

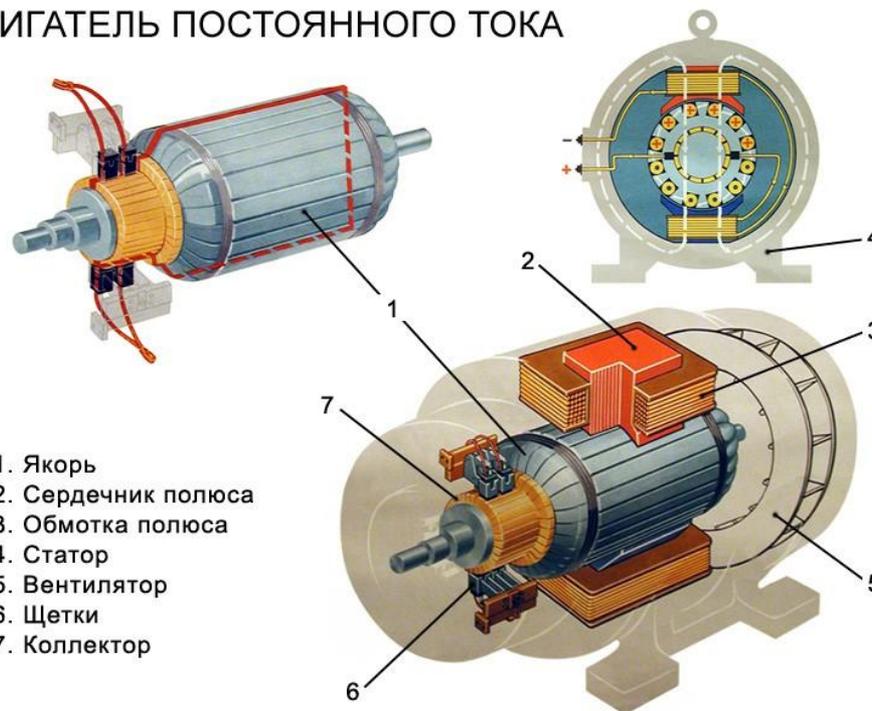
# БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

## кафедра электротехники, О8

### Лекция 12

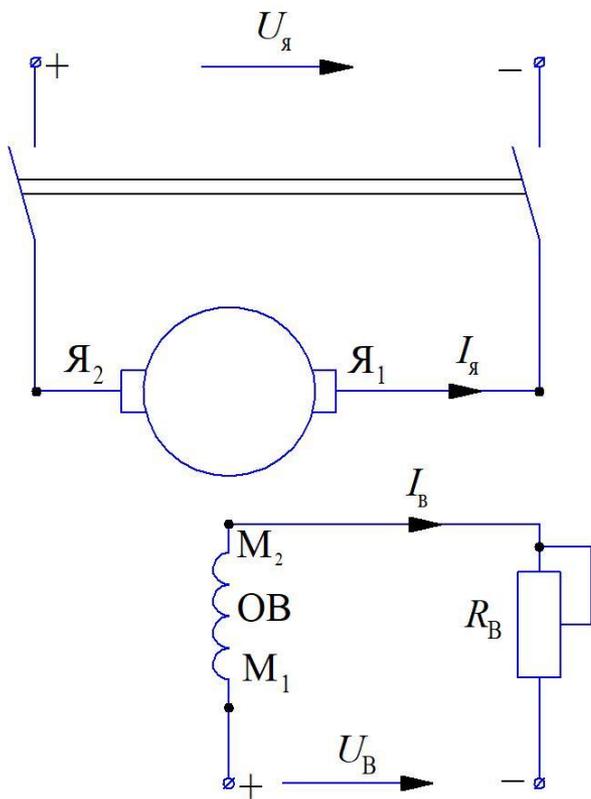
## Электрические машины постоянного тока

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

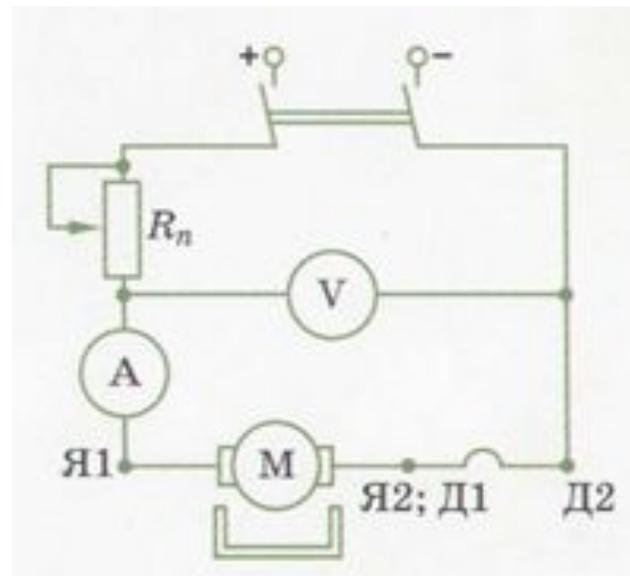


1. Якорь
2. Сердечник полюса
3. Обмотка полюса
4. Статор
5. Вентилятор
6. Щетки
7. Коллектор

## Классификация двигателей постоянного тока

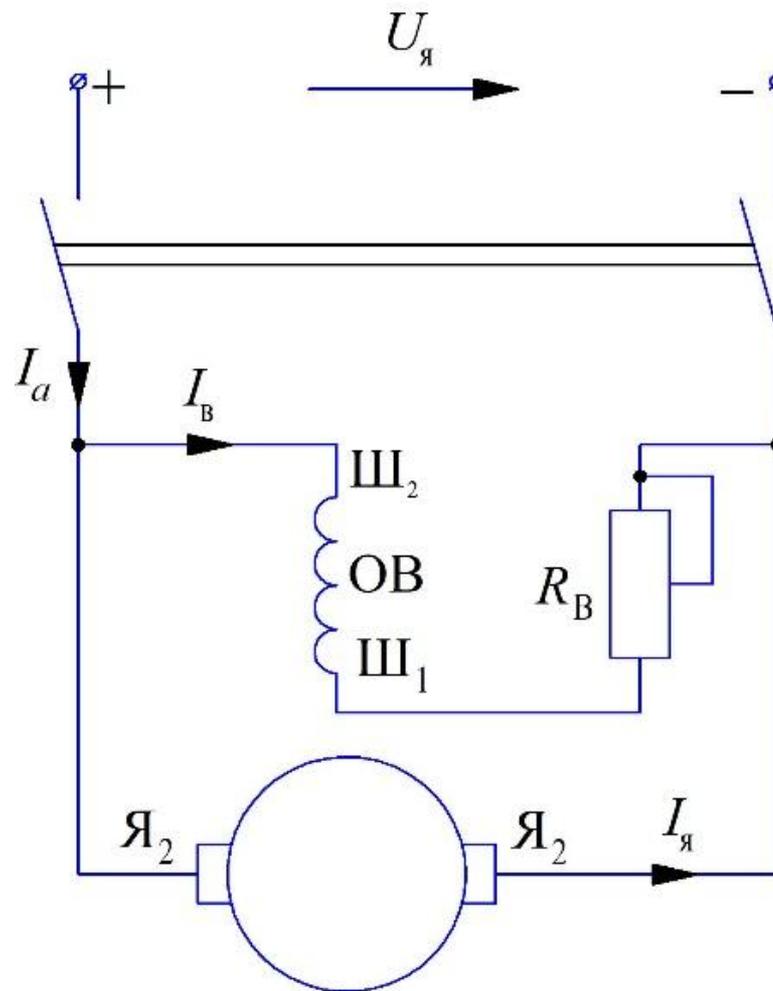


1. С независимым возбуждением



2. С постоянными магнитами

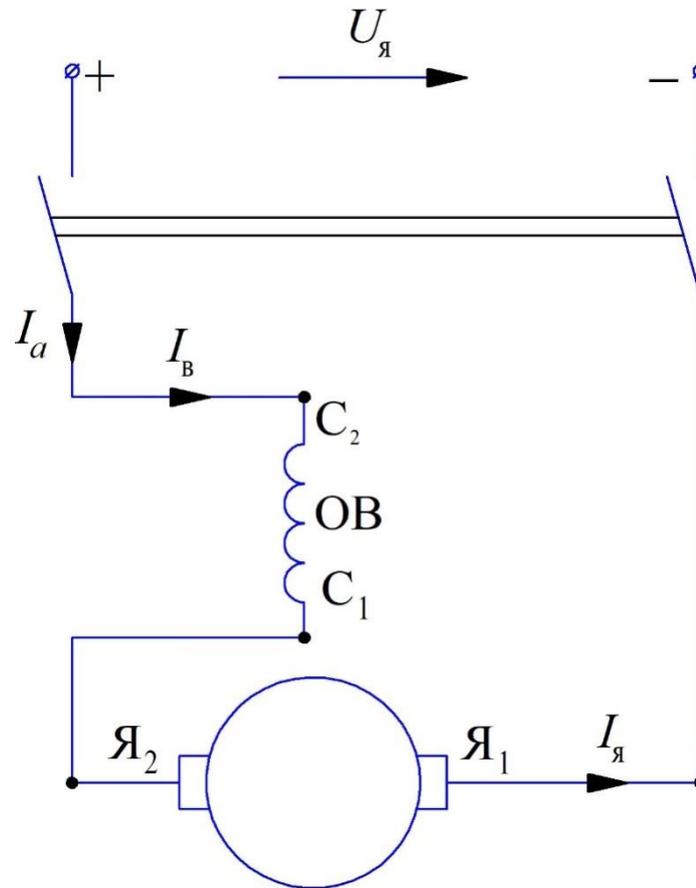
## Классификация двигателей постоянного тока



$$I_a = I_{\text{я}} + I_{\text{В}}$$

### 3. Двигатель параллельным возбуждением

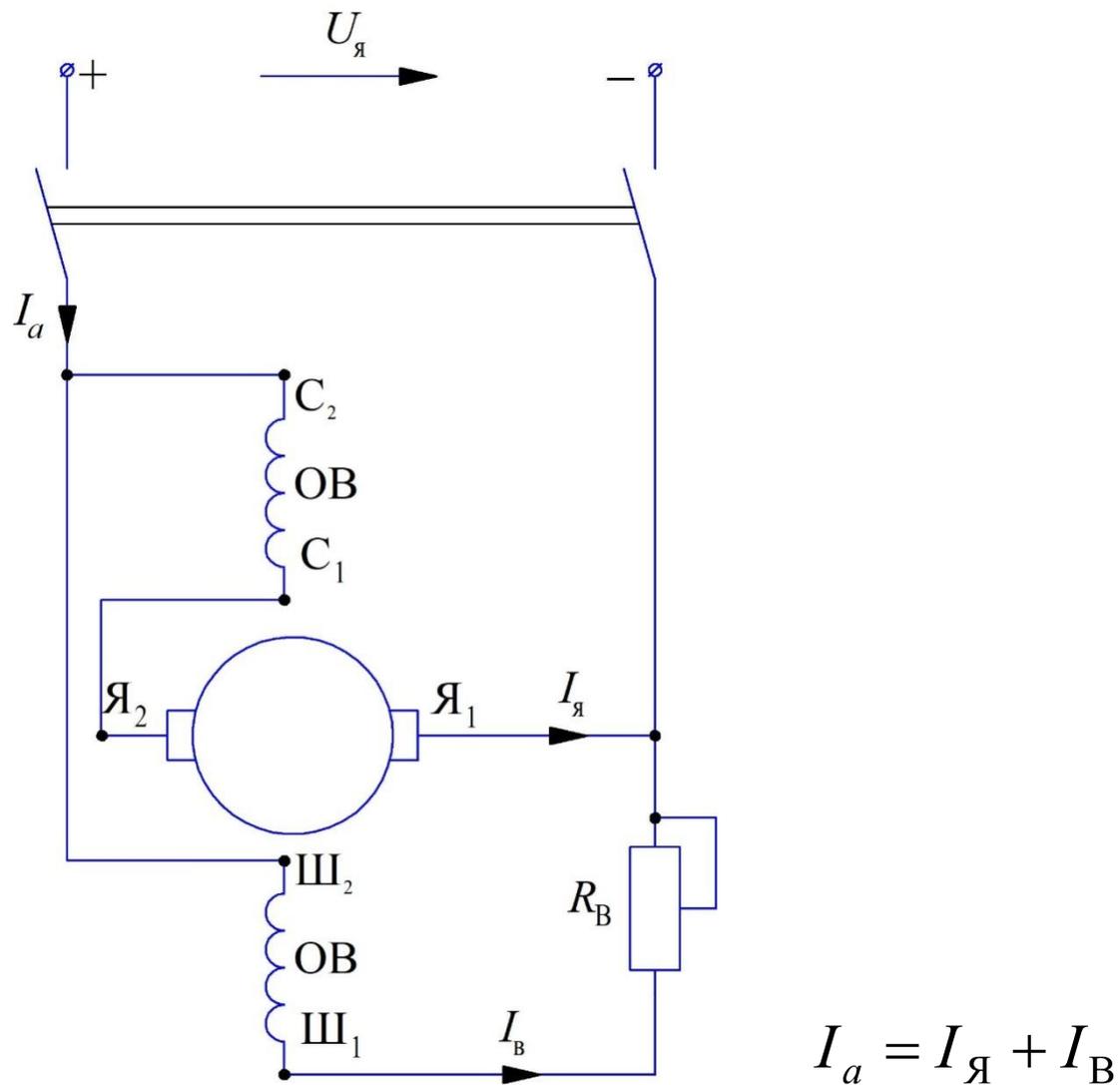
## Классификация двигателей постоянного тока



$$I_a = I_{\text{я}} = I_{\text{в}}$$

### 4. Двигатель с последовательным возбуждением

## Классификация двигателей постоянного тока



### 5. 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  $\eta$  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:

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

*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

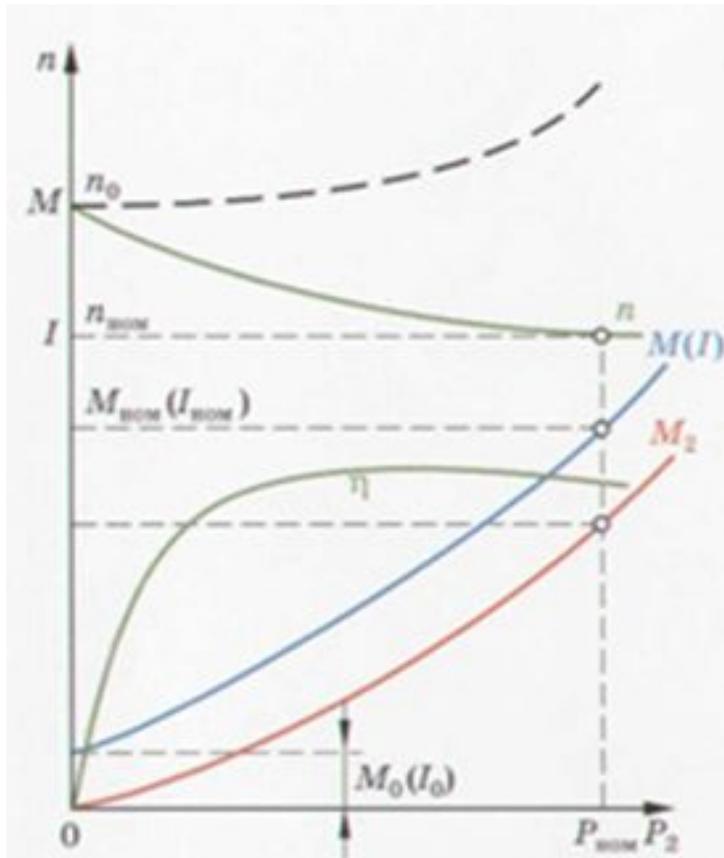
Полезная мощность на валу двигателя тоже зависит от момента на валу

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

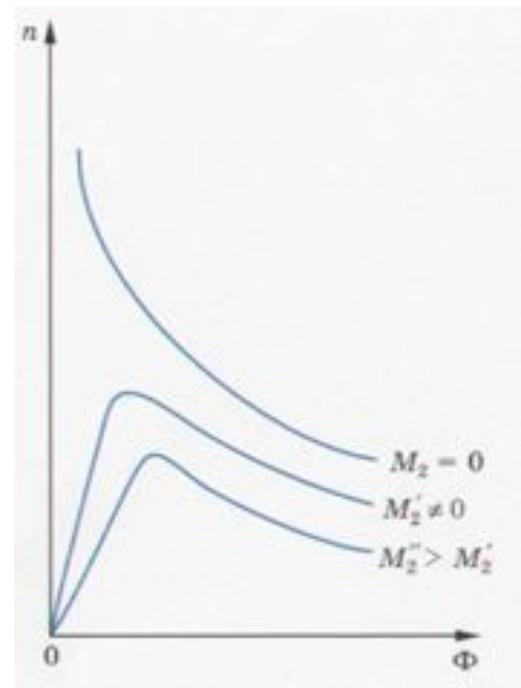
Из приведенных уравнений видно, что все рабочие характеристики зависят от момента на валу и магнитного потока.

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



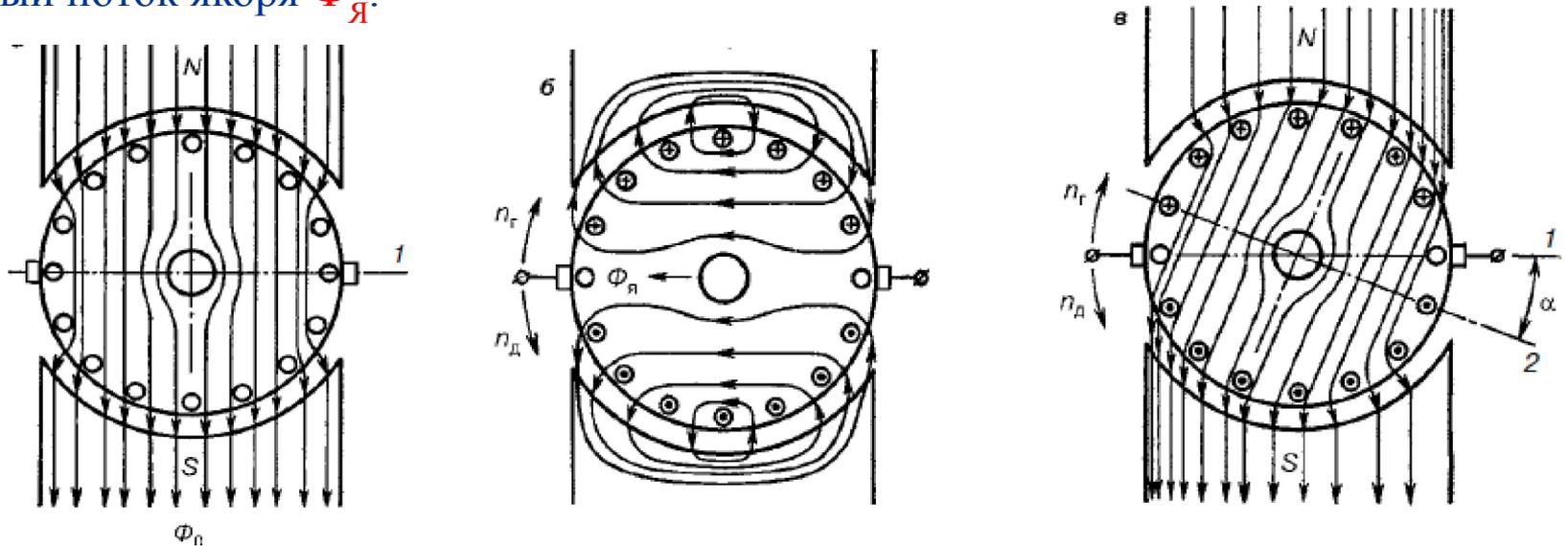
Регулировочные характеристики

## Реакция якоря

В режиме холостого хода магнитный поток  $\Phi_0$  симметричный относительно осевой линии машины.

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

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



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

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

Линия проходящая через центр якоря и точки где магнитная индукция равна нулю называется **физической нейтралью**. 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  $R_{\text{п}}$  выбирается таким образом, чтобы

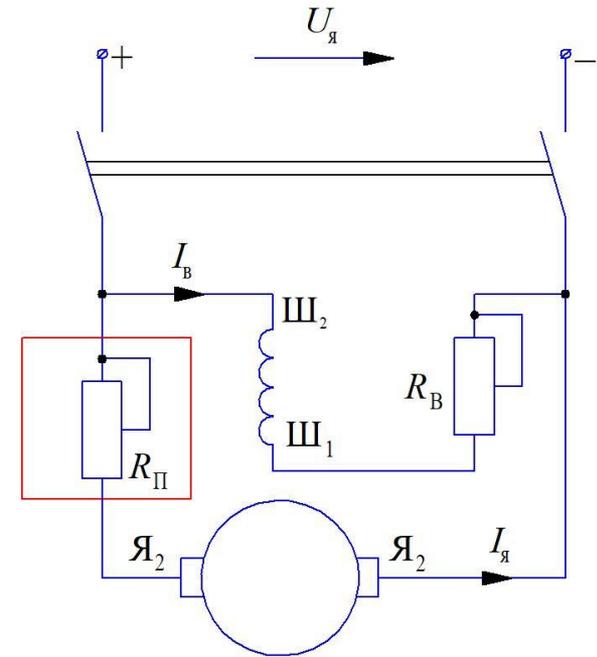
$$I_{\text{я.п}} = (1,5 \div 2,0) I_{\text{я.ном}}$$

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  $\Phi_0$  максимальный!



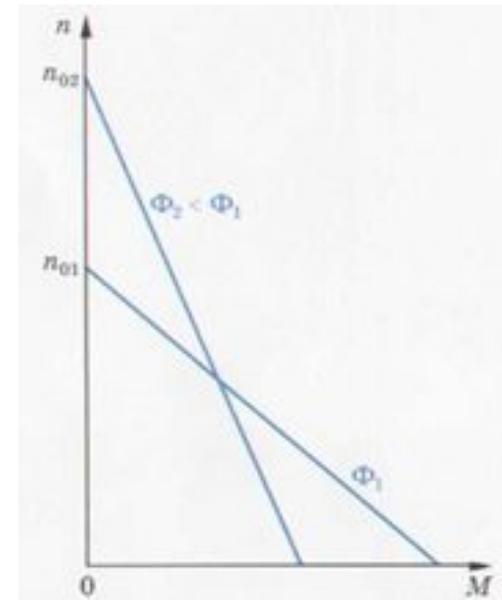
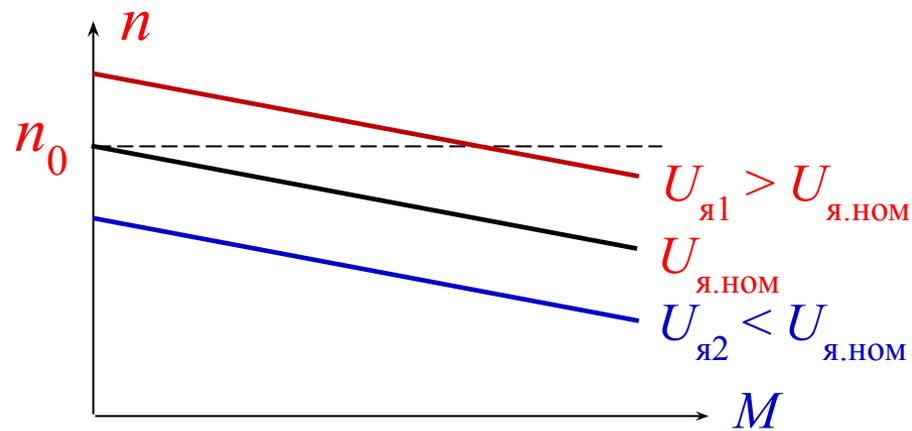
# Способы регулирования скорости ДПТ

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

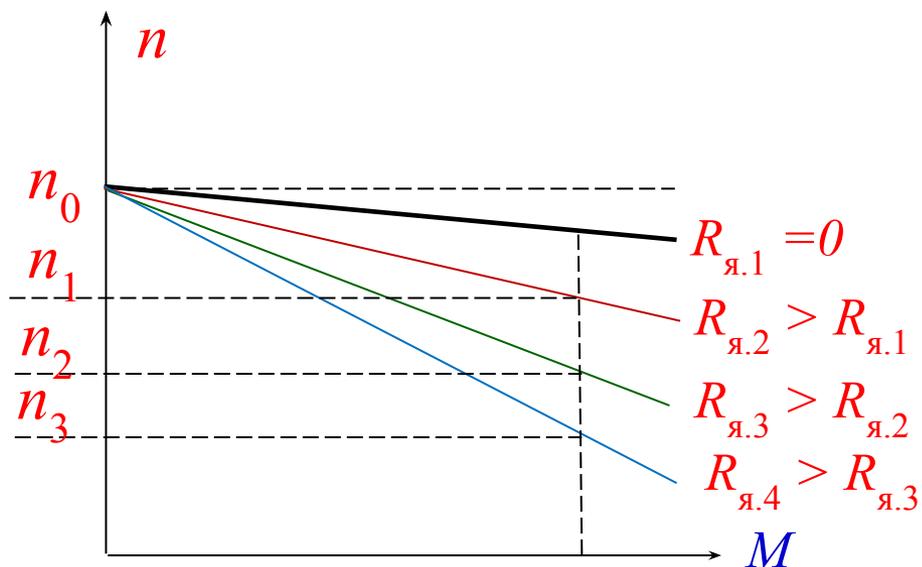
Скорость вращения зависит от напряжения питания  $U_{\text{я}}$ , тока якоря  $I_{\text{я}}$  и магнитного потока  $\Phi$ .

Существуют следующие способы:

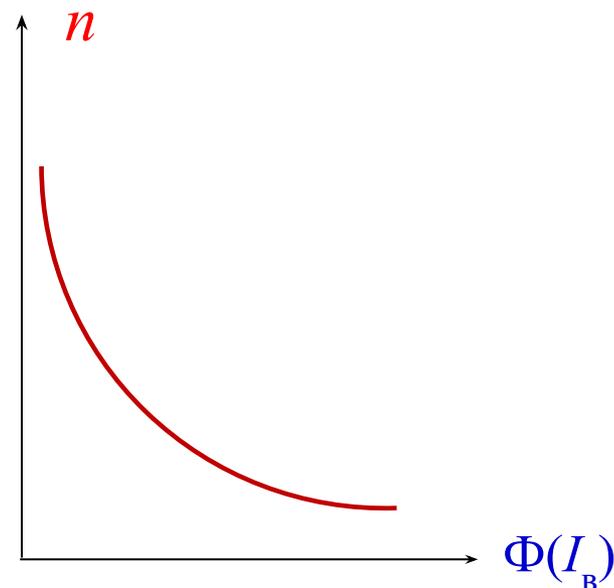
1. изменять напряжение питания  $U_{\text{я}}$  при неизменном  $R_{\text{я}}$  и магнитного потока  $\Phi$ ;
2. изменять магнитный поток  $\Phi$  при неизменном  $U_{\text{я}}$  при неизменном  $R_{\text{я}}$ ;
3. Изменять сопротивление  $R_{\text{я}}$  при неизменном  $U_{\text{я}}$  магнитного потока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



# Способы регулирования скорости ДПТ

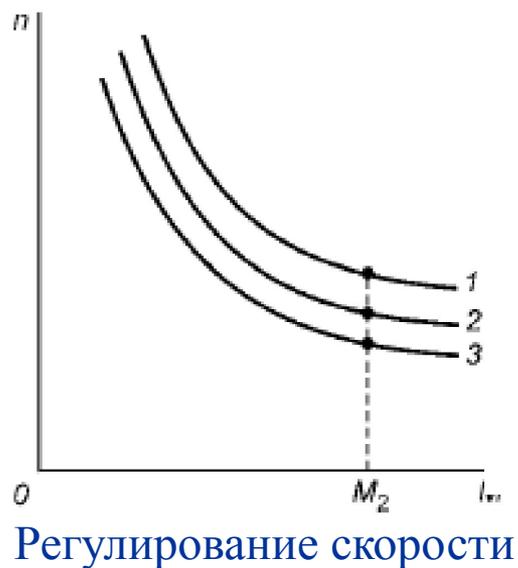
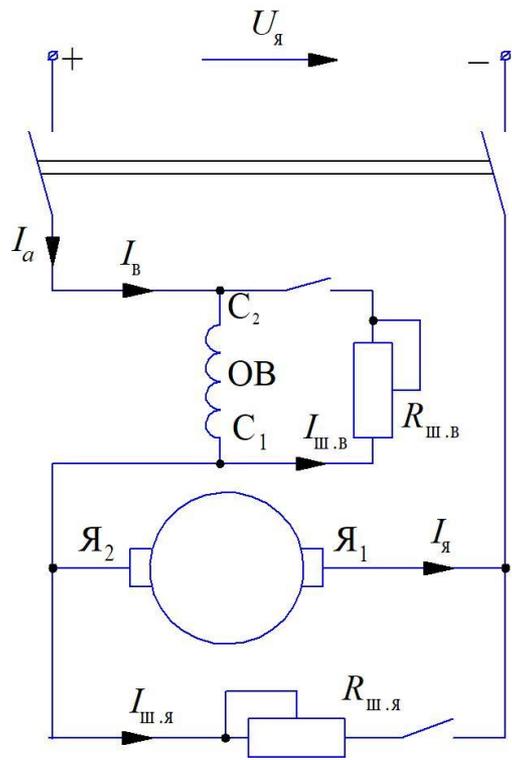


«Естественная» и «искусственные» механические характеристики ДПТ с параллельным возбуждением.

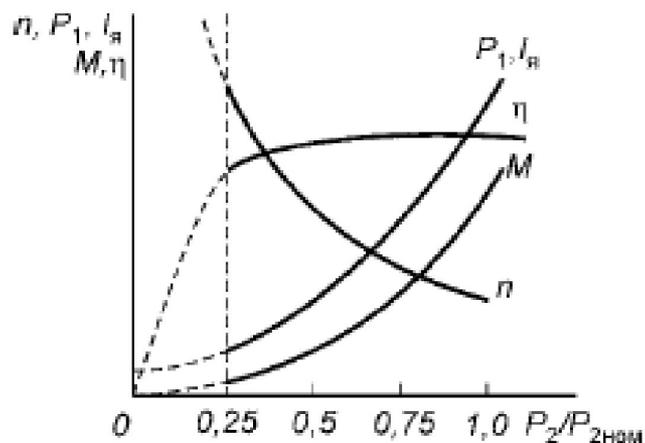


Характеристика холостого хода ДПТ с параллельным возбуждением.

# Способы регулирования скорости ДПТ с последовательным возбуждением



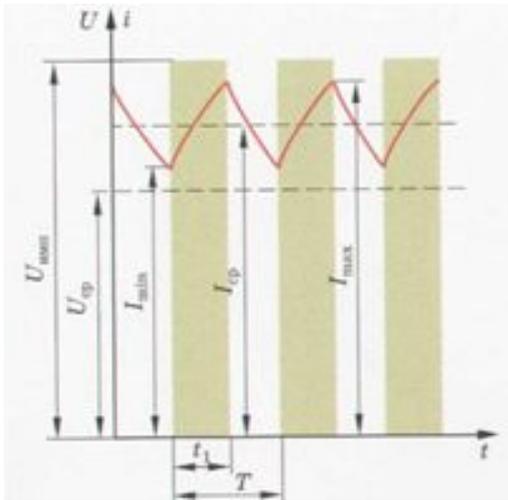
Регулирование скорости



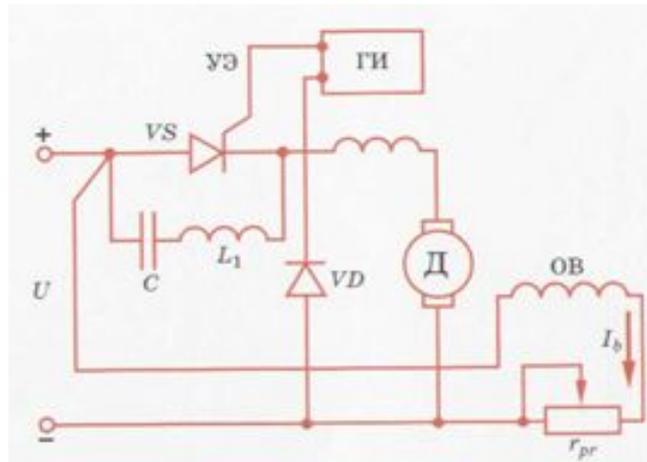
Рабочие характеристики

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

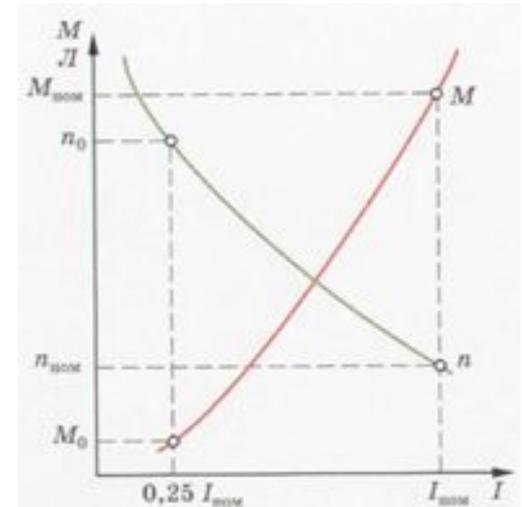
# Управление ДПТ



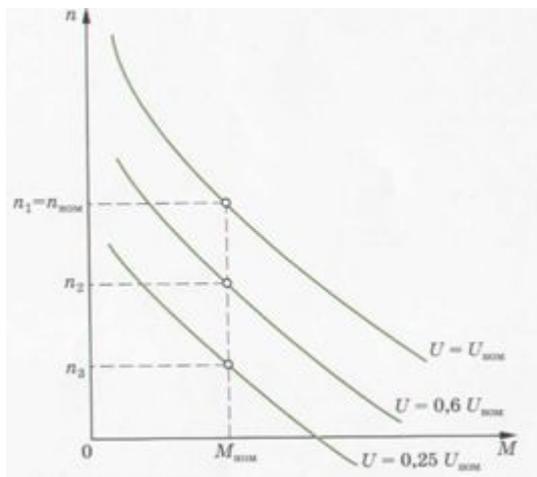
Импульсы напряжения и тока



Схемы управления

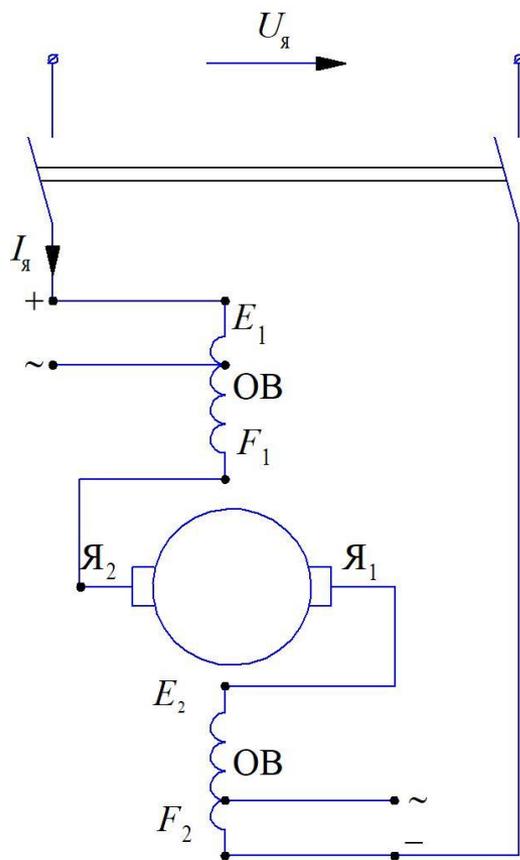


Рабочие характеристики



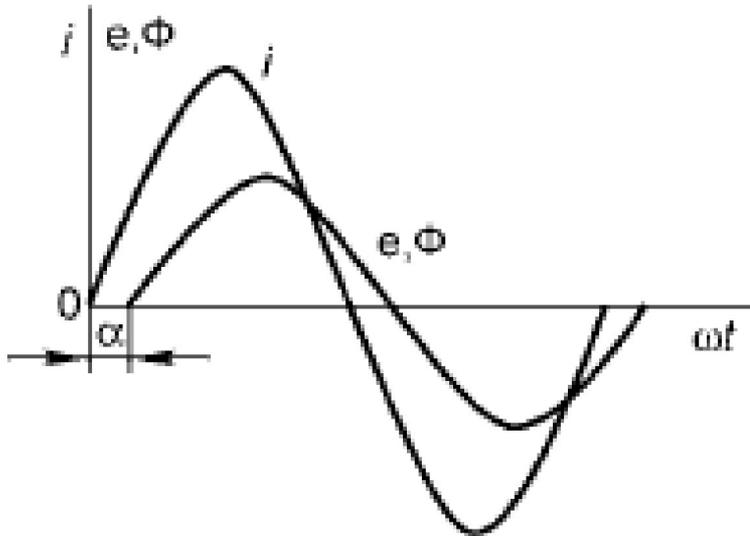
Механические характеристики

# Универсальный коллекторный двигатель



Однофазный коллекторный двигатель

## Основные уравнения



Ток якоря

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

Магнитодвижущая сила

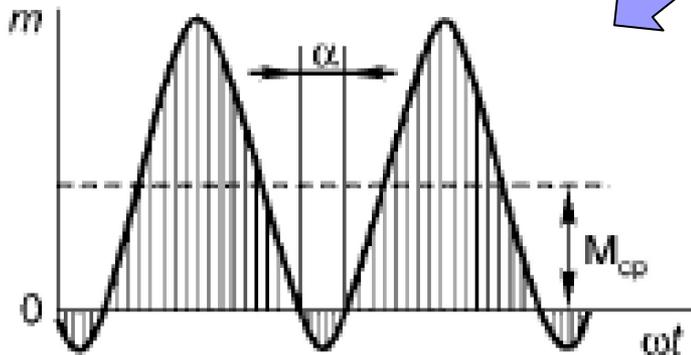
$$F(t) = w \cdot i(t) = w \cdot I_m \sin(\omega t)$$

Магнитный поток

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

Вращающий момент

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



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

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