

Машины ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электрические машины постоянного тока

двигатели

генераторы

Двигатели - металлургическая
промышленность, электрический
транспорт

Генераторы - питание
электролитических ванн; зарядка
аккумуляторов; высококачественная
сварка

Преимущества МПТ

ГПТ

- жесткая внешняя характеристика,
- хорошие регулировочные свойства,

ДПТ

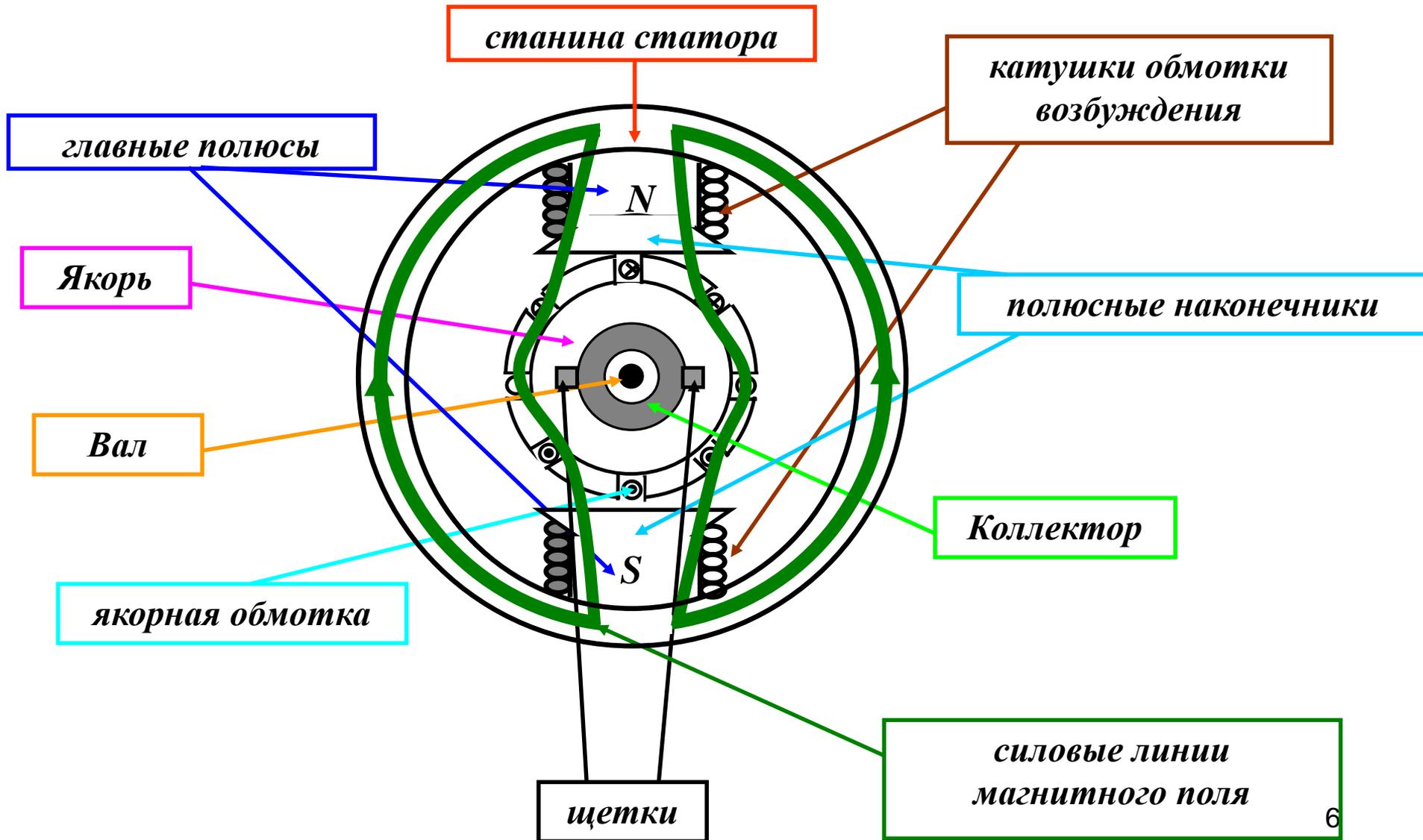
- лучшие механические характеристики,
- лучшие регулировочные свойства,
- высокая перегрузочная способность

Общие недостатки МПТ

- сложность конструкции,
- невозможность работы в агрессивных средах,
- необходимость частых ревизий,
- меньший срок службы,
- наличие радиопомех.

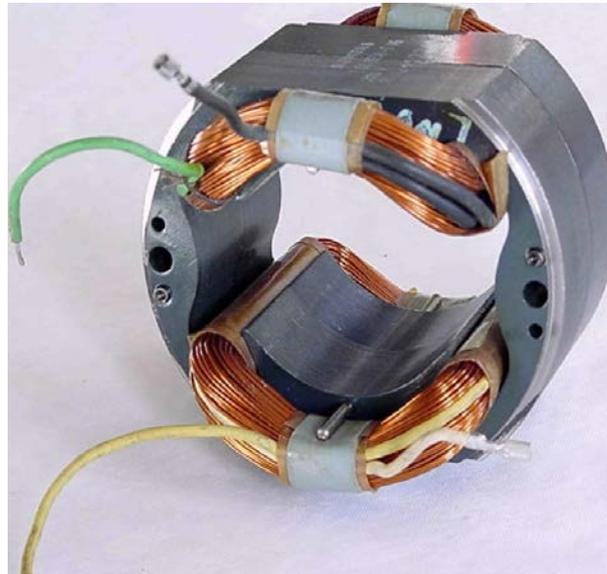
**Устройство
машины
постоянного тока**

Устройство МПТ



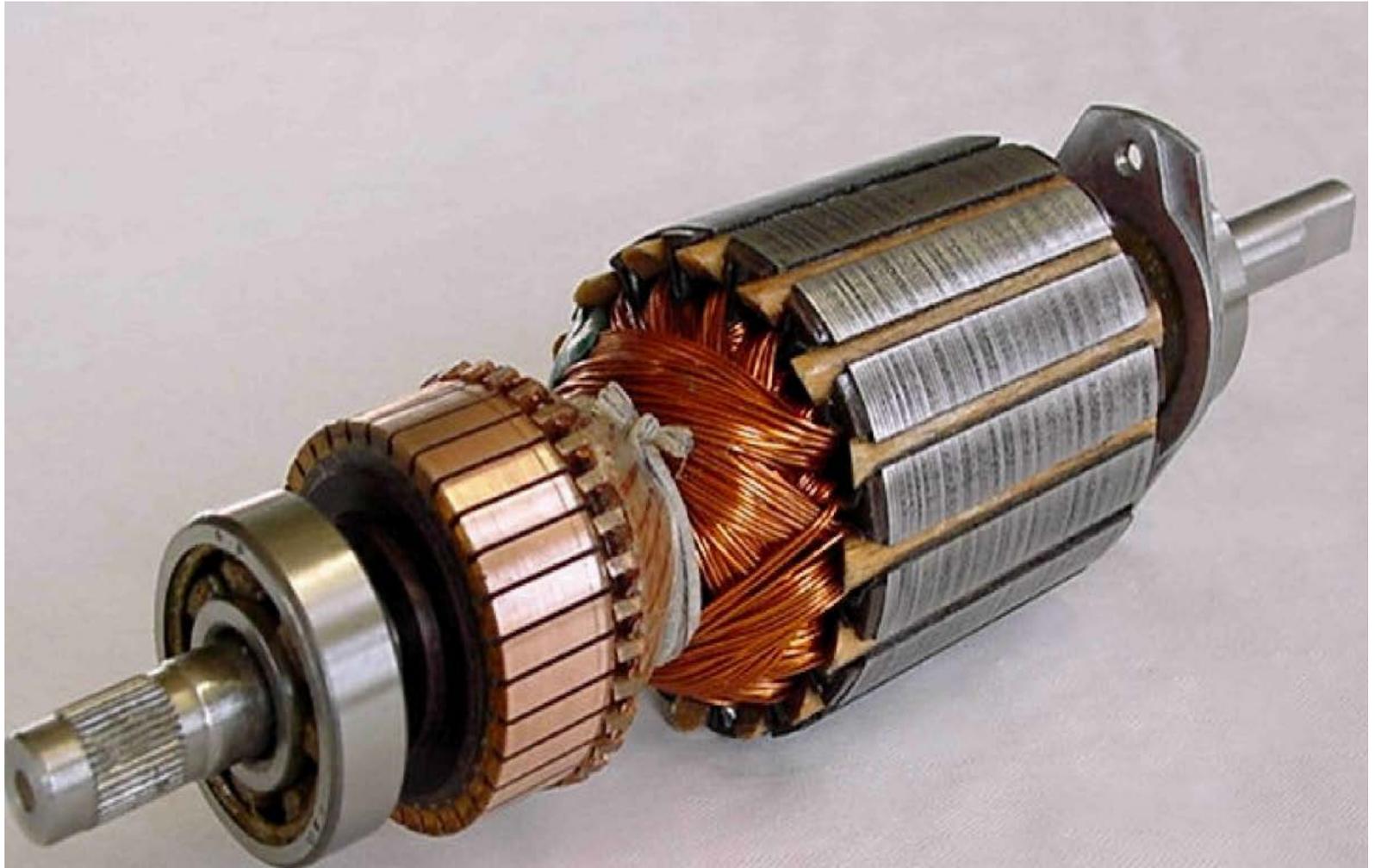
Состоит из неподвижной части – **статора**, который служит для возбуждения главного магнитного поля машины, и вращающейся части – **якоря** (ротор).

Статор состоит из станины (литая сталь), на которой крепятся главные полюсы (для возбуждения основного магнитного потока) и дополнительные полюсы (для хорошей коммутации)

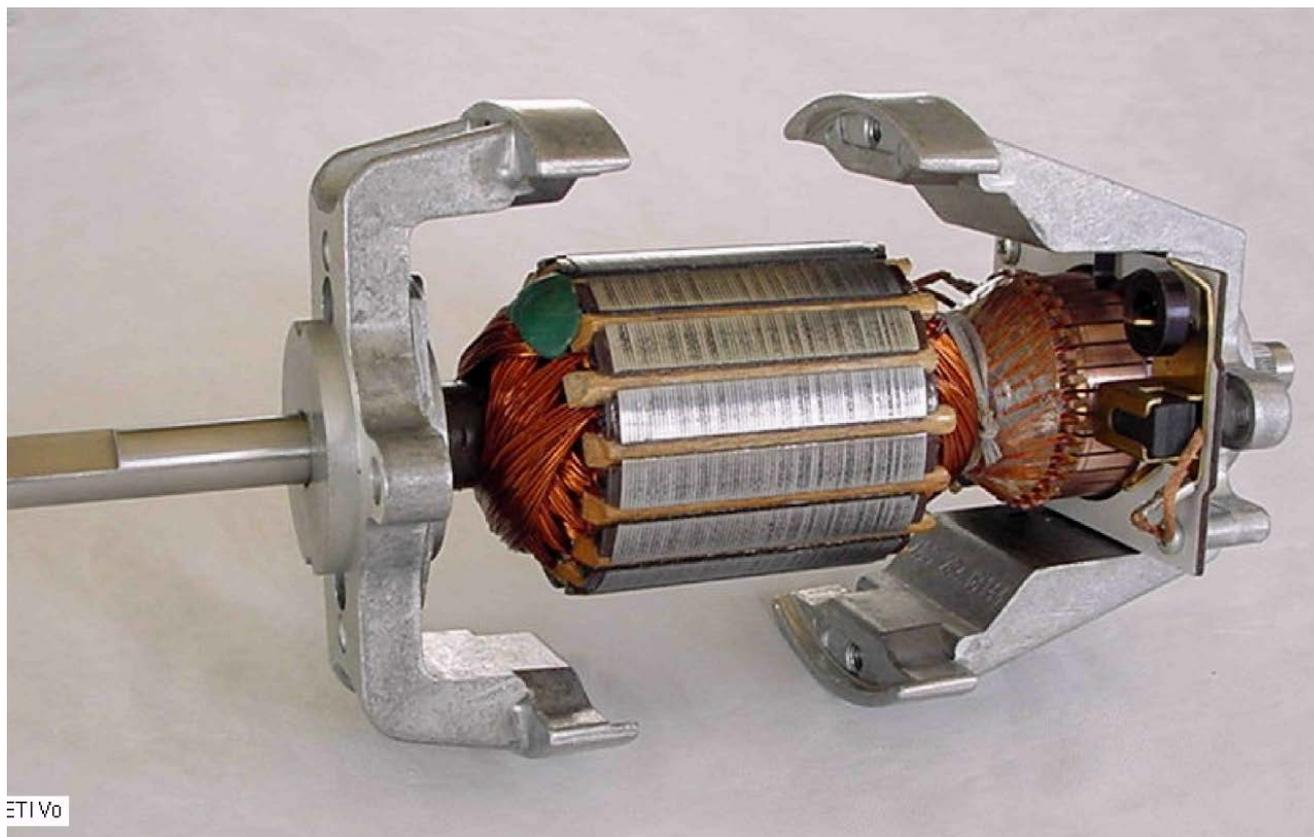


Главный полюс состоит из **сердечника** и **обмотки возбуждения**, которая питается либо от источника постоянного тока, либо от зажимов якорной обмотки.

Якорь состоит из **зубчатого сердечника**, в пазы которого уложена **обмотка якоря** и **коллектора**, насаженного на вал якоря. **Коллектор** – полый цилиндр, собранный из изолированных друг от друга клинообразных медных пластин.



К каждой пластине коллектора присоединяются два конца секции обмотки якоря. На коллекторе, в щеткодержателях, устанавливаются неподвижные щетки, через которые обмотка якоря соединяется с внешней цепью.



ETI Vo

**Применение коллектора
необходимо в генераторах
постоянного тока для
выпрямления переменной ЭДС,
индуцируемой в ОЯ, а в
двигателях коллектор нужен для
получения постоянного по
направлению вращающего
момента.**

Режимы работы МПТ

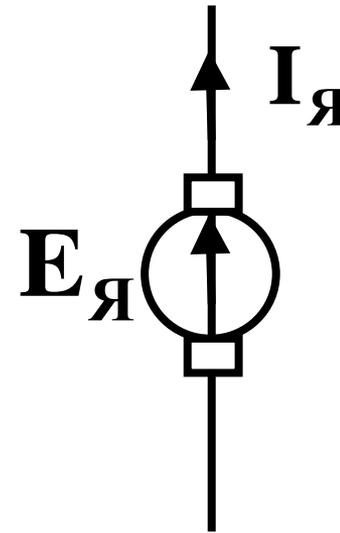
Машина работает в режиме **генератора**, если ее вращает двигатель, главное магнитное поле возбуждено, а цепь якоря замкнута через щетки с приемником. При этом под действием ЭДС, индуктируемой в ОЯ, в цепи якорь-приемник возникает ток, совпадающий с ЭДС по направлению. Взаимодействие тока якоря с главным магнитным полем создает на валу тормозной момент, который преодолевается первичным двигателем.

ЭДС якоря

$$E_{\text{я}} = C_E \cdot \Phi \cdot n, \text{ где}$$

C_E — постоянный коэффициент;

n — частота вращения якоря



Уравнение электрического состояния цепи якоря

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

$R_{\text{я}}$ — сопротивление обмотки якоря

В двигательном режиме цепи якоря и возбуждения машины присоединены к источнику электроэнергии. Взаимодействие тока якоря с главным магнитным полем создает вращающий момент

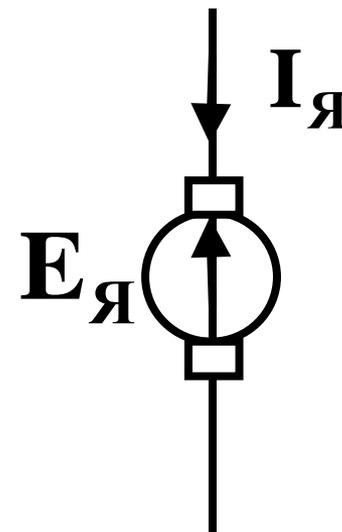
$$M_{\text{вр}} = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}, \quad C_M = C_E \cdot \frac{60}{2\pi}$$

Под действием момента якорь вращается, преодолевая момент нагрузки на валу. При этом ЭДС якоря противодействует току якоря и направлена ему навстречу

Напряжение, приложенное к цепи якоря

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

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



Типы машин постоянного тока

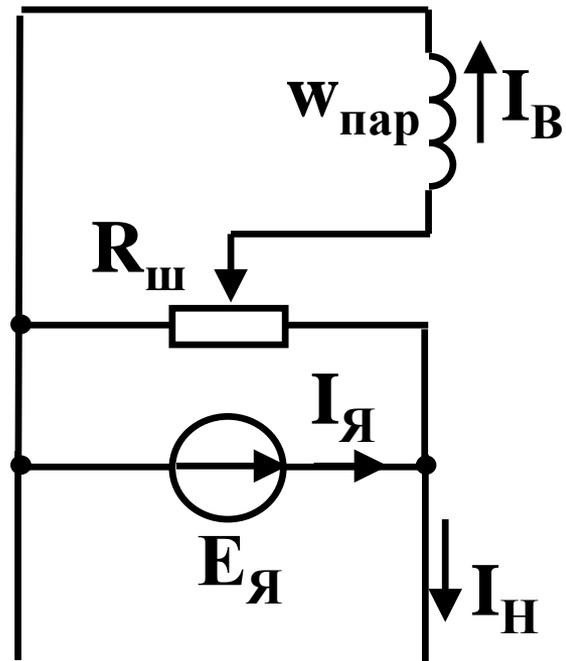
- независимого возбуждения (ОВ подключается к постороннему источнику);
- параллельного возбуждения (ОВ подсоединяется параллельно ОЯ);
- последовательного возбуждения (ОВ включается последовательно с ОЯ);

Генератор параллельного возбуждения

Часть тока якоря служит для возбуждения главного магнитного поля машины. Применяются наиболее часто. Напряжение мало изменяется из-за колебаний нагрузки.

$$I_{\text{В}} \ll I_{\text{Я}}$$

ОВ имеет большее число витков тонкого провода и обладает значительным сопротивлением



Самовозбуждение

$$\Phi_{\text{ост}} \Rightarrow E_{\text{яост}} \Rightarrow I_{\text{в}} \Rightarrow I_{\text{в}} W_{\text{пар}}$$

МДС должна быть направлена согласно по отношению к $\Phi_{\text{ост}}$, т.е. подмагничивать его. При таком соединении $I_{\text{в}}$ усиливает магнитное поле машины.

$$\Phi \uparrow \Rightarrow E_{\text{я}} \uparrow \Rightarrow I_{\text{в}} \uparrow \Rightarrow \Phi \uparrow$$

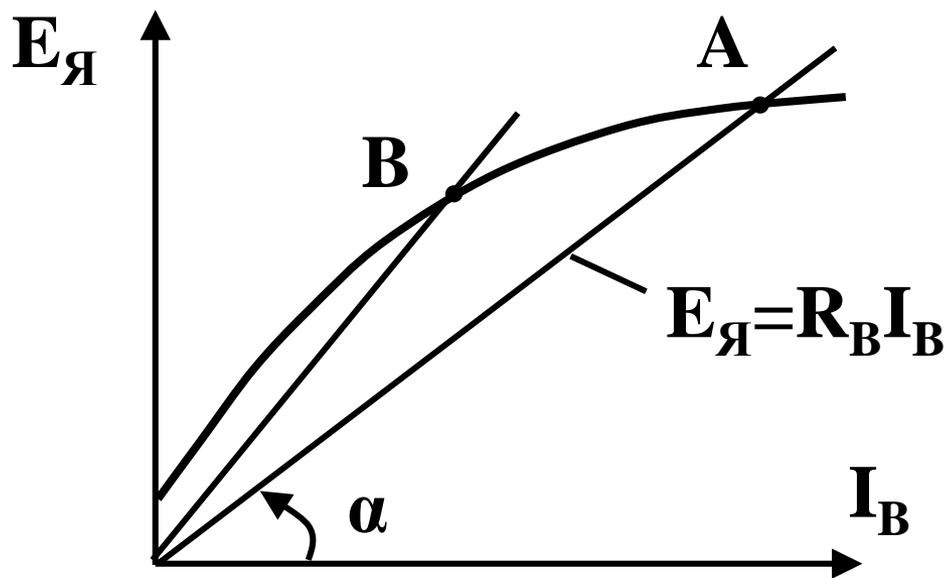
Увеличение тока возбуждения и потока ограничивается насыщением магнитной цепи.

Условия самовозбуждения

- наличие остаточного магнитного потока;
- согласное включение ОВ и ОЯ;
- сопротивление ОВ должно быть меньше критического

Характеристика холостого хода

Снимается при разомкнутой цепи якоря ($I_{\text{я}}=0$) и постоянной частоте вращения n

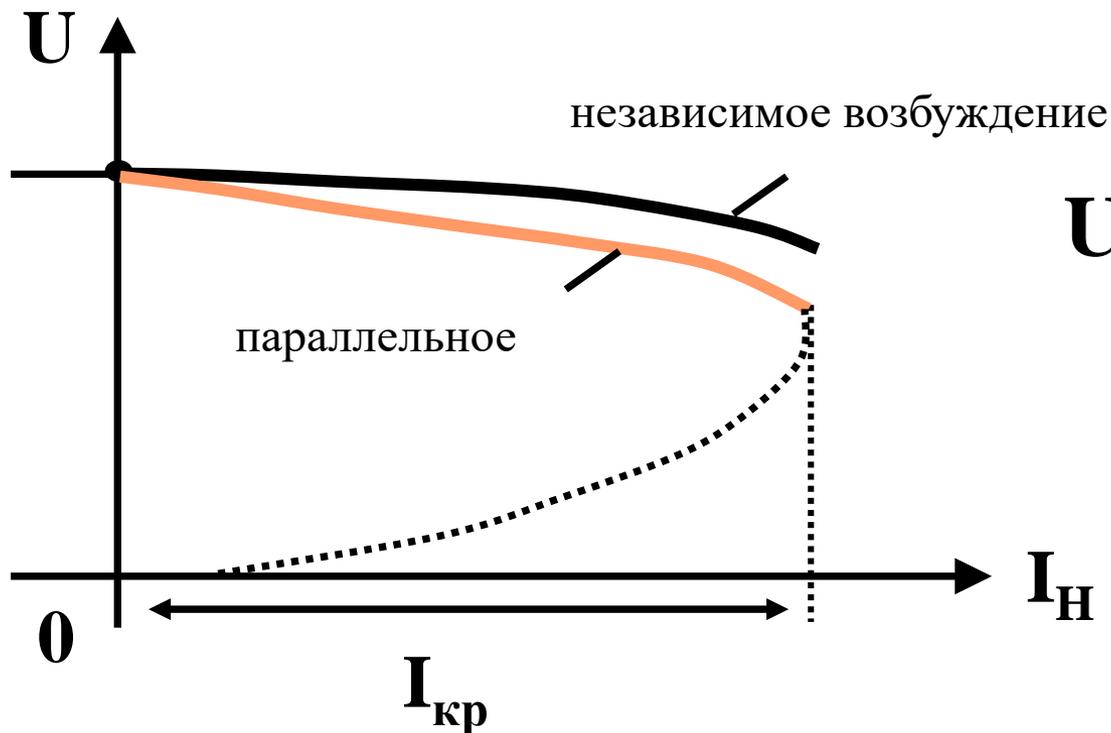


Установившийся ток возбуждения определяется из условия:

$$E_{\text{я}} = R_{\text{в}} I_{\text{в}}$$

Внешняя характеристика

Снимается при номинальном токе возбуждения и постоянной частоте вращения n



$$U = E_{\text{я}} - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

Ток якоря, при котором машина переходит в условия саморазмагничивания, называется критическим. Его значение больше номинального в 2-2,5 раза.

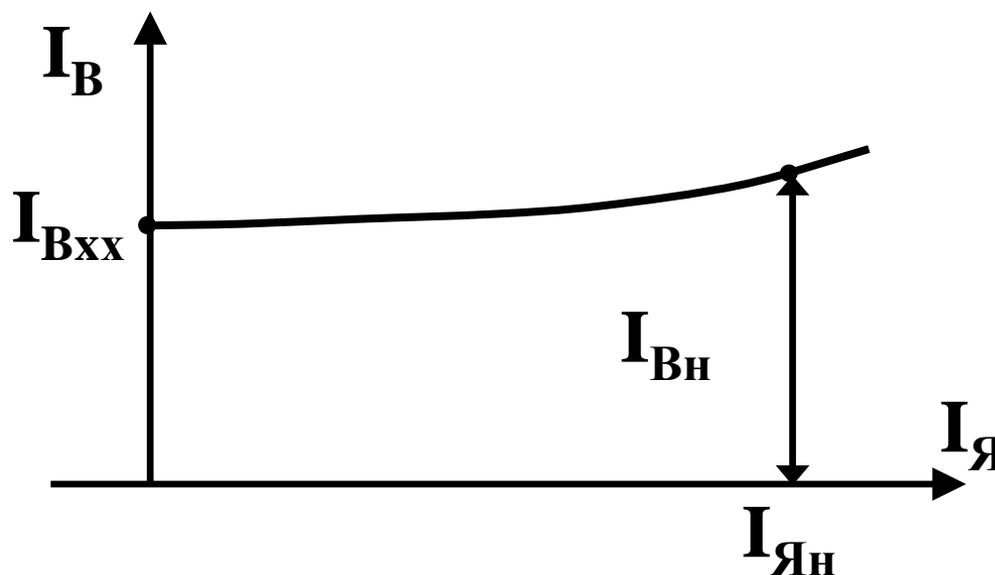
Причины падения напряжения

- Увеличение падения напряжения в ОЯ
- Реакция якоря – влияния поля якоря на основное поле машины
- Уменьшение силы тока возбуждения

$$I_B = \frac{U}{R_B}$$

Регулировочная характеристика $I_B(I_A)$

Снимается при постоянном напряжении и частоте вращения



Пуск двигателя

Возможны три способа пуска двигателя:

1) прямой, при котором ОЯ подключается прямо к сети;

2) реостатный с помощью пускового реостата (включается последовательно в цепь якоря);

3) при пониженном напряжении, подводимом к якорю.

Прямой пуск

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} \quad n = 0, \quad E_{\text{я}} = 0$$

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{я}}} \approx (10 \div 30\%) I_{\text{н}}$$

Такой ток вызывает искрение на коллекторе, большой пусковой момент, удар по валу.

Прямой пуск - для двигателей до 1 кВт, у которых сопротивление якоря относительно велико, а время разгона $< 1\text{с}$. В этом случае обмотка якоря не успевает нагреться, и толчок момента оказывается сравнительно небольшим.

Реостатный пуск

В цепь якоря включают пусковой реостат, сопротивление которого выбирают так, чтобы

$$I_{\text{пуск}} < (2 \div 2,5) I_{\text{ном}}$$

По мере увеличения частоты вращения двигателя пусковой реостат выводят.

Пуск при пониженном напряжении

в двигателях большой мощности (пусковой реостат вызывает значительные потери энергии).

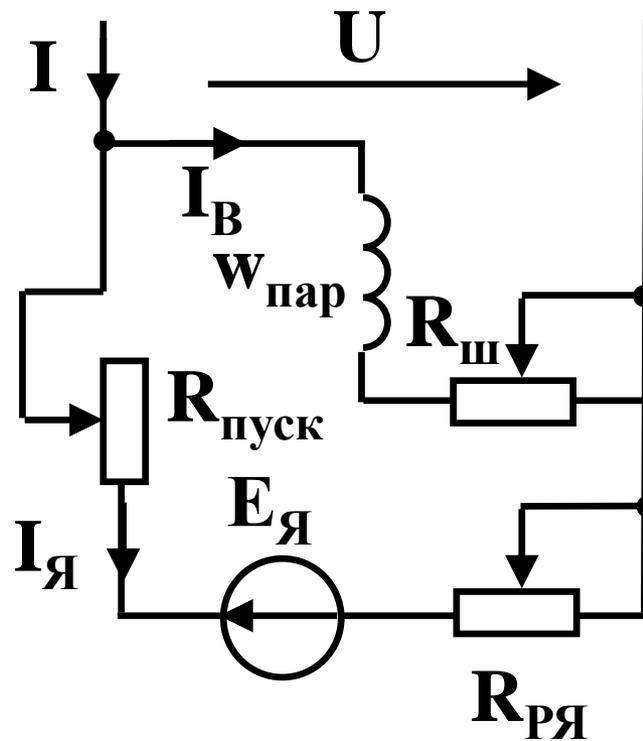
Пониженное напряжение, подводится к якорю от источника с регулируемым напряжением, например, в системах генератор-двигатель.

Среди всех электродвигателей ДПТ имеют лучшие пусковые качества.

$$I_{\text{пуск}} = (2 \div 2,5) I_{\text{ном}}$$

$$M_{\text{пуск}} = (2,5 \div 4) M_{\text{ном}}$$

Двигатель с параллельным возбуждением

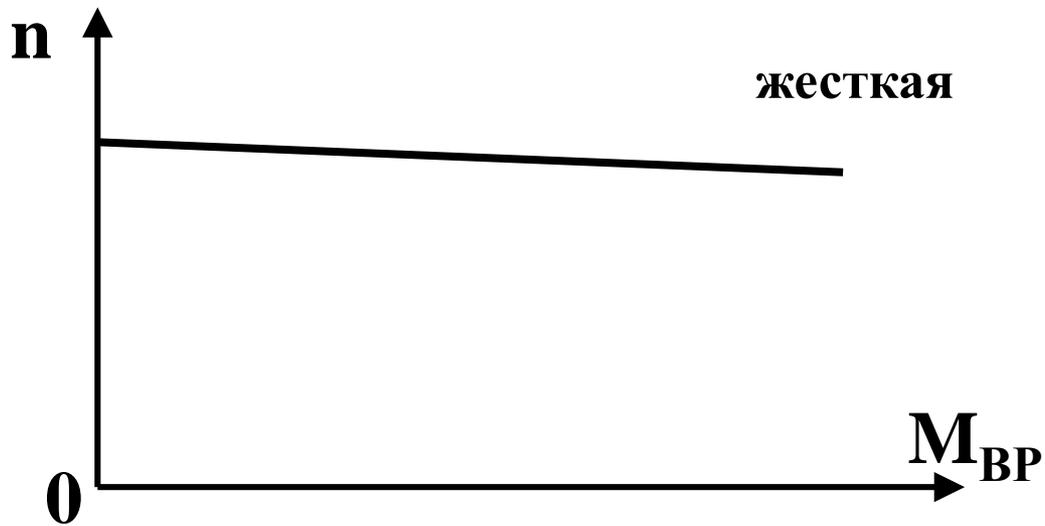


Если ОВ подключить через регулировочный реостат к другому источнику постоянного напряжения, то получится двигатель с независимым возбуждением.

$$E_{\text{я}} = C_E \cdot \Phi \cdot n, \quad I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}$$
$$n = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{C_E \Phi}$$

- изменяется очень мало

Механическая характеристика



$$M_T \uparrow \Rightarrow n \downarrow \Rightarrow E_{Я} \downarrow \Rightarrow I_{Я} \uparrow \Rightarrow M_{BR} \uparrow$$

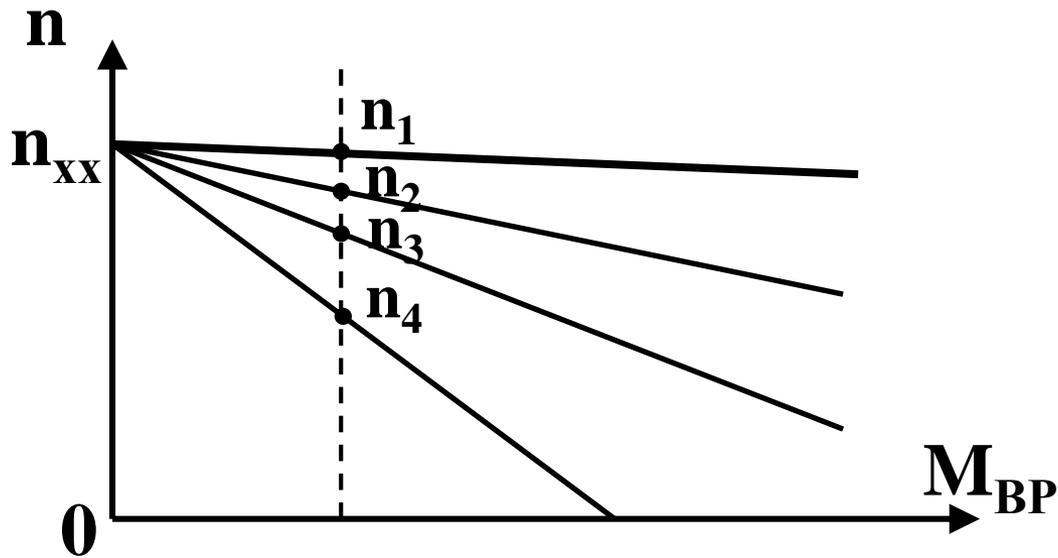
$$M_{BR} = M_T$$

Способы регулирования частоты вращения

- **реостатный – изменение суммарного сопротивления цепи якоря;**
- **полюсной – изменение магнитного потока полюсов;**
- **якорный – изменение напряжения, подводимого к якорю**

Реостатное регулирование

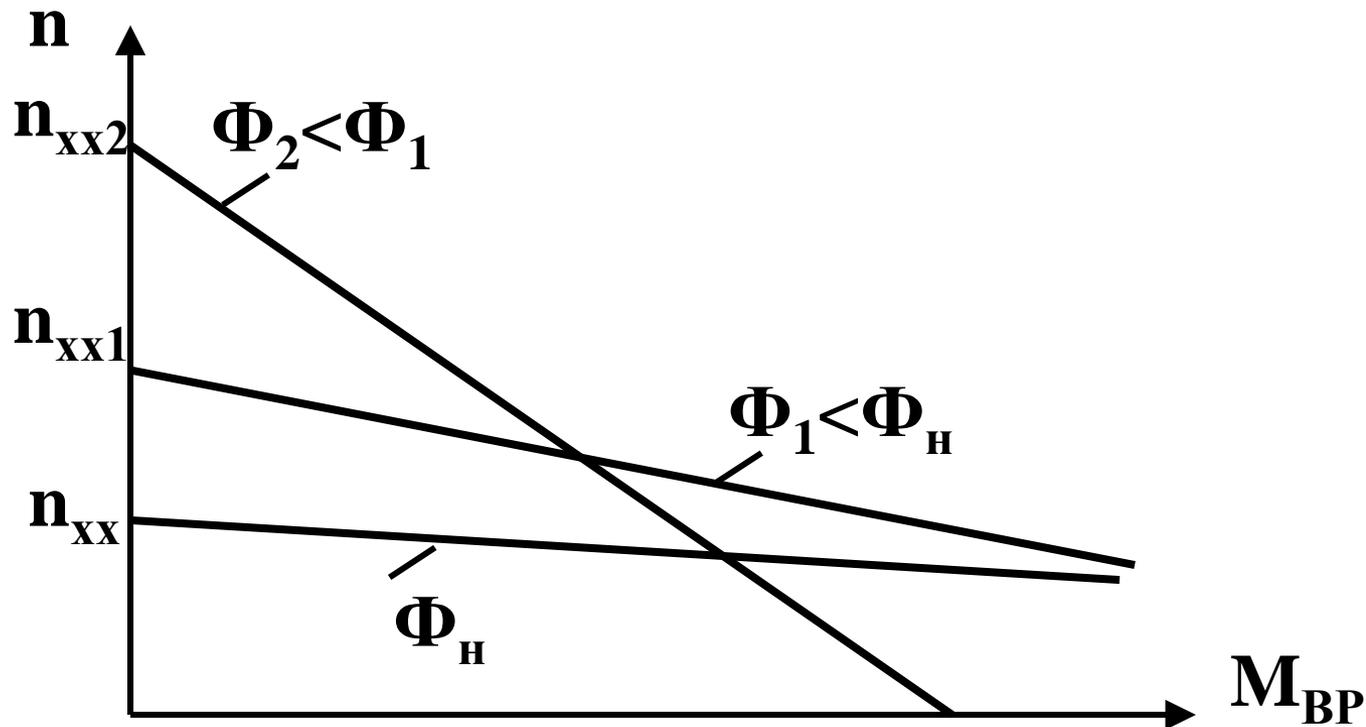
В цепь якоря вводится регулировочный реостат $R_{рЯ}$



Неэкономично из-за потерь в реостате, применяется для двигателей небольшой мощности

Полюсное регулирование

Меняем магнитный поток за счет регулирования тока возбуждения реостатом R_{III}

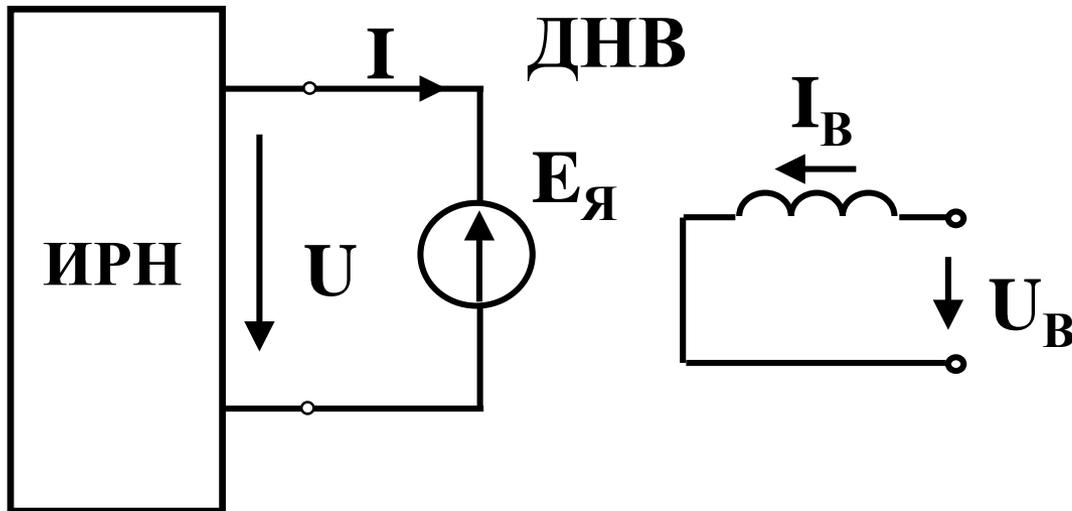


Если момент, прикладываемый к валу, меньше номинального, то частота вращения возрастает.

- **если нагрузка на валу больше номинальной, применять нельзя, т.к. с уменьшением Φ ток якоря превысит номинальный.**
- **можем только повышать частоту вращения.**
- **экономично из-за малой мощности ОВ.**

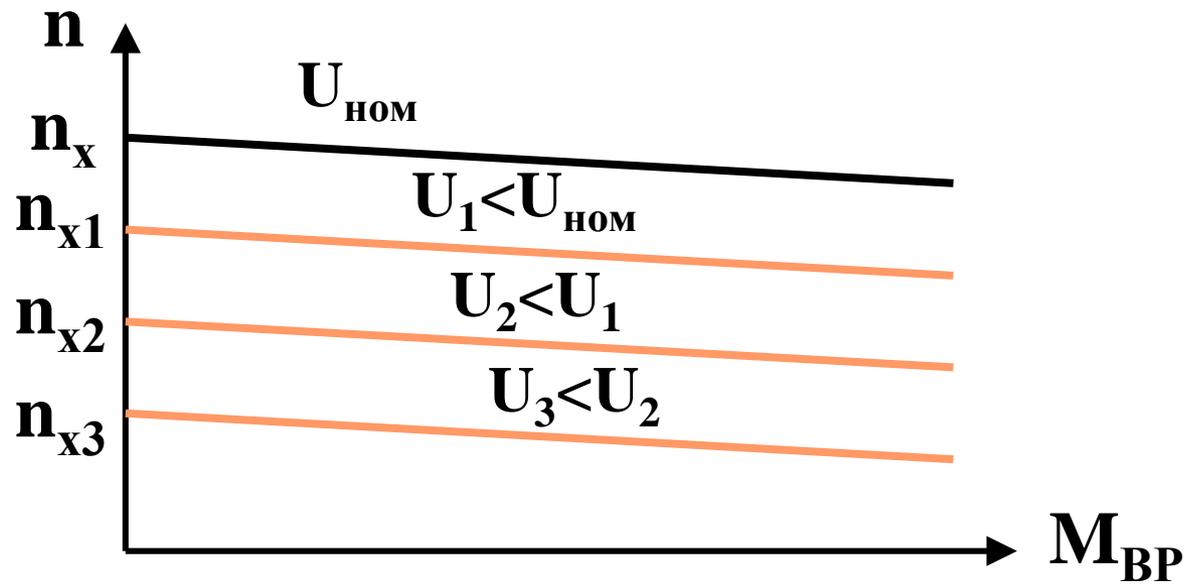
Якорное регулирование

только при независимом возбуждении, т.к. при параллельном одновременно изменялся бы и Φ , что привело бы к изменению $I_{я}$, а не n .

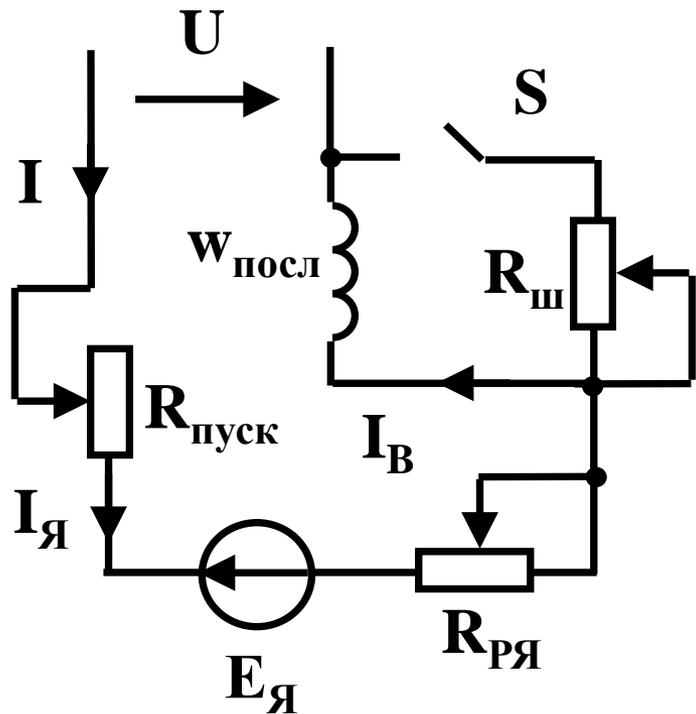


Источник регулируемого напряжения (управляемый выпрямитель)

От ИРН на якорь ДНВ подается напряжение, которое можно менять от нуля до U_n и обратно с переменной полярностью. Пусковой реостат не нужен, т.к. пуск начинается с малого напряжения.



Двигатель с последовательным возбуждением

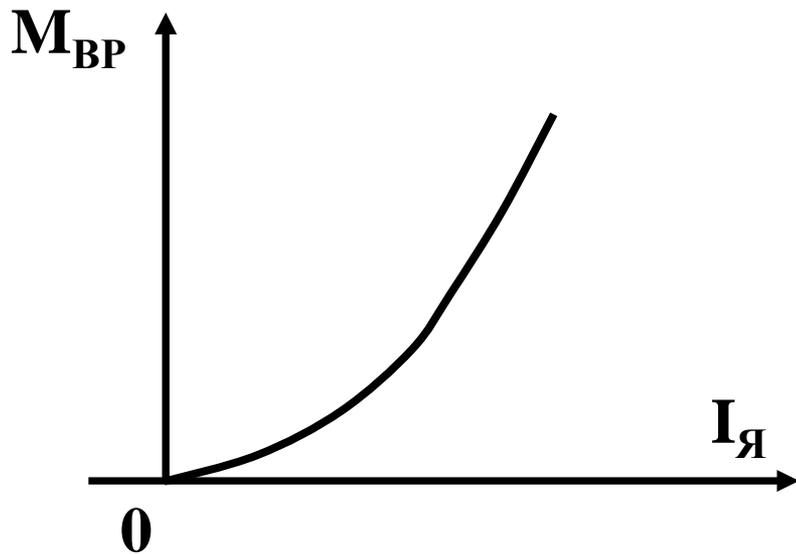


Ключ разомкнут $I_{я} = I_{в}$

$$\Phi = \frac{I_{я} w_{посл}}{R_M} \quad n = \frac{U - I_{я} R_{я}}{C_E \Phi}$$

$$n = \frac{U - (R_{я} + R_{в}) I_{я}}{C_E w_{посл} I_{я} / R_M}$$

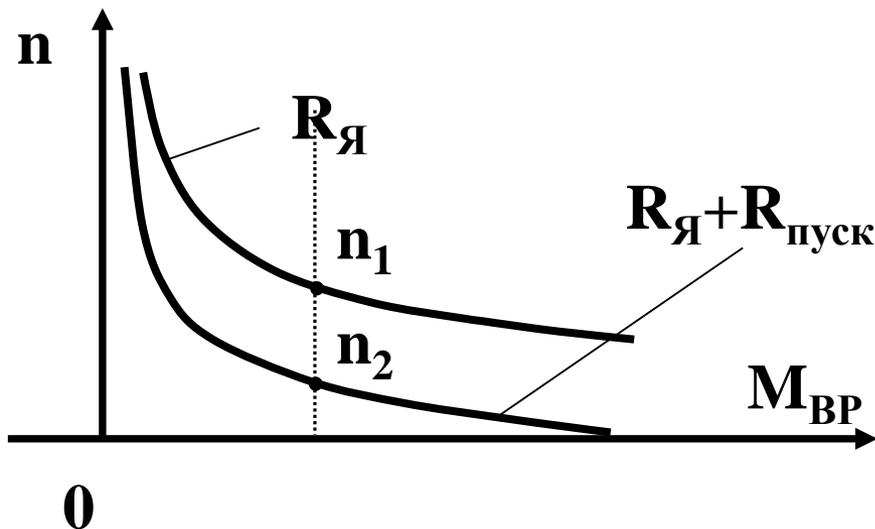
$$M_{вр} = C_M w_{посл} I_{я}^2 / R_M$$



$$M_{BR} = C_M w_{\text{посл}} I_{Я}^2 / R_M$$

имеет вид параболы

$$n = \frac{U - (R_{Я} + R_{В}) I_{Я}}{C_E w_{\text{посл}} I_{Я} / R_M}$$



Механическая характеристика «мягкая», при небольших нагрузках двигатель идет «вразнос». Нельзя допускать работу при ХХ и нагрузке, меньшей 30% номинальной

При увеличении нагрузки на валу ток возрастает относительно медленно и обратно пропорционально ему уменьшается n .

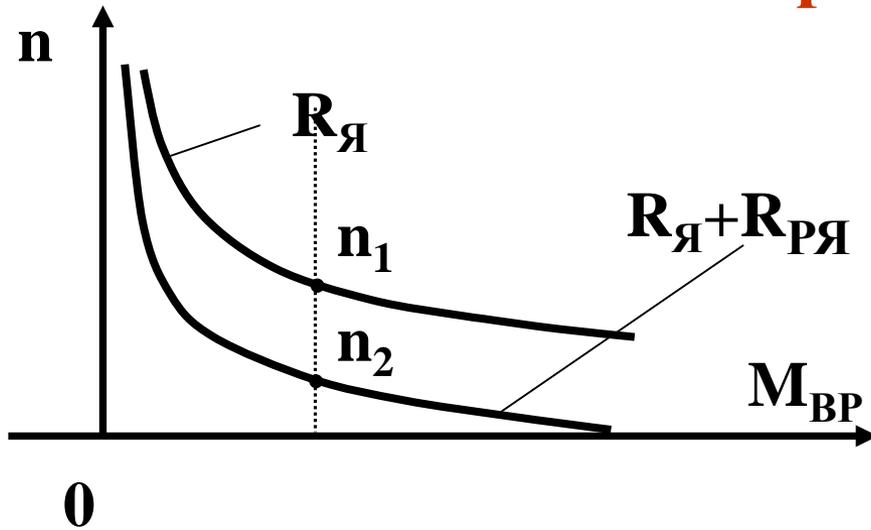
При увеличении момента в 2 раза ток возрастает лишь до 140% первоначального значения, а n уменьшается до 70%. У двигателя с параллельным возбуждением увеличение момента в 2 раза незначительно снизит n , зато ток двигателя увеличится до 200% первоначального.

Двигатель последовательного возбуждения может выдерживать сильные перегрузки при умеренном увеличении тока.

Регулирование n

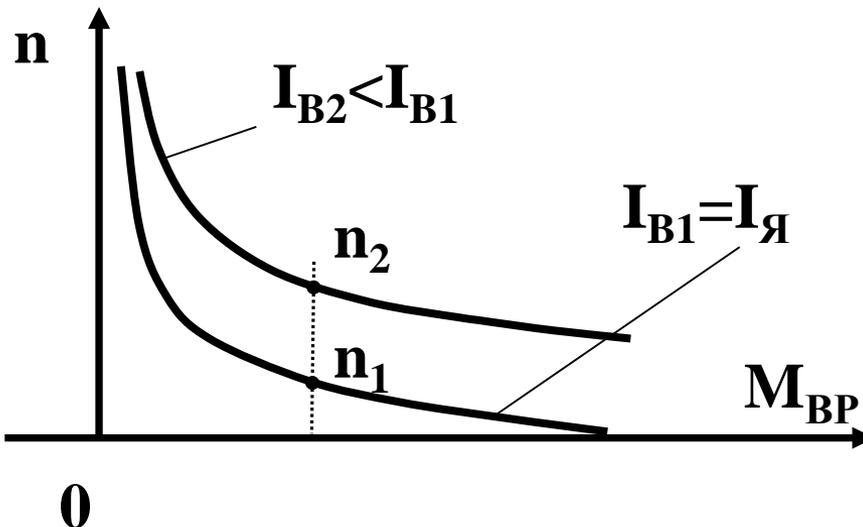
- **Реостатное введение $R_{рЯ}$**
- **Полюсное осуществляется шунтированием ОВ реостатом $R_{ш}$**
- **Безреостатное изменение напряжения на якоре позволяет регулировать n вниз от номинальной с сохранением высокого КПД**

Реостатное регулирование



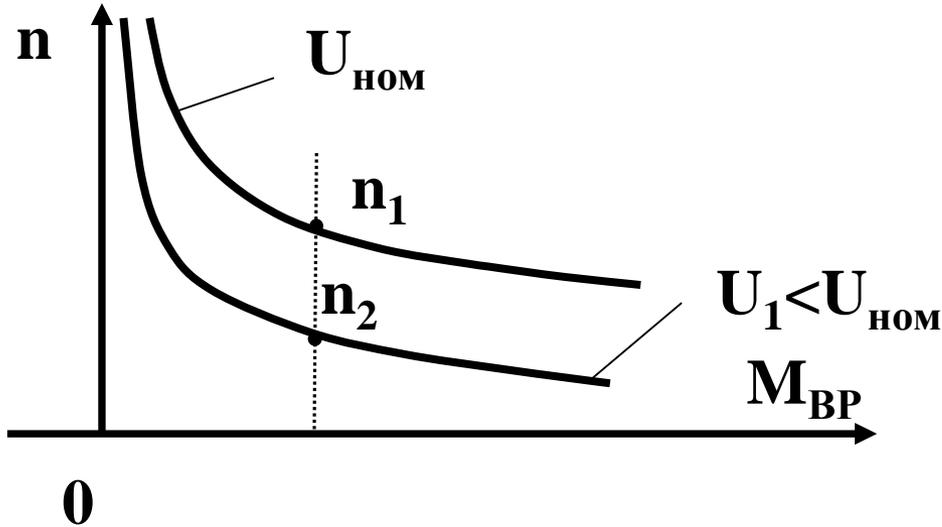
$$n = \frac{U - (R_{\text{Я}} + R_{\text{В}} + R_{\text{РЯ}})I_{\text{Я}}}{C_{\text{Е}} w_{\text{посл}} I_{\text{Я}} / R_{\text{М}}}$$

Полюсное регулирование



При шунтировании ОВ
уменьшается Φ и
увеличивается n

Якорное регулирование



применяется в тяговых двигателях на электротранспорте, в подъемных устройствах. Регулирование производят переключением нескольких двигателей, работающих на один вал, с параллельного на последовательное включение их в сеть

Особенности применения ДПТ

- **Двигатели независимого и параллельного возбуждения – «жесткая» характеристика (станки, прокатные станы, вентиляторы и т.д.)**
- **Двигатели последовательного возбуждения – «мягкая» характеристика. Применяются в устройствах, где требуются большие пусковые моменты, и наблюдаются частые перегрузки по моменту (трамваи, троллейбусы, электровозы)**