

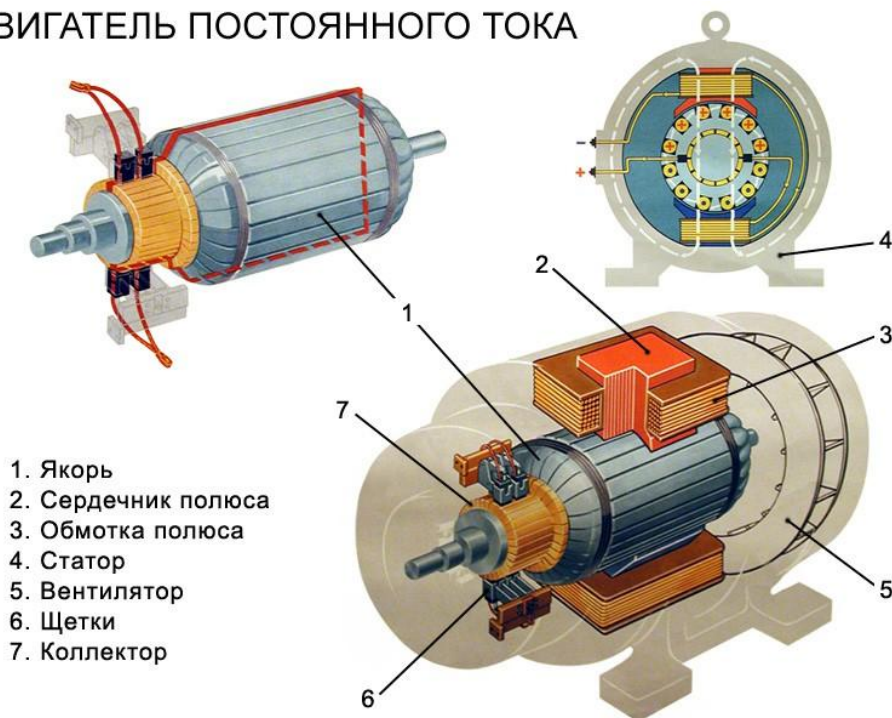
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

кафедра электротехники, О8

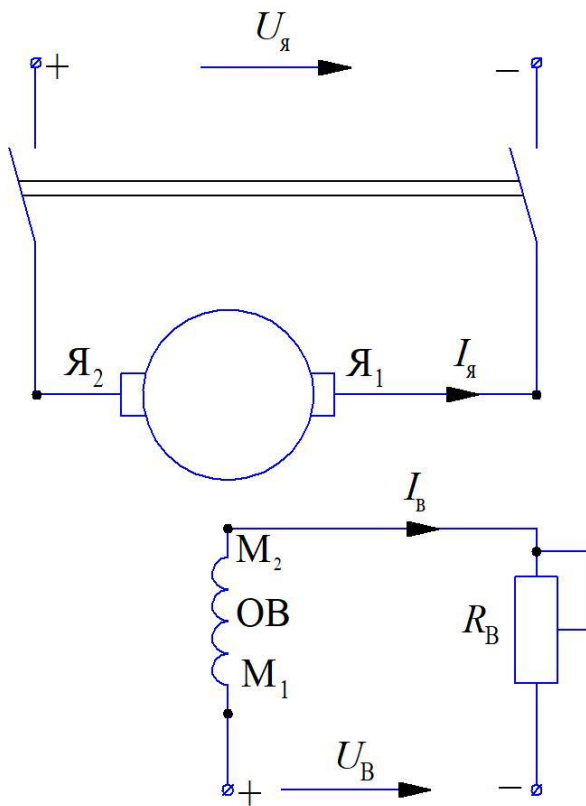
Лекция 12

Электрические машины постоянного тока

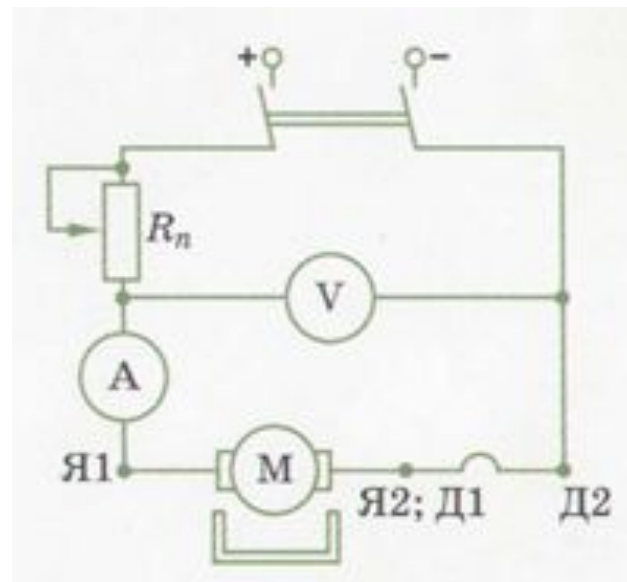
ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА



Классификация двигателей постоянного тока

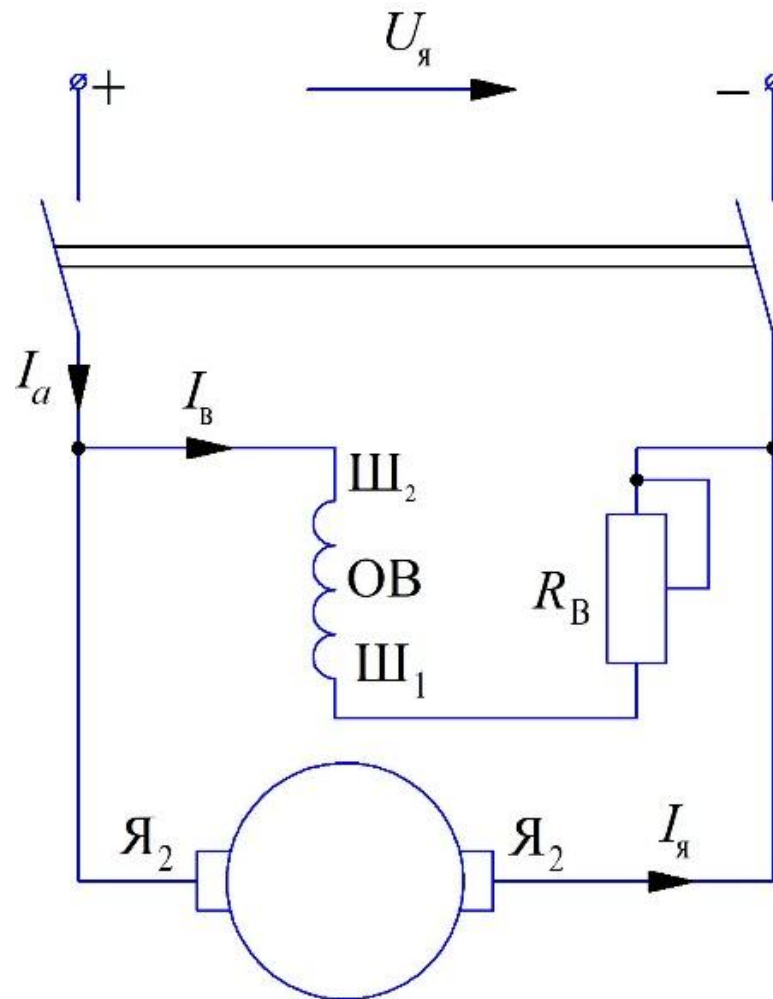


1. С независимым возбуждением



2. С постоянными магнитами

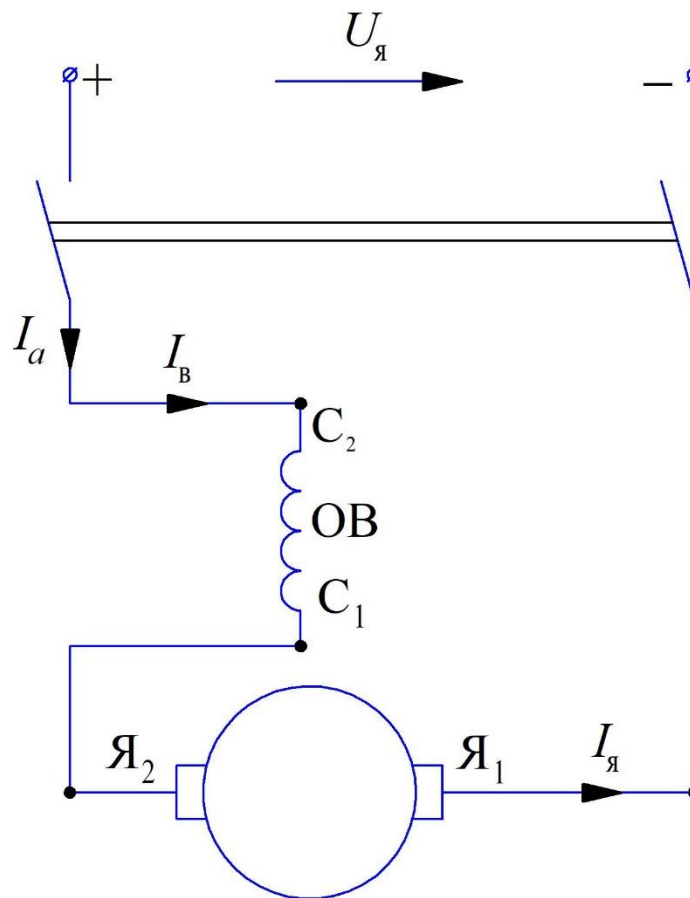
Классификация двигателей постоянного тока



$$I_a = I_{\text{я}} + I_{\text{В}}$$

2. Двигатель параллельным возбуждением

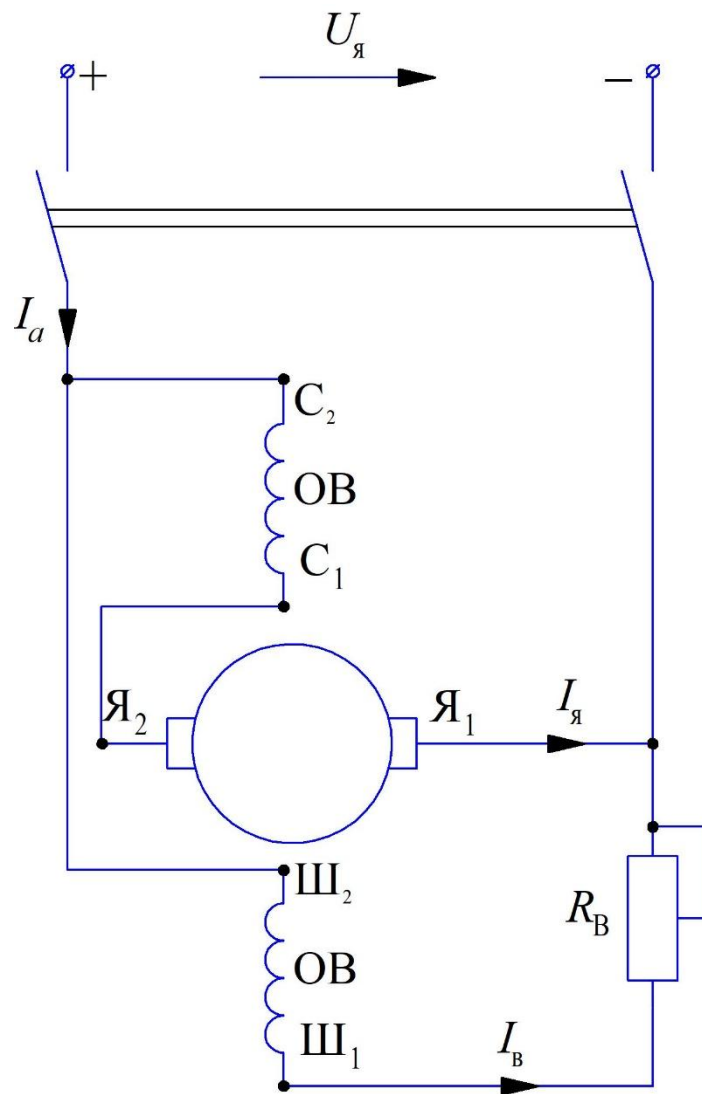
Классификация двигателей постоянного тока



$$I_a = I_{\text{я}} = I_B$$

3. Двигатель с последовательным возбуждением

Классификация двигателей постоянного тока



$$I_a = I_{\text{я}} + I_{\text{в}}$$

Двигатель со смешанным возбуждением

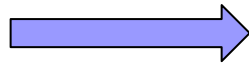
Рабочие и механические характеристики двигателей постоянного тока

Механической характеристикой ДПТ называют зависимость скорости вращения якоря от момента на валу при постоянном значении напряжения якоря и тока возбуждения ($n=f(M)$, при $U_{\text{я}}=const$ и $I_{\text{в}}=const$).

Рабочие характеристики ДПТ - зависимости скорости вращения якоря n , тока $I_{\text{а}}$, мощности P_1 , развиваемого электромагнитного момента M и КПД η от механической мощности на валу двигателя P_2 ($n=f(P_2)$, $I_{\text{а}}=f(P_2)$, $P_{\text{а}}=f(P_2)$, $M=f(P_2)$, $\eta=f(P_2)$ при $U_{\text{я}}=const$ и $I_{\text{в}}=const$).

Из формулы для момента можем найти зависимость тока якоря от момента:

$$M = C_{\text{м}} \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}$$



$$I_{\text{я}} = \frac{M}{C_{\text{м}} \cdot \Phi}$$

Вывод: Ток якоря двигателя зависит только от момента на валу.

Рабочие и механические характеристики двигателей постоянного тока

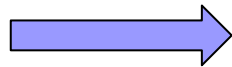
Частоту вращения якоря найдем из второго закона Кирхгофа.

$$U_{\text{я}} = C_e \cdot \Phi \cdot n + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$$

$$n = \frac{U_{\text{я}} - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi}$$

С учётом зависимости тока якоря от момента

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



$$I_{\text{я}} = \frac{M}{C_M \cdot \Phi}$$

$$n = \frac{U_{\text{я}} - \frac{M}{C_M \cdot \Phi} \cdot R_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi} = \frac{U_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi} - \frac{M \cdot R_{\text{я}}}{C_e \cdot C_M \cdot \Phi^2} = n_0 - \frac{R_{\text{я}}}{C_e \cdot C_M \cdot \Phi^2} M$$

$$n_0 = \frac{U_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi} \quad - \text{ скорость холостого хода.}$$

Рабочие и механические характеристики двигателей постоянного тока

Полезная мощность на валу двигателя тоже зависит от момента на валу

$$P_2 = M \cdot \omega = 2\pi \cdot f \cdot M$$

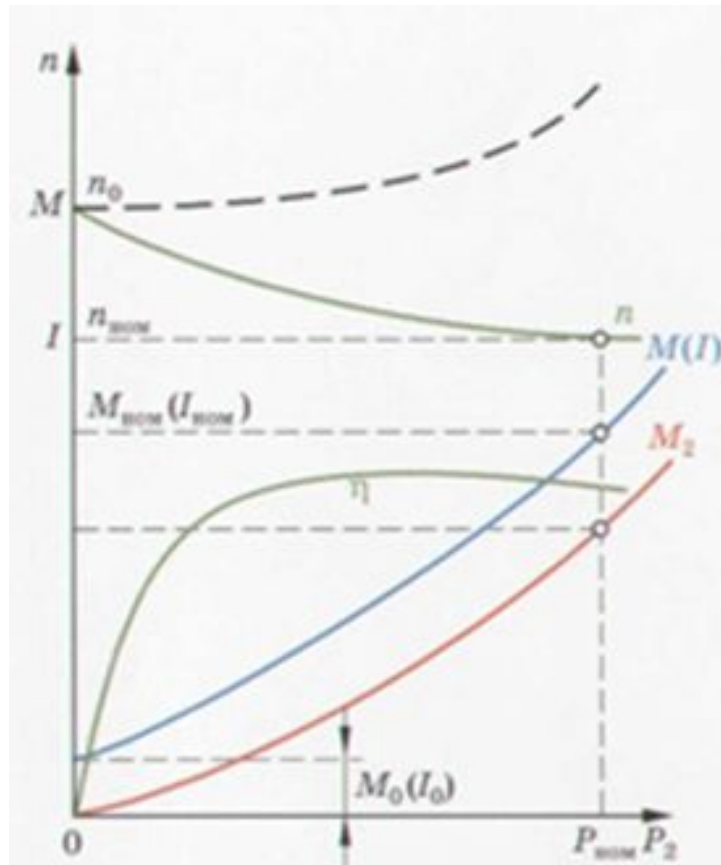


$$M = \frac{P_2}{2\pi \cdot f}$$

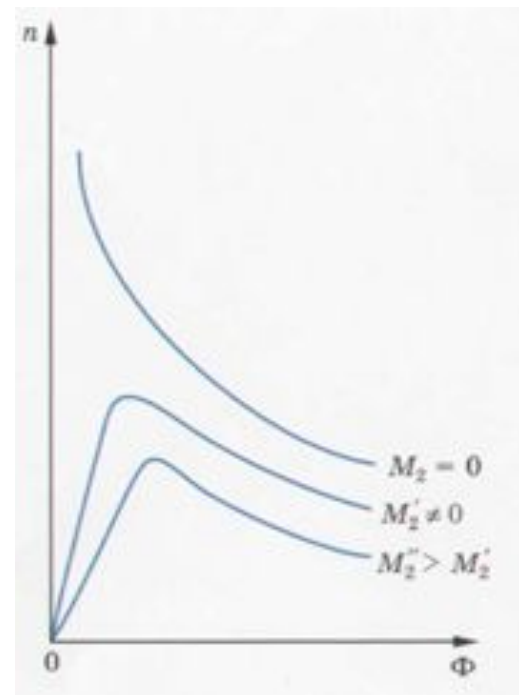
Из приведенных уравнений видно, что все рабочие характеристики зависят от момента на валу и магнитного потока.

Двигатели постоянного тока обладают саморегулированием, т.е. изменение момента на валу переводит изменение скорости и тока якоря которые обеспечивают устойчивый режим работы.

Характеристики двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением



Рабочие характеристики ДПТ с параллельным возбуждением



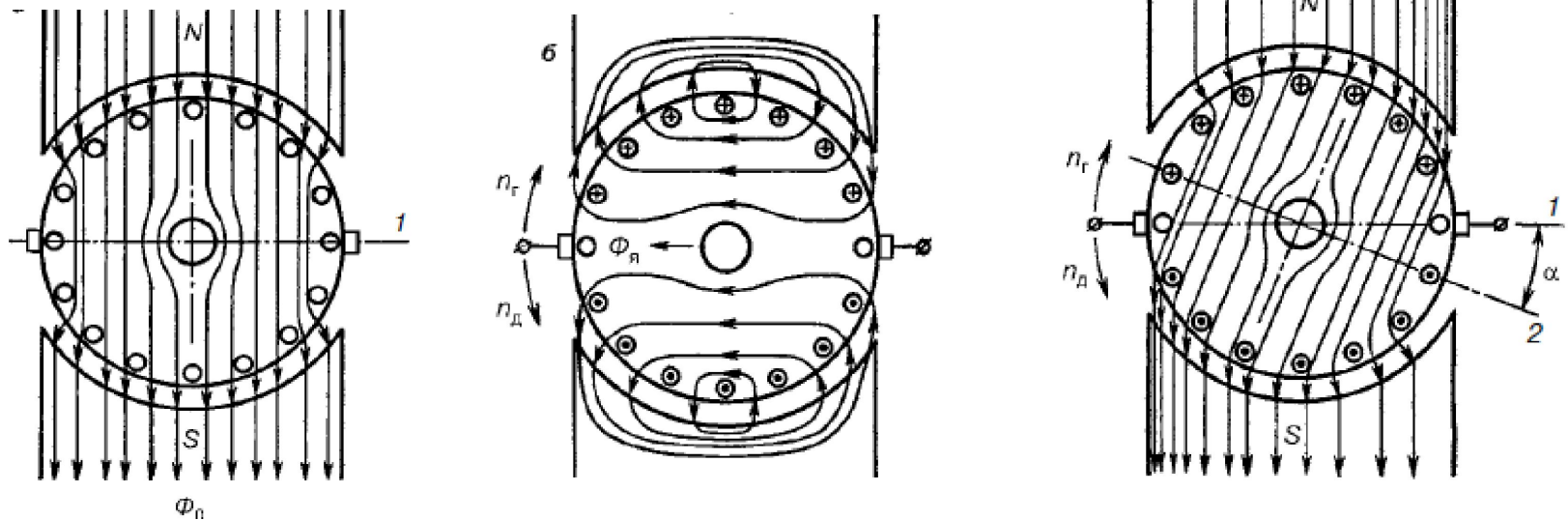
Регулировочные характеристики

Реакция якоря

В режиме холостого хода магнитный поток Φ_0 симметричный относительно осевой линии машины.

Щетки машины располагают на геометрической нейтрали. Геометрическая нейтральная линия – перпендикулярная осевой линии магнитных полюсов машины.

При подключении нагрузки к обмоткам якоря, из-за тока якоря $I_{\text{я}}$ возникает магнитный поток якоря $\Phi_{\text{я}}$.



Влияние магнитного потока якоря на основной магнитный поток называется **реакцией якоря**.

Из-за влияния $\Phi_{\text{я}}$ магнитный поток становится неравномерным.

Линия, проходящая через центр якоря и точки, где магнитная индукция равна нулю, называется **физической нейтральной**. Поворот у генераторов в сторону вращения, а у двигателей наоборот.

Пуск двигателей постоянного тока

В момент пуска двигателей скорость $n=0$ об/мин. ЭДС якоря $E=C_e \Phi n=0$.
Следовательно пусковой ток якоря определяется:

$$I_{\text{я.п}} = \frac{U_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}$$

Пусковой ток якоря во много раз больше номинального тока

$$I_{\text{я.п}} = (10 \div 20) I_{\text{я.ном}}$$

Резкое увеличение пускового тока является аварийным режимом. Поэтому необходимо его ограничение.

Существуют следующие способы ограничения пускового тока:

1. пуск двигателя при пониженном значении напряжения якоря (**безреостатный**);
2. увеличение сопротивления цепи якоря при пуске (**реостатный**);
3. **регулирование тока якоря электронными ключами.**

Реостатный пуск двигателей постоянного тока

При реостатном пуске двигателя пусковой ток якоря определяется выражением:

$$I_{\text{я.п}} = \frac{U_{\text{я}}}{R_{\text{я}} + R_{\text{П}}}$$

Сопротивление пускового реостата $R_{\text{П}}$ таким образом, чтобы

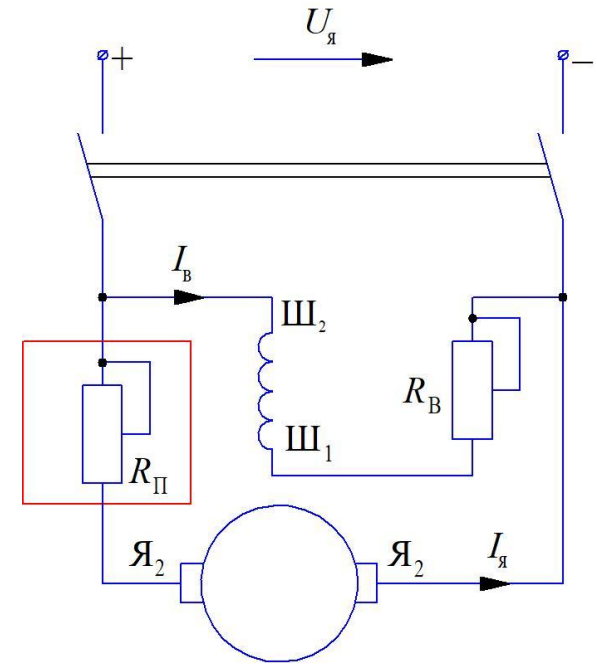
$$I_{\text{я.п}} = (1,5 \div 2,0) I_{\text{я.ном}}$$

По мере разгона машины ток якоря уменьшается

$$I_{\text{я}} = \frac{U_{\text{я}} - E}{R_{\text{я}} + R_{\text{П}}} = \frac{U_{\text{я}} - C_e \Phi n}{R_{\text{я}} + R_{\text{П}}}$$

Поэтому сопротивление постепенно уменьшает до 0.

В момент пуска, ток в обмотке возбуждения имеет максимальное значение, т.е магнитный поток Φ_0 максимальный!



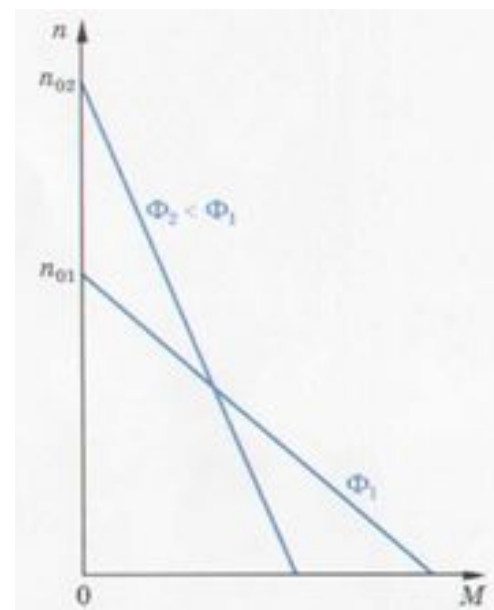
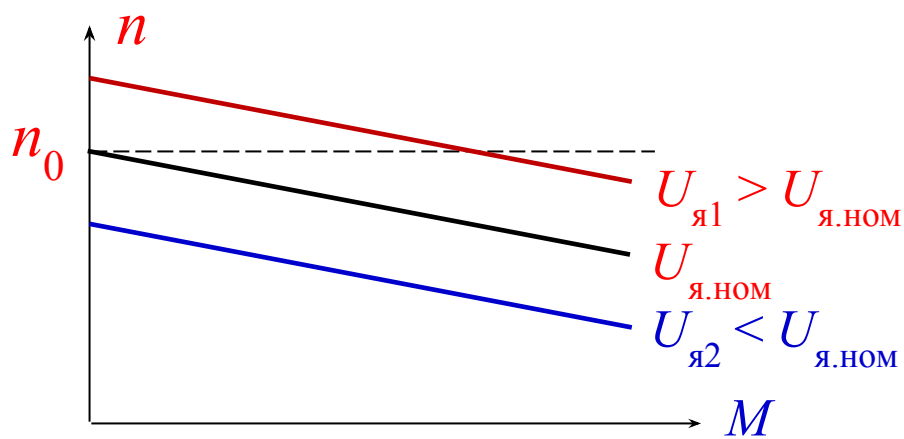
Способы регулирования скорости ДПТ

$$n = \frac{U_{\text{я}} - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi}$$

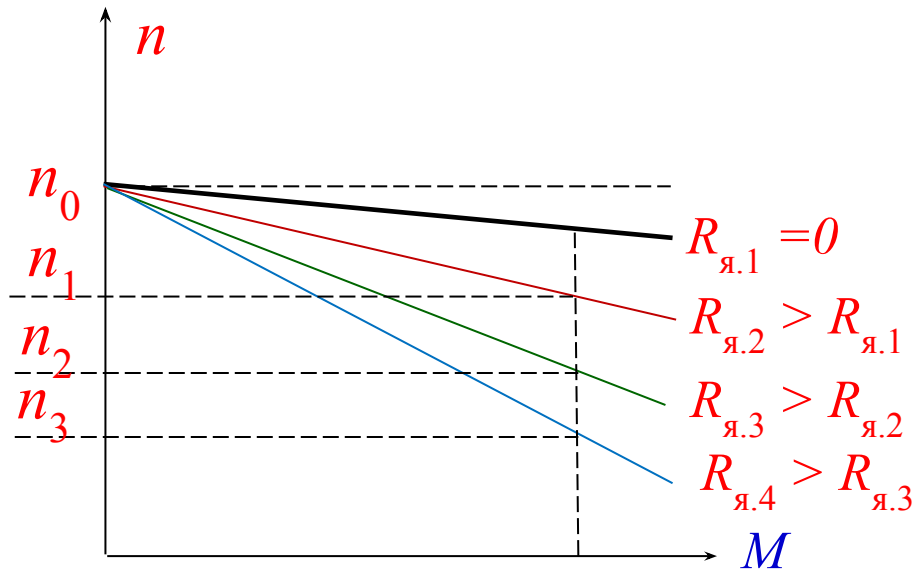
Скорость вращения зависит от напряжения питания $U_{\text{я}}$, тока якоря $I_{\text{я}}$ и магнитного потока Φ .

Существуют следующие способы:

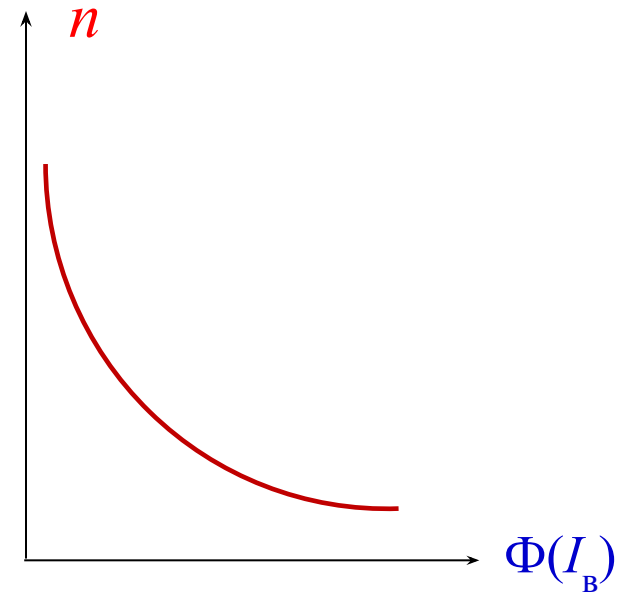
1. изменять напряжение питания $U_{\text{я}}$ при неизменном $R_{\text{я}}$ и магнитного потока Φ ;
2. изменять магнитный поток Φ при неизменном $U_{\text{я}}$ при неизменном $R_{\text{я}}$;
3. Изменять сопротивление $R_{\text{я}}$ при неизменном $U_{\text{я}}$ магнитного потока Φ .



Способы регулирования скорости ДПТ

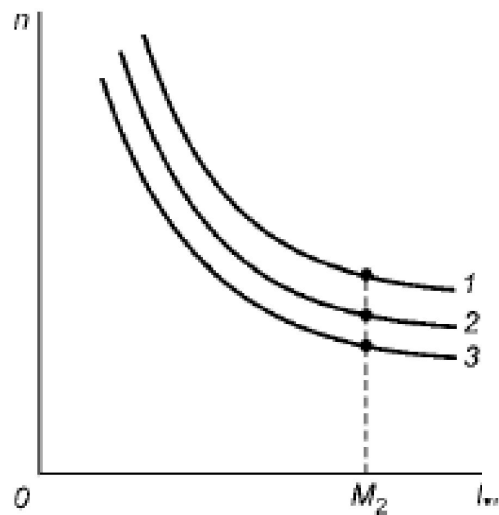
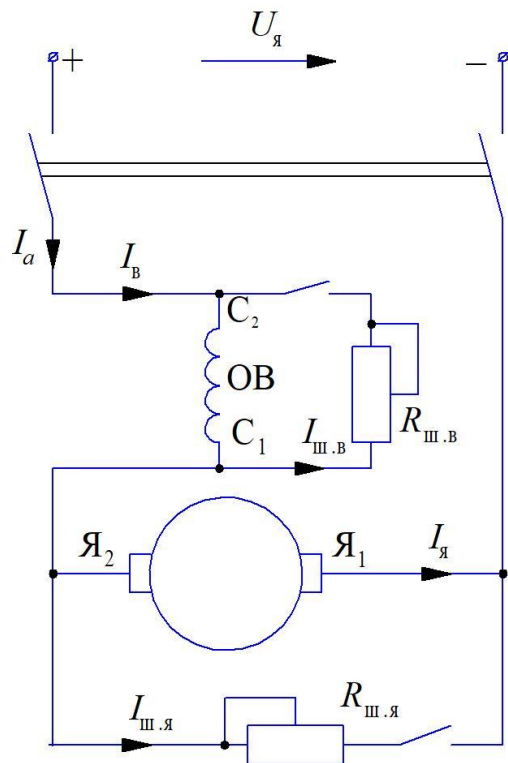


«Естественная» и «искусственные» механические характеристики ДПТ с параллельным возбуждением.

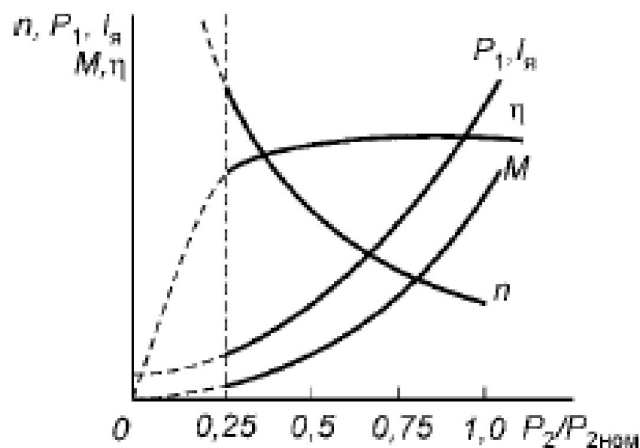


Характеристика холостого хода ДПТ с параллельным возбуждением.

Способы регулирования скорости ДПТ с последовательным возбуждением



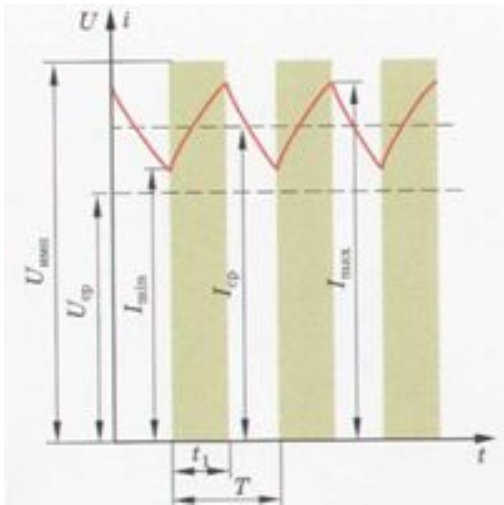
Регулирование скорости



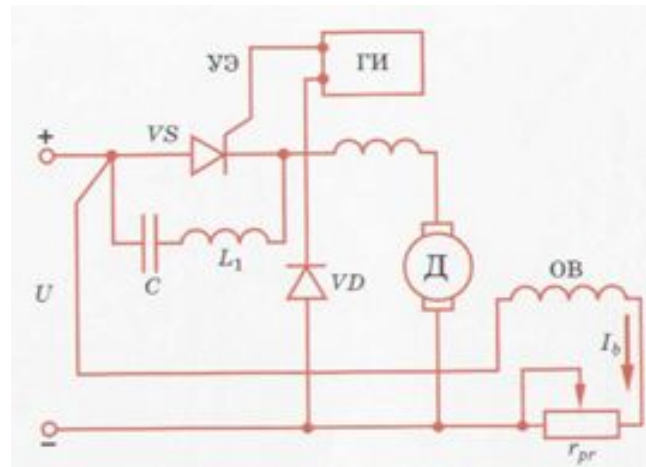
Рабочие характеристики

$$n = \frac{U_{\text{я}} - I_{\text{я}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{с}})}{C_e \cdot \Phi}$$

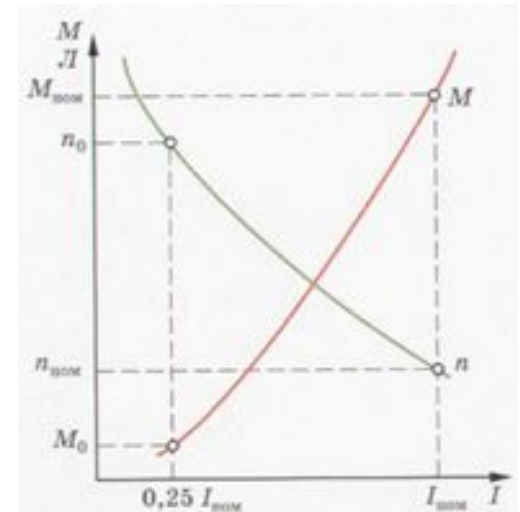
Управление ДПТ



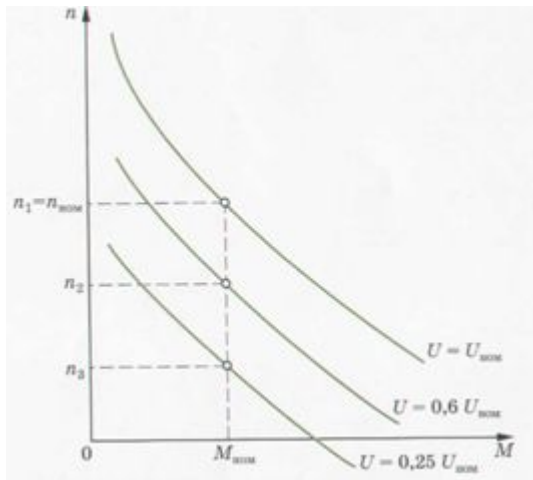
Импульсы напряжения и тока



Схемы управления

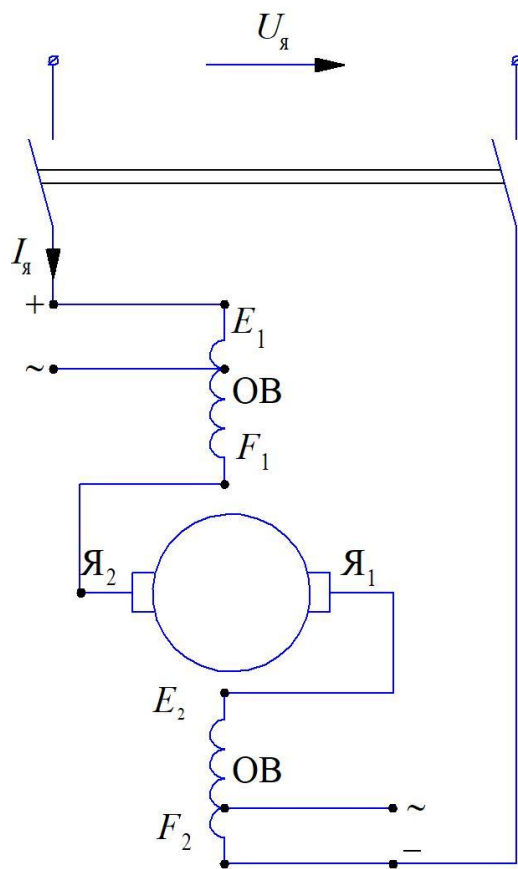


Рабочие характеристики



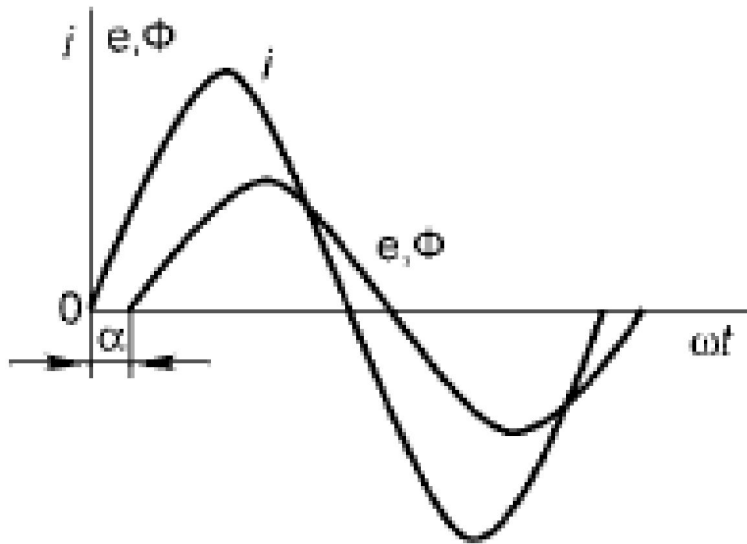
Механические характеристики

Универсальный коллекторный двигатель



Однофазный коллекторный двигатель

Основные уравнения



Ток якоря

$$i(t) = I_m \sin(\omega t)$$

Магнитодвижущая сила

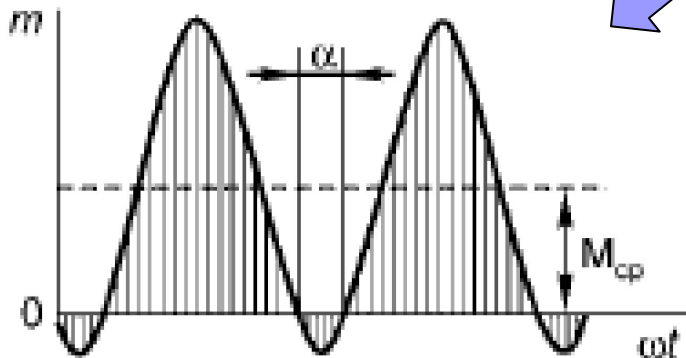
$$F(t) = w \cdot i(t) = w \cdot I_m \sin(\omega t)$$

Магнитный поток

$$\Phi(t) = \Phi_m \sin(\omega t - \alpha)$$

Вращающий момент

$$m(t) = C_M \cdot \Phi_m \sin(\omega t - \alpha) \cdot I_m \sin(\omega t)$$



$$M_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T C_M \cdot \Phi_m \sin(\omega t - \alpha) \cdot I_m \sin(\omega t) dt = C_M \cdot I \cdot \Phi_m \sin(\alpha)$$

$$\cos(\varphi) = 0,7 \div 0,95$$