

*Лекция*  
*Электрохимические и*  
*механические*  
*характеристики*  
*электродвигателей*

## **Вопросы по теме:**

1. Общие сведения о механических характеристиках электродвигателей.
2. Механические характеристики трехфазных асинхронных электродвигателей, однофазных и синхронных.
3. Механические характеристики двигателей постоянного тока.
4. Тормозные режимы электродвигателей и искусственные характеристики.

## Общие сведения о механических характеристиках электродвигателей.

***Механическая характеристика электродвигателя*** – зависимость скорости вращения от электромагнитного момента, развиваемого электродвигателем в установившемся режиме, то есть  $\omega=f(M)$ .

Естественная характеристика соответствует основной схеме включения эл.дв. Номинальные параметры питающего напряжения.

Искусственная характеристика – включение эл.дв. по специальным схемам или ненормальные параметры питающего напряжения.

Жесткость – качественная оценка механической характеристики эл.дв.

Общие сведения о механических характеристиках электродвигателей.

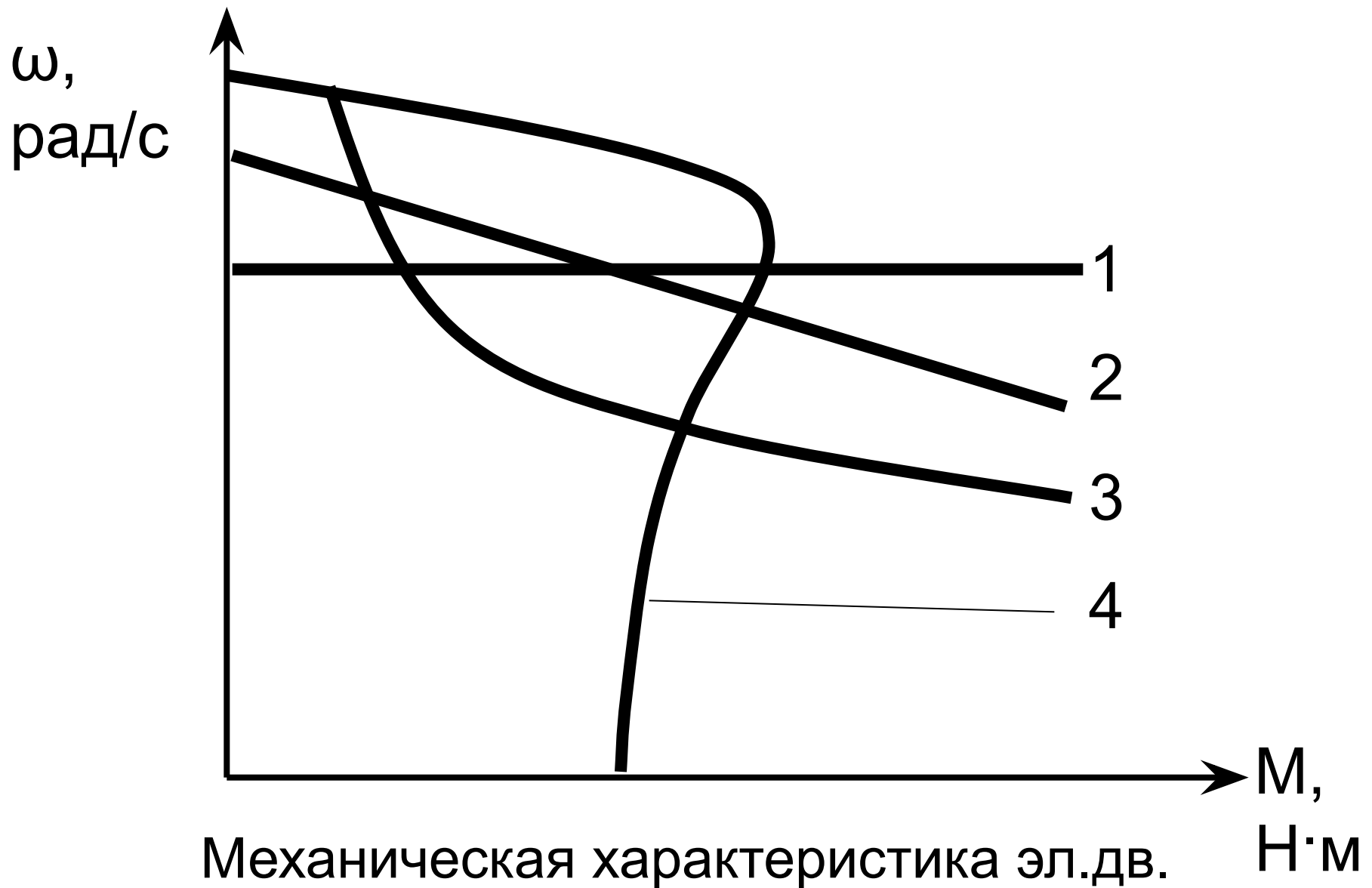
$$\beta = \frac{dM}{d\omega} \approx \frac{\Delta M}{\Delta \omega},$$

где  $\beta$  – жесткость м.х.,  $\frac{Н \cdot м \cdot с}{рад}$ ;

$dM$  – приращение момента,  $Н \cdot м$ ;

$d\omega$  – угловая скорость,  $рад / с$ .

# Общие сведения о механических характеристиках электродвигателей.



## Общие сведения о механических характеристиках электродвигателей.

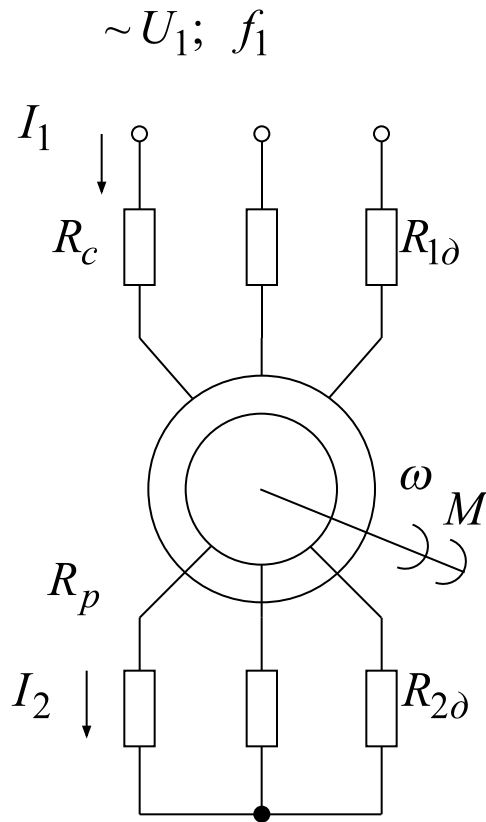
- 1 – М.х. синхронного эл.дв. Абсолютно жесткая ( $\beta = \infty$ ).
- 2 – М.х. эл.дв. постоянного тока независимого возбуждения. Жесткая.
- 3 – М.х. эл.дв. постоянного тока последовательного возбуждения. Мягкая.
- 4 – М.х. асинхронного эл.дв. Переменная жесткость.

# Трехфазный асинхронных эл.пр.

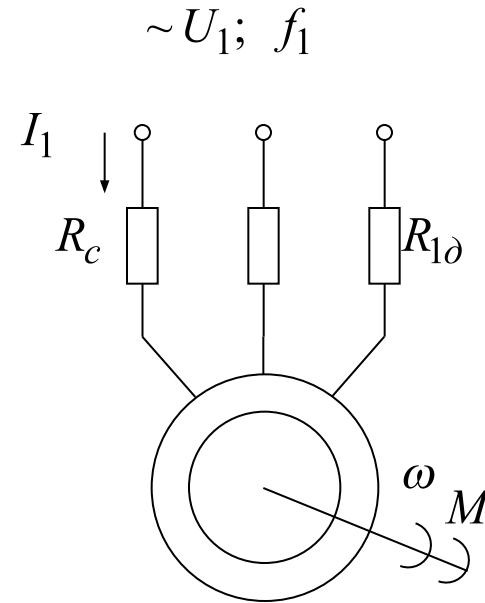
Эл.пр. с АД – самый распространенный вид эл.пр. в с.х. и промышленности.

АД применяют для нерегулируемого эл.пр. и регулируемого с использованием частотного преобразователя (ЧП).

# Схемы включения АД



а) с фазным ротором



б) с к.з. ротором



# Схема замещения АД

Для получения выражений электромеханической (эл.м. х.) и механической (м.х.) характеристик АД условно представляют в виде схемы замещения, на которой цепи статора и ротора представлены активными и индуктивными сопротивлениями.

На схеме замещения АД ЭДС и параметры цепи ротора приведены к цепи статора, что позволяет объединить две цепи соединительными элементами; в действительности связь осуществляется через магнитное поле.

Приведение осуществляется с помощью коэффициента трансформации АД по ЭДС:

## Схема замещения АД

$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx 0,95 \cdot \frac{U_{\phi \text{ ном}}}{E_{2k}}, \quad (1)$$

где  $E_1, E_2$  – фазные ЭДС статора и ротора при неподвижном роторе, В;

Фазное напряжение сети  $U_{\phi \text{ ном}}$  , .

# Схема замещения АД

Расчетные формулы приведения имеют вид

$$E_2' = E_2 \cdot k = E_1;$$

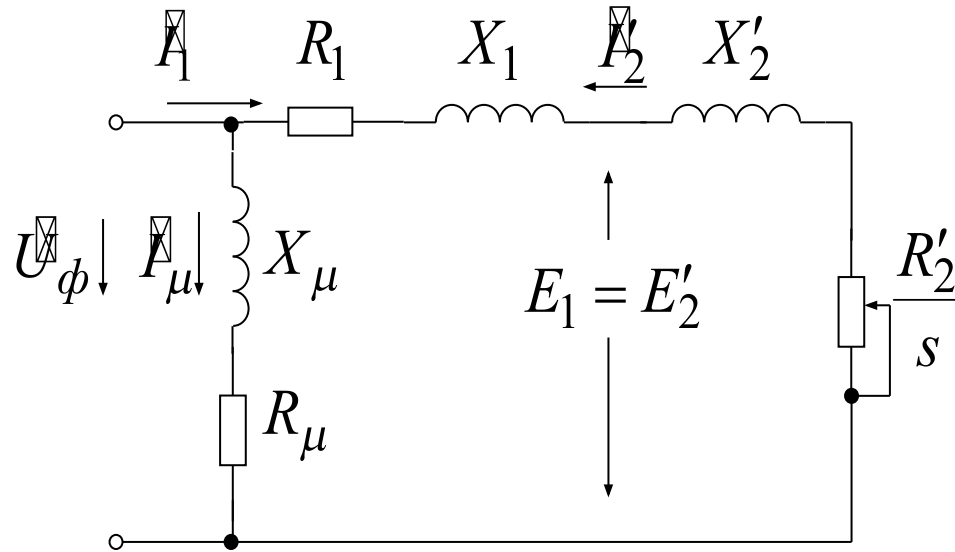
$$I_2' = \frac{I_2}{k};$$

$$R_2' = R_2 \cdot k^2;$$

$$X_2' = X_2 \cdot k^2$$

где штрихом обозначены приведенные значения.

# Схема замещения АД



$\dot{U}_\phi$  — действующее значение фазного напряжения сети, В;  $\dot{I}_1, \dot{I}_\mu, \dot{I}'_2$  — фазный ток статора, намагничивания и приведенный ротора, А;  $X_1, X'_2$  — индуктивные сопротивления от потоков рассеивания фазных обмоток статора и приведенный ротора, Ом;  $X_\mu$  — индуктивное сопротивление контура намагничивания, Ом;  $R_1$  — суммарное активное сопротивление обмотки фазы статора, Ом;  $R'_2$  — суммарное активное приведенное сопротивление обмотки

# Схема замещения АД

ротора, Ом;  $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$  – скольжение АД;  $\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$  – угловая

*скорость магнитного поля статора.*

Как видно из схемы замещения, ЭДС статора равна приведенной ЭДС ротора, а ток намагничивания, определяющий магнитный поток АД протекающий по отдельной цепи, состоящей из сопротивлений контура намагничивания, представляет собой векторную сумму токов статора и приведенного роторного.

# Электромеханическая характеристика АД

Электромеханическая характеристика АД  
получается из схемы замещения:

$$I'_2(s) = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + \frac{2}{K}}}, \quad (2)$$

где  $X_K = X_1 + X'_2$  – индуктивное фазное  
сопротивление короткого замыкания, Ом

# Электромеханическая характеристика АД

Эл.м.х. АД представляется в виде зависимости  $I_p$  от  $s$ . Переход к зависимости  $\omega = f(I'_2)$  осуществляется с помощью формулы для скольжения:

$$\omega = \omega_0(1 - s) \quad (3)$$

По формуле 2 получаем эл.м.х. АД в различных точках: **идеального холостого хода**;

$$s = 0, \omega = \omega_0, I'_2 = 0$$

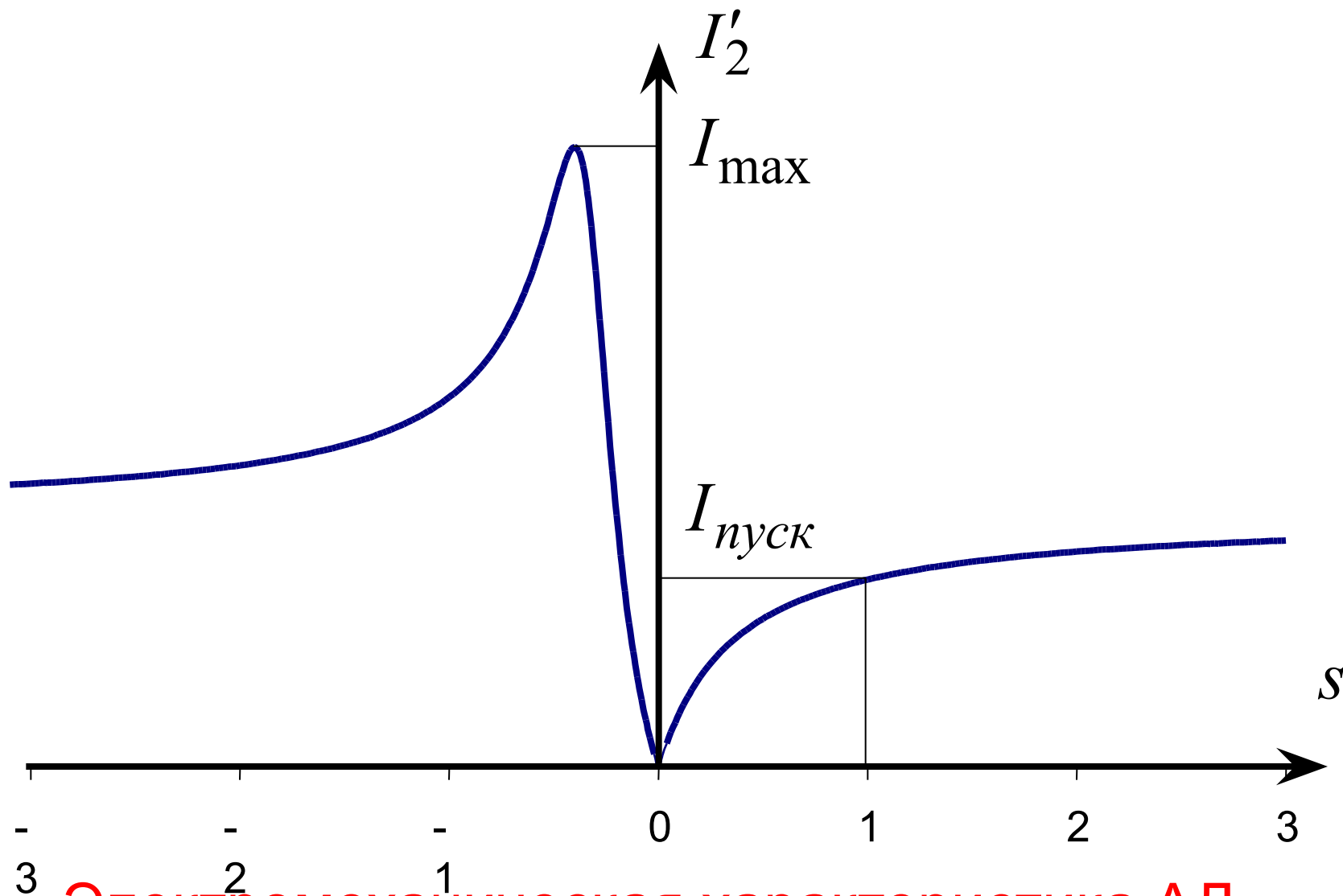
**точка к.з. при отсутствии вращения ротора**;

$$s = 1, \omega = 0, I'_2 = I_{K.з.}$$

**максимального значения тока ротора**

$$s = -\frac{R_2}{R_1}, \omega = \omega_0(1 + s), I'_2 = I_{\max} = \frac{U_\phi}{X_K}$$

# Электромеханическая характеристика АД



Электромеханическая характеристика АД



# Механическая характеристика АД

**Момент на валу** АД по схеме замещения определяется как потери в цепи ротора:

$$\Delta P_2 = M \cdot \omega_0 \cdot s = 3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2', \quad (7)$$

где  $M$  – момент на валу АД,  $H \cdot m$

откуда **МОМЕНТ**

$$M = \frac{3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s}, \quad (8)$$

## Механическая характеристика АД

- **Потери мощности в цепи ротора**  $\Delta P_2$ , выраженные через механические координаты АД, есть разность электромагнитной мощности

$P_{\text{эм}} = M \cdot \omega_0$  и полезной механической  
МОЩНОСТИ  $P_2 = M \cdot \omega$ , т.е.

$$\Delta P_2 = P_{\text{эм}} - P_2 = M \cdot \omega_0 - M \cdot \omega = M\omega_0 s$$

# Механическая характеристика АД

Подставляя в формулу (8) формулу (2) получим:

$$M = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[ \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}, \quad (9)$$

Если вычислить производную выражения (9) по  $s$  и приравнять ее нулю, получим **критический момент** (исследование на экстремум)

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left( \sqrt{R_1^2 + X_K'^2} \pm R_1 \right)}, \quad (10) \quad \frac{dM}{ds} = 0$$

# Механическая характеристика АД

и критическое скольжение

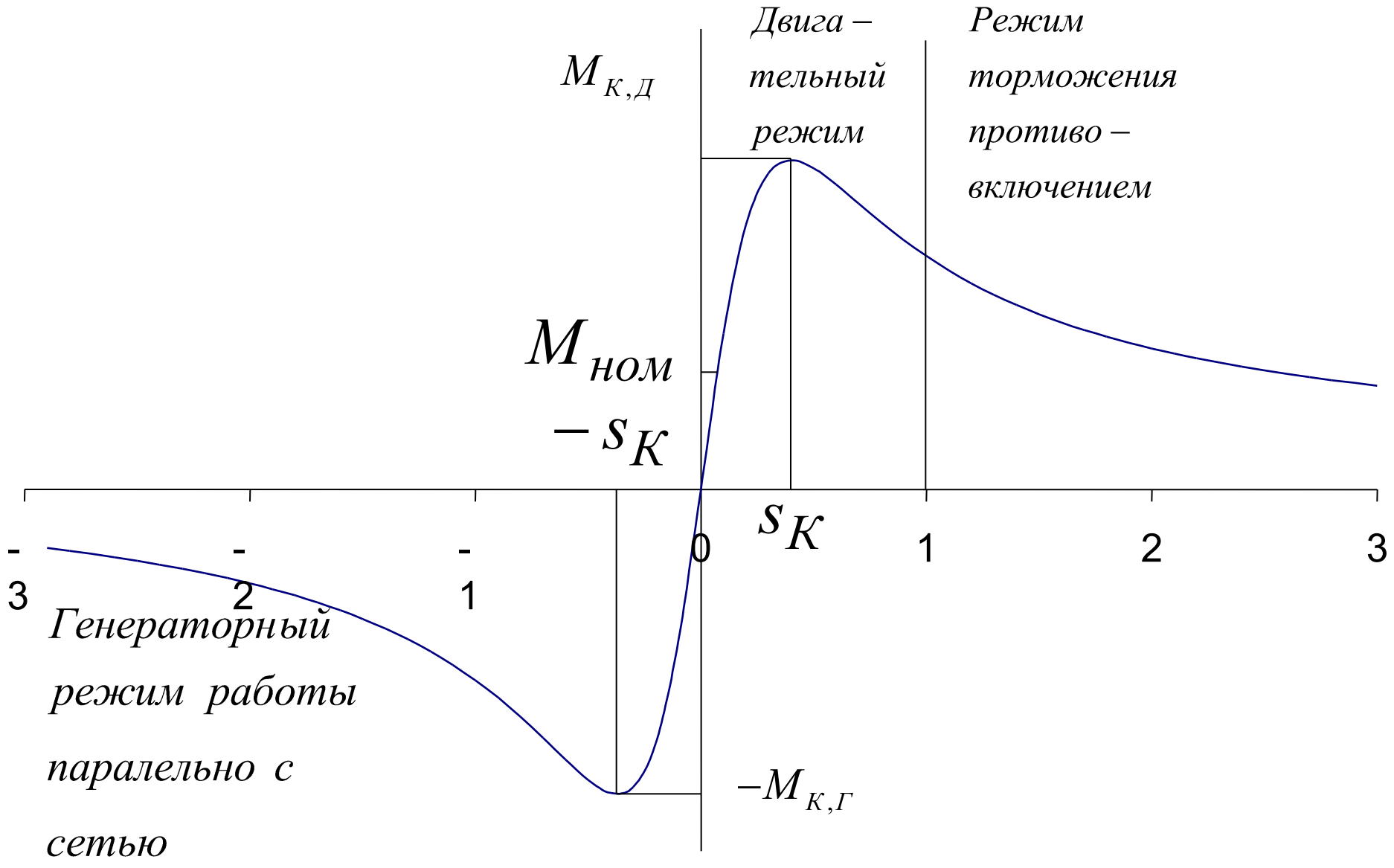
$$s_K = \frac{\pm R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}} \quad (11)$$

Если разделить (9) на (10) то получим более удобную форму записи механической характеристики

$$M_K = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + \alpha \cdot s)}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + 2 \cdot \alpha \cdot s}, \quad (12)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{R_1}{R'_2}$$

# Механическая характеристика АД



# Механическая характеристика АД

Если пренебречь сопротивлением статора

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}, \quad (13)$$

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot X_K}, \quad (14)$$

$$s_K = \frac{R'_2}{X_K} \quad (15)$$

# Механическая характеристика АД

Если в (13) подставить номинальные значения момента и скольжения и обозначить (кратность максимального момента)

$$\mu_M = \frac{M_K}{M_H}$$

то получим формулу связывающую критическое и номинальное скольжения

$$s_K = s_H \cdot \left( \mu_M \pm \sqrt{\mu_M^2 - 1} \right) \quad (16)$$

эту формулу можно использовать для определения  $s_K$  паспортным данным электродвигателя.

# Механическая характеристика АД

- Для малых скольжений можно пренебречь  $s/s_k$
- В этом случае  $M=2M_k/s_k$



# Включение однофазного АД

Выпускаются однофазные АД мощностью от 18 до 400 Вт. Однофазные АД имеют худшие характеристики по сравнению с трехфазными. Мощность на 30% процентов ниже по сравнению с трехфазными при тех же габаритах. Низкая перегрузочная способность.

