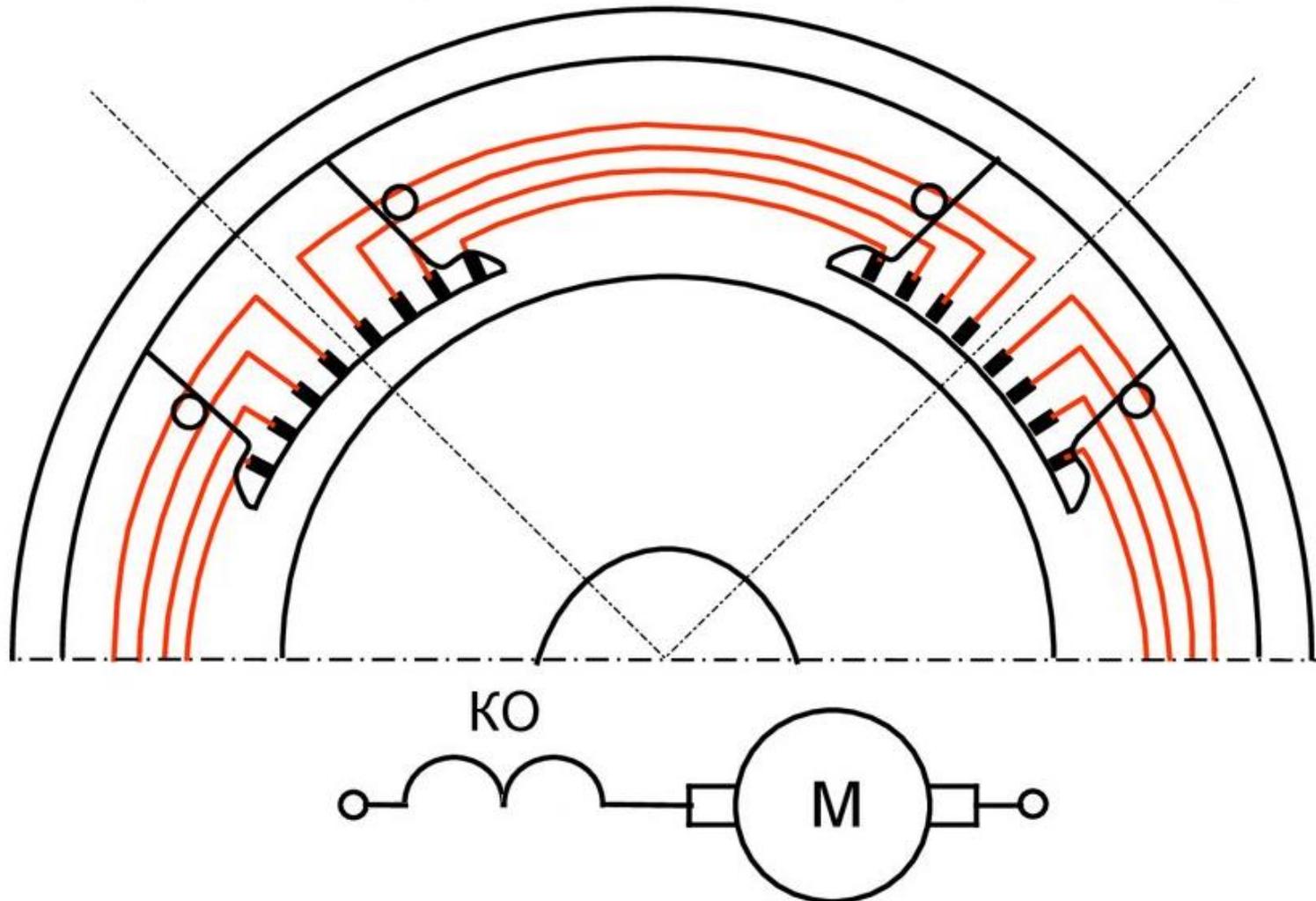
Реакция якоря двигателя.



Машины постоянного тока

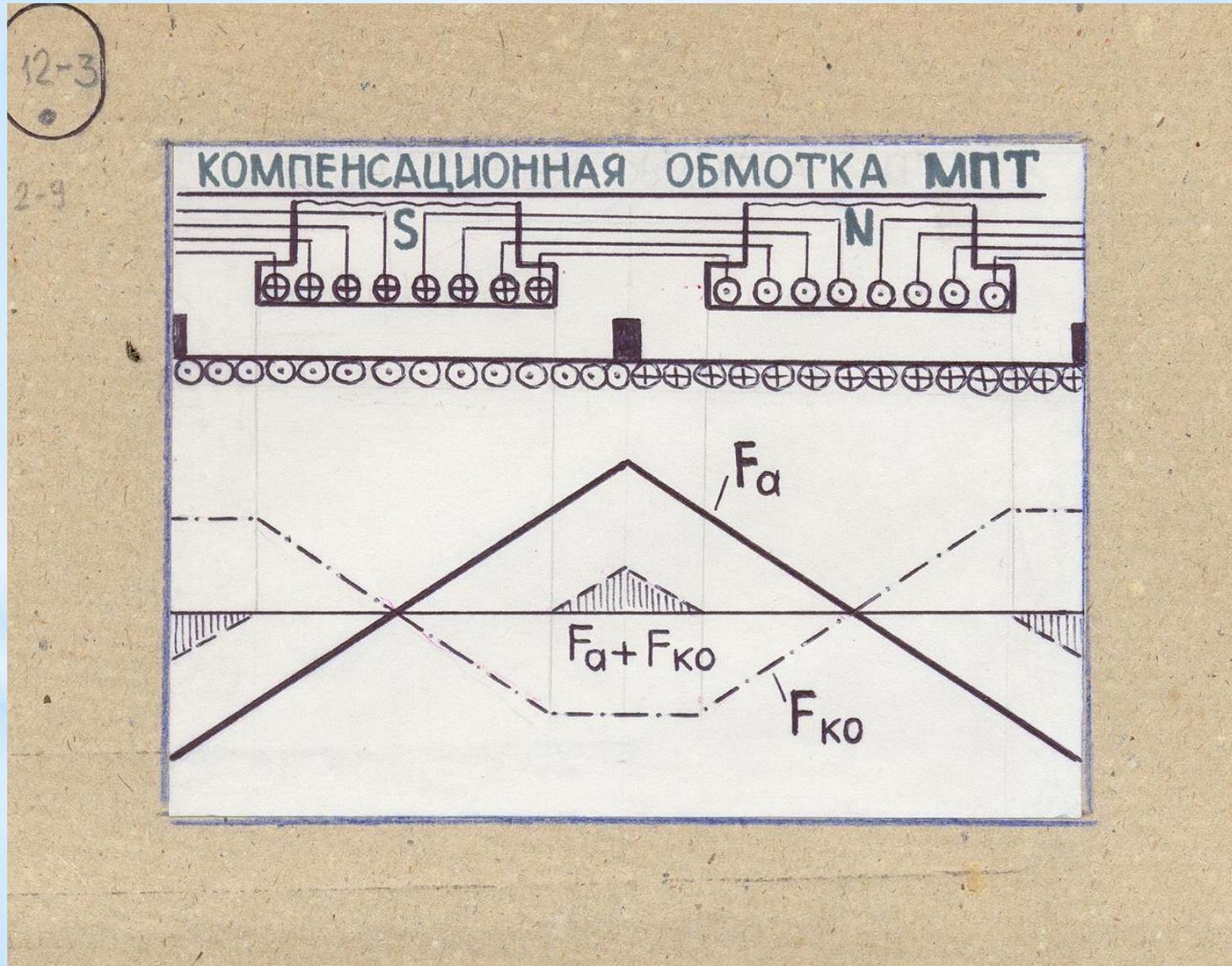
Реакция якоря двигателя. Компенсационная обмотка.

Устранение вредного влияния реакции якоря



Машины постоянного тока

Реакция якоря двигателя. Компенсационная обмотка.



Спасибо за внимание!