



# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД

# ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

## Простые модели асинхронного электропривода

Сложности при получении полного математического описания процессов в асинхронной машине:

- 1) все напряжения, токи, потокосцепления – переменные, т.е. характеризуются частотой, амплитудой, фазой или соответствующими векторными величинами;
- 2) взаимодействуют движущиеся контуры, взаимное расположение которых изменяется в пространстве;
- 3) магнитный поток нелинейно связан с намагничивающим током (проявляется насыщение магнитной цепи), активные сопротивления роторной цепи зависят от частоты (эффект вытеснения тока), сопротивления всех цепей зависят от температуры и т.п.

Синхронная угловая скорость  $\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$

Частота вращения  $n_0 = \frac{60 f_1}{p}$

При питании от сети  $f_1 = 50 \text{ Гц}$  синхронная частота вращения может быть 3000, 1500, 1000, 750, 600... об/мин в зависимости от конструкции машины

## Процессы при $\omega =$

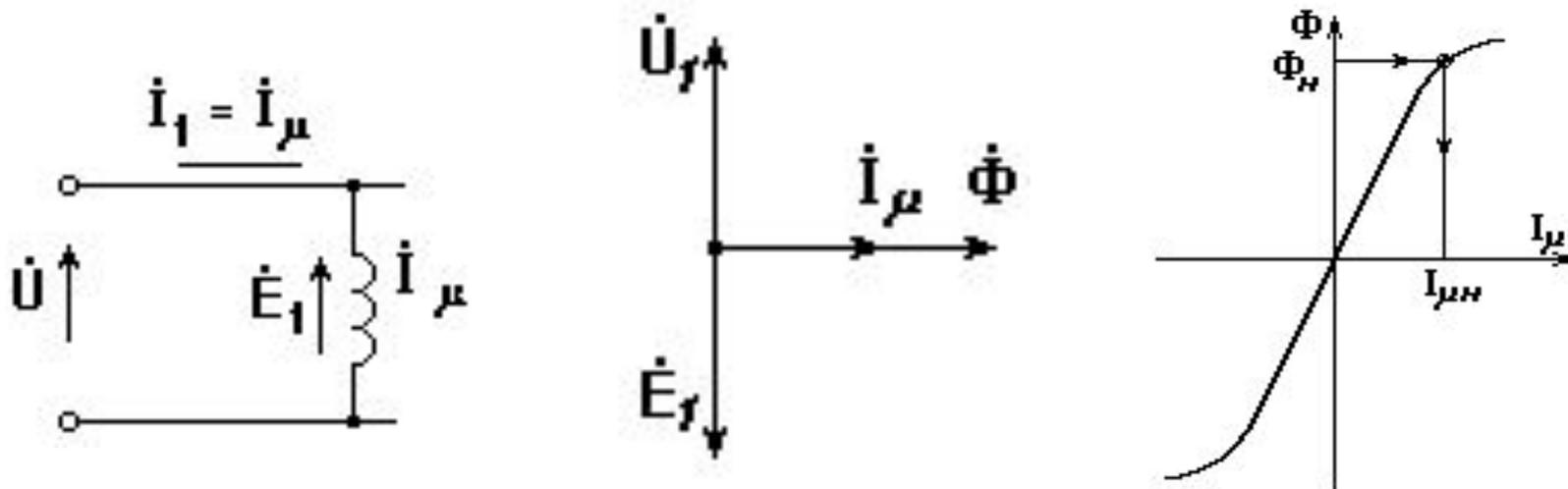
$\omega_0$

$u_1 = U_{m1} \sin \omega t$  - переменное напряжение

$E_1 = 4,44 \Phi f_1 w_1 k_{об}$  - ЭДС самоиндукции

где  $w$  – число витков обмотки;

$k_{об}$  – коэффициент, зависящий от конкретного выполнения обмотки



Идеализированная модель асинхронной машины при  $\omega = \omega_0$ ,  
векторная диаграмма и кривая намагничивания

$$\Phi \approx \frac{U_1}{4,44 f_1 w_1 k_{об}} \equiv \frac{U_1}{f_1}$$

- магнитный поток

# Процессы под нагрузкой

$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$  - скольжение

$E'_2 = E_1 s$  - ЭДС, наведенная по закону электромагнитной индукции

$f_2 = f_1 s$  - частота наведенной ЭДС

$I'_2 = \frac{E'_2}{\sqrt{(R'_2)^2 + (2\pi f_2 L'_2)^2}}$  - ток  $I_2'$  в роторной цепи, обладающей сопротивлением  $R_2'$  и индуктивностью  $L_2'$

$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{(R'_2/s)^2 + (X'_2)^2}}$

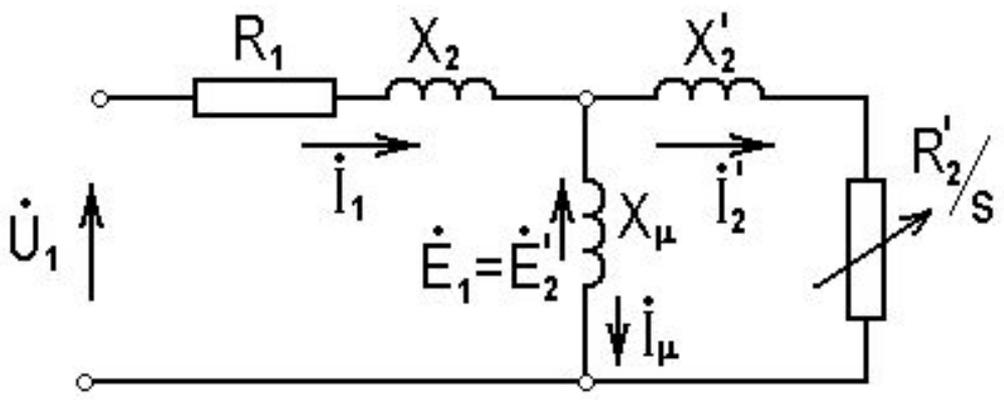
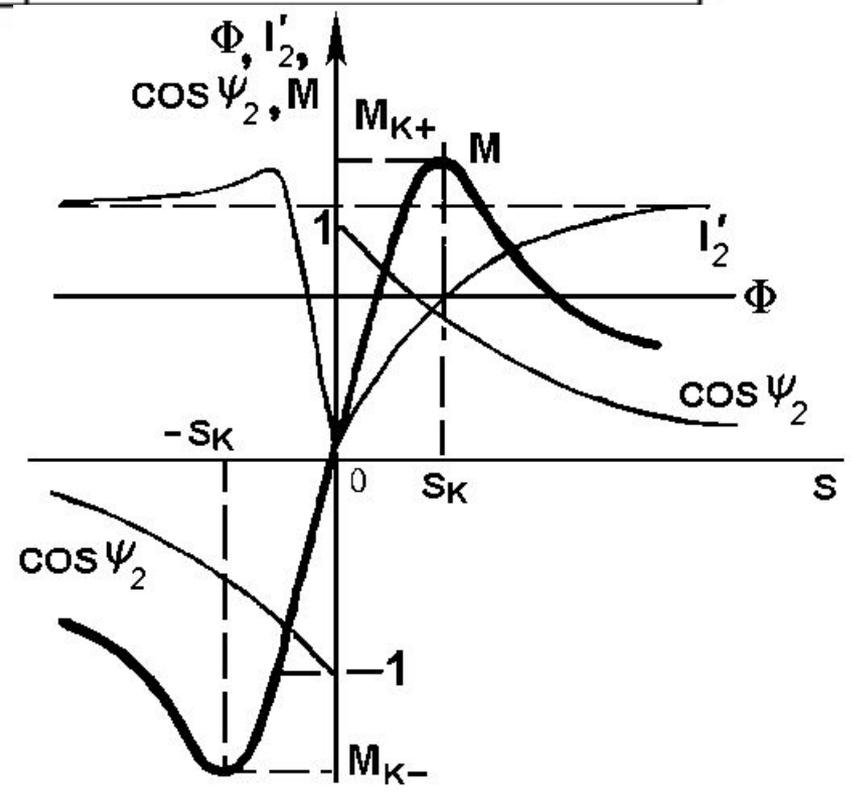
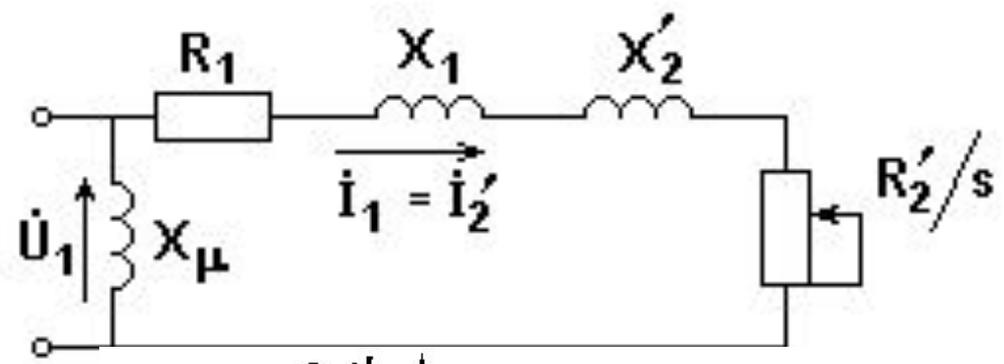


Схема замещения фазы асинхронного двигателя

# Механические характеристики. Энергетические режимы



Упрощенная схема замещения и характеристики асинхронной машины

$$M = k\Phi I_{2a} = k\Phi I_2 \cos\psi_2$$

где  $I_{2a}$  – активная составляющая тока ротора,  $\psi_2$  – угол между  $\vec{E}_2$  и  $\vec{I}_2$

$$\cos\psi_2 = \frac{R'_2/s}{\sqrt{(R'_2/s)^2 + (X'_2)^2}}$$

Мощность, потребляемая из сети, если пренебречь потерями в  $R_1$ , примерно равна электромагнитной мощности:  $P_1 \approx P_{эм} = M\omega_0$

Мощность на валу определяется как:  $P_2 = M\omega$

Потери в роторной цепи составят:  $\Delta P_2 = P_1 - P_2 \approx M\omega_0 - M\omega = M\omega_0 s = P_1 s$

$$\Delta P_2 = 3(I'_2)^2 R'_2$$

$$M = \frac{3(I'_2)^2 R'_2}{\omega_0 s}$$

$$M_K = \frac{2M_K(1 + as_K)}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + 2as_K},$$

где  $a = R1/R'2$

$$M_K = \frac{3U^2}{2\omega_0 \left[ R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right]}$$

$$s_K = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

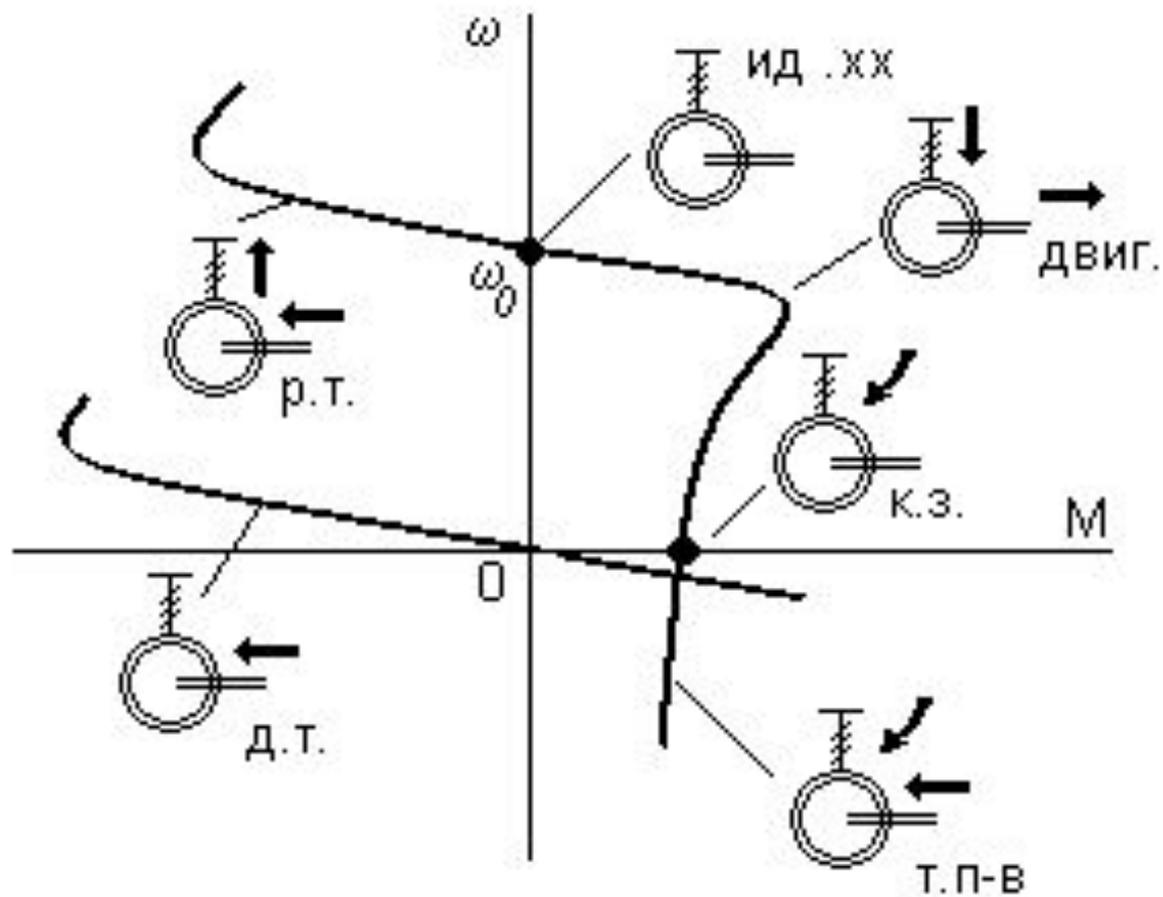
При  $a=0$

$$M = \frac{2M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}$$

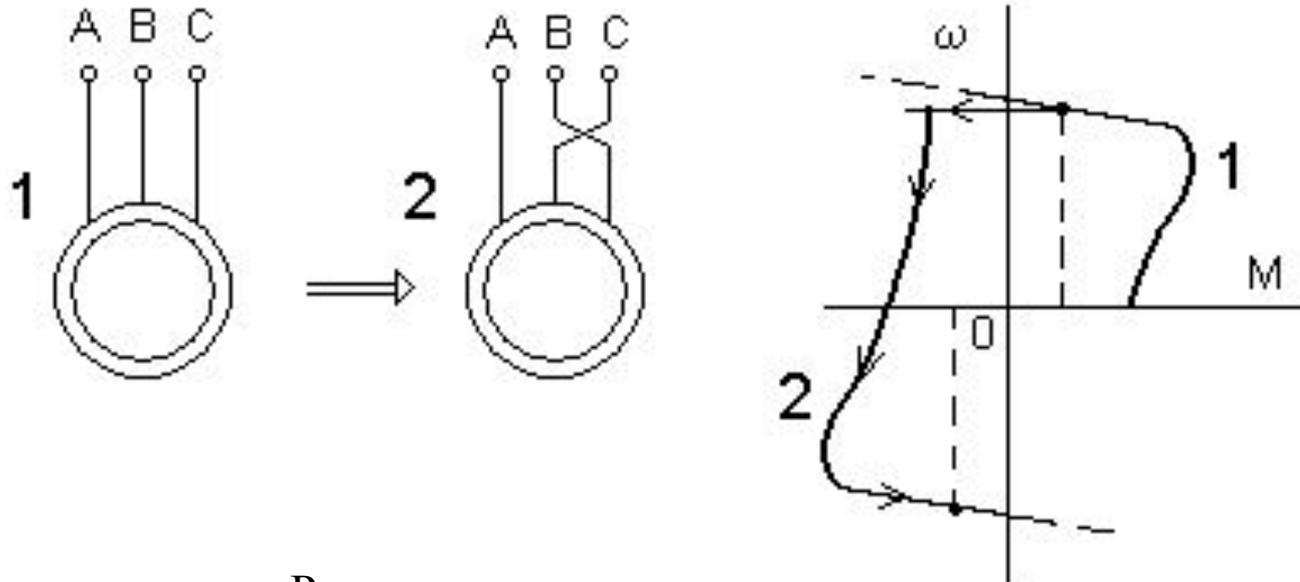
$$M_K = \frac{3U_1^2}{(2\omega_0 X_K)}$$

$$s_K = \frac{R_2'}{X_K}$$

где  $X_K = X_1 + X_2'$  – индуктивное сопротивление рассеяния машины



Энергетические режимы асинхронного электропривода



Реверс асинхронного двигателя

В режиме динамического торможения

$$M = \frac{2M_{к.т}}{\frac{s}{s_{к.т}} + \frac{s_{к.т}}{s}} \quad M_{к.т} = \frac{3I_{\text{ЭКВ}}^2 X_{\mu}^2}{2\omega_0(X_{\mu} + X'_2)} \quad s_{к.т} = \frac{R'_2}{X_{\mu} + X'_2}$$

$$I_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_{\text{п}} \quad \text{- при соединении обмоток статора в звезду}$$

$$I_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sqrt{2}}{3} I_{\text{п}} \quad \text{- при соединении обмоток статора в треугольник}$$

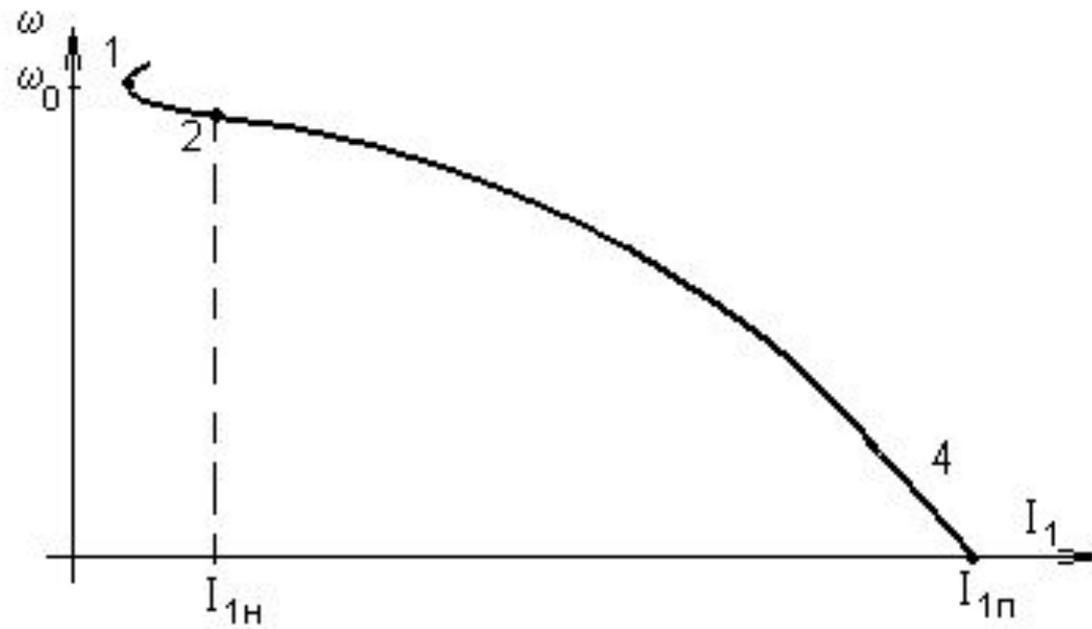
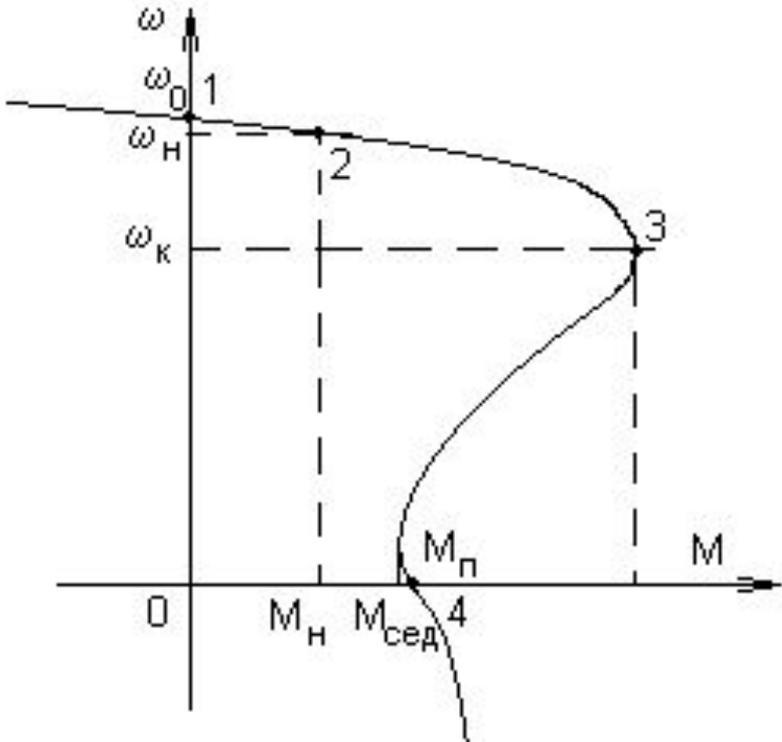
## Номинальные данные

На шильдике или в паспорте асинхронного двигателя обычно указаны номинальные линейные напряжения при соединении обмоток в звезду и треугольник  $U_{1\lambda} / U_{H\Delta}$ , токи  $I_{1\lambda} / I_{1\Delta}$ , частота  $f$ , мощность на валу  $P$ , частота вращения  $n$ , КПД  $\eta$ ,  $\cos\varphi_H$

$$k_I = \frac{I_{1п}}{I_{1H}} \text{ - кратность пускового тока}$$

$$k_M = \frac{M_{п}}{M_H} \text{ - кратность пускового момента}$$

$$\lambda = \frac{M_K}{M_H} \text{ - кратность критического момента}$$



Точка 1  $\omega = \omega_0, M = 0, I_1 = I_{xx} \approx 0,35I_{1н}$  получится из ряда  $n_0 = 3000, 1500, 1000, 750, 600$  об/мин как ближайшая большая к  $n_n$

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30}$$

Точка 2 – номинальная

Точка 3  $\omega = \omega_k, M = M_k$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} \Rightarrow M_k = \lambda M_n$$

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} \Rightarrow M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

Точка 4  $\omega = 0, M = M_n, I_1 = I_{1п}$

$s_H = 0,01-0,05$  (меньшие значения у двигателей большей мощности – сотни кВт);

$k_I = 5-7$ ;

$k_M = 1,3-1,6$ ;

$\lambda = 1,8 - 3,0$

Естественные свойства асинхронных двигателей весьма неблагоприятны:

малый пусковой момент;

большой пусковой ток;

ограниченные возможности управления координатами.