

Лекция
Электромеханические 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.

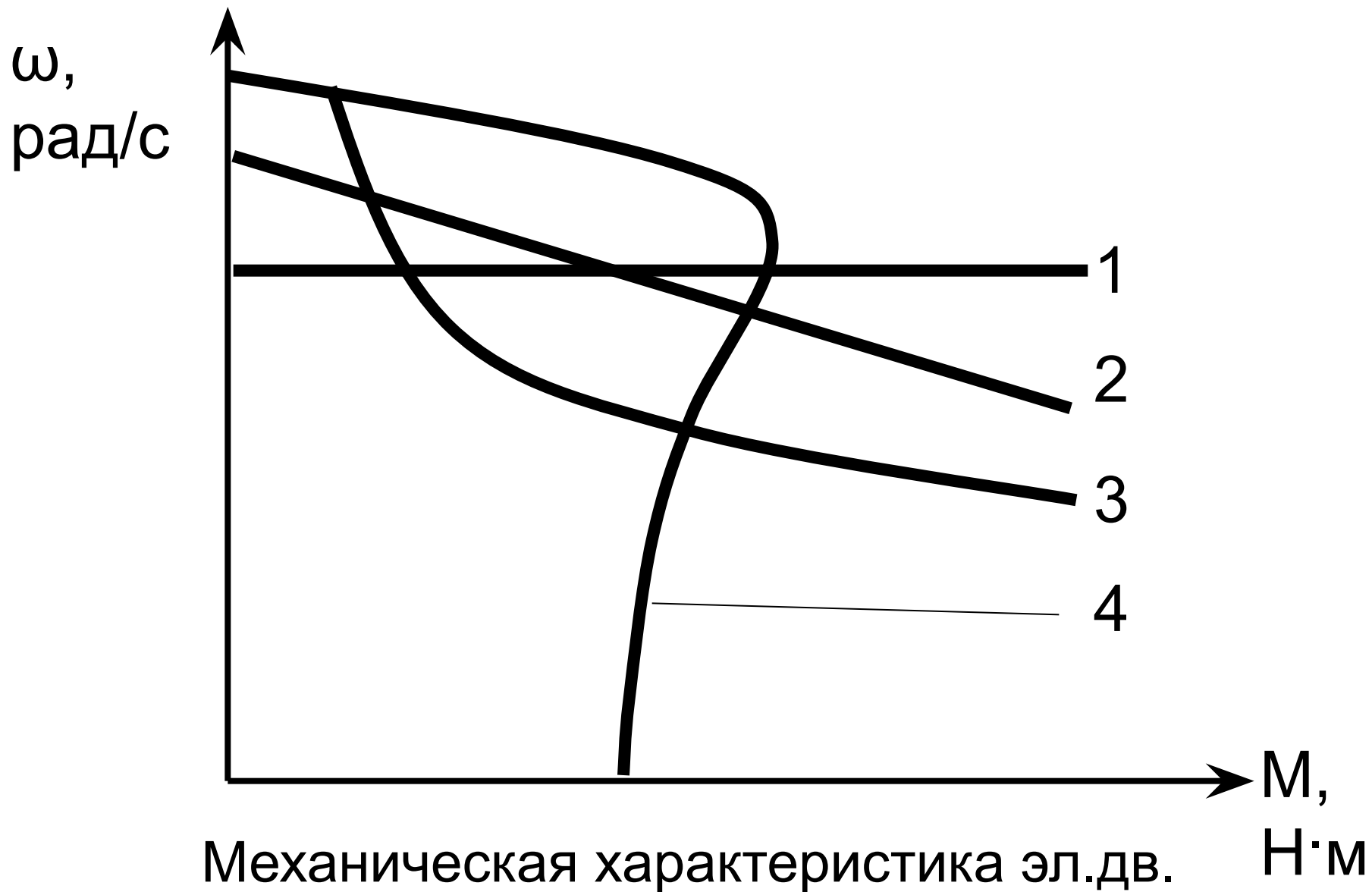
$$\beta = \frac{dM}{d\omega} \approx \frac{\Delta M}{\Delta \omega},$$

где β – 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.

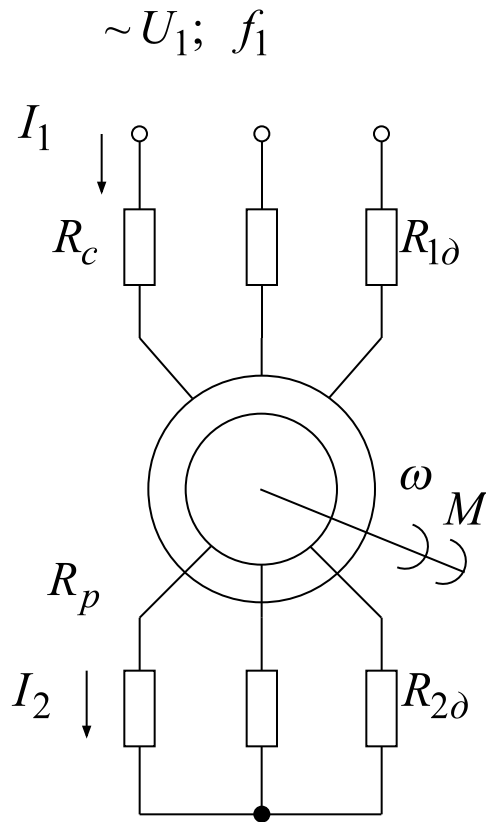
- 1 – М.х. синхронного эл.дв. Абсолютно жесткая ($\beta = \infty$).
- 2 – М.х. эл.дв. постоянного тока независимого возбуждения. Жесткая.
- 3 – М.х. эл.дв. постоянного тока последовательного возбуждения. Мягкая.
- 4 – М.х. асинхронного эл.дв. Переменная жесткость.

Трехфазный асинхронных эл.пр.

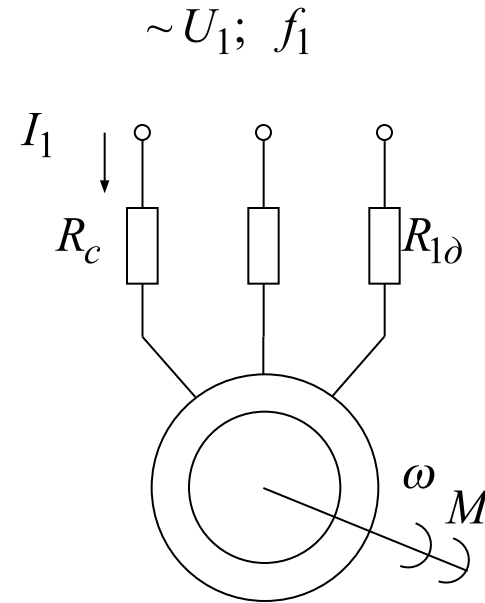
Эл.пр. с АД – самый распространенный вид эл.пр. в с.х. и промышленности.

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

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

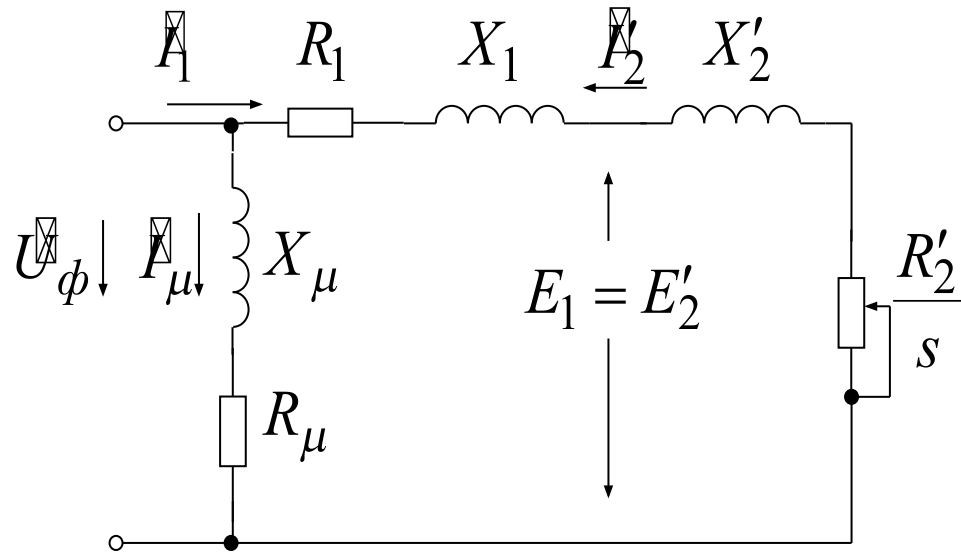
$$I_2' = \frac{I_2}{k};$$

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

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

где штрихом обозначены приведенные значения.

Схема замещения АД



Действующее значение фазного напряжения сети U , В; I_1, I_μ, 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_μ – 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**;

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

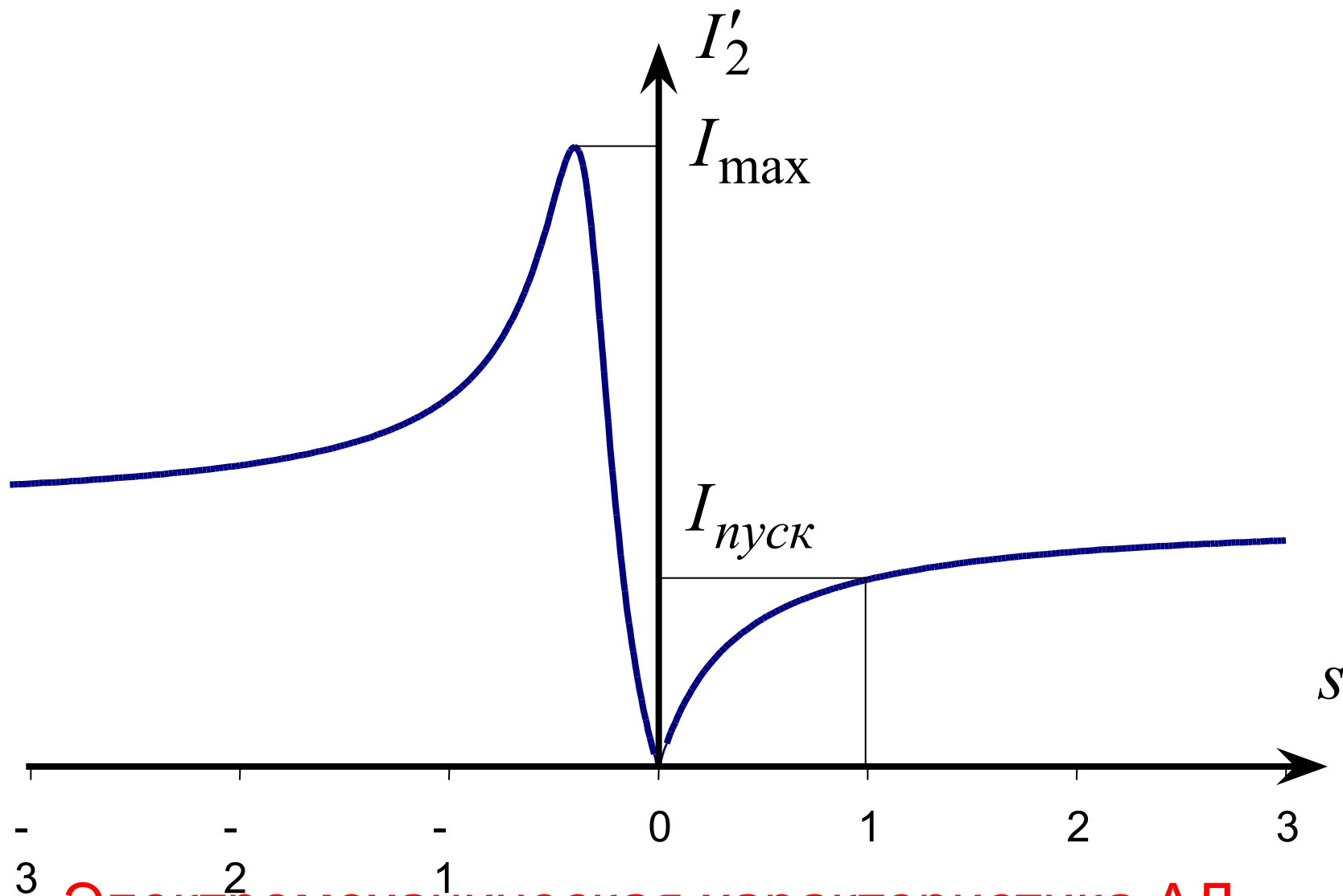
точка к.з. при отсутствии вращения ротора;

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

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** ΔP_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

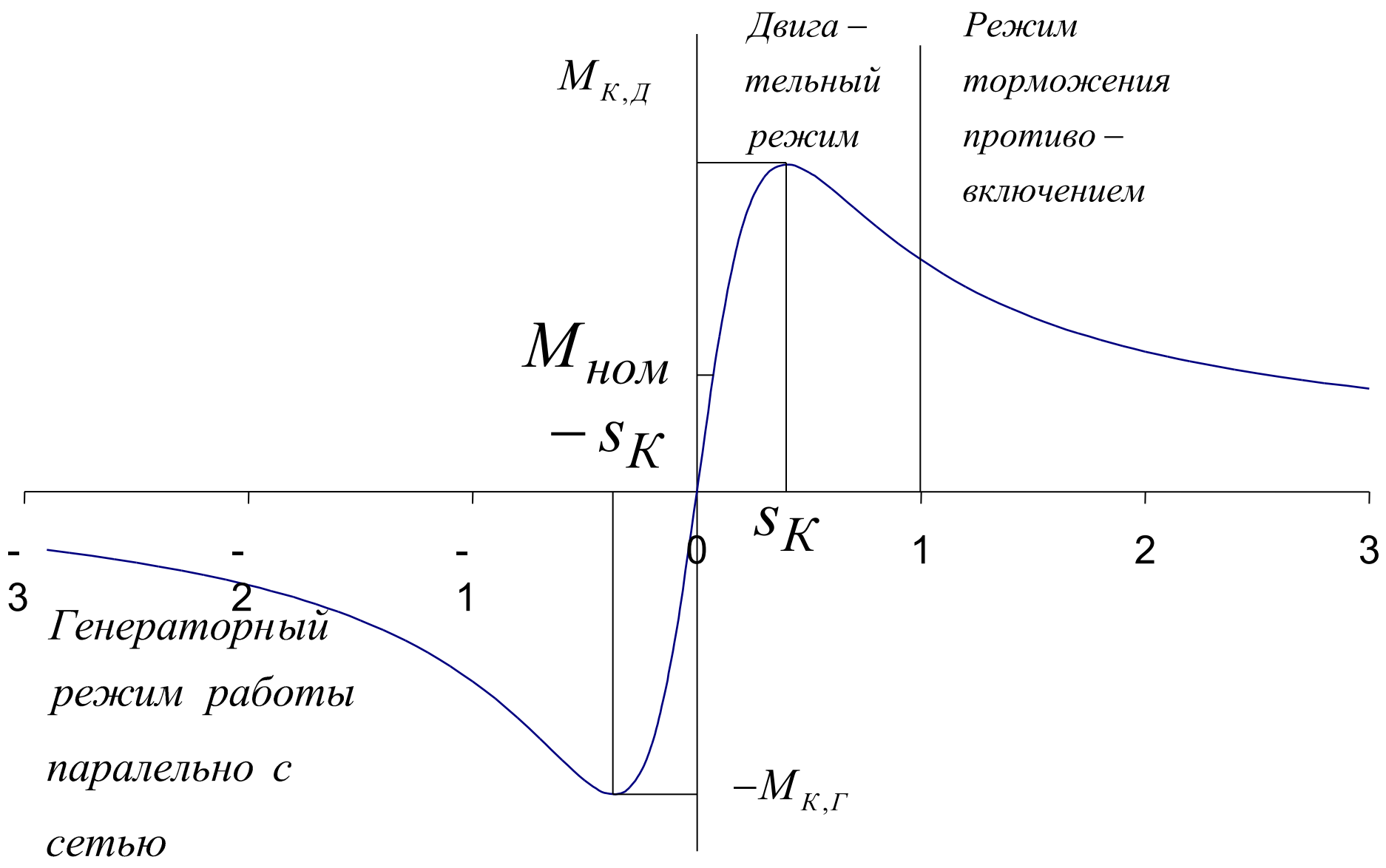
$$s_K = \frac{\pm R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}} \quad (11)$$

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.

