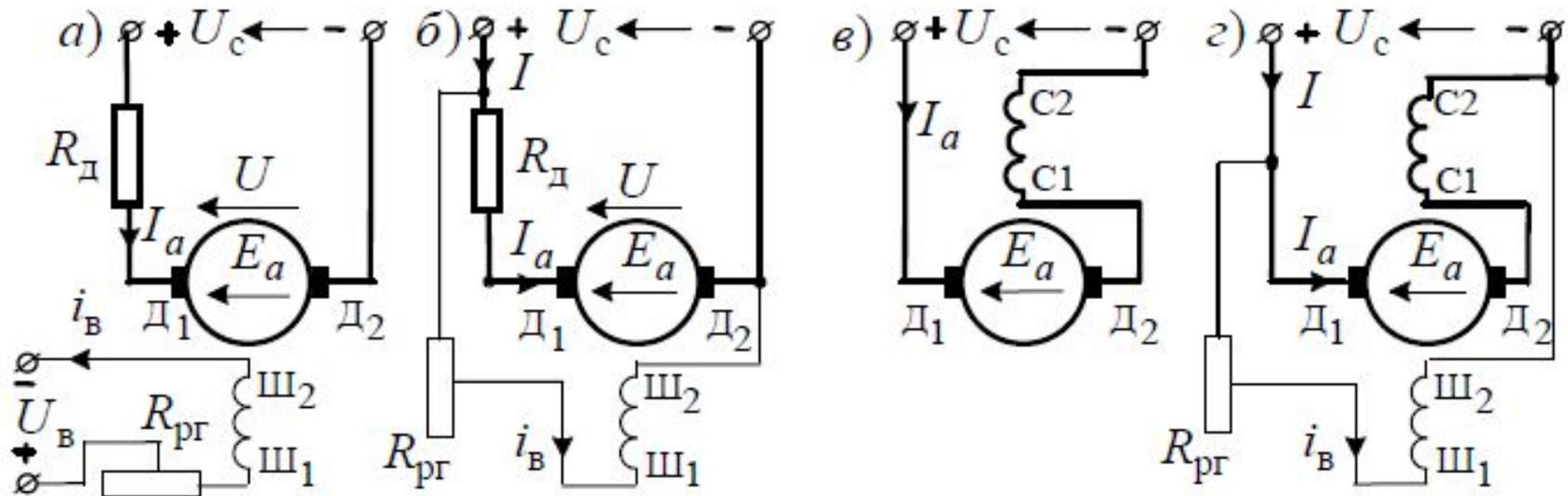


ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

По способу возбуждения ДПТ подразделяются на:

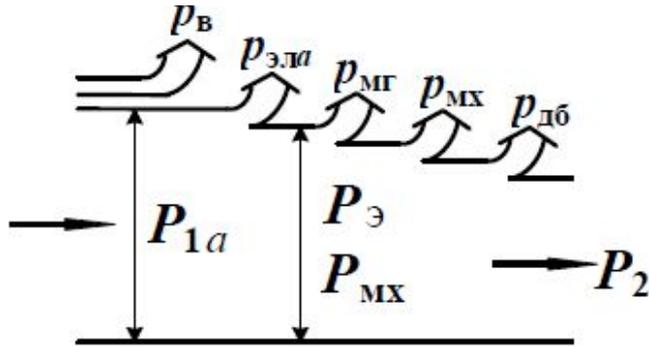
- Двигатели с независимым возбуждением.
- Двигатели с параллельным возбуждением.
- Двигатели с последовательным возбуждением.
- Двигатели со смешанным возбуждением



Уравнение мощностей ДПТ (независимое возбуждение)

Мощность P_{1a} подводится к цепи обмотки якоря, и расходуется согласно диаграмме и уравнению мощности

$$P_{1a} = P_2 + (P_{\text{мх}} + P_{\text{мг}} + P_{\text{доб}}) + P_{\text{эла}} = P_3 + P_{\text{эла}} = P_{\text{мех}} + P_{\text{эла}}$$



Энергетическая диаграмма

Мощность цепи возбуждения

$$P_{\text{в}} = U_{\text{в}} i_{\text{в}}$$

При наличии добавочного сопротивления в цепи якоря:

$$P_{1a} = U_c I_a = E_a I_a + I_a^2 (R_a + R_{\text{д}}) = P_3 + P'_{\text{эла}} \quad P'_{\text{эла}} \text{ - электрические потери в цепи якоря с учётом потерь в добавочном сопротивлении}$$

$$P_3 = E_a I_a \text{ - Электромагнитная мощность (как в генераторе)}$$

КПД двигателя независимого возбуждения

$$\Sigma p = P_{\text{мх}} + P_{\text{мг}} + P_{\text{доб}} + P'_{\text{эла}} + P_{\text{в}}$$

$$\eta_{\text{д}} = \frac{P_2}{P_{1a} + P_{\text{в}}} = \frac{(P_{1a} + P_{\text{в}}) - \Sigma p}{P_{1a} + P_{\text{в}}} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_{1a} + P_{\text{в}}} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1}$$

КПД двигателя параллельного возбуждения

$$\eta_{\text{д}} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_{1a} + P_{\text{в}}} = 1 - \frac{\Sigma p}{U_c (I_a + i_s)} = 1 - \frac{\Sigma p}{U_c I} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1}$$

$$P_1 = U_c I$$

Уравнение напряжения двигателя

Уравнение напряжения цепи якоря двигателя

$$U = E_a + I_a R_a$$

ЭДС якорной обмотки ДПТ *меньше* приложенного напряжения и направлена *против* тока якоря

В уравнении присутствует не сама ЭДС, а составляющая напряжения, уравнивающая эту ЭДС

Если в *цепи якоря* имеется добавочное сопротивление, то

$$U_c = U + I_a R_d = E_a + I_a (R_a + R_d).$$

Уравнение моментов

двигателя

$$P_2 = P_{\text{МХ}} - p_{\text{МГ}} - p_{\text{МХ}} - p_{\text{Д}}$$

$$M_{\text{ЭМ}} = \frac{P_{\text{МХ}}}{\Omega}$$

$$M_0 = \frac{p_{\text{МГ}} + p_{\text{МХ}} + p_{\text{Д}}}{\Omega}$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\Omega}$$

Электромагнитный
момент

Момент
на валу

В статическом
режиме

$$M_{\text{ЭМ}} = M_2 + M_0 = M_{\text{СТ}}$$

В переходном режиме

$$M_{\text{ЭМ}} = J \frac{d\Omega}{dt} + M_2 + M_0 = M_{\text{ДИН}} + M_{\text{СТ}}$$

Уравнение скоростной характеристики $n = f(I_a)$

$$U = E_a + R_a I_a.$$

$$I_a = \frac{U - E_a}{R_a}, \quad E_a = c_e \Phi_\delta n.$$

$$n = \frac{U - R_a I_a}{c_e \Phi_\delta}, \quad M = c_m \Phi_\delta I_a.$$

Уравнение механической характеристики

$$n = f(M)$$

$$n = \frac{U}{c_e \Phi_\delta} - \frac{R_a M}{c_e c_m \Phi_\delta^2}$$

Пуск двигателя постоянного тока

Способы пуска

1. Прямой пуск двигателя
2. Пуск посредством реостата
3. Пуск при пониженном напряжении

Оценка способов пуска

1. Значение пускового тока
2. Величина пускового момента
3. Оценка времени пуска
4. Оценка затрат энергии
5. Оценка стоимости и надежности пускового оборудования

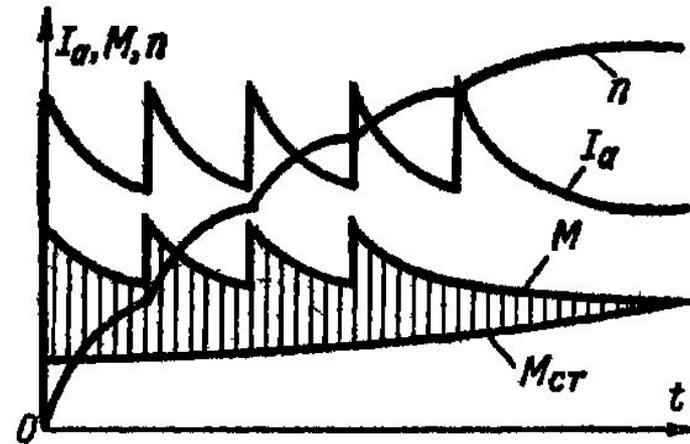
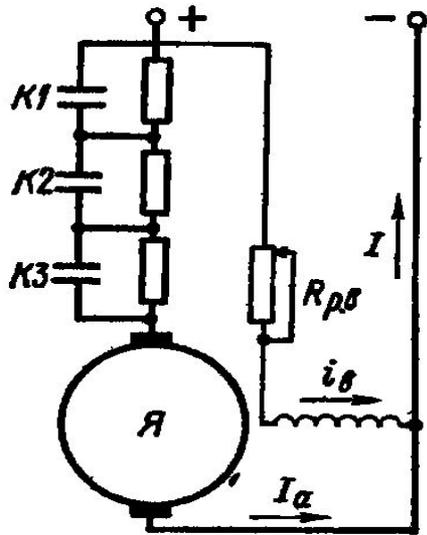
Прямой пуск

При $n=0$ также $E_a=0$ и следовательно $I_a = \frac{U_a}{R_a}$

Пуск с помощью пускового реостата

$$I_a = \frac{U - E_a}{R_a + R_{\text{п}}},$$

в начальный момент пуска, при $n = 0$, $I_a = \frac{U}{R_a + R_{\text{п}}},$



Зависимость тока, момента и частоты вращения при пуске двигателя постоянного тока с помощью пускового реостата

$$M_{\text{ЭМ}} = J \frac{d\Omega}{dt} + M_2 + M_0 = M_{\text{дин}} + M_{\text{ст}}$$

$$M_{\text{дин}} = M - M_{\text{ст}}$$

$$I_a = \frac{U}{R_a + R_{\text{п}}}$$

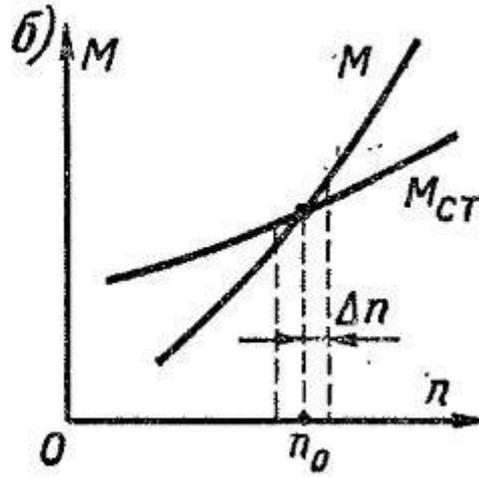
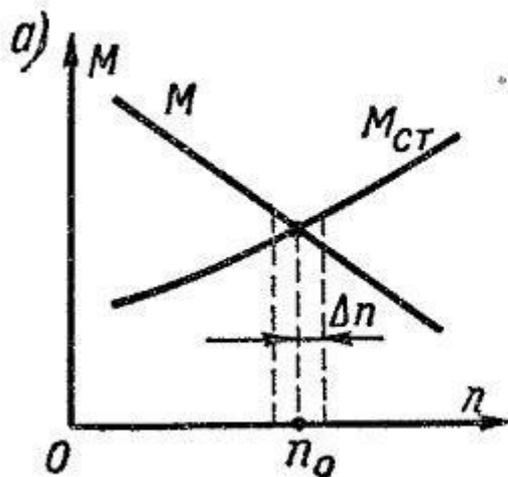
$$I_a = \frac{U - E_a}{R_a + R_{\text{п}}}$$

$$n = \frac{U - R_a I_a}{c_e \Phi_0}$$

Устойчивость работы двигателей

Критерий
устойчивости

$$\frac{dM}{dn} < \frac{dM_{ст}}{dn}$$



Двигатель
работает
неустойчиво

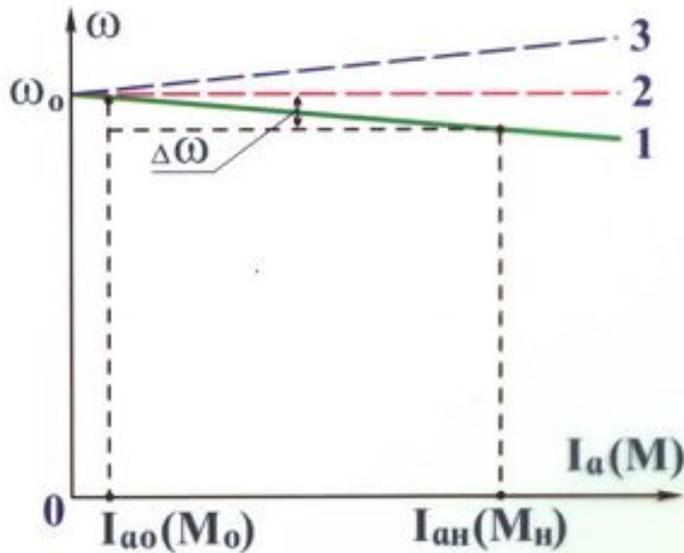
$$\frac{dM}{dn} > \frac{dM_{ст}}{dn}$$

$$M_{дин} = M - M_{ст}$$

$$M_{дин} = J \frac{d\Omega}{dt}$$

$$\Omega = 2\pi n$$

Характеристики двигателей параллельного возбуждения



Естественные скоростные и механические характеристики

$$U = const \quad i_e = const$$

Уравнение скоростной характеристики

$$n = \frac{U_a - I_a R_a}{C_E \Phi_\delta}$$

Уравнение механической характеристики

$$M = C_M \Phi_\delta I_a \quad n = \frac{U_a}{C_E \Phi_\delta} - \frac{M R_a}{C_M C_E \Phi_\delta^2}$$

Относительное изменение частоты вращения

$$\Delta n = \frac{n_0 - n_H}{n_H} 100\% = 2 - 8\%$$

Стабилизирующая обмотка

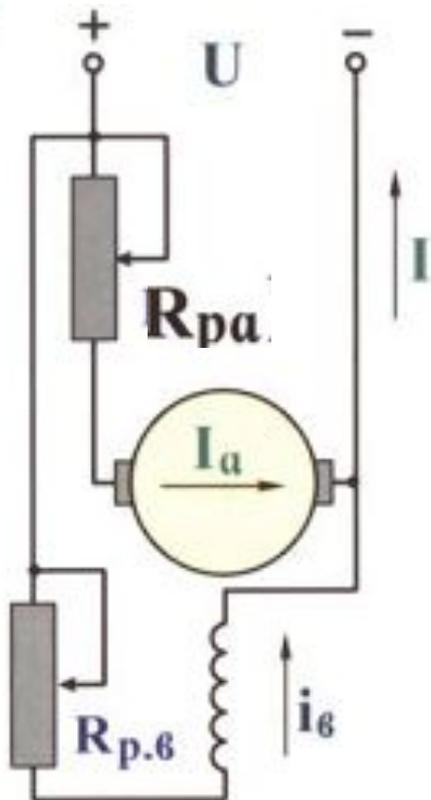
$$F_{ст.о} = 10\% F_{пар.о}$$

$$\beta = \frac{M_2 - M_1}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\Delta M}{\Delta \omega}$$

Жесткость характеристики – отношение разности электромагнитных моментов, развиваемых двигателем, к соответствующей разности частот вращения

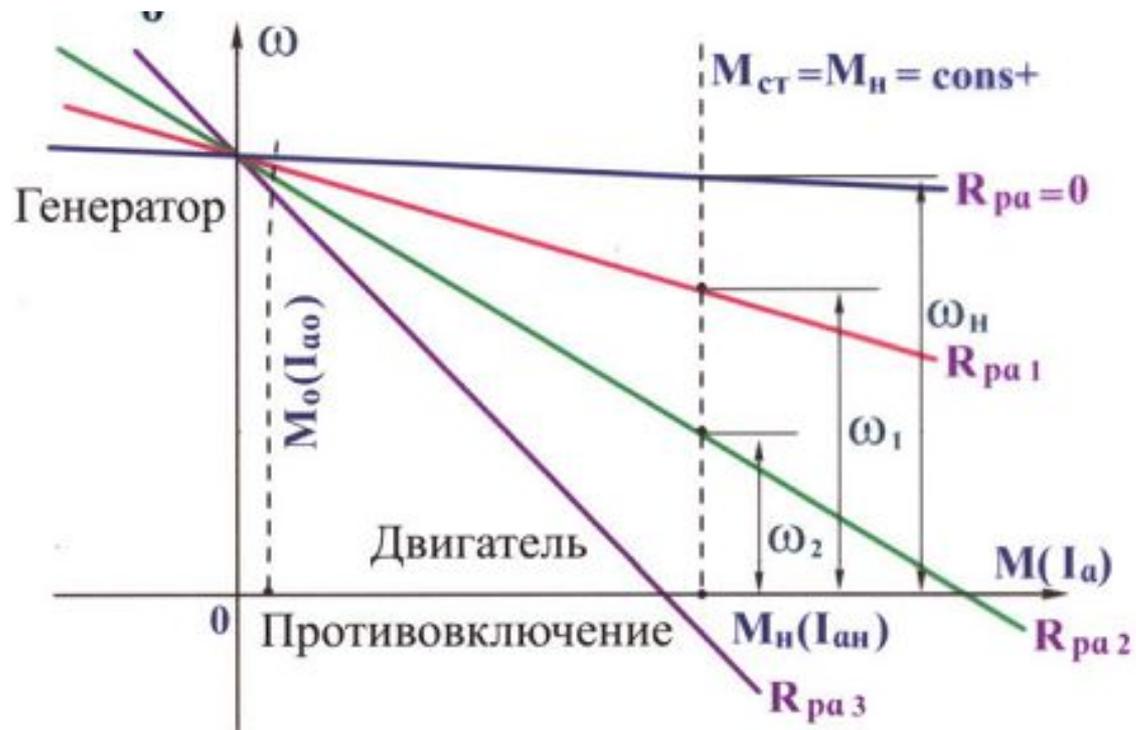
Регулирование частоты вращения

Введение добавочного сопротивления в цепь якоря



$$n = \frac{U - (R_a + R_{pa}) I_a}{c_e \Phi_\delta};$$

$$n = \frac{U}{c_e \Phi_\delta} - \frac{(R_a + R_{pa}) M}{c_e c_m \Phi_\delta^2}.$$



При $n=0$

$$I_a = \frac{U}{R_a + R_{pa}} \quad \text{и} \quad M = \frac{c_m \Phi \delta U}{R_a + R_{pa}}$$

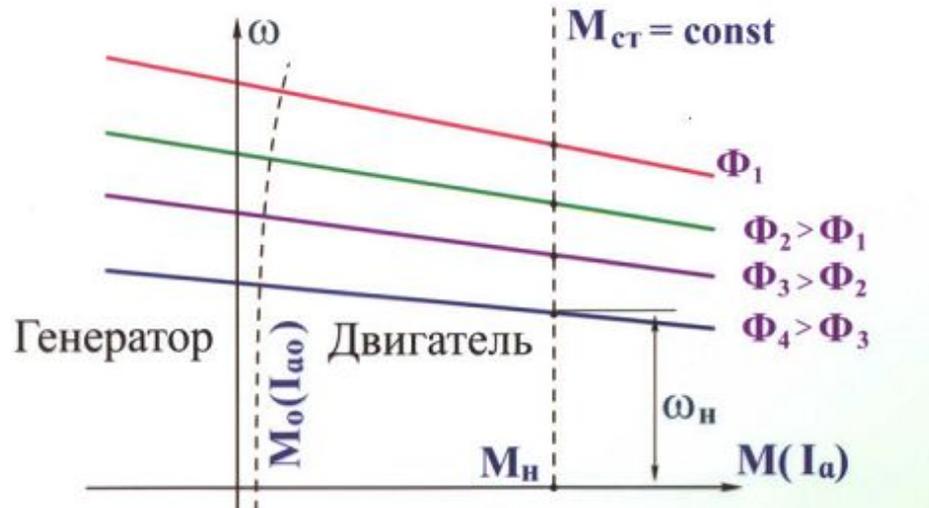
$$I_a = \frac{U - E_a}{R_a + R_{pa}}$$

При $n < 0$ э.д.с. меняет знак

$$I_a = \frac{U + E_a}{R_a + R_{pa}}$$

Регулирование частоты вращения с помощью изменения тока возбуждения

$$U = \text{const}$$



$$n = \frac{U_a - I_a R_a}{C_E \Phi_\delta}$$

$$n = \frac{U_a}{C_E \Phi_\delta} - \frac{M R_a}{C_M C_E \Phi_\delta^2}$$

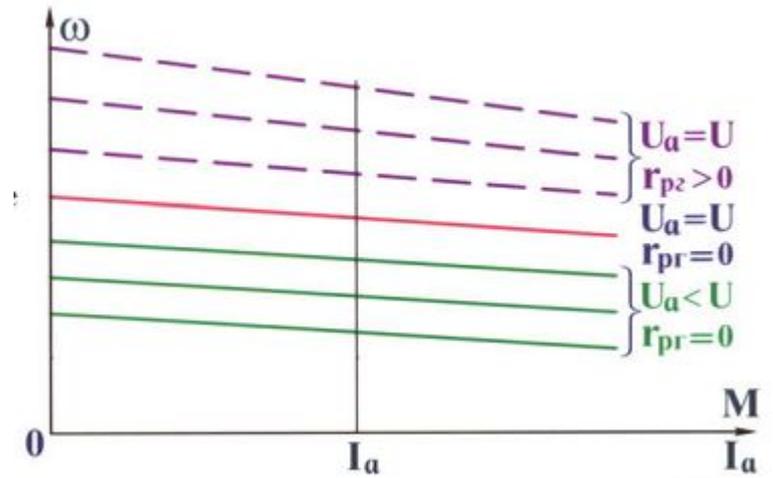
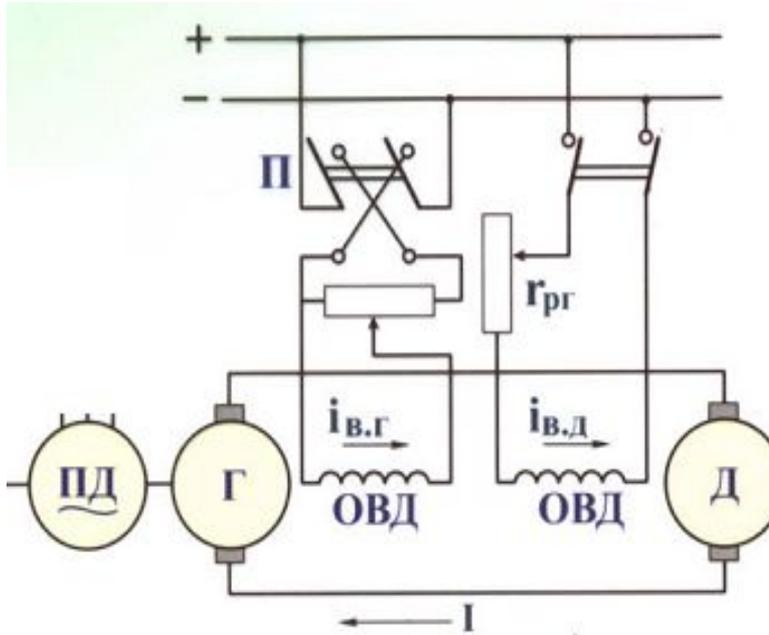
Механические характеристики при различных значениях тока возбуждения

при $n = 0$ $I_a = \frac{U}{R_a}$

ПРИ ОБРЫВЕ В ЦЕПИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬ УЙДЕТ В «РАЗНОС»

Регулирование скорости посредством изменения напряжения якоря

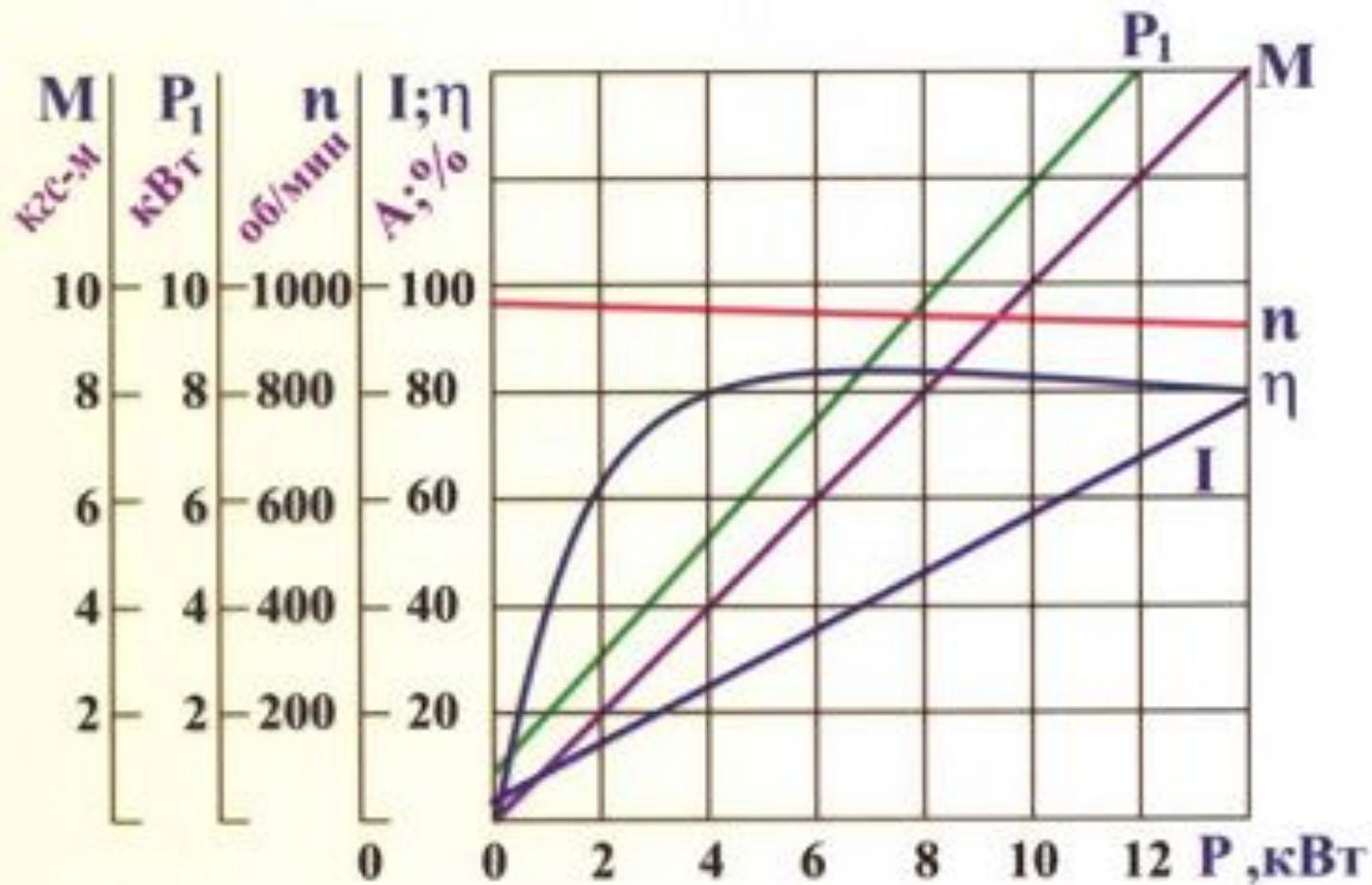
Механические характеристики



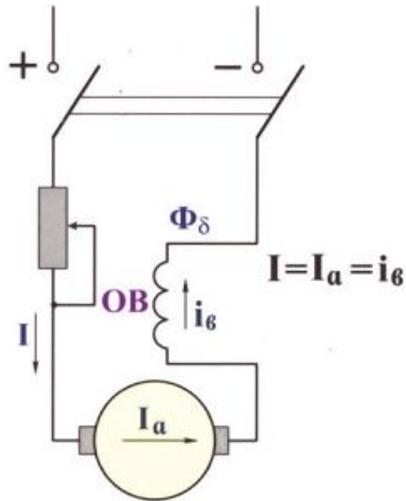
$$n = \frac{U_a}{C_E \Phi_\delta} - \frac{M R_a}{C_M C_E \Phi_\delta^2}$$

Рабочие характеристики

$U = const$

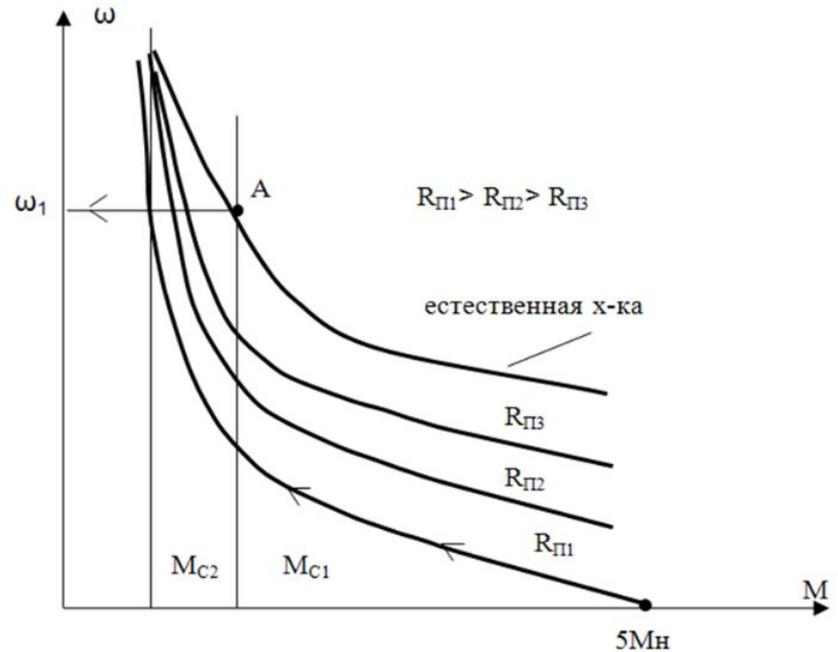


ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ



$$\Phi_{\delta} = C_{\Phi} I_a$$

$$M = C_M C_{\Phi} I_a^2$$



Механические характеристики

$$n = \frac{\sqrt{C_M} U_a}{C_E \sqrt{C_{\Phi}} \sqrt{M}} - \frac{R_a}{C_E C_{\Phi}}$$

Двигатель последовательного возбуждения

$$M \sim I^2$$

$$P_2 = 2\pi n M \sim \sqrt{M}$$

Уравнение скоростной характеристики

$$n = \frac{U_a}{C_E C_{\Phi} I_a} - \frac{R_a}{C_E C_{\Phi}}$$

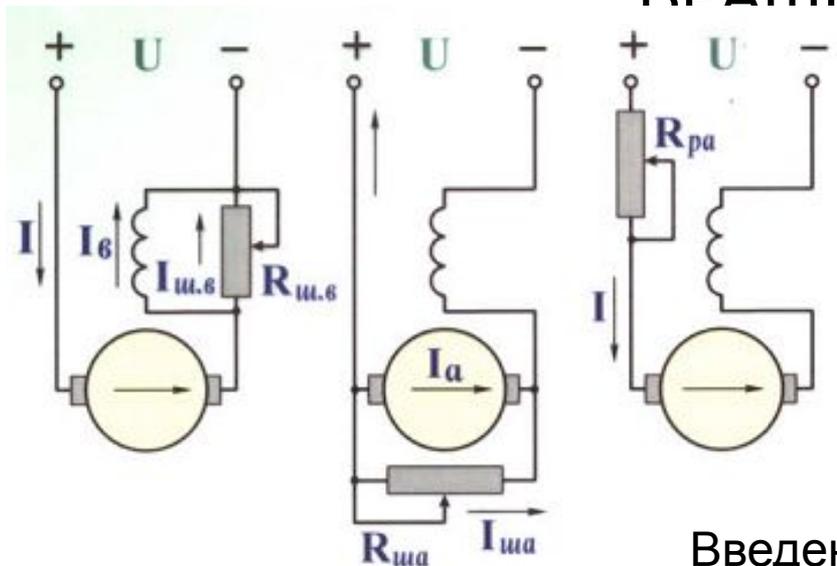
ПРИ $M = 0$ ДВИГАТЕЛЬ УЙДЕТ В

$$n \sim \frac{U}{I} \sim \frac{U}{\sqrt{M}} \quad \text{с} \gg$$

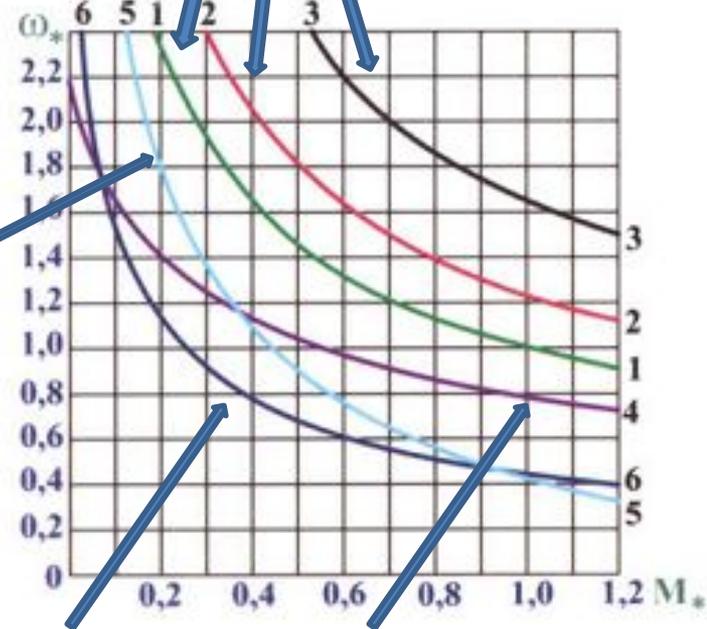
Двигатель параллельного возбуждения

$$M \sim I \quad P_2 = \Omega M = 2\pi n M \sim M_1$$

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ



Шунтирование обмотки
возбуждения



Введение
дополнительного
сопротивления
в цепь якоря

Шунтирование
обмотки якоря

Изменение
напряжения

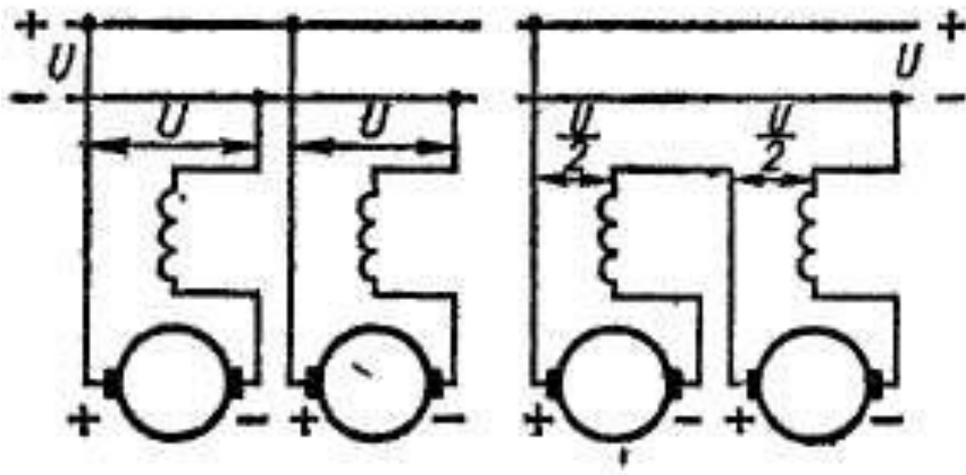
$$I_{\text{в}} = \frac{R_{\text{ш. в}}}{R_{\text{в}} + R_{\text{ш. в}}} I$$

$$k_{\text{о. в}} = \frac{R_{\text{ш. я}}}{R_{\text{в}} + R_{\text{ш. в}}}$$

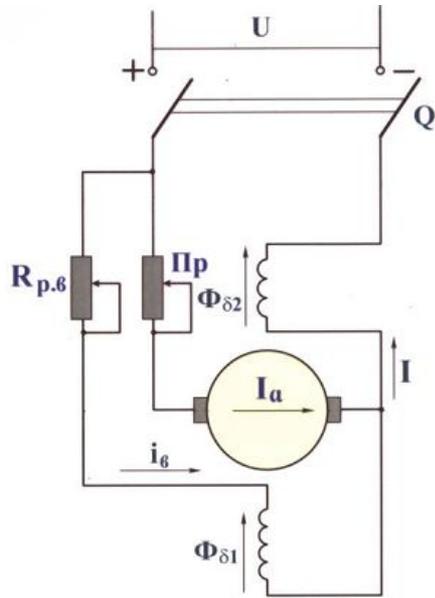
$$k_{\text{о. в}} = \frac{\omega_{\text{в. раб}}}{\omega_{\text{в. полн}}}$$

При шунтировании обмотки якоря $I_{\text{в}} = I_{\text{а}} + I_{\text{ш. я}}$

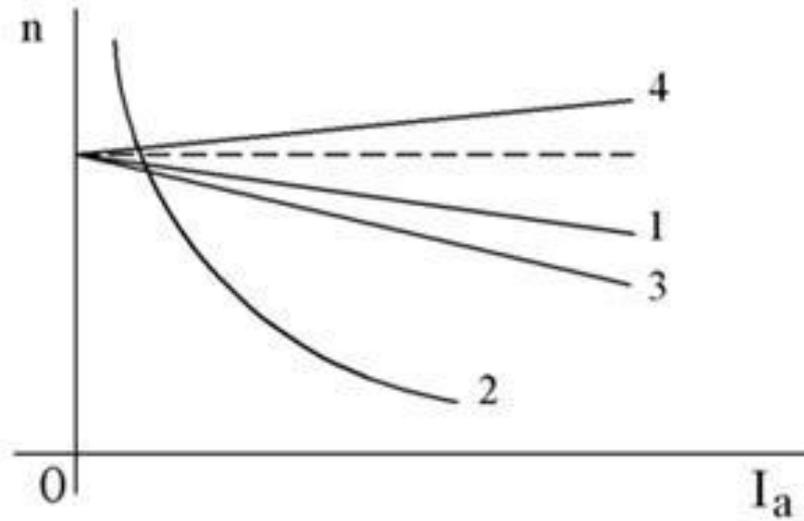
Регулирование скорости изменением напряжения.



ДВИГАТЕЛИ СМЕШАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ



ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ
СХЕМА



Скоростная характеристика

- 1 – двигатель со слабой последовательной обмоткой
- 2 – двигатель последовательного возбуждения
- 3 – согласное включение обмоток
- 4 – встречное включение обмоток