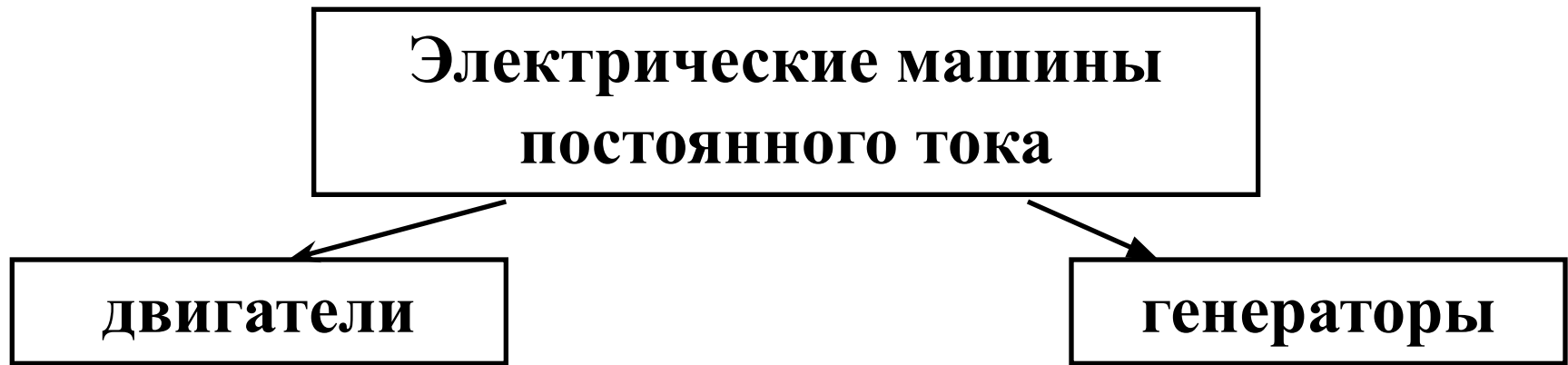


# *Лекция 17*

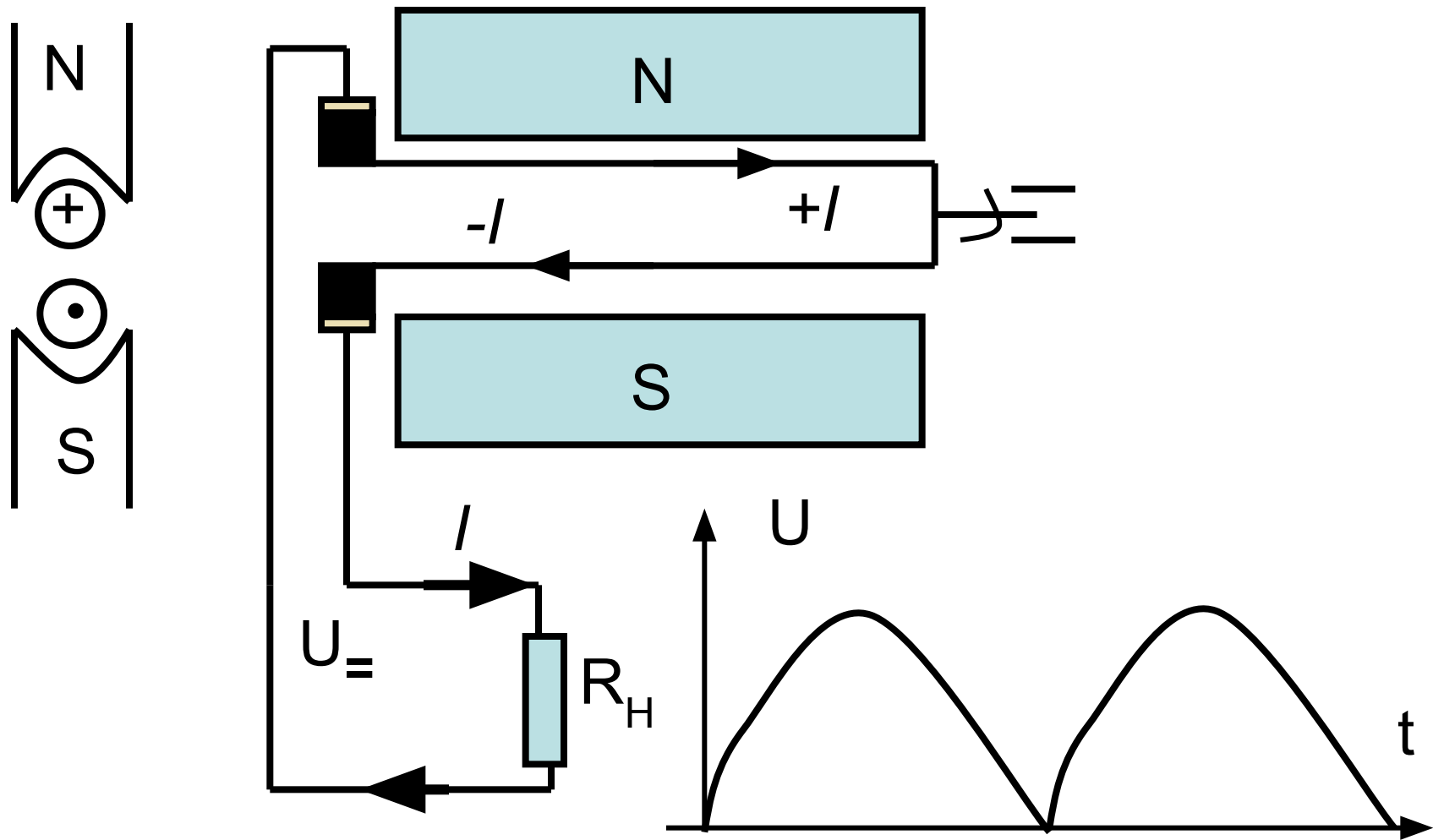
## *Машины постоянного тока*

# *Назначение и области применения МПТ*



**Как звенья САУ; усилители электрических сигналов управления; тахогенераторы; питания электролитических ванн; зарядки аккумуляторов; высококачественной сварки; входят в состав металлургического, автомобильного, судового и самолетного электрооборудования.**

# Принцип действия машин постоянного тока



Принцип действия электрических машин постоянного тока (МПТ) основывается на взаимодействии постоянного магнитного поля и проводника с током, находящимся в этом поле.

**Генераторы:** Рамка вращается в магнитном поле постоянного магнита за счет энергии другого источника. В проводах рамки возникает э.д.с. и индукционный ток различного направления. Концы проводов рамки соединены с коллектором, с которого снимается через щетки ток постоянного направления (если включена нагрузка).

Двигатели: Через коллектор и щетки в рамку подается постоянный ток, который взаимодействует с постоянным магнитным полем машины и создает вращающий момент на валу машины.

Электрические машины постоянного тока взаимнообратимы, т.е. могут работать как режиме двигателя, так и генератора.

# Преимущества МПТ

ГПТ

- Жесткая внешняя характеристика,
- Хорошие регулировочные свойства,
- Возможность использования в автоматических линиях

ДПТ

- Лучшие механические характеристики,
- Лучшие регулировочные свойства,
- Высокая перегрузочная способность

# Общие недостатки МПТ

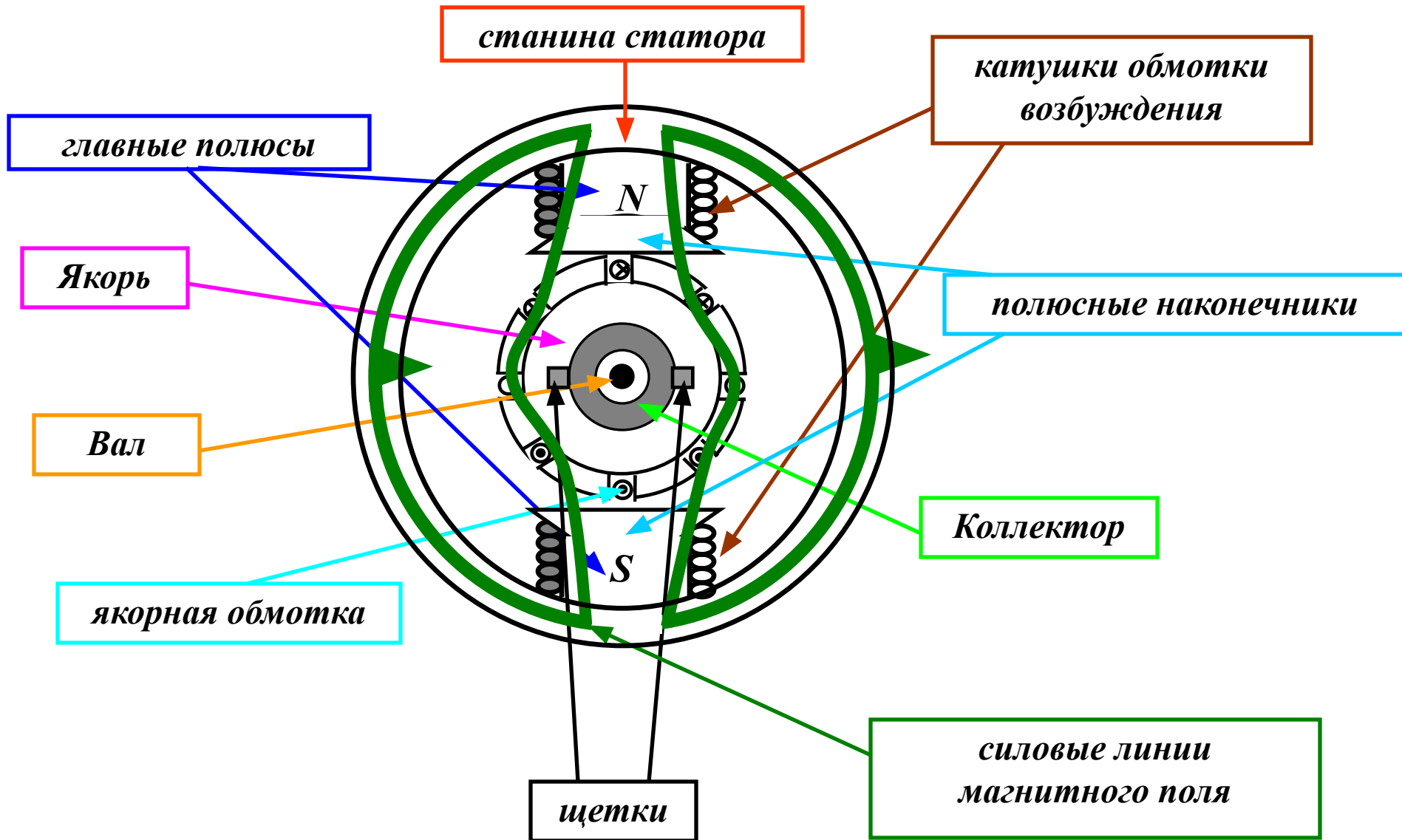
- Сложность конструкции,
- Невозможность работы в агрессивных средах,
- Необходимость частых ревизий,
- Меньший срок службы,
- Наличие радиопомех.

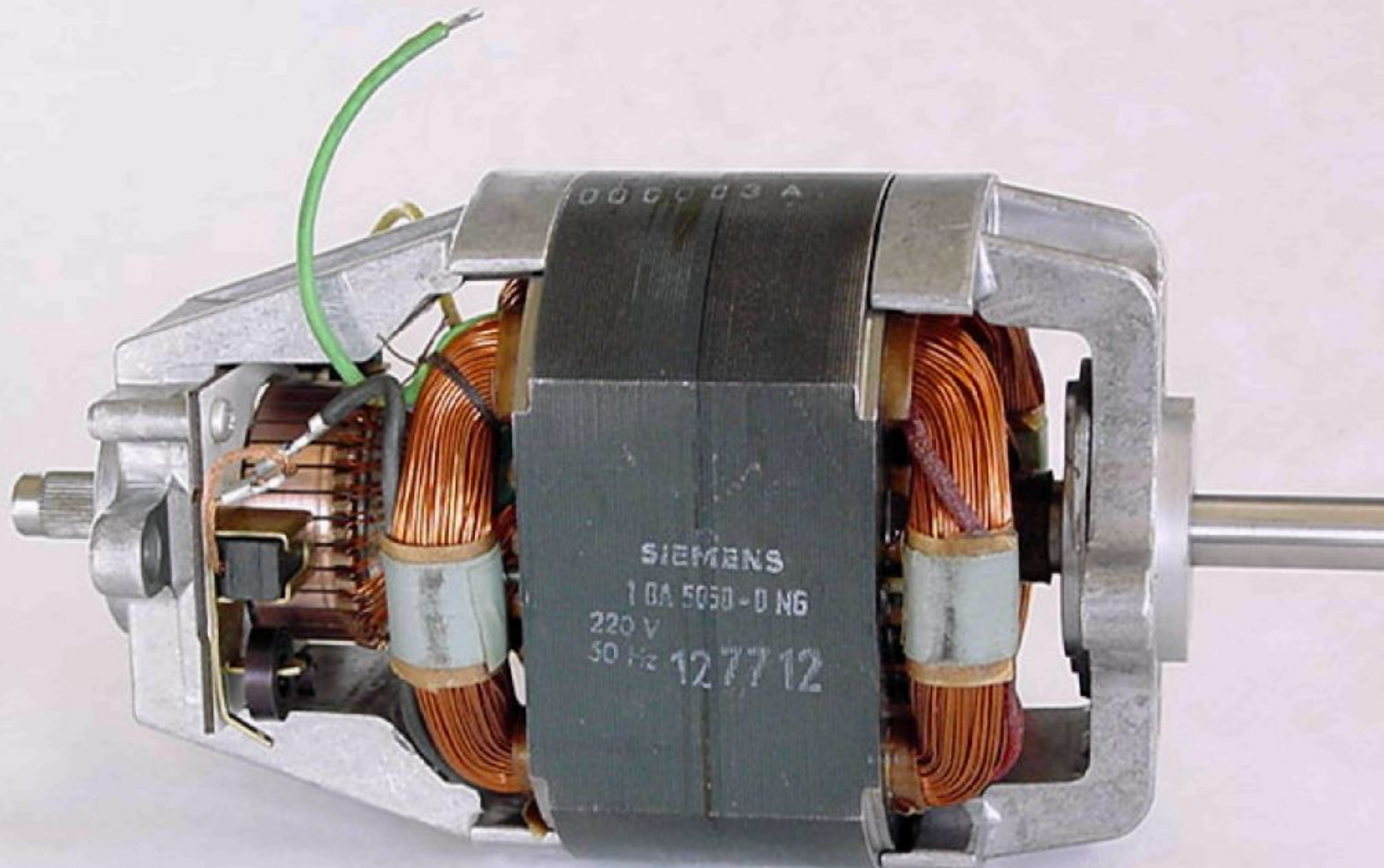
# Состав машин постоянного тока

- **ИНДУКТОР**: корпус – станина, главные и вспомогательные полюса с полюсными наконечниками, обмотка возбуждения, помещенная на главные полюса.
- **ЯКОРЬ – РОТОР**: магнитопровод, обмотка якоря (секции)
- **КОЛЛЕКТОР**
- **ЩЕТКИ** (Щеточный узел)



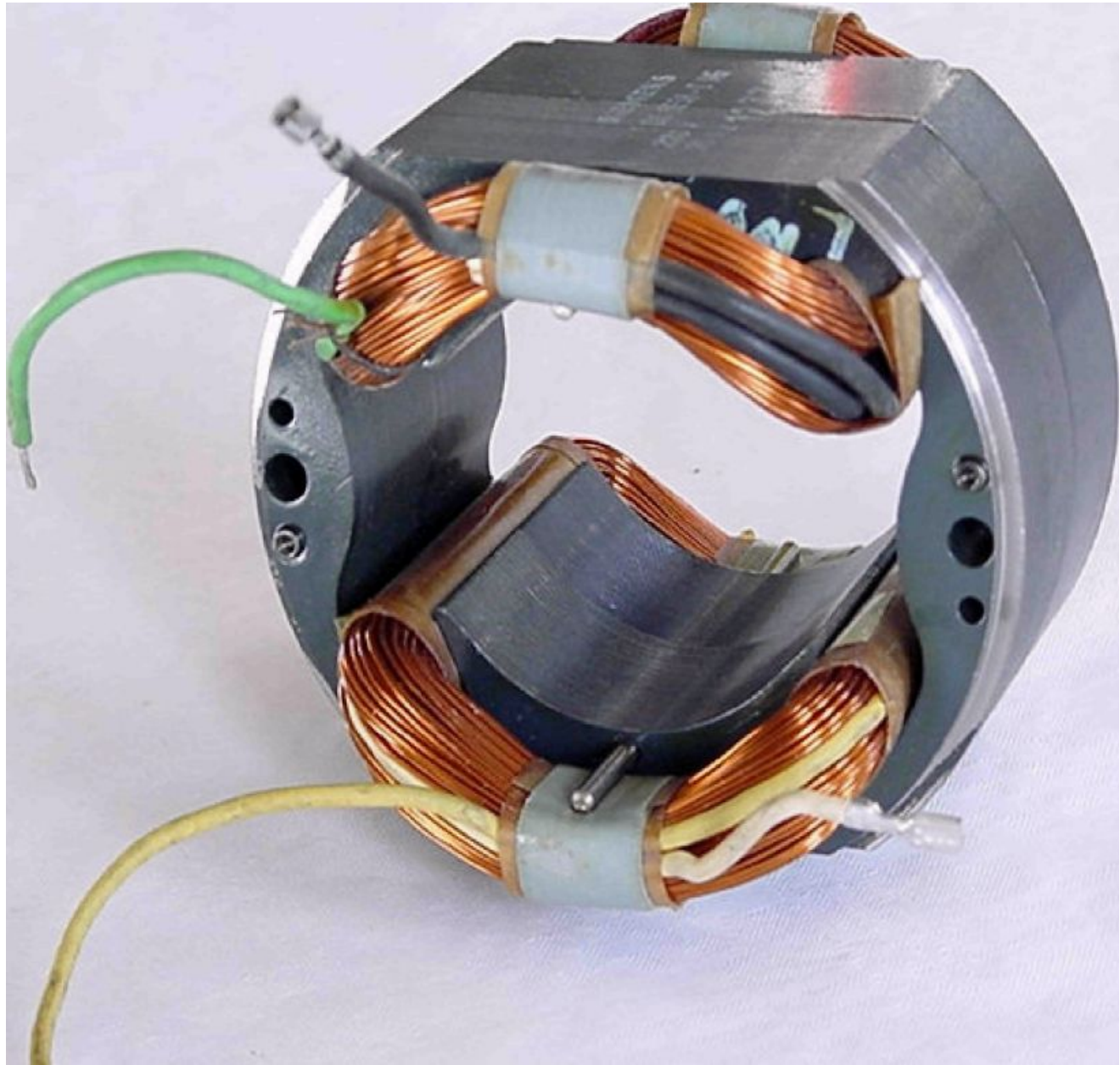
# Устройство МПТ



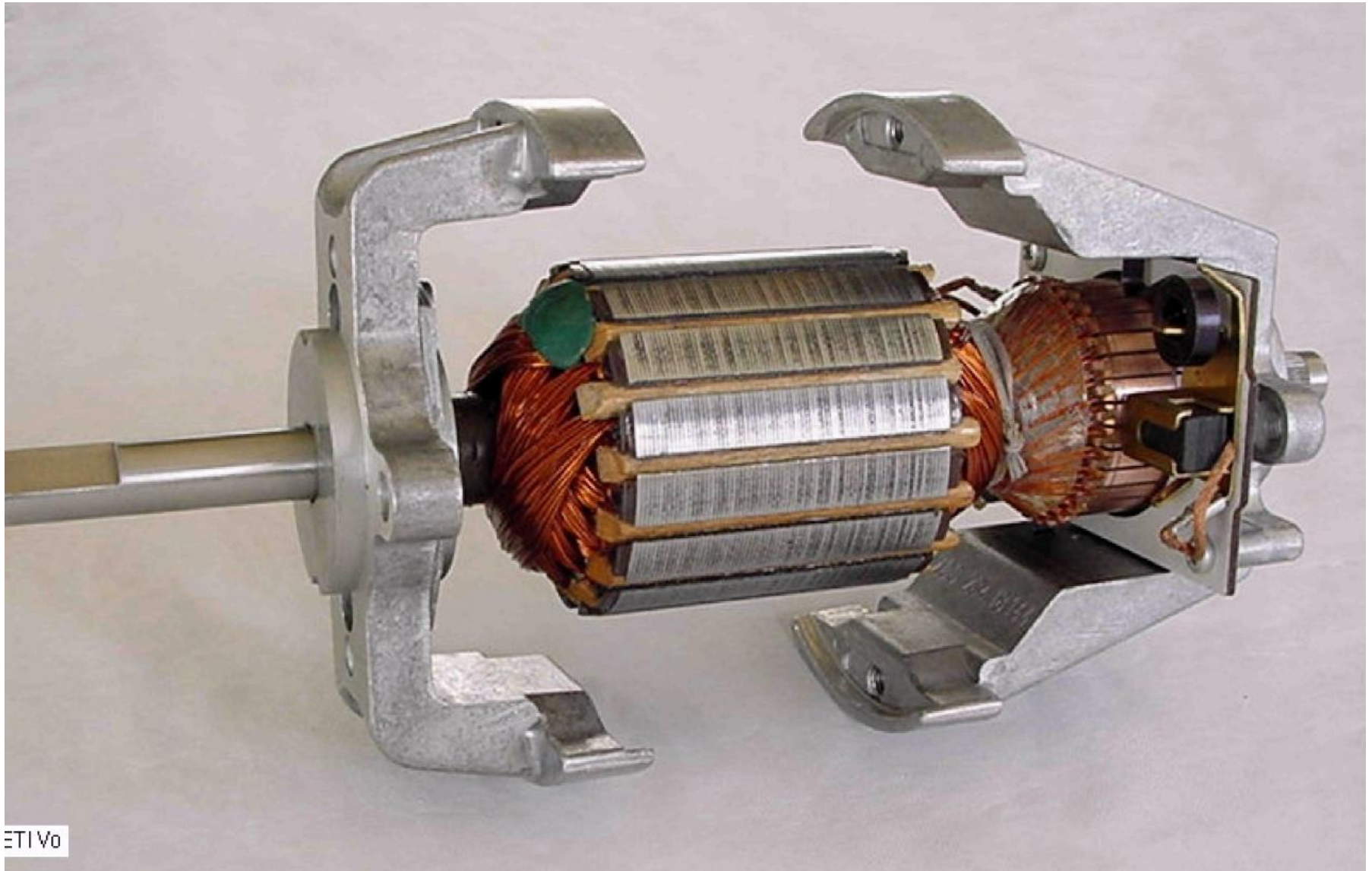


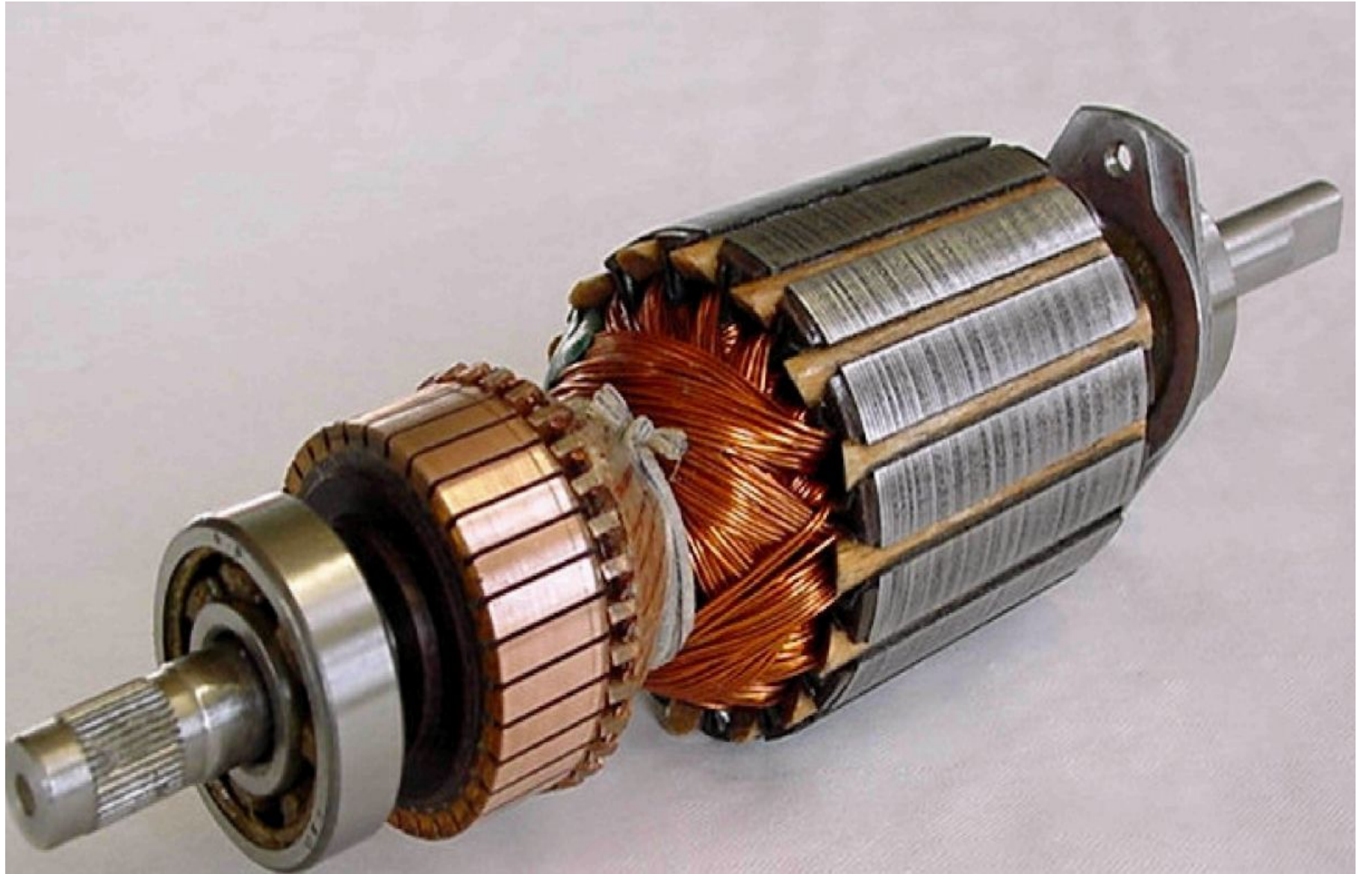
000003A

SIEMENS  
1 BA 5050-D NG  
220 V  
50 Hz 127712

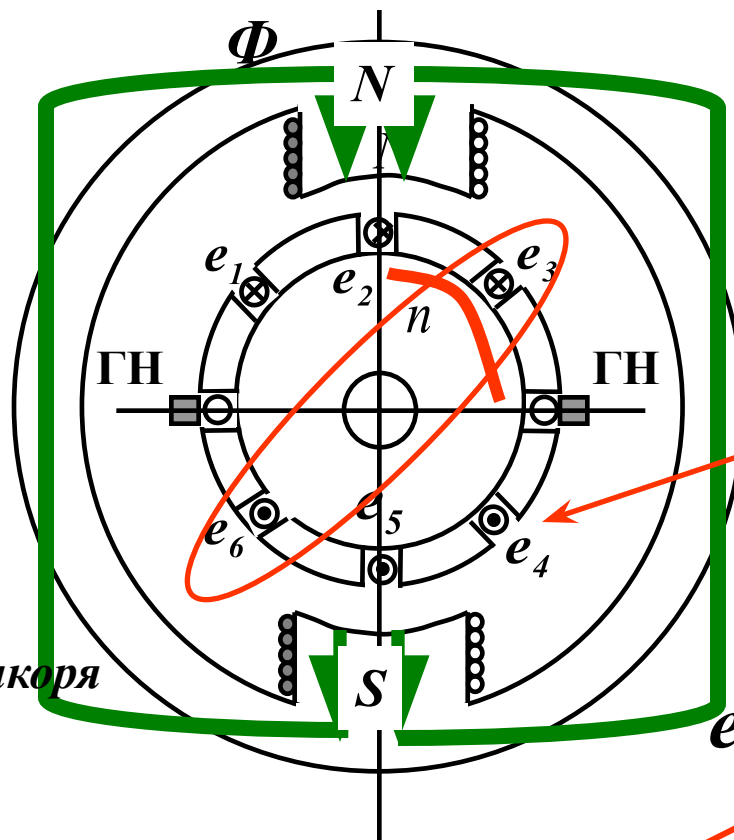








# Принцип действия МПТ



параллельные ветви

длина проводника

$$I = \frac{I_{\text{я}}}{2a}$$

число параллельных ветвей

магнитная индукция в воздушном зазоре

$$e = B_n \cdot l \cdot \nu \quad (1)$$

# Генератор ПТ

- Первичный двигатель развивает вращающий момент  $M_1$ , вращая ротор генератора с частотой  $n$ .
- Мощность механической энергии, поступающей от ПД

$$P_1 = M_1 \cdot \Omega = M_1 \frac{\pi \cdot n}{30}$$

- Если к обмотке возбуждения подведено напряжение  $U_B$ , то в ней возникает ток  $I_B$ , создающий МДС  $w_B I_B$ . МДС  $w_B I_B$  возбуждает в машине магнитный поток возбуждения  $\Phi$ .
- При вращении проводников якоря в магнитном поле, возбуждаемом МДС главных полюсов машины, в них наводятся ЭДС.



- Сумма ЭДС всех проводников одной параллельной ветви обмотки якоря определяет ЭДС якоря

$$E = c_e \cdot \Phi \cdot n$$

- где  $c_e = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a}$  - постоянный коэффициент

$p$  – число пар полюсов,

$N$  – число проводников обмотки якоря,

$a$  – число пар параллельных ветвей

- Электромагнитная мощность генератора

$$P_{\text{ЭМ}} = E \cdot I_{\text{я}}$$

- Мощность электрической энергии, снимаемой с его зажимов

$$P_2 = U \cdot I$$

# Двигатель ПТ

- Если через щетки и коллектор на обмотку якоря возбужденной машины подать напряжение  $U$ , то в результате в проводниках обмотки якоря появятся токи.
- Взаимодействие проводников с током обмотки якоря и магнитного поля возбуждения  $\Phi$  создает электромагнитный момент  $M$ , который определяет момент вращающий  $M_2$  на валу двигателя.

- Мощность, подводимой к двигателю электрической энергии

$$P_1 = U \cdot I$$

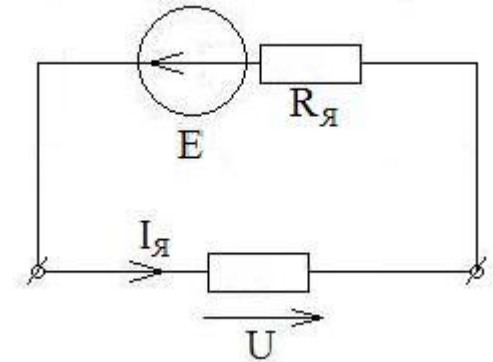
- Мощность механической энергии, снимаемой с вала двигателя

$$P_2 = M_2 \cdot \Omega$$

# Уравнения электрического состояния МПТ

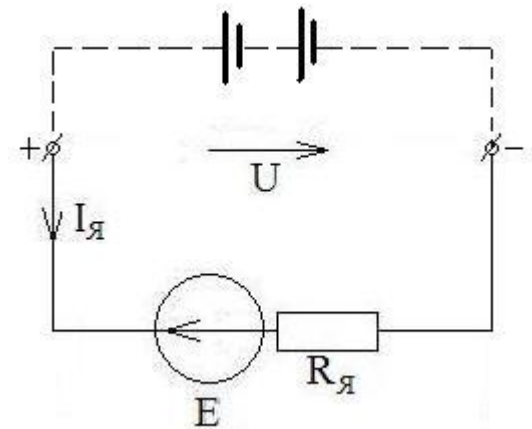
- в режиме генератора

$$U = E - R_{\text{я}} I_{\text{я}}$$



- в режиме двигателя

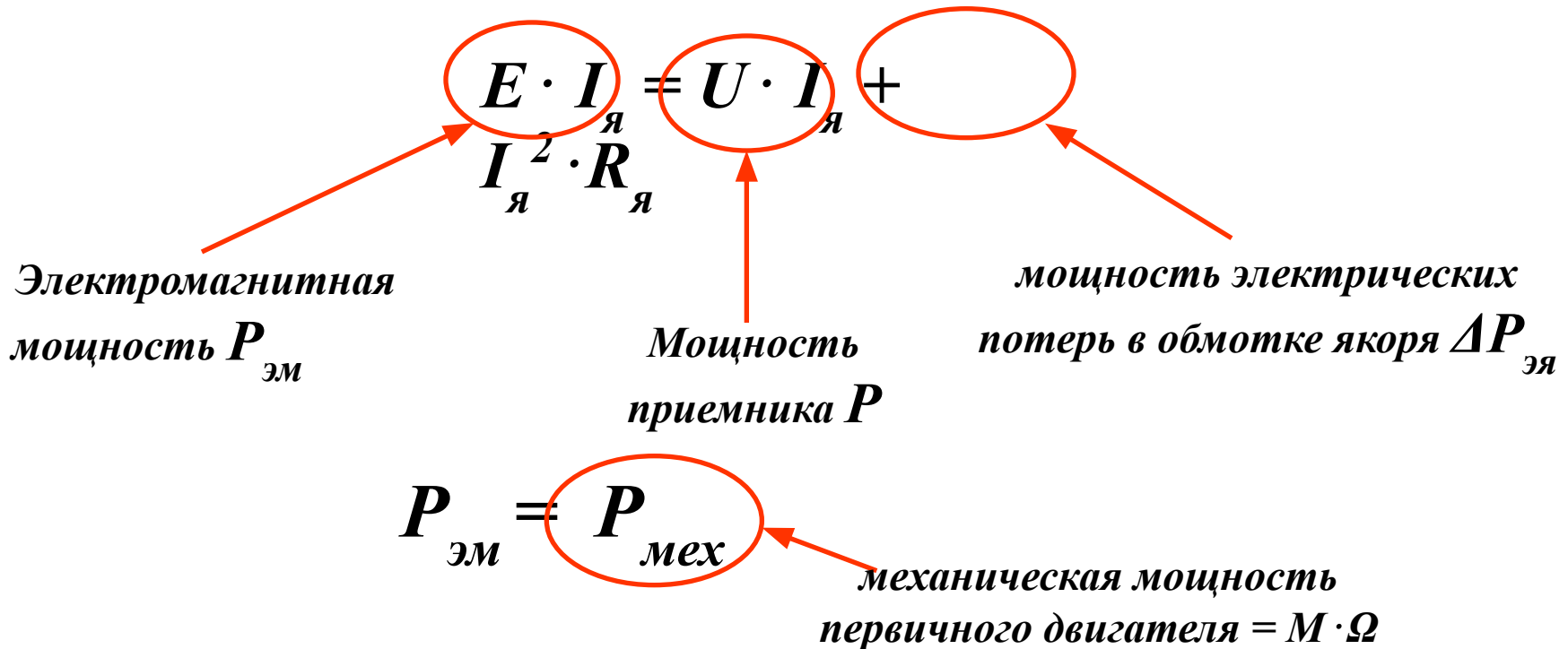
$$U = E + R_{\text{я}} I_{\text{я}}$$



# Уравнение электрического состояния цепи якоря генератора

$$E = U + I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

Уравнение баланса мощностей цепи якоря генератора



**Напряжение приложенное к зажимам  
якоря двигателя**

$$U = E + R_{я} I_{я}$$

**Ток якоря двигателя**

$$I_{я} = \frac{U - E}{R_{я}}$$

# Уравнение баланса мощностей цепи якоря двигателя

$$U \cdot I_{я} = E \cdot I_{я} + I_{я}^2 \cdot R_{я}$$

Электрическая  
мощность  $P$

Электромагнитная  
мощность  $P_{эм}$

мощность электрических  
потерь в обмотке якоря  $\Delta P_{эя}$

$$P_{эм} = P_{мех}$$

механическая мощность  
первичного двигателя =  $M \cdot \Omega$



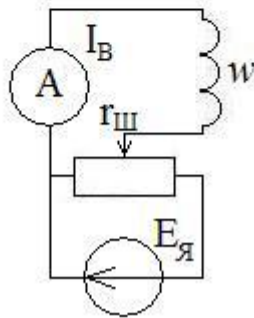
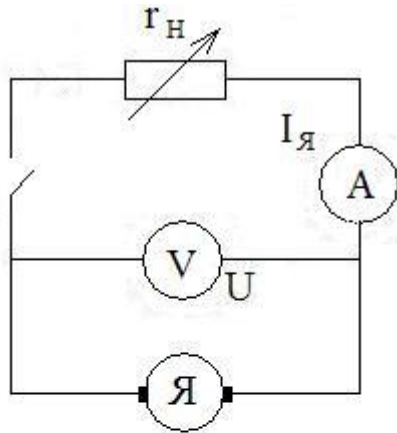
# Способы возбуждения генераторов

- Рабочие характеристики МПТ зависят от способа возбуждения главного магнитного поля. В большинстве машин главное магнитное поле возбуждается при помощи тока возбуждения, проходящего по обмотке возбуждения.
- Обмотка возбуждения может быть независимой от цепи якоря, но чаще соединяется параллельно, либо последовательно, либо смешанно.

- При любом способе включения обмотки возбуждения мощность, затрачиваемая в цепи обмотки возбуждения относительно мала, поэтому потери при регулировании тока незначительны, что дает возможность экономично управлять напряжением генераторов и скоростью двигателей.

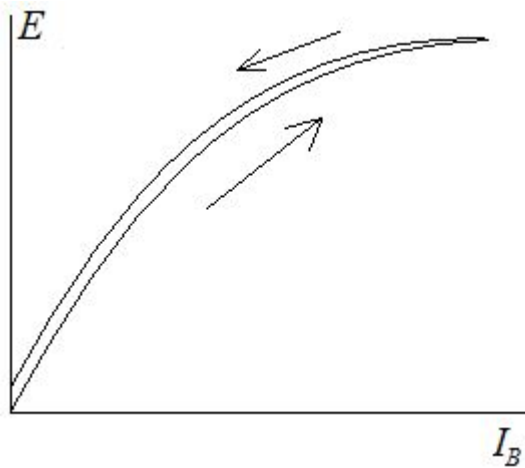
# Генератор независимого возбуждения

- Независимость тока возбуждения от напряжения генератора дает возможность регулировать в широких пределах магнитный поток генератора, а следовательно, и его напряжение.



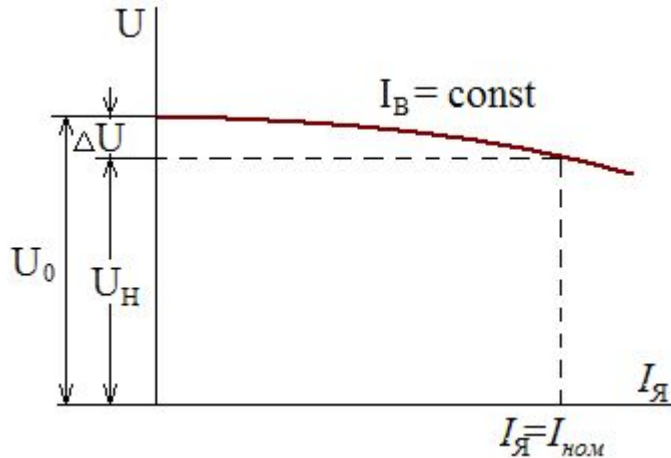
- Обмотка возбуждения машины подключается к независимому источнику питания, поэтому на ток возбуждения не оказывает влияние напряжение на зажимах якоря.

- **Характеристика хх,**



$$E(I_B)$$

- снимается при разомкнутой цепи якоря ( $I_A=0$ ) и постоянной частоте вращения ( $n=const$ )
- Нисходящая ветвь несколько отличается от восходящей вследствие влияния гистерезиса. После выключения тока возбуждения ЭДС индуцируется потоком остаточной индукции. В верхней части характеристика хх заметно загибается вследствие насыщения стали магнитной цепи машины.

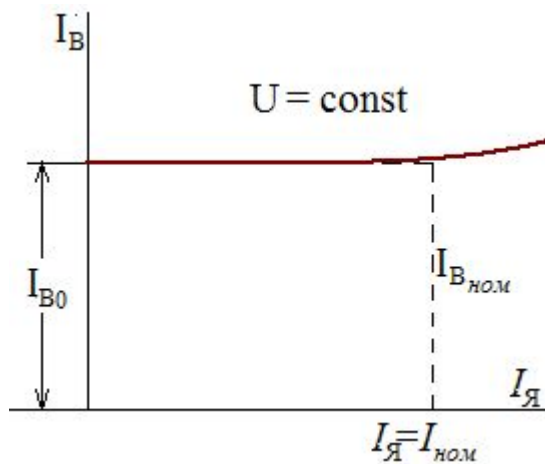


- **Внешняя характеристика**

$$U(I_{\text{Я}})$$

- определяется при неизменном токе возбуждения и частоты вращения.

- Если бы ЭДС якоря была строго постоянна, то внешняя характеристика изображалась бы прямой линией. Но из-за влияния реакции якоря напряжение с ростом нагрузки уменьшается, а кривая внешней характеристики загибается в сторону оси тока.



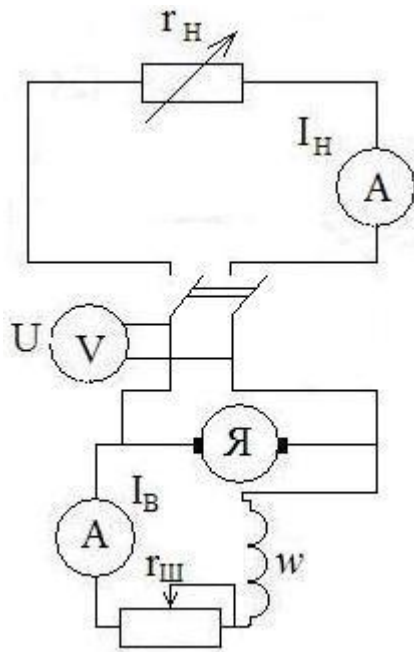
- **Регулировочная характеристика  $I_{В}(I_{Я})$**
- показывает как надо менять ток возбуждения, чтобы сохранять постоянным напряжение генератора
- В большей своей части кривая почти прямолинейна, но при больших токах она загибается в сторону от оси абсцисс из-за влияния насыщения магнитной цепи машины.



# Генераторы самовозбуждения.

## Генераторы с параллельным возбуждением

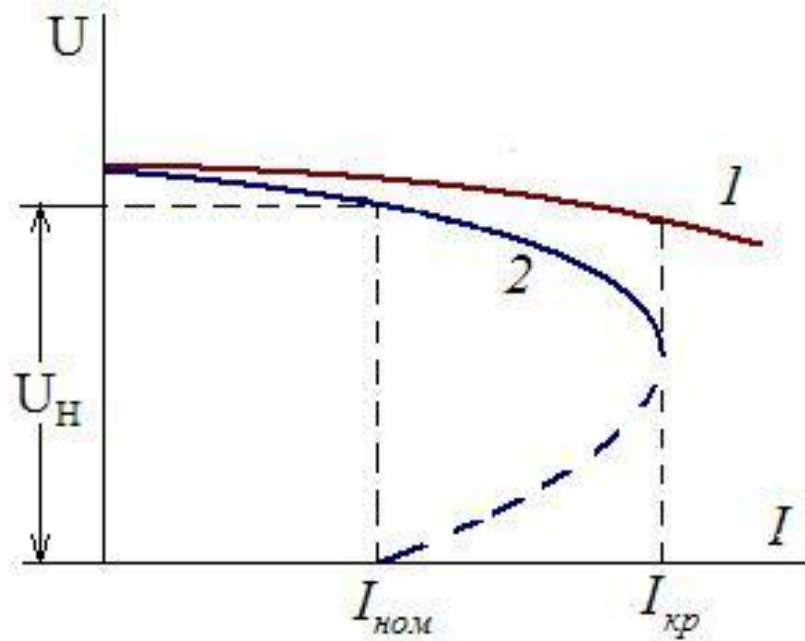
- Применяют для получения постоянного тока. Для них не требуется дополнительного источника питания цепи возбуждения, что упрощает обслуживание машины, напряжение на зажимах генератора мало изменяется при колебаниях нагрузки.



- Цепь возбуждения машины присоединяется параллельно нагрузке. Для возбуждения главного магнитного потока используется процесс самовозбуждения, возникающий благодаря остаточной намагниченности станины.

- Характеристики **холостого хода** и **регулирующая** этого генератора практически не отличаются от характеристик машины с **независимым возбуждением**.

- **Внешняя характеристика** генератора параллельного возбуждения (2) проходит ниже характеристики при независимом возбуждении (1).



- По 2 закону Кирхгофа  $U = E - R_{\text{Я}} I_{\text{Я}}$

но  $I_{\text{Я}} = I + I_{\text{В}}$  , поэтому  $U = E - R_{\text{Я}} I - R_{\text{Я}} \cdot I_{\text{В}}$

Так как падение напряжения  $R_{\text{Я}} \cdot I_{\text{В}}$  невелико, то им можно пренебречь

$$I \cdot r_{\text{н}} = E - R_{\text{Я}} I$$

Тогда ток  $I = \frac{E}{R_{\text{Я}} + r_{\text{н}}}$

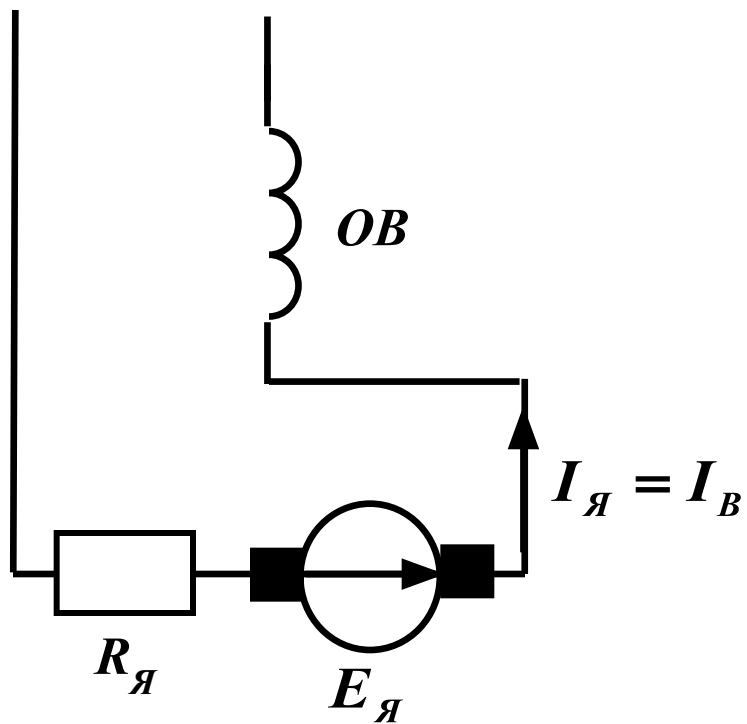
- При уменьшении сопротивления нагрузки напряжение снижается и ток сначала возрастает за счет увеличения падения напряжения на якоре и за счет уменьшения ЭДС.
- При некотором сопротивлении нагрузки ток достигает максимального значения, магнитная цепь окажется ненасыщенной. Поэтому при дальнейшем уменьшении сопротивления нагрузки ЭДС будет уменьшаться быстрее знаменателя и ток будет падать.

- Ток, при котором начинается размагничивание называется **критическим**. Ветвь, лежащая ниже ее перегиба, соответствует неустойчивому режиму.
- В условиях устойчивого режима изменение напряжения генератора параллельного возбуждения составляет 8-15%.

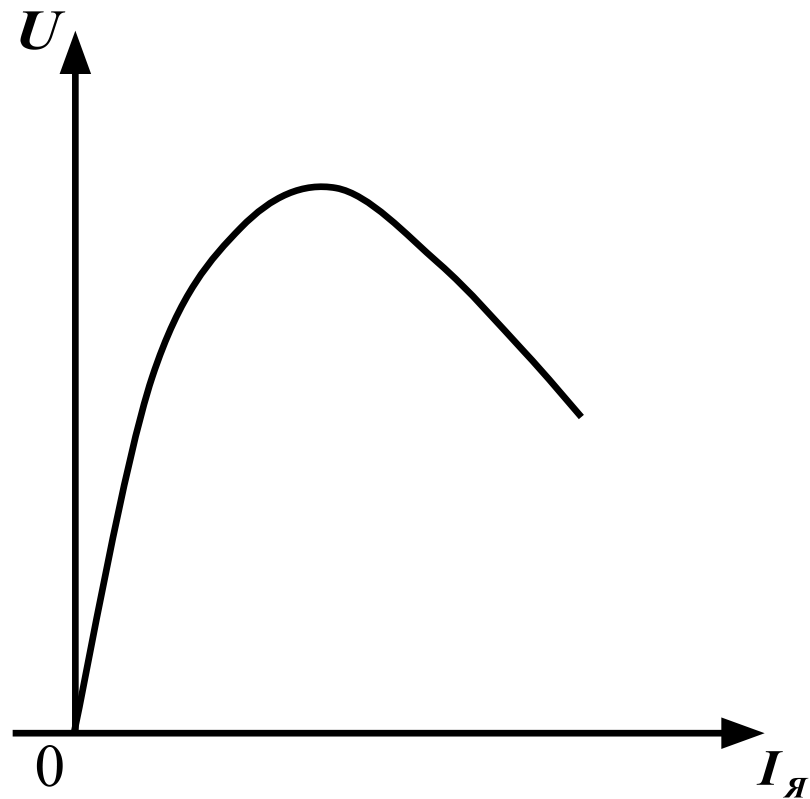
- Ток, при котором начинается размагничивание называется **критическим**. Ветвь, лежащая ниже ее перегиба, соответствует неустойчивому режиму.
- В условиях устойчивого режима изменение напряжения генератора параллельного возбуждения составляет 8-15%.



# Генератор с последовательным возбуждением

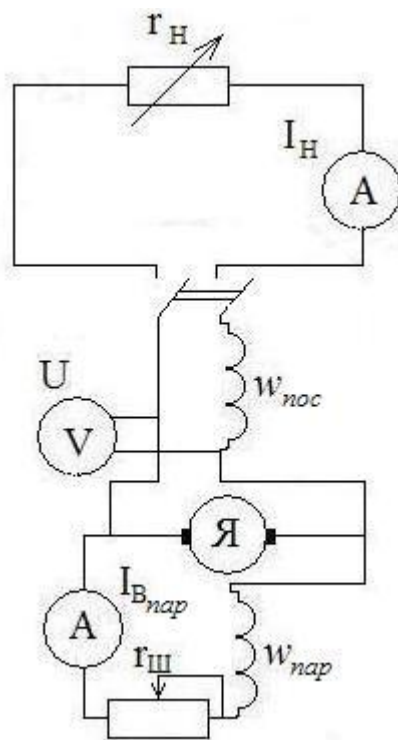


Внешняя характеристика



# Генератор смешанного возбуждения

- Применяют в установках, где необходимо избежать значительного изменения напряжения при отключениях или подключениях отдельных потребителей.



- 2 катушки: одна из которых входит в обмотку возбуждения и соединяется последовательно, вторая – в обмотку, включаемую параллельно якорю.
- Главное м.п. возбуждается одной из этих обмоток, воздействие второй дополнительное.

- В большинстве машин смешанного возбуждения МДС двух обмоток складываются (согласное включение), реже МДС имеют противоположное направление (встречное включение).

• По 2 закону Кирхгофа  $U = E - R_{Я} I_{Я} - r_{нос} \cdot I$

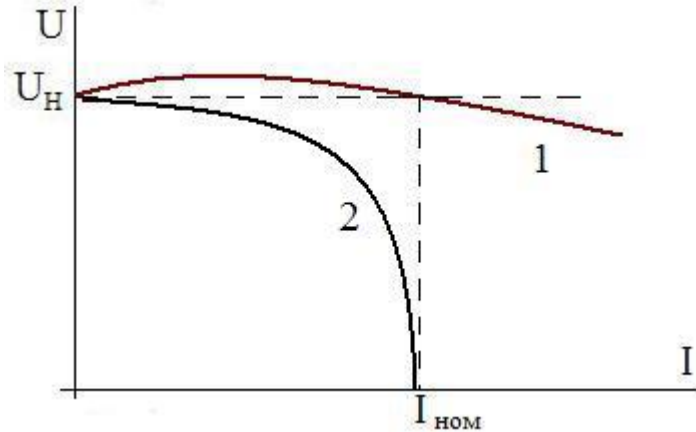
но  $I_{Я} = I + I_{В}$ , поэтому  $U = E - I(R_{Я} - r_{нос}) - I_{В} R_{Я}$

Так как падение напряжения  $R_{Я} \cdot I_{В}$  невелико, то им можно пренебречь

$$I \cdot r_{н} = E - I(R_{Я} + r_{нос})$$

Тогда ток  $I = \frac{E}{R_{Я} + r_{нос} + r_{н}}$

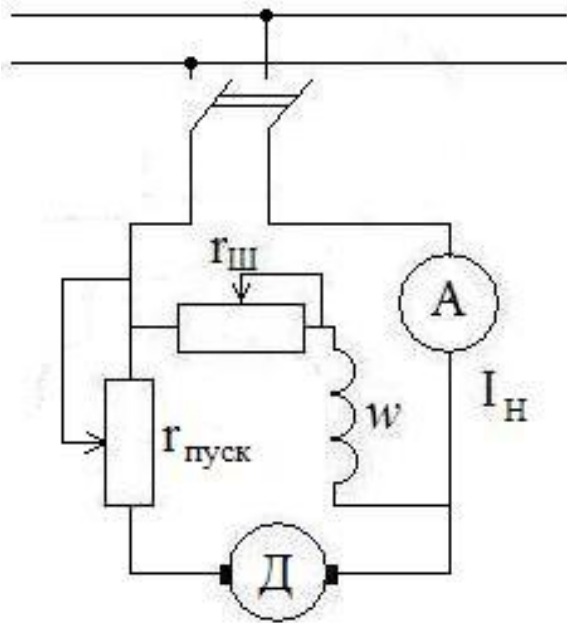
$$r_{нос} \ll R_{Я}$$



- Числа витков последовательной обмотки можно выбрать так, чтобы напряжение с ростом нагрузки оставалось практически неизменным (кривая 1). При этом включение обмоток должно быть согласным.
- При встречном включении обмоток напряжение генератора с ростом тока нагрузки резко падает (кривая 2). Снижение напряжения объясняется увеличением степени насыщения м.ц.

# Способы возбуждения двигателей

# Двигатель параллельного возбуждения

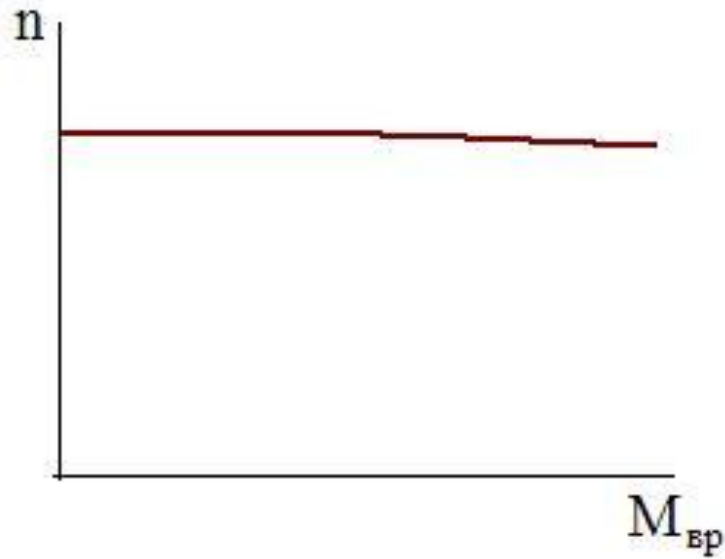


$$I_{я} = \frac{U - E}{R_{я}} \quad E = c_e \cdot \Phi \cdot n$$

$$n = \frac{U - I_{я} R_{я}}{c_e \cdot \Phi}$$

- Частоту вращения можно регулировать путем изменения потока  $\Phi$  или напряжения  $U$ .





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

$$M = c_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}$$

$$n = \frac{U}{c_e \cdot \Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{c_e c_M \Phi^2} \cdot M$$

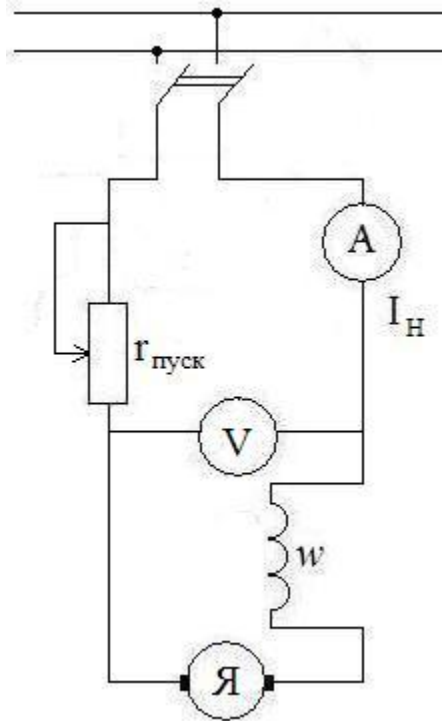
- Изменение нагрузки на валу двигателя от холостого хода до номинальной вызывает у большинства ДПТ ПВ изменение частоты вращения на 3-8%. Такая механическая характеристика называется жесткой.

- При регулировании  $\Phi$  изменением  $I_B$  (реостатом  $r_{щ}$ ) уменьшение  $\Phi$  понижает ЭДС и вращающий момент  $M$ .

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

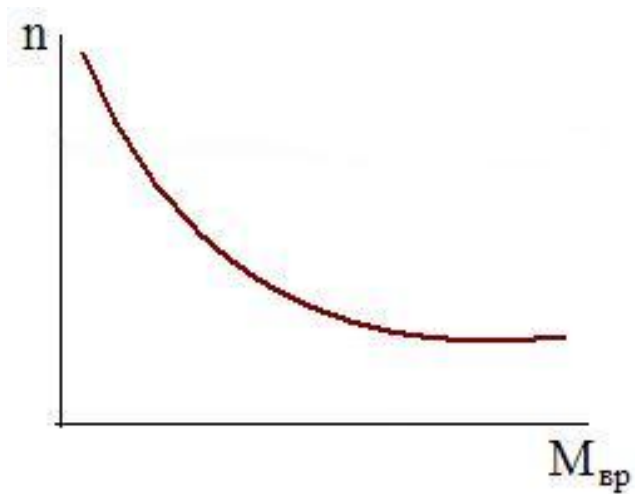
уменьшение ЭДС вызывает увеличение  $I_{я}$  и возрастание вращающего момента  $M$ , в результате чего восстанавливается равновесие моментов при повышенной частоте и возросшем токе якоря. С ростом нагрузки на валу уменьшается влияние тока возбуждения на скорость двигателя.

# Двигатель последовательного возбуждения



$$\Phi = \frac{I_{\text{Я}} w_B}{R_M}$$

- Главный магнитный поток двигателя изменяется пропорционально току якоря, пока магнитная цепь не насыщена.



$$n = \frac{U - I_{я} R_{я}}{c_e \cdot \Phi}$$

$$M = c_M \cdot \frac{I_{я} w_B}{R_M} \cdot I_{я}$$

$$n = \frac{U}{c_e \cdot \Phi} - \frac{R_{я}}{c_e c_M \Phi^2} \cdot M$$

- При увеличении нагрузки двигателя возрастают падение напряжения в сопротивлении якоря и магнитный поток. Снижается скорость. Механическая характеристика получается мягкой.

- Иногда желательна промежуточная форма механической характеристики между мягкой и жесткой. Такой характеристикой обладает двигатель смешанного возбуждения. В этом двигателе одна из обмоток является основной, дающей не менее 70% намагничивающей силы, вторая дополнительной. Двигатель имеет мягкую механическую характеристику.

# Регулирование скорости вращения двигателей

- изменением сопротивления цепи якоря
- изменением величины магнитного потока

# Потери мощности и КПД

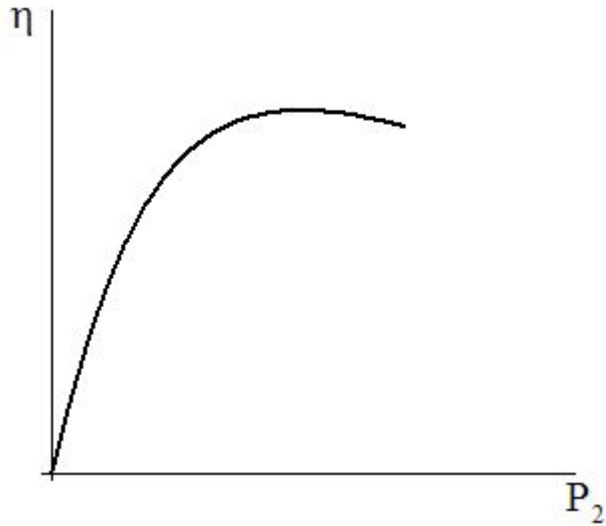
- Преобразование электрической энергии в механическую с помощью ДПТ и механической в электрическую с помощью ГПТ сопровождается потерями энергии, чему соответствуют определенные потери мощности .



## В МПТ виды потерь:

- Потери мощности в цепи якоря
- Потери мощности в стали, вызванные вихревыми токами и перемагничиванием сердечника якоря при его вращении
- Механические потери
- Потери мощности в цепи обмотки возбуждения

- КПД МПТ



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

При увеличении полезной мощности КПД сначала возрастает при некотором значении  $P_2$ , достигает наибольшей величины, а затем уменьшается. Уменьшение КПД объясняется значительным увеличением переменных потерь мощности.