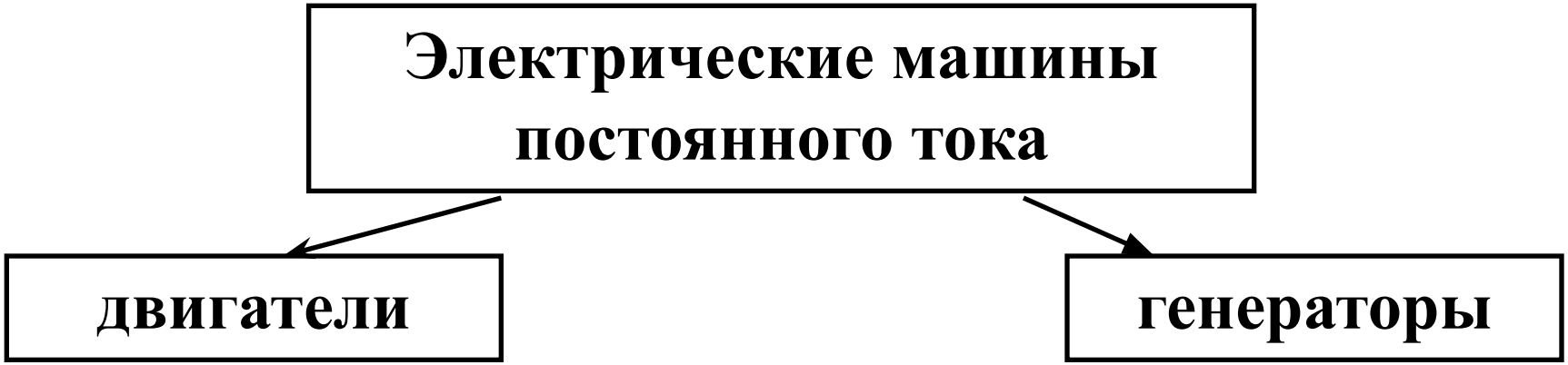
Машины постоянного тока

Назначение и области применения МПТ

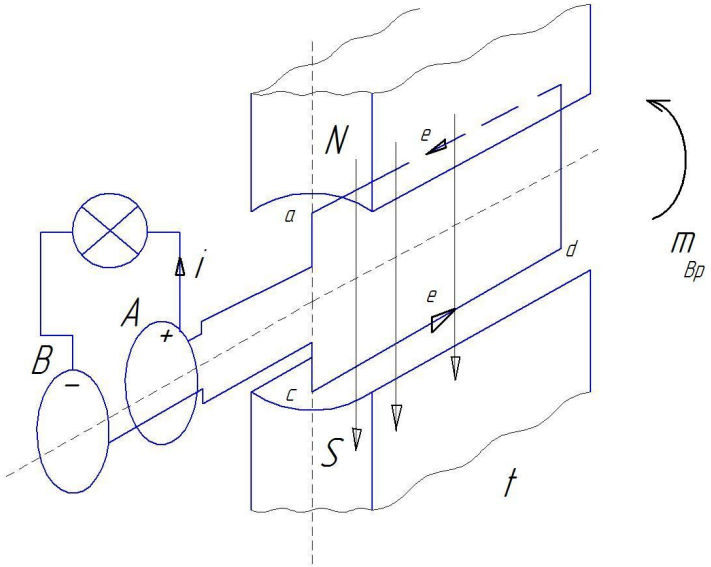


Как звенья САР; усилители электрических сигналов управления; тахогенераторы; питания электролитических ванн; зарядки аккумуляторов; высококачественной сварки;

входят в состав металлургического, автомобильного, судового и самолетного электрооборудования.

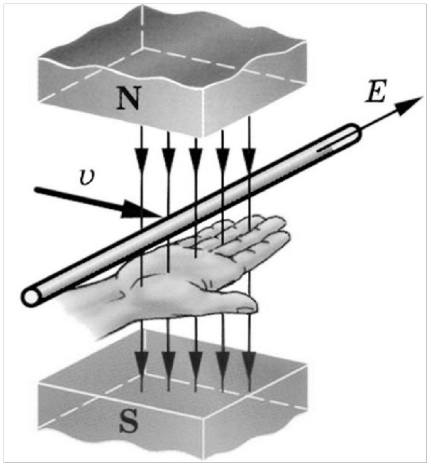
Принцип действия машины постоянного тока

Рассмотрим простейший генератор постоянного тока. Он содержит главные полюса, которые представлены в виде постоянных магнитов и рамка расположенная между полюсами, вращается в первичном двигателе.



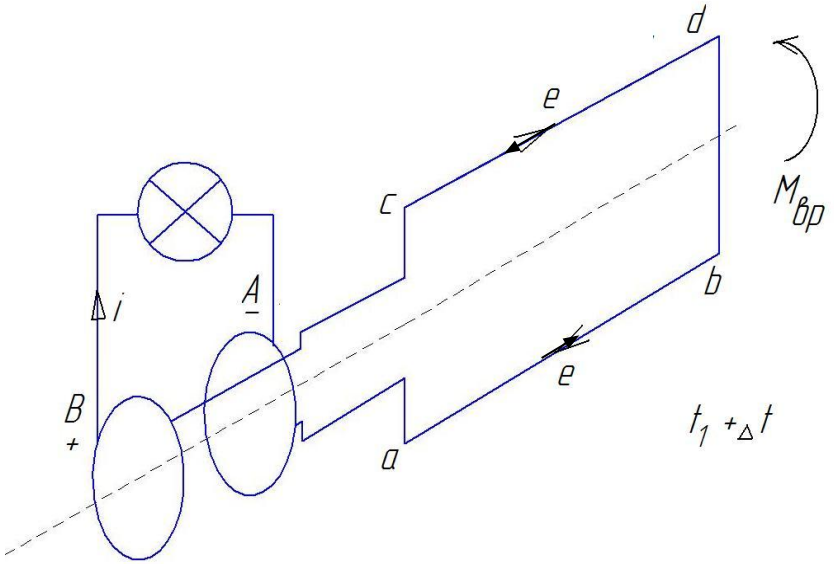
При вращении рамки в магнитном поле в активных сторонах ее будет наводится ЭДС. Направление ЭДС в активных сторонах рамки определяется по правилу правой руки, причем следует иметь в виду, что это правило дается для определения направления ЭДС в проводнике, перемещающемся относительно магнитного поля

Т.к. рассмотренное ЭДС подходит к щетке А, то А – «+», а щетка В – « - ».



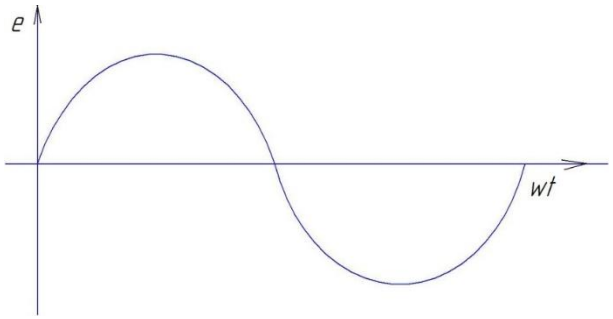
При определении направления ЭДС по правилу правой руки ладонь правой руки располагают в магнитном поле так, чтобы линии поля были направлены в ладонь, а большой палец, отогнутый в плоскости ладони на 90°, располагают в направлении движения проводника; тогда остальные пальцы руки, вытянутые в плоскости ладони, покажут направление наведенной ЭДС.

Построим рисунок генератора для момента времени $t_1+\Delta t$, когда рамка повернулась на 180эл°.

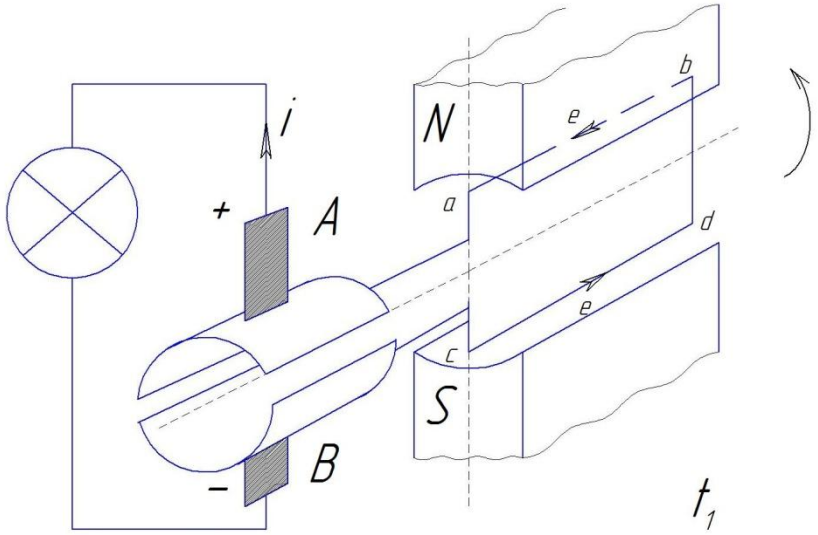


При анализе представленных рисунков следует отметить:

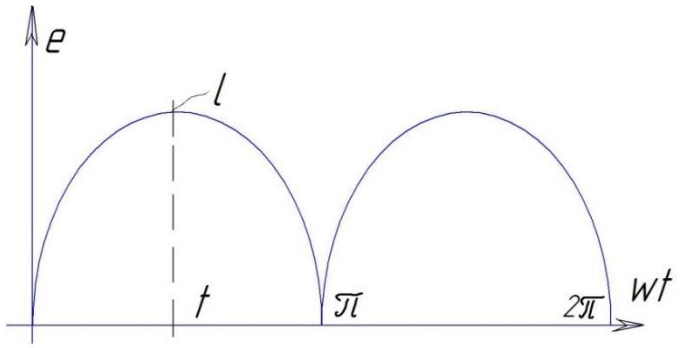
1. При вращении рамки в постоянном магнитном поле с постоянной скоростью в рамке наводится переменное ЭДС, т.е. в момент времени t $\boldsymbol{e}$ направлено от «*b*» к «*a*», а во второй момент вращения $t_1+\Delta t$ $\boldsymbol{e}$ направлено от «*d*» к «*c*».
2. Временная диаграмма ЭДС имеет следующий вид.



3. В рассматриваемом случае мы получили генератор переменного тока. Чтобы получить генератор постоянного тока необходимо рамку подсоединить к двум полукольцам.

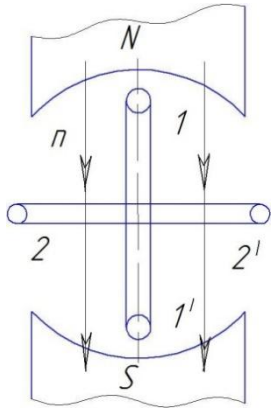


Если проанализировать представленные рисунки, то в момент времени t_1 щетка А - «+», а В - « – ». во внешней цепи будет протекать ток одного и того же направления.



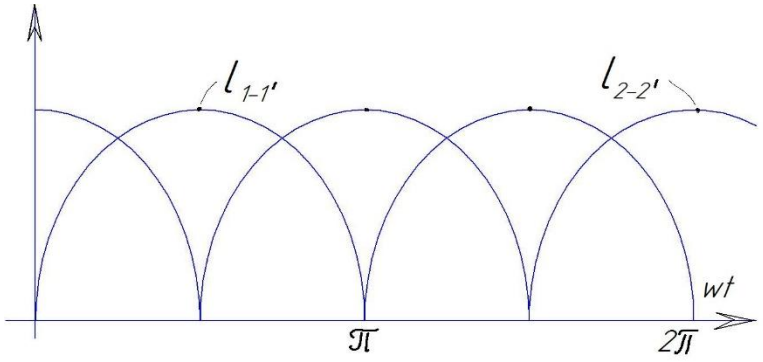
На представленной временной диаграмме видно, хотя ЭДС имеет одно и то же направление во внешней цепи, но мгновенное значение меняется от max до 0.

Чтобы уменьшить глубину пульсации ЭДС на щетках, необходимо взять еще одну рамку, плоскость которой относится плоскости 1-ой рамки сдвинута на 90 эл.градусов.



При сравнении ЭДС витка 11' и ЭДС 22' следует отметить, что ЭДС витка 11' много больше ЭДС витка 22', т.к. активные стороны витка 22' не пересекают силовые линии основного магнитного поля, а скользят вдоль силовых линий.

Если построить временную диаграмму e11' и e22', то следует отметить, что эти ЭДС за счет сдвига рамок в пространстве сдвинуты во времени на 90ºэл., т.к. p=1, а αэл=αгеом.



Как видно из временной диаграммы пульсация напряжения на щетках существенно снижается,

если отношение ($\frac{к}{2p} \geq 8$), то пульсация < к.

к – количество коллекторных пластин.

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 взаимообратимы, 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

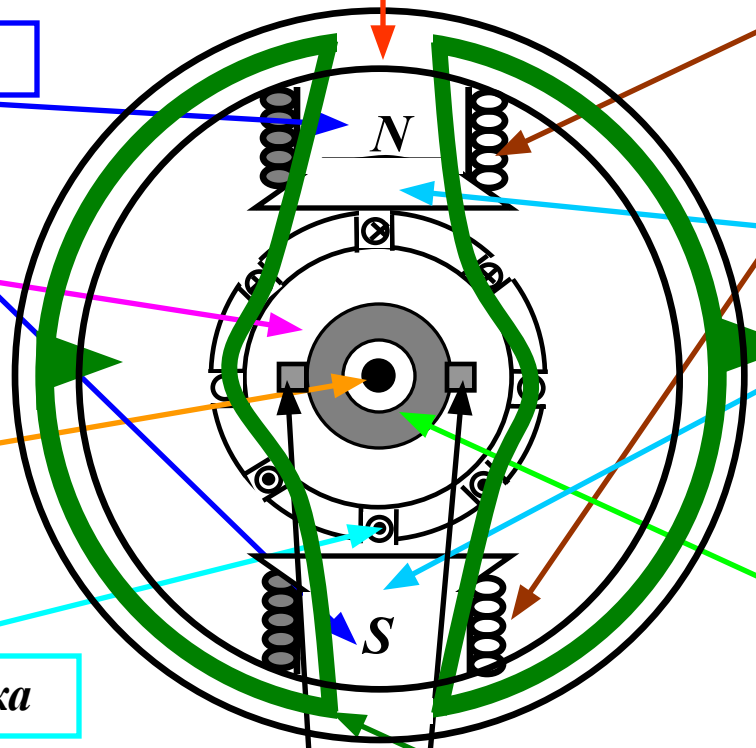
Общие недостатки МПТ

- 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



станина статора

катушки обмотки возбуждения

главные полюсы

Якорь

полюсные наконечники

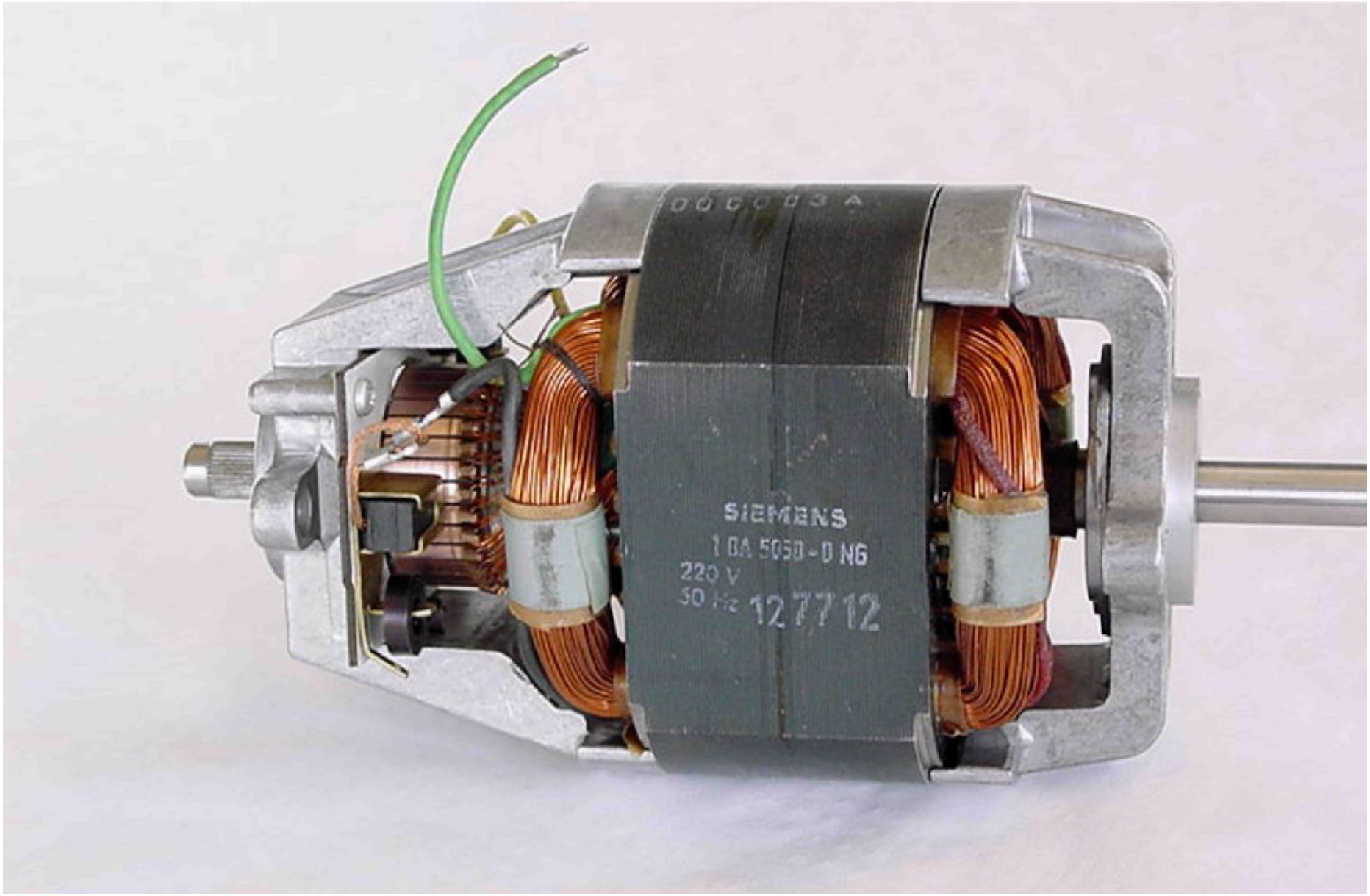
Вал

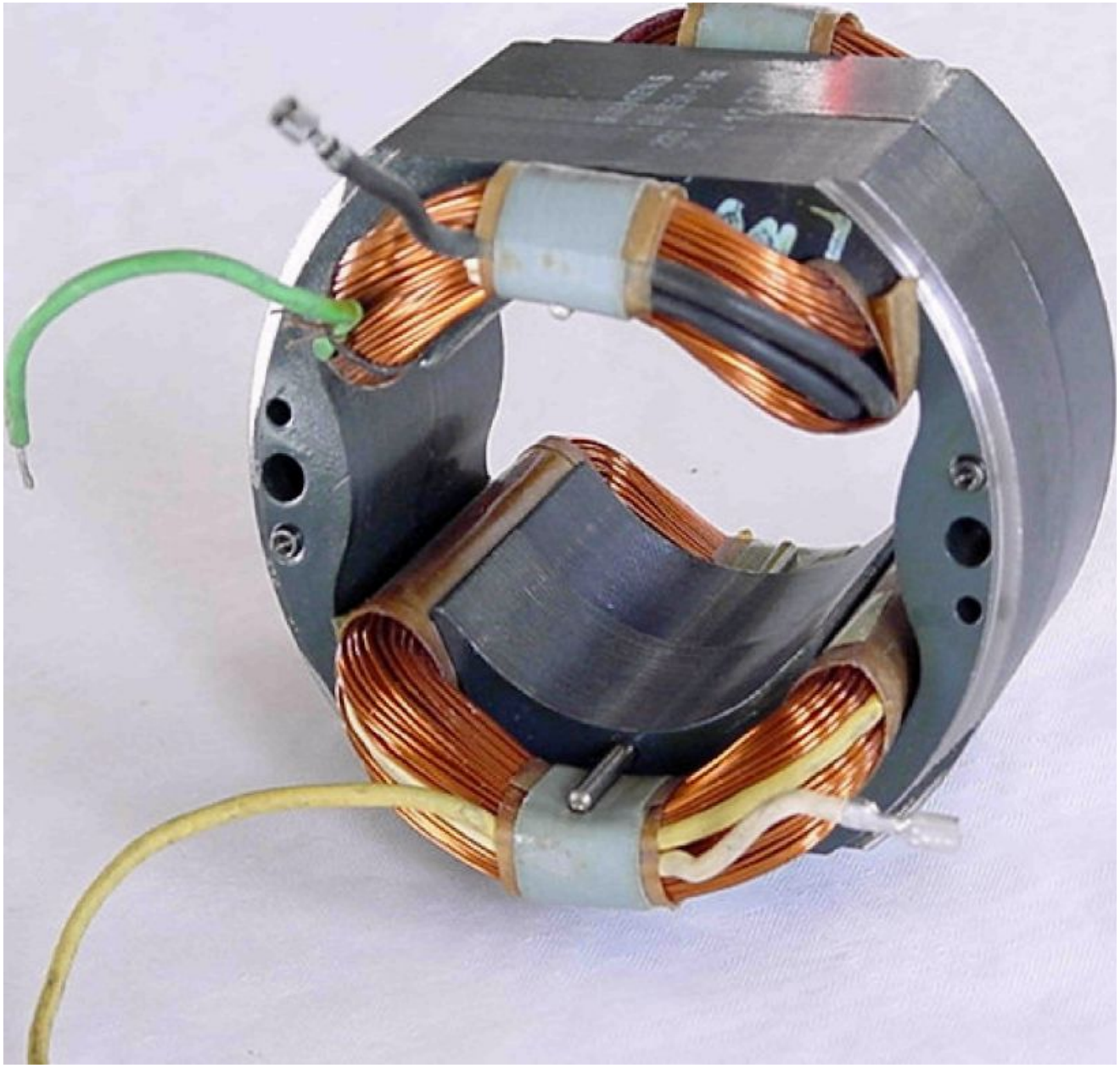
Коллектор

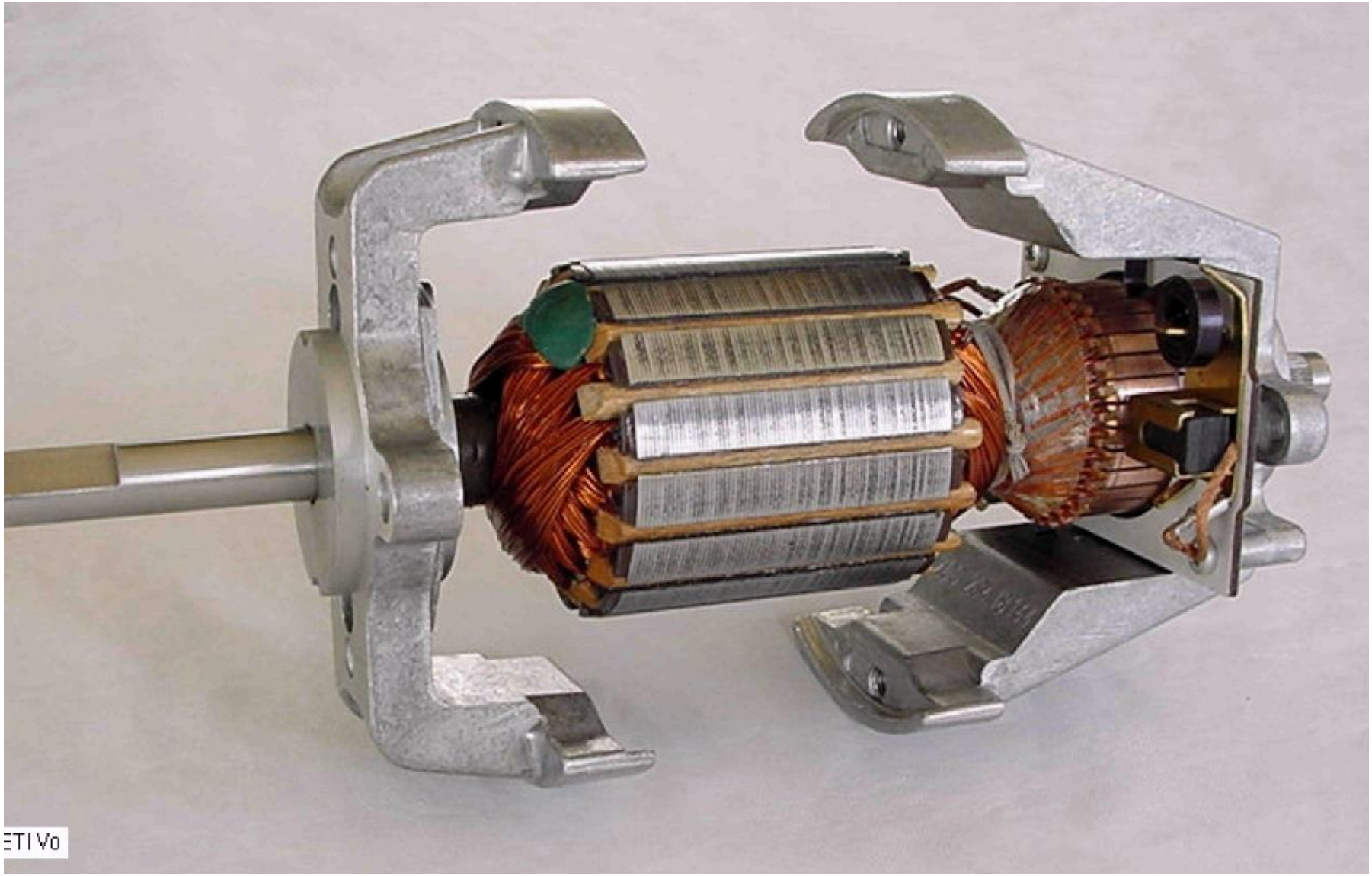
якорная обмотка

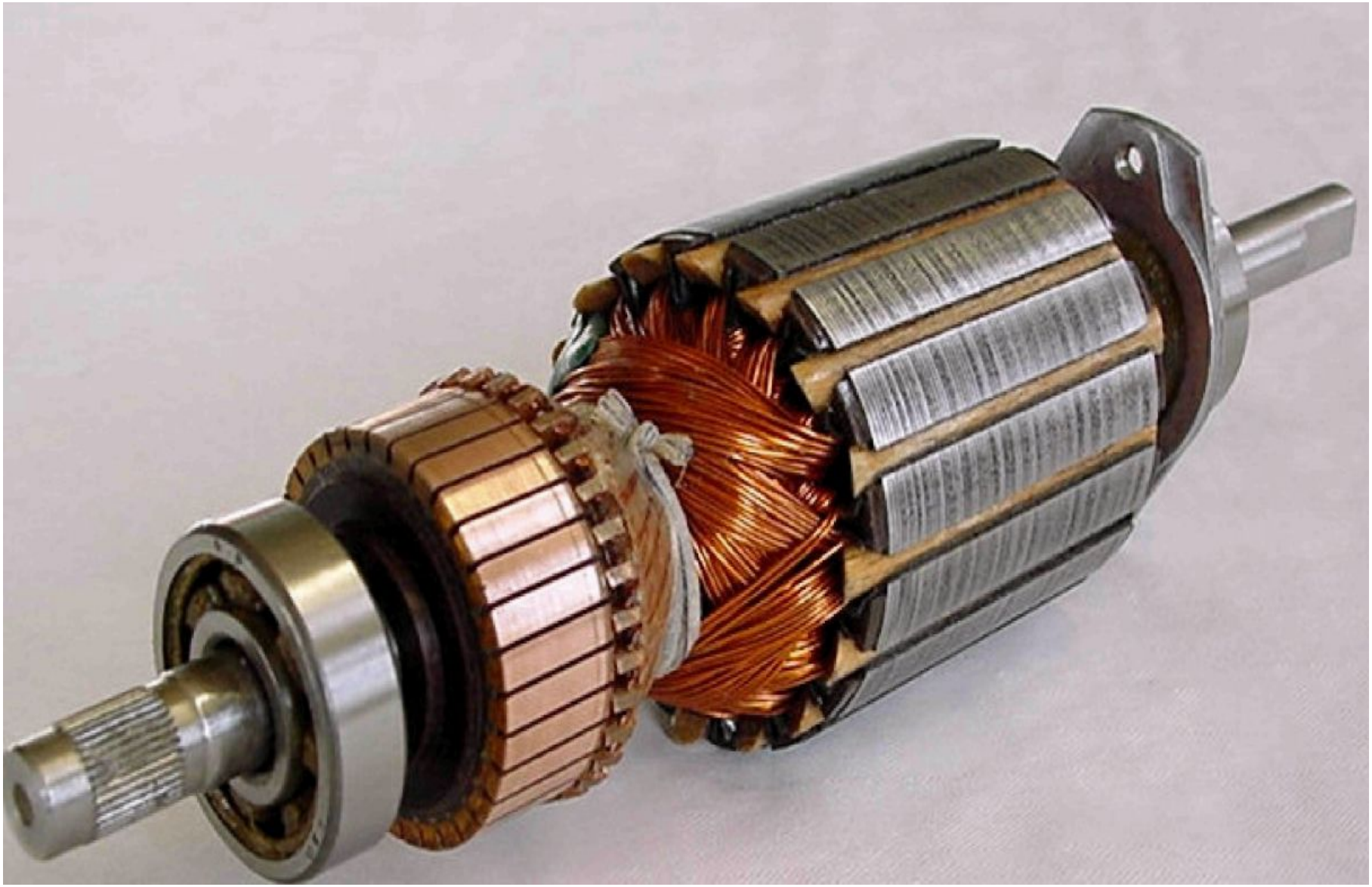
силовые линии магнитного поля

щетки

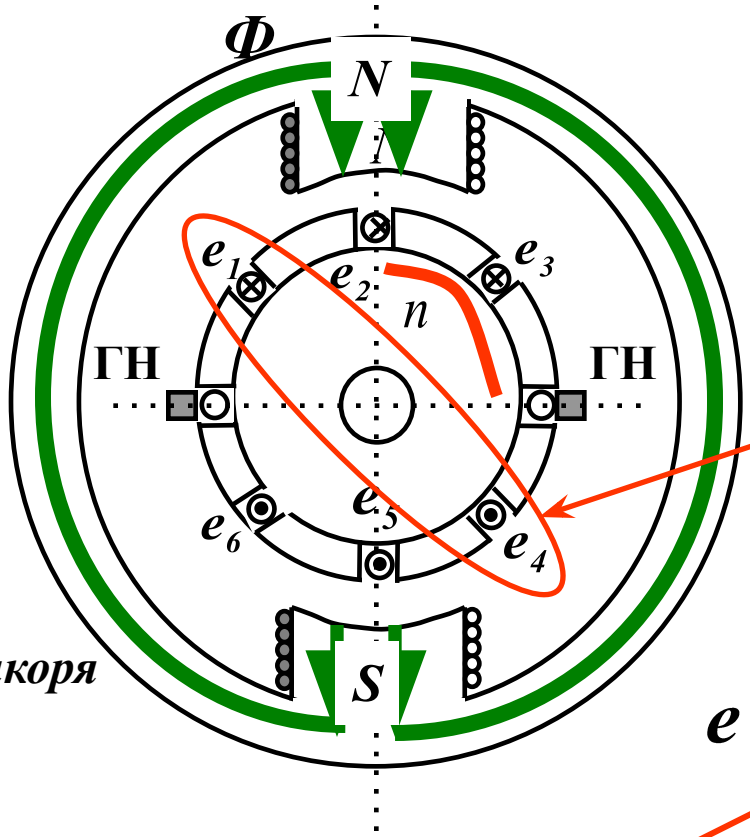

SIEMENS
1 BA 5050 - 0 NG
220 V
50 Hz
127712




ETI Vo



Принцип действия МПТ



параллельные ветви

$$I = \frac{I_я}{2a}$$

Ток якоря

число параллельных ветвей

$$e = B_n \cdot l \cdot v \qquad (1)$$

длина проводника

магнитная индукции в воздушном зазоре

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 Φ.

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

p – число пар полюсов,

N – число проводников обмотки якоря,

a – число пар параллельных ветвей

- Электромагнитная мощность генератора

$$P_{эм} = E \cdot I_{я}$$

- 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 Φ создает электромагнитный момент M, который определяет момент вращающий M_2 на валу двигателя.

- Мощность, подводимой к двигателю электрической энергии

$$\boldsymbol{P_1 = U \cdot I}$$

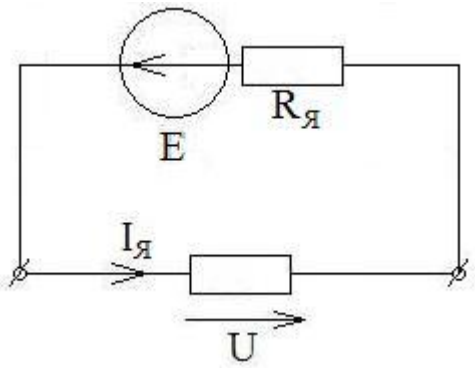
- Мощность механической энергии, снимаемой с вала двигателя

$$\boldsymbol{P_2 = M_2 \cdot \Omega}$$

Уравнения электрического состояния МПТ

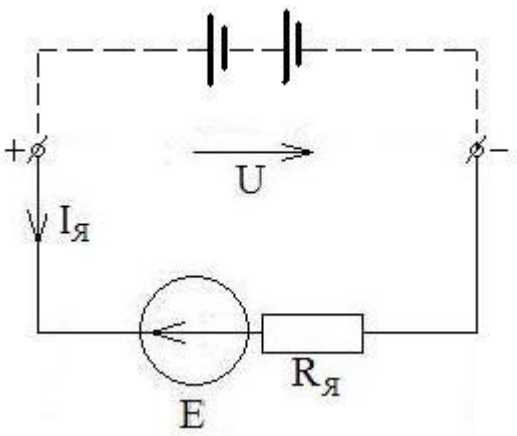
- в режиме генератора

$$U = E - R_{Я} I_{Я}$$



- в режиме двигателя

$$U = E + R_{Я} I_{Я}$$



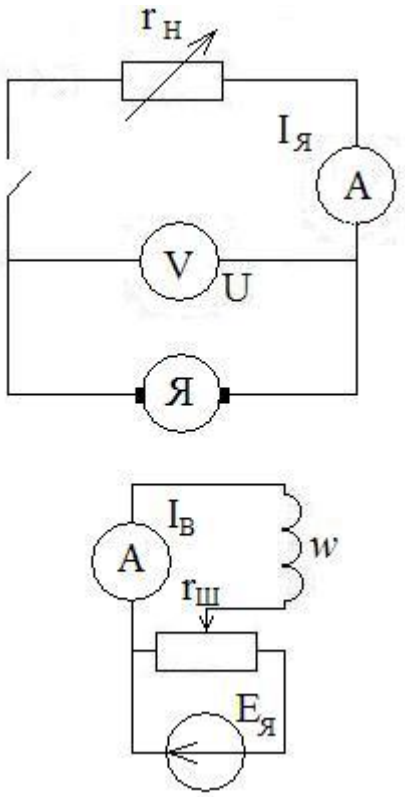
Способы возбуждения генераторов

- 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.

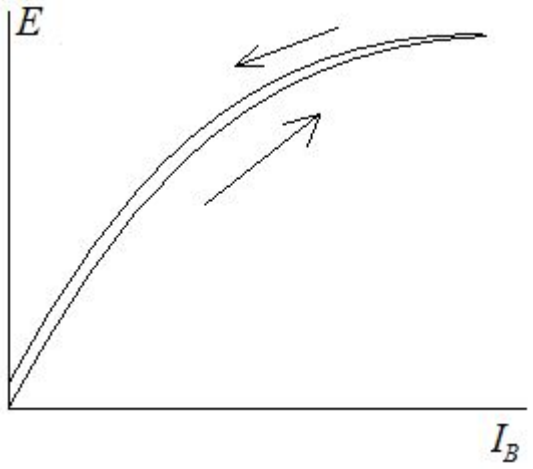
- При любом способе включения обмотки возбуждения мощность, затрачиваемая в цепи обмотки возбуждения относительно мала, поэтому потери при регулировании тока незначительны, что дает возможность экономично управлять напряжением генераторов и скоростью двигателей.

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.

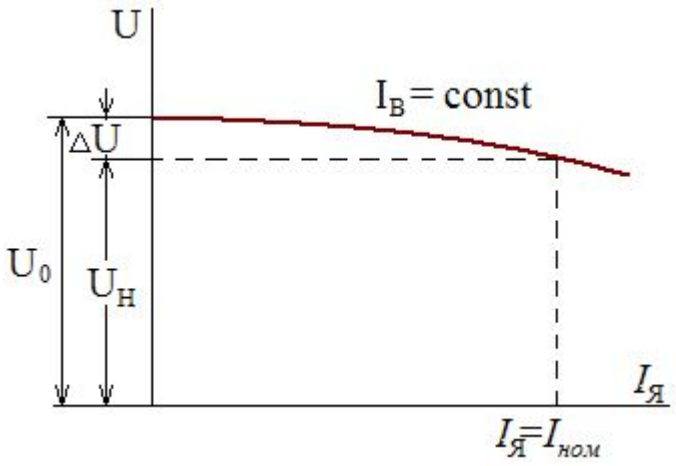


- **Характеристика хх**,

$$E=f(I_B)$$

- снимается при разомкнутой цепи нагрузки ($I=0$) 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.

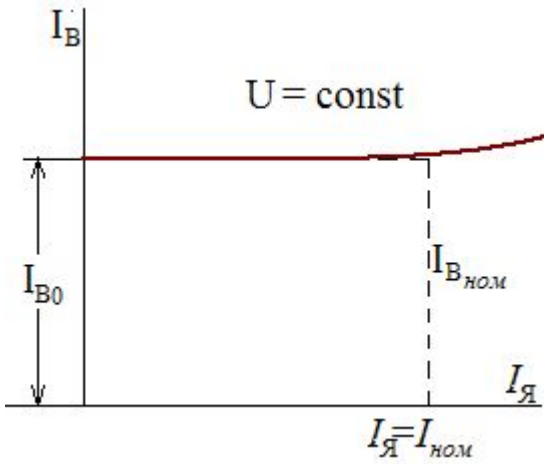


- **Внешняя характеристика**

$$U=f(I_Я)$$

- 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.



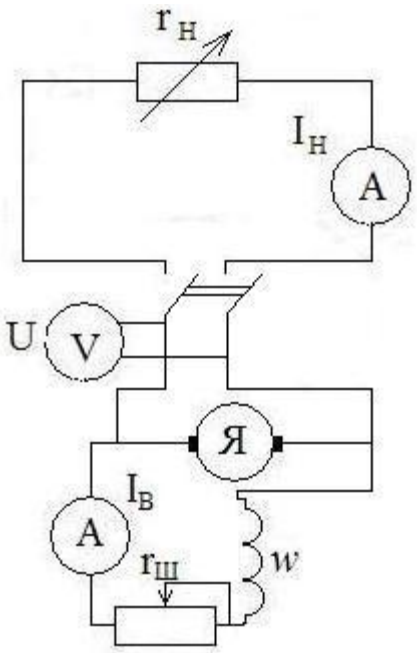
- **Регулировочная характеристика** $I_В=f(I_Я)$
- показывает как надо менять ток возбуждения, чтобы сохранять постоянным напряжение генератора

- 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

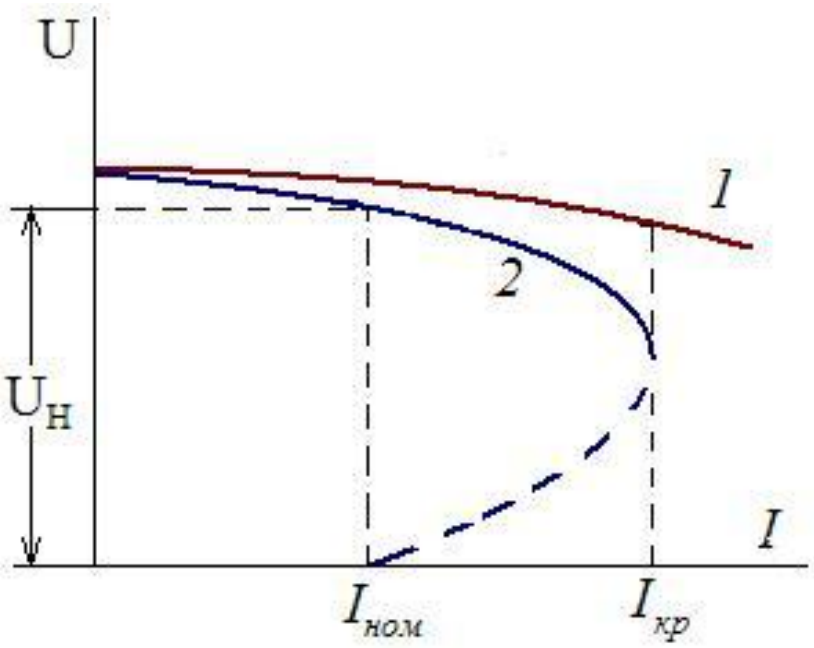
- Применяют для получения постоянного тока. Для них не требуется дополнительного источника питания цепи возбуждения, что упрощает обслуживание машины, напряжение на зажимах генератора мало изменяется при колебаниях нагрузки.



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

- Характеристики **холостого хода** и **регулировочная** 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 $U = E - R_Я I_Я$

но $I_Я = I + I_В$, поэтому $U = E - R_Я I - R_Я \cdot I_В$

Так как падение напряжения $R_Я \cdot I_В$ невелико, то им можно пренебречь

$$I \cdot r_н = E - R_Я I$$

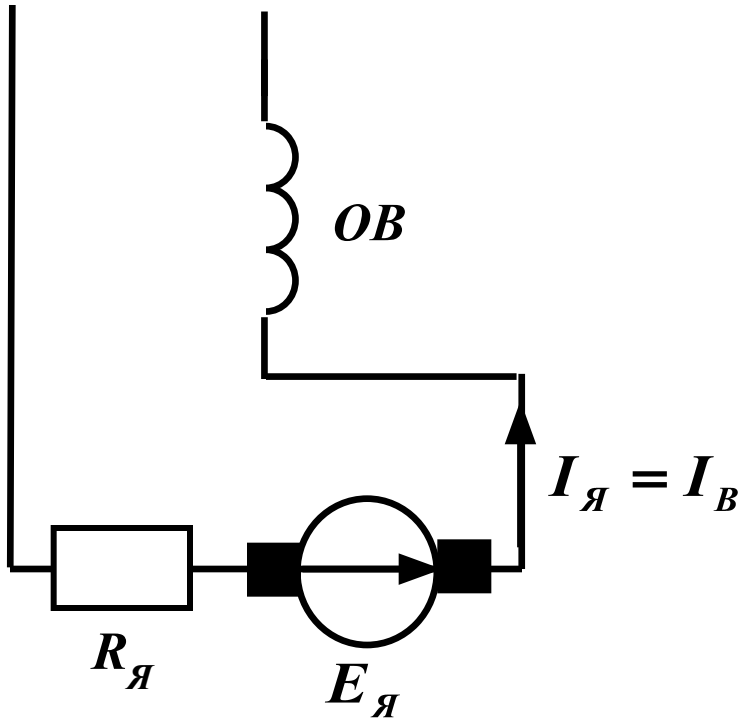
Тогда ток $$I = \frac{E}{R_Я + r_н}$$

- 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 сопротивлении нагрузки ЭДС будет уменьшаться быстрее знаменателя и ток будет падать.

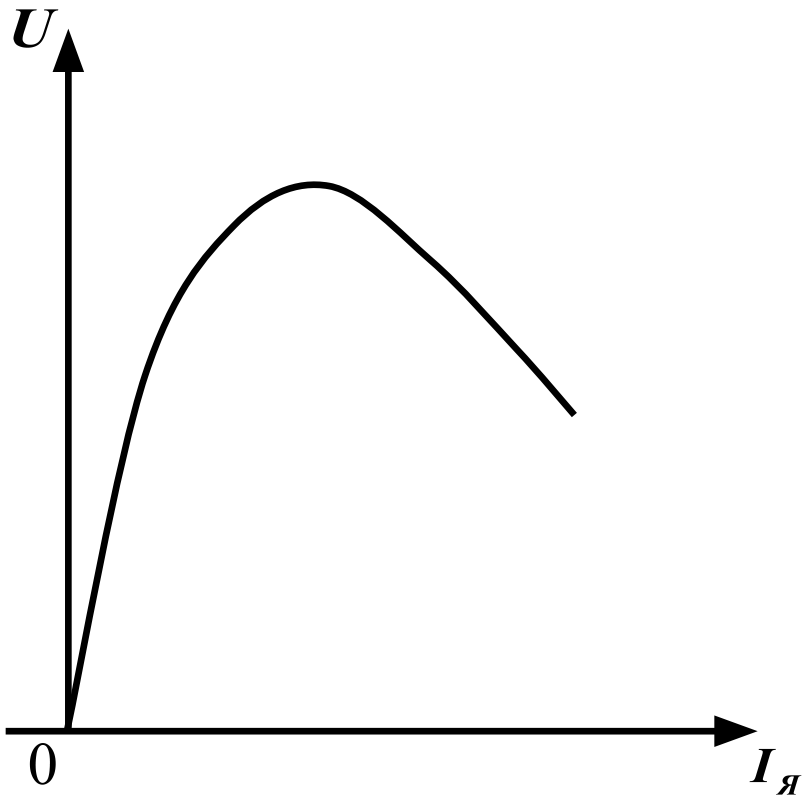
- Ток, при котором начинается размагничивание называется **критическим**. Ветвь, лежащая ниже ее перегиба, соответствует неустойчивому режиму.
- В условиях устойчивого режима изменение напряжения генератора параллельного возбуждения составляет 8-15%.

- 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 последовательными возбуждением

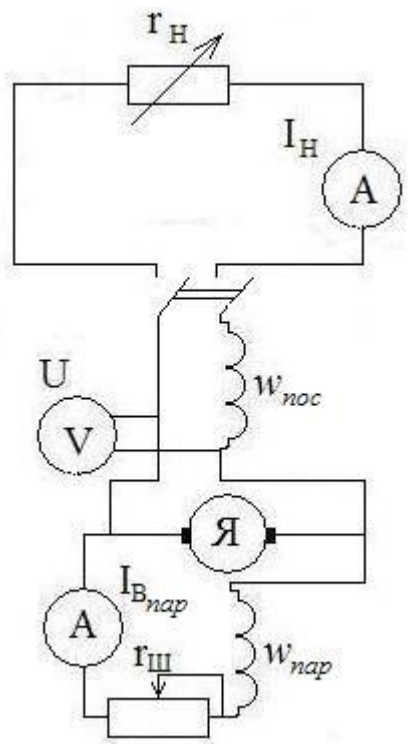


Внешняя характеристика



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 $$U = E - R_Я I_Я - r_{пос} \cdot I$$

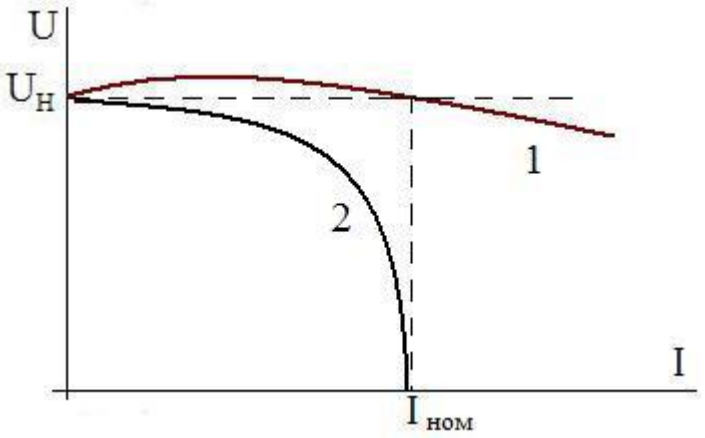
но $I_Я = I + I_В$, поэтому $U = E - I(R_Я + r_{пос}) - I_В R_Я$

Так как падение напряжения $R_Я \cdot I_В$ невелико, то им можно пренебречь

$$I \cdot r_н = E - I(R_Я + r_{пос})$$

Тогда ток $$I = \frac{E}{R_Я + r_{пос} + r_н}$$

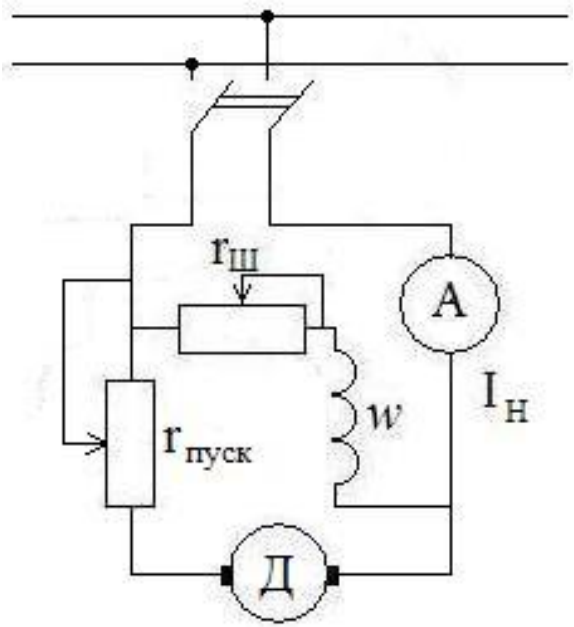
$$r_{пос} << R_Я$$



- 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

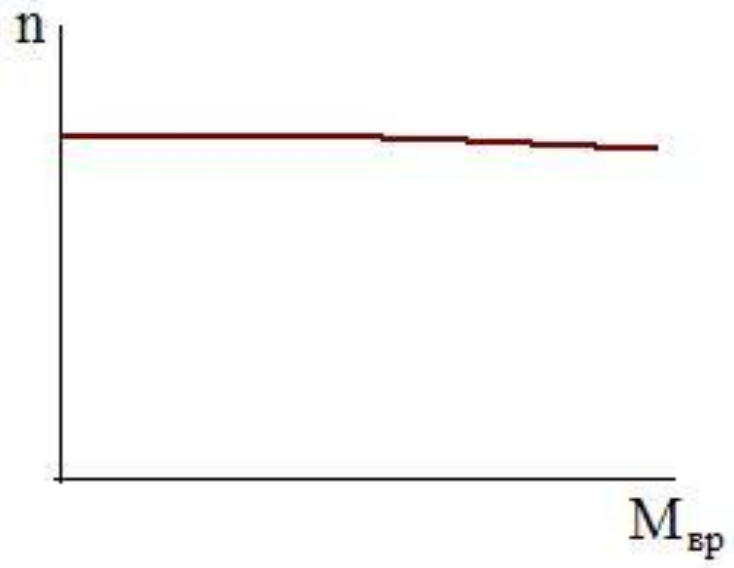
Двигатель параллельного возбуждения



$$I_я = \frac{U - E}{R_я} \qquad E = c_e \cdot \Phi \cdot n$$

$$n = \frac{U - I_я R_я}{c_e \cdot \Phi}$$

- Частоту вращения можно регулировать путем изменения потока Φ или напряжения U.



$$n = \frac{U - I_Я R_Я}{c_e \cdot \Phi}$$

$$M = c_M \cdot \Phi \cdot I_Я$$

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

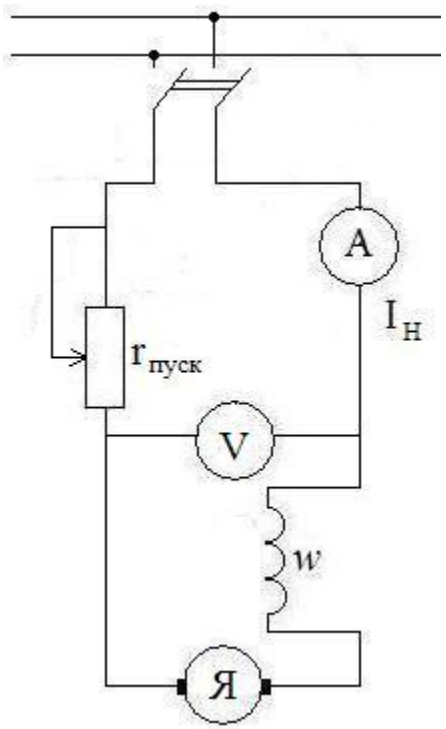
- Изменение нагрузки на валу двигателя от холостого хода до номинальной вызывает у большинства ДПТ ПВ изменение частоты вращения на 3-8%. Такая механическая характеристика называется жесткой.

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

- Согласно $$\boldsymbol{I_Я = \frac{U - E}{R_Я}}$$

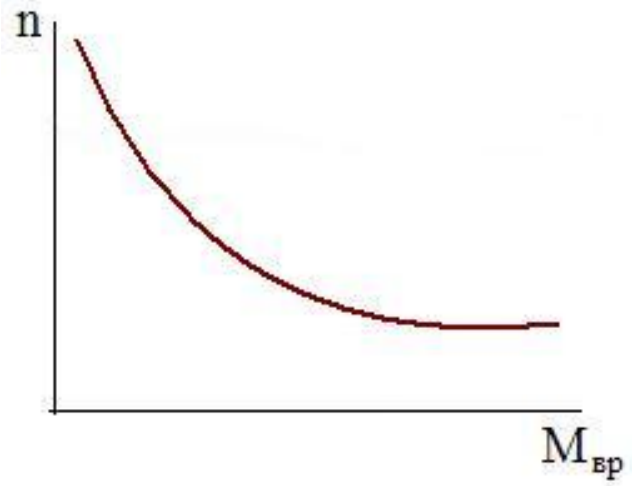
  уменьшение ЭДС вызывает увеличение $I_Я$ и возрастание вращающего момента M, в результате чего восстанавливается равновесие моментов при повышенной частоте и возросшем токе якоря. С ростом нагрузки на валу уменьшается влияние тока возбуждения на скорость двигателя.

Двигатель последовательного возбуждения



$$\Phi = \frac{I_я w_в}{R_м}$$

- 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

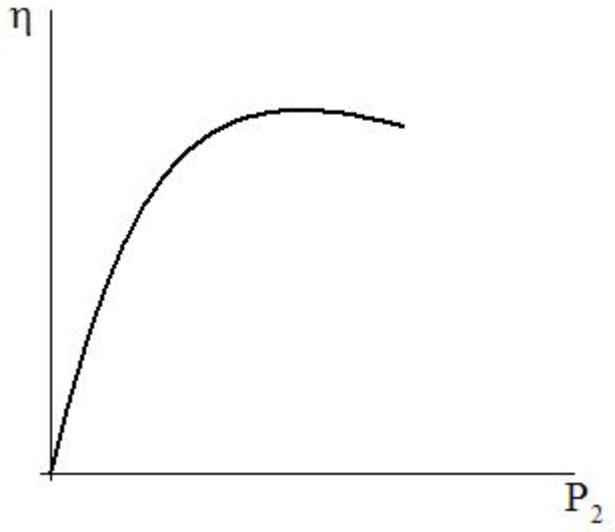
Потери мощности и КПД

- 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
- Добавочные потери (трудноучитываемые) принимают 1% от P_1

- 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.