

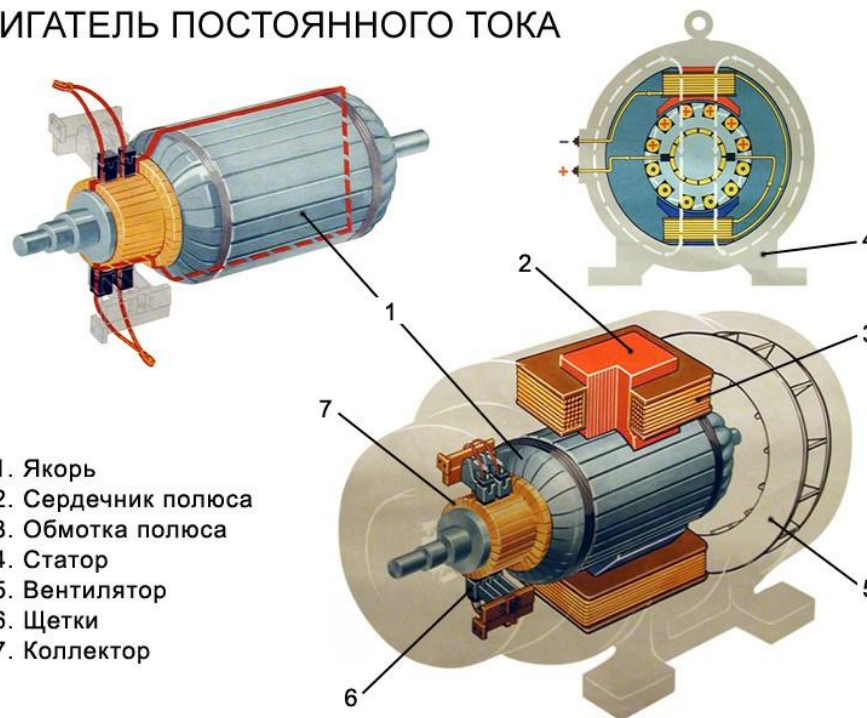
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

кафедра электротехники, О8

Лекция 12

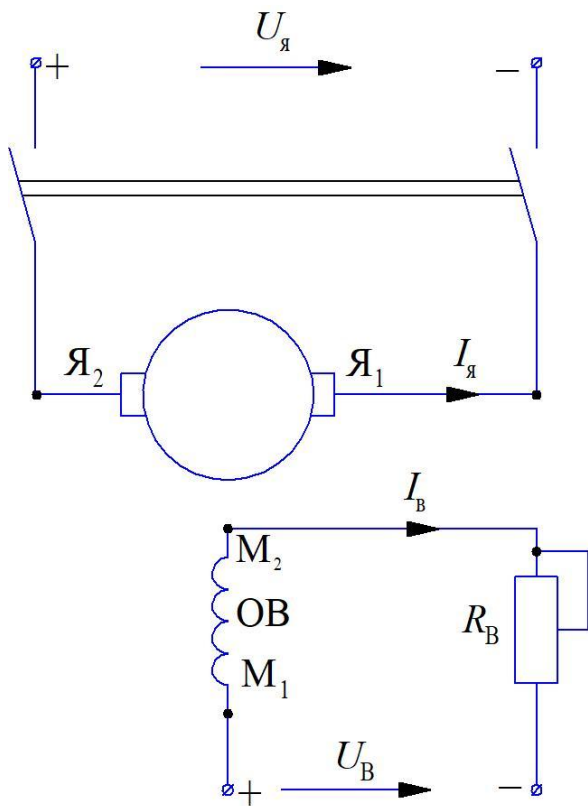
Электрические машины постоянного тока

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

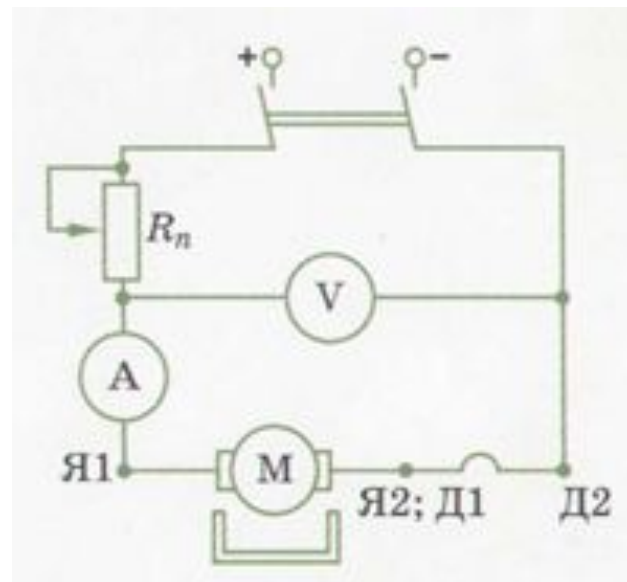


1. Якорь
2. Сердечник полюса
3. Обмотка полюса
4. Статор
5. Вентилятор
6. Щетки
7. Коллектор

Классификация двигателей постоянного тока

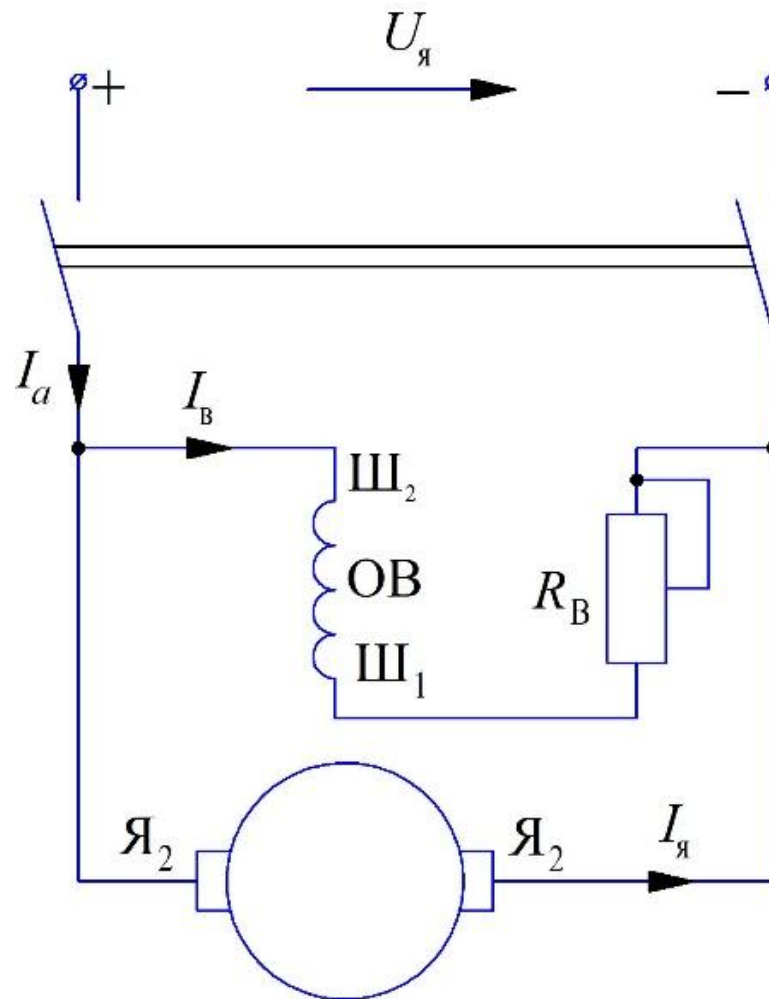


1. С независимым возбуждением



2. С постоянными магнитами

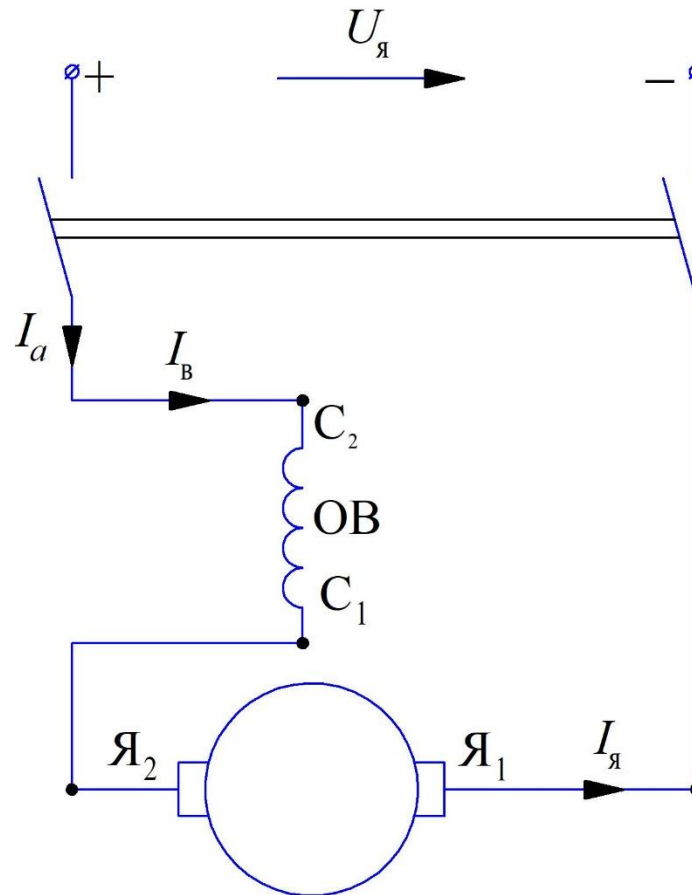
Классификация двигателей постоянного тока



$$I_a = I_{\text{я}} + I_{\text{В}}$$

2. Двигатель параллельным возбуждением

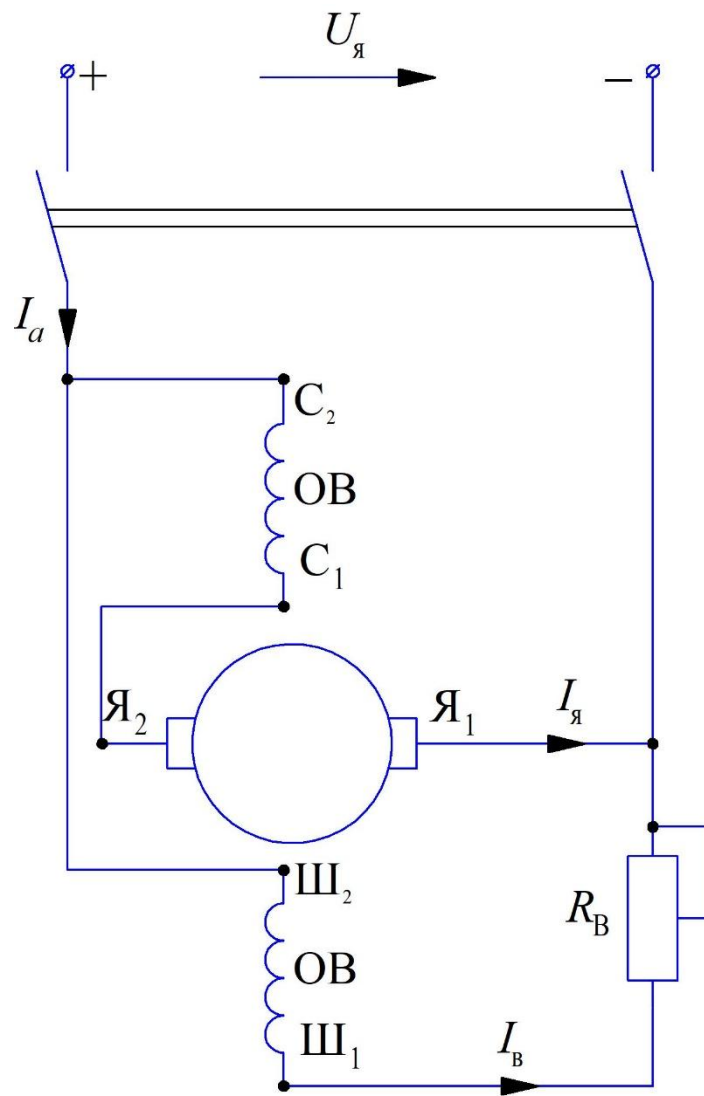
Классификация двигателей постоянного тока



$$I_a = I_{\text{я}} = I_{\text{В}}$$

3. Двигатель с последовательным возбуждением

Классификация двигателей постоянного тока



$$I_a = I_{\text{я}} + I_B$$

Двигатель со смешанным возбуждением

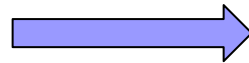
Рабочие и механические характеристики двигателей постоянного тока

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

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

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

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

Рабочие и механические характеристики двигателей постоянного тока

Полезная мощность на валу двигателя тоже зависит от момента на валу

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

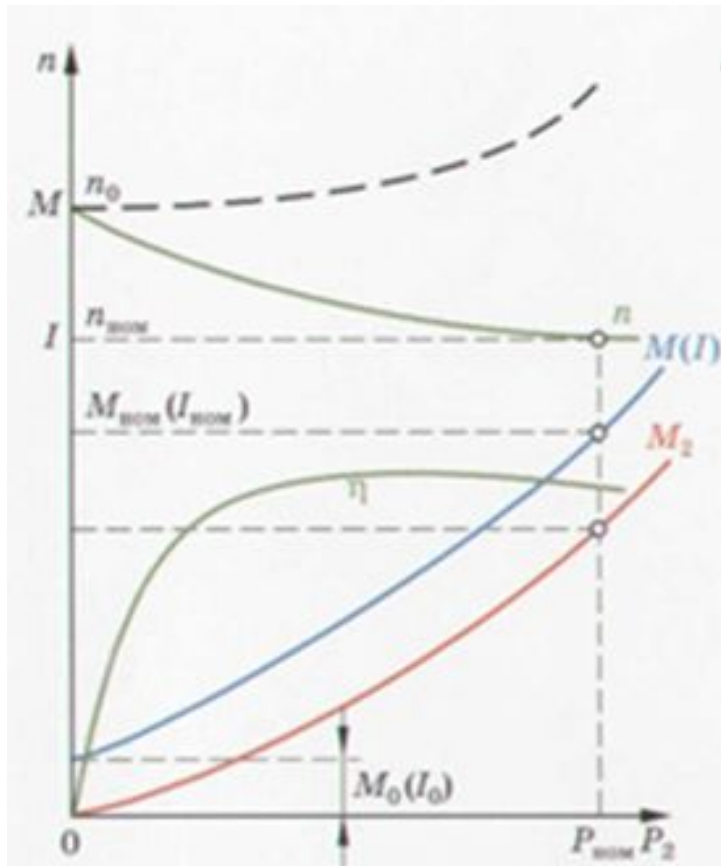


$$M = \frac{P_2}{2\pi \cdot f}$$

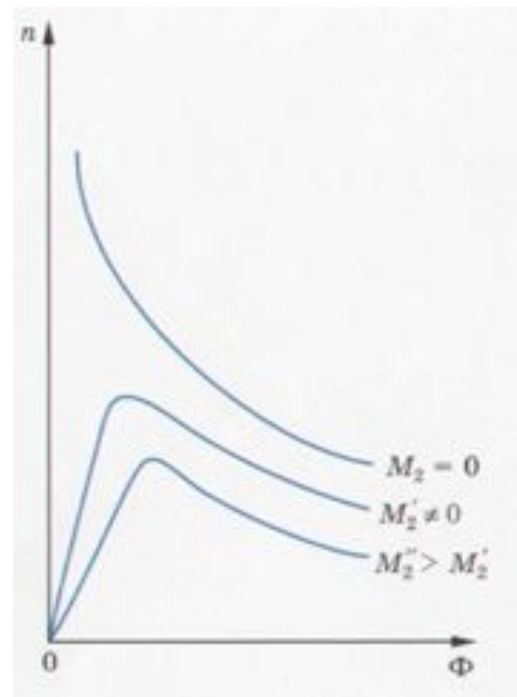
Из приведенных уравнений видно, что все рабочие характеристики зависят от момента на валу и магнитного потока.

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



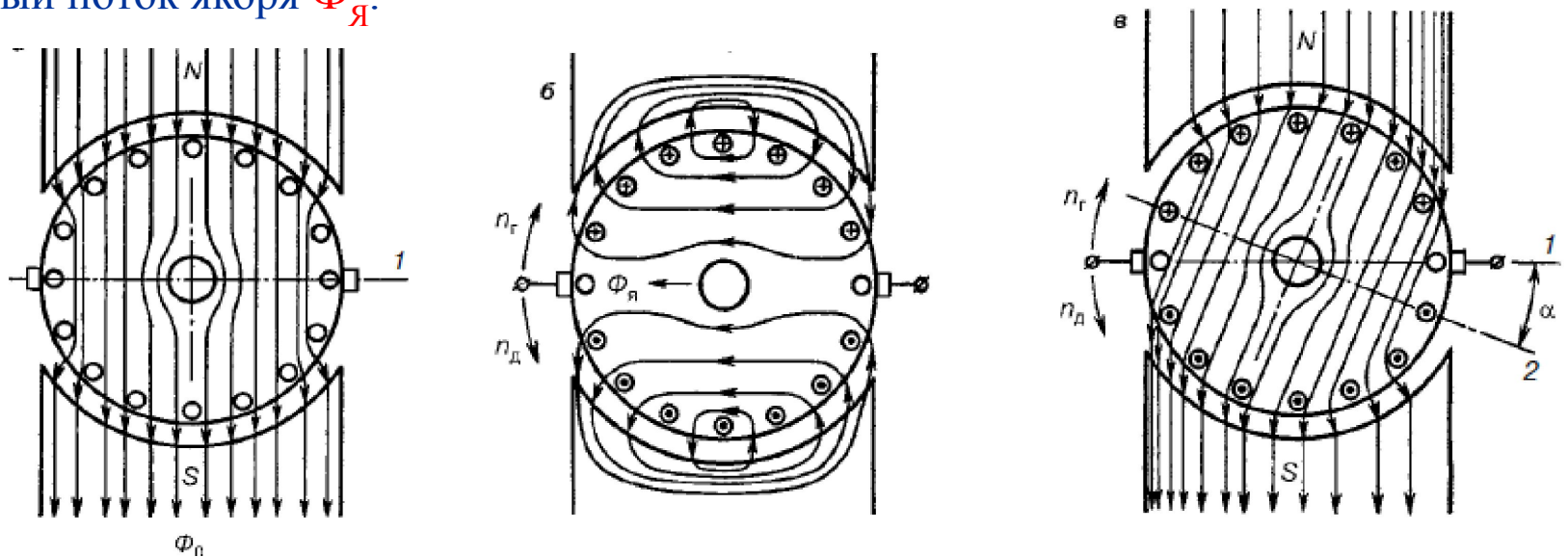
Регулировочные характеристики

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 неравномерной.

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

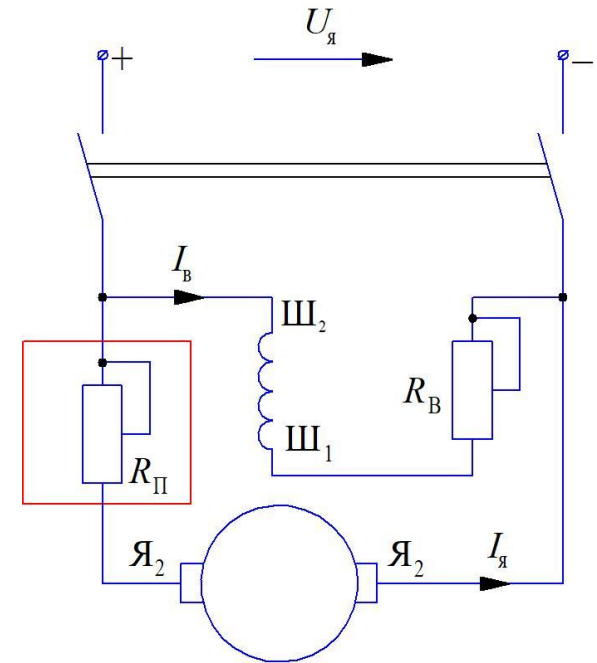
$$I_{\text{я.п}} = (1,5 \div 2,0) I_{\text{я.ном}}$$

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!



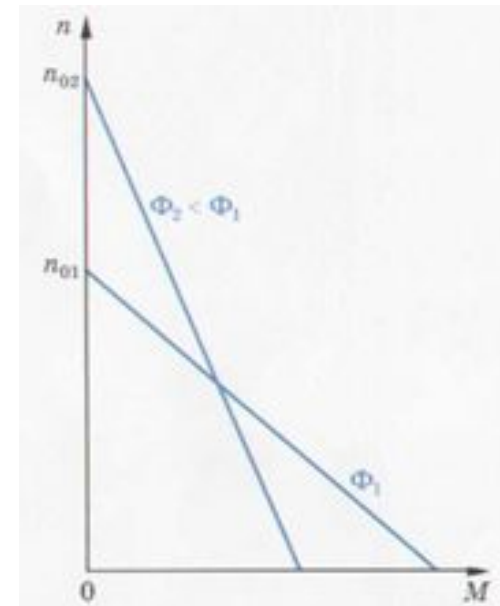
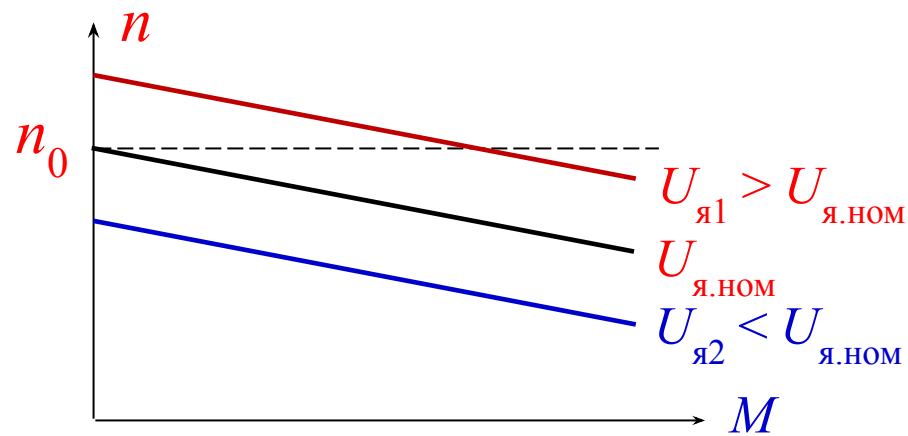
Способы регулирования скорости ДПТ

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

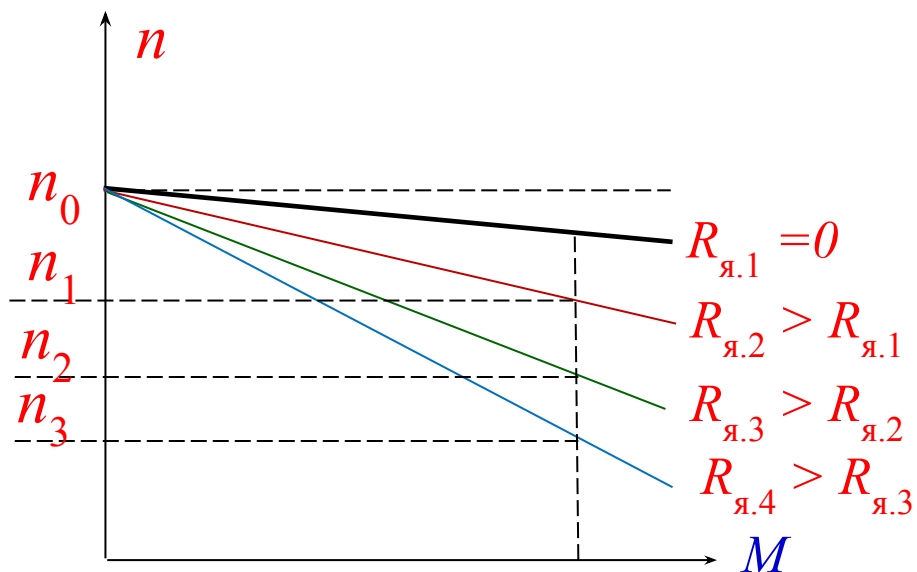
Скорость вращения зависит от напряжения питания $U_{\text{я}}$, тока якоря $I_{\text{я}}$ и магнитного потока Φ .

Существуют следующие способы:

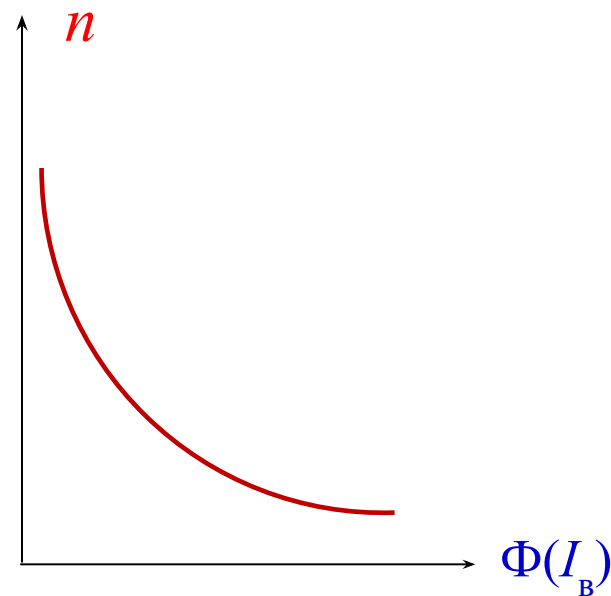
1. изменять напряжение питания $U_{\text{я}}$ при неизменном $R_{\text{я}}$ и магнитного потока Φ ;
2. изменять магнитный поток Φ при неизменном $U_{\text{я}}$ при неизменном $R_{\text{я}}$;
3. Изменять сопротивление $R_{\text{я}}$ при неизменном $U_{\text{я}}$ магнитного потока Φ .



Способы регулирования скорости ДПТ

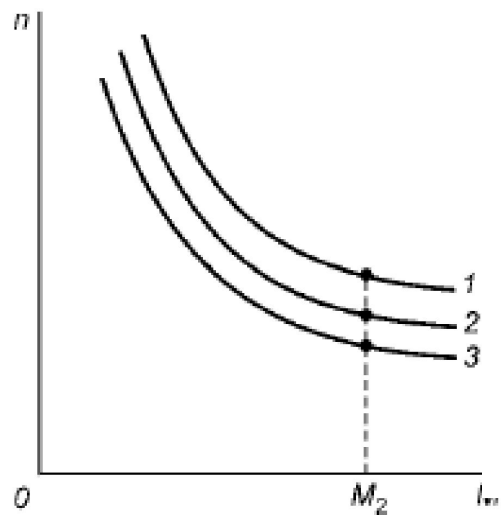
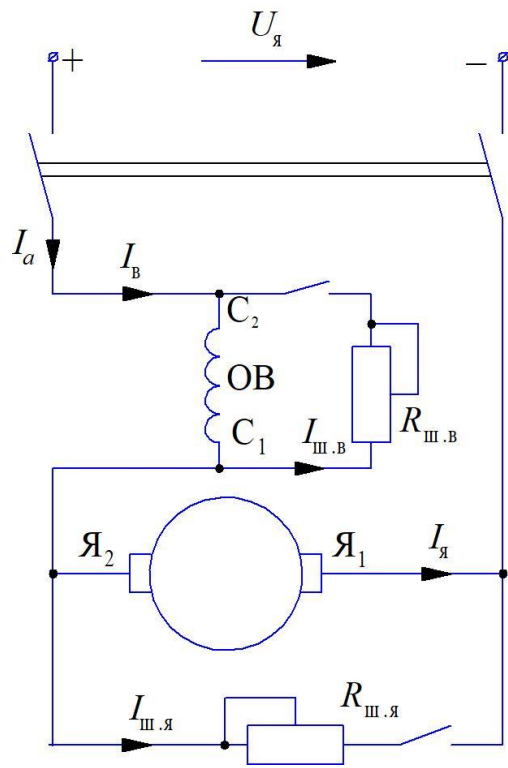


«Естественная» и «искусственные» механические характеристики ДПТ с параллельным возбуждением.

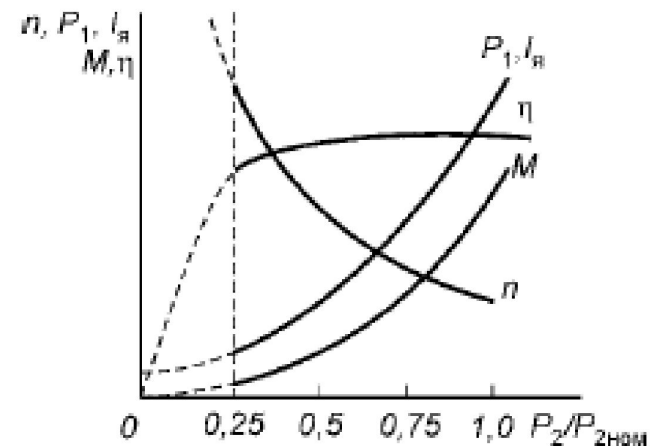


Характеристика холостого хода ДПТ с параллельным возбуждением.

Способы регулирования скорости ДПТ с последовательным возбуждением



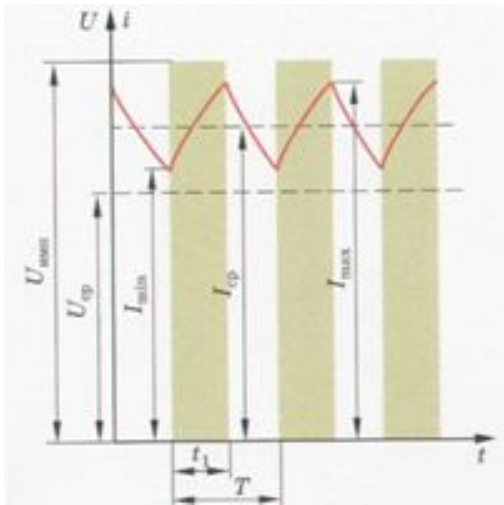
Регулирование скорости



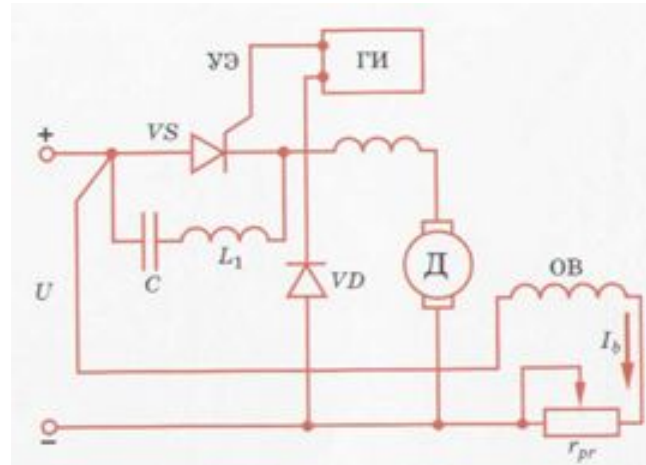
Рабочие характеристики

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

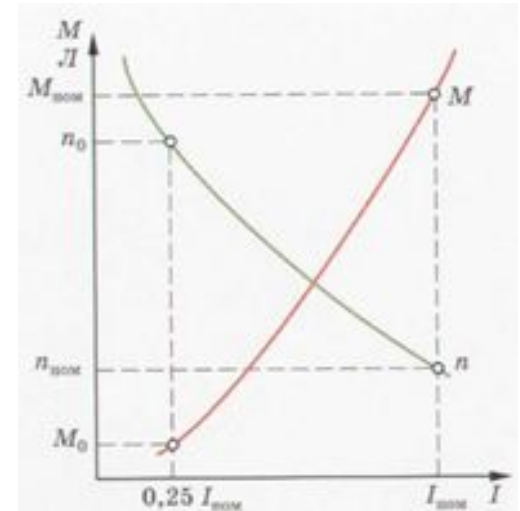
Управление ДПТ



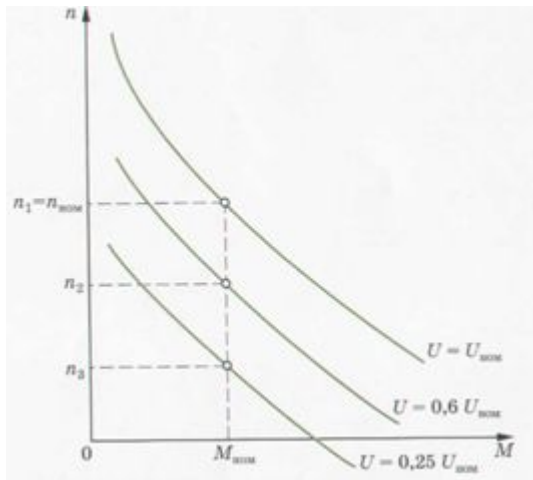
Импульсы напряжения и тока



Схемы управления

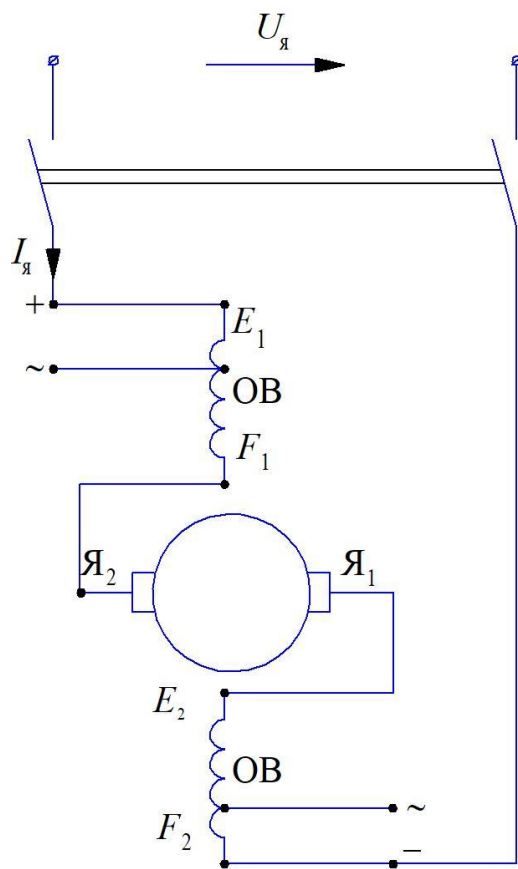


Рабочие характеристики



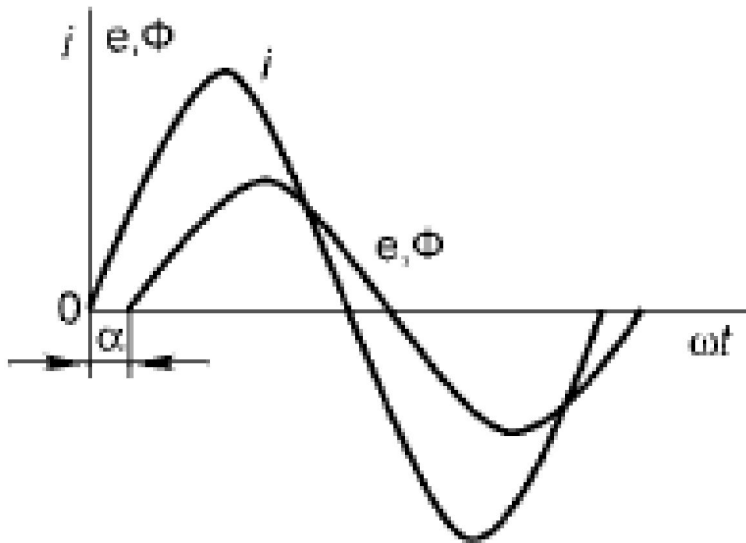
Механические характеристики

Универсальный коллекторный двигатель



Однофазный коллекторный двигатель

Основные уравнения



Ток якоря

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

Магнитодвижущая сила

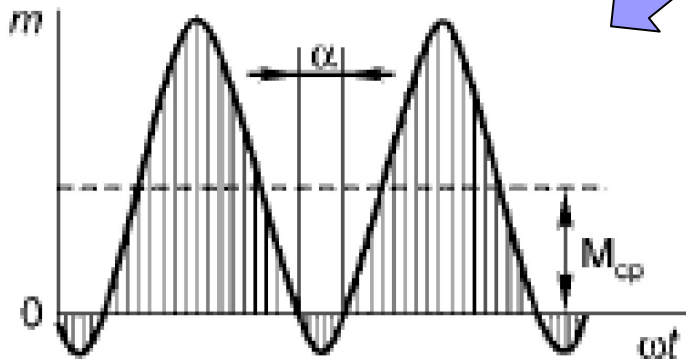
$$F(t) = w \cdot i(t) = w \cdot I_m \sin(\omega t)$$

Магнитный поток

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

Вращающий момент

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



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

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