

Комплексная мощность трехфазного асинхронного двигателя

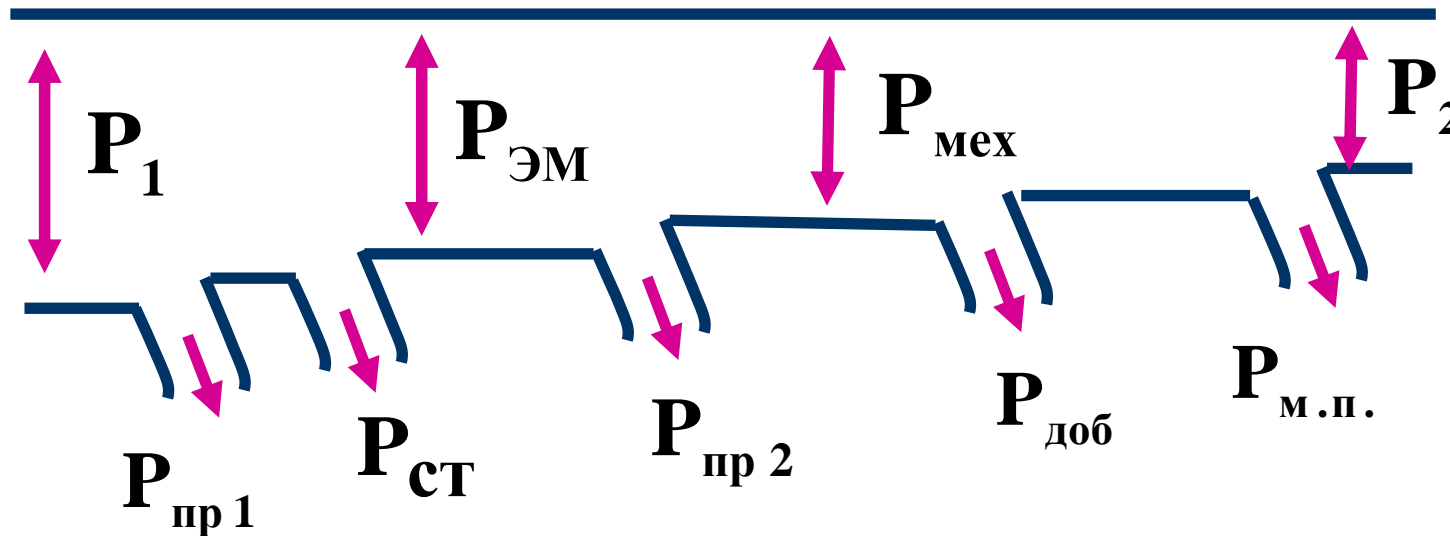
$$\dot{S}_1 = P_1 + jQ_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1 + j3U_1 I_1 \sin \varphi_1$$

P_1, Q_1 — активная и реактивная мощность

Активная мощность определяет среднюю мощность необратимого преобразования электрической энергии в механическую, тепловую и другие виды энергии, а реактивная мощность — максимальную мощность обмена энергией между источником и магнитным полем двигателя



Энергетическая диаграмма двигателя

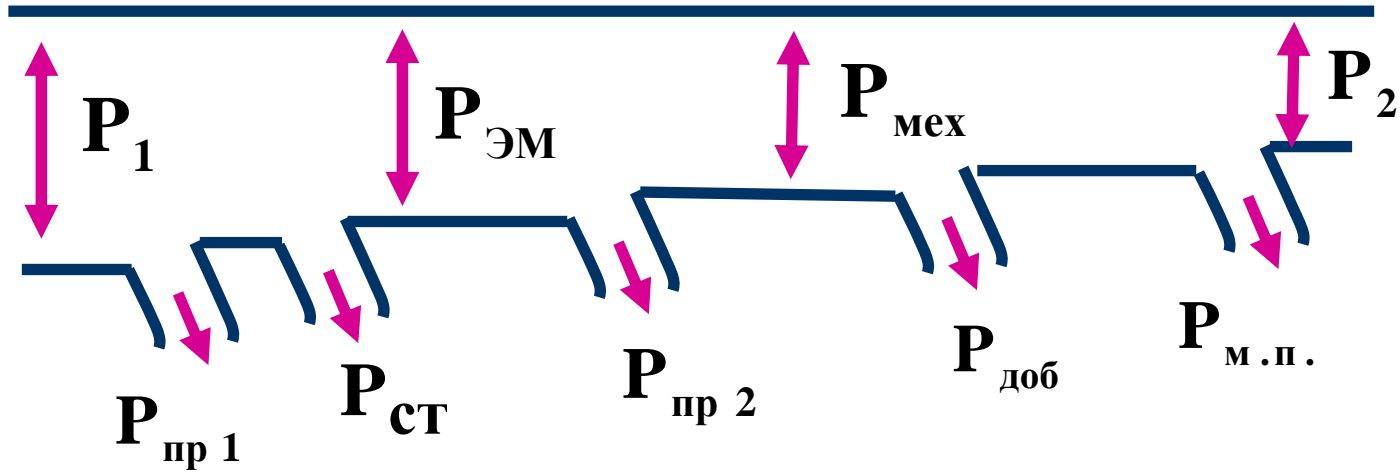


$P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1$ — мощность, подведенная из сети;

$P_{пр1}$ — потери на нагрев обмотки статора

$P_{ст}$ — потери на гистерезис и вихревые токи в статоре;

$P_{ЭМ} = M_{вр} \cdot \Omega_1$ — электромагнитная мощность,
передаваемая ротору,



$\Omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}, [\text{рад/с}]$ – механическая угловая скорость

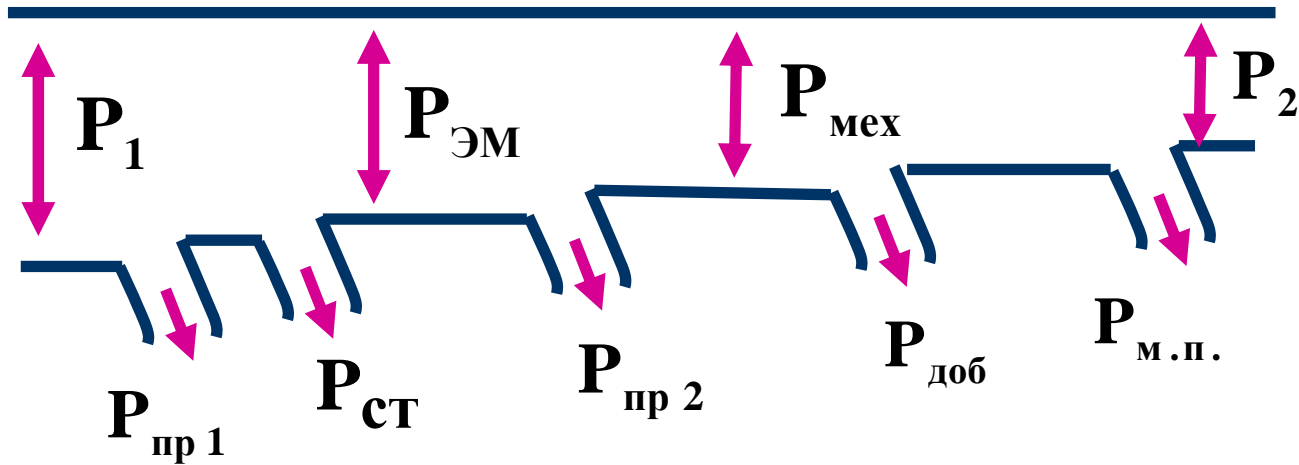
вращения магнитного поля (связывает M и P в системе СИ);

$P_{\text{мех}} = M_{\text{вр}} \cdot \Omega_2$ – механическая мощность ротора

$\Omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60}$ – скорость вращения ротора;

$P_{\text{пр}2}$ – потери на нагрев обмотки ротора;





$P_{доб}$ — добавочные потери (создаются пульсациями магнитного поля);

$P_{м.п.}$ — механические потери;

P_2 — полезная механическая мощность, отдаваемая на валу двигателя

КПД двигателя: $\eta = \frac{P_2}{P_1}$

При номинальном режиме $\eta = 0,8 \div 0,95$

Механическая характеристика двигателя

Условие устойчивой работы: автоматическое установление равновесия между вращающим и тормозным моментами. Т.е., с увеличением нагрузки на валу должен возрасти и вращающий момент

$$M_{\text{вр}} \approx \Phi_{\text{в}} \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad \varphi_2 - \angle \dot{I}_2 \text{ и } \dot{E}_2$$

$$I_2 = \frac{E_{2\text{н}} \cdot s}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{\sigma 2})^2}}$$

$M_{\text{т}} \uparrow \Rightarrow n_2 \downarrow \Rightarrow s \uparrow \Rightarrow I_2 \uparrow$ сначала быстро, а затем, когда

$sX_{\delta 2} \geq R_2$ — все медленнее

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{\sigma 2})^2}}$$

с ростом скольжения уменьшается сначала медленно, а потом все быстрее

$$\Phi = \frac{E_1}{4.44 \cdot f \cdot w_1 \cdot k_{об1}}$$

$$s \uparrow \Rightarrow I_2 \uparrow \Rightarrow I_1 \uparrow \Rightarrow E_1 \downarrow \Rightarrow \Phi \downarrow$$

$$- \dot{E}_1 = \dot{U}_1 - \dot{I}_1 \underline{Z}_1$$



В выражении момента две величины убывают с ростом скольжения, а одна увеличивается, следовательно, определенному критическому скольжению будет соответствовать максимальный момент

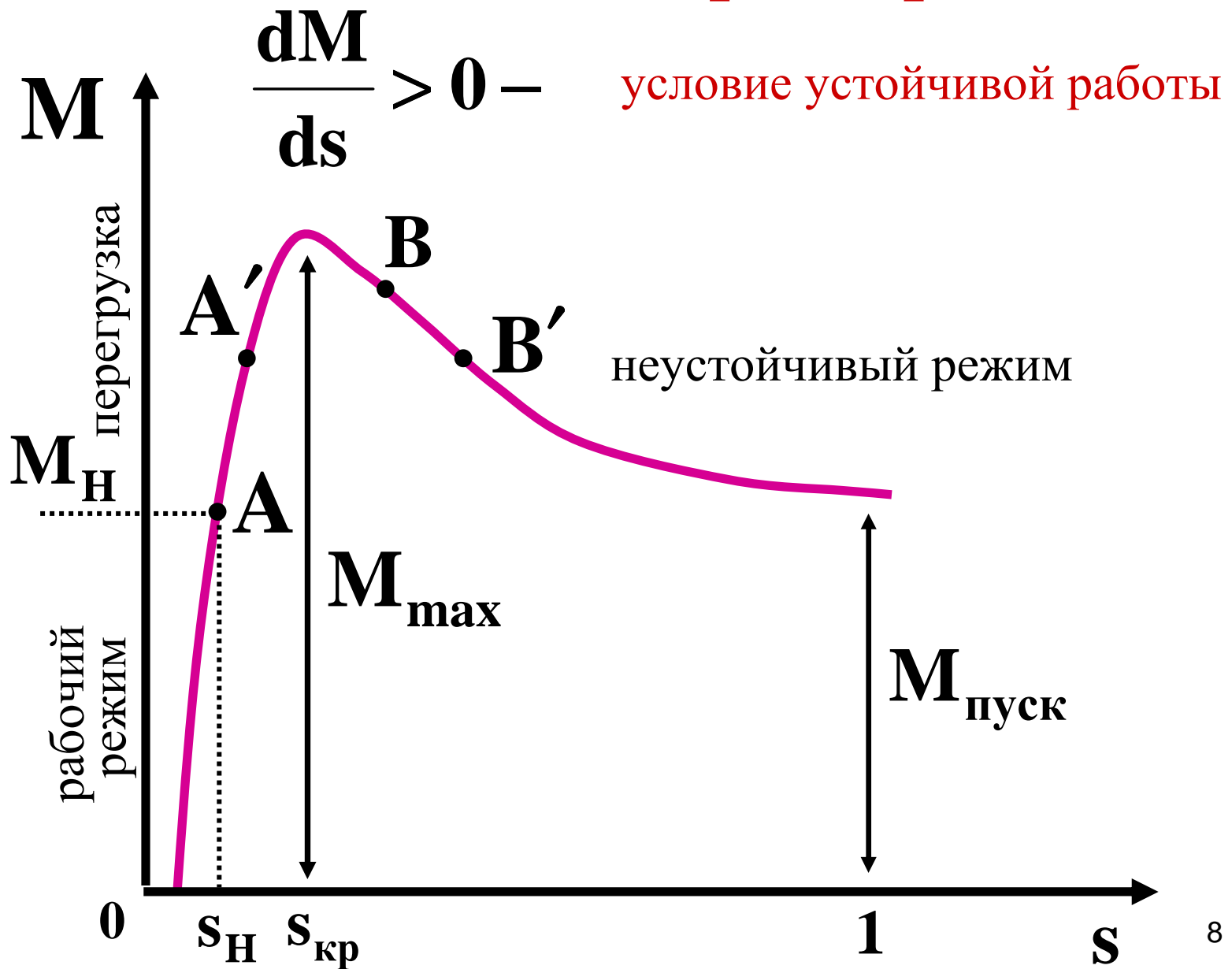
$$s_{\text{кр}} \approx \frac{R_2}{X_{\sigma 2}} - \text{критическое скольжение}$$

$$M \approx \frac{2M_{\text{max}}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}}$$

$$M_{\text{max}} \approx U_1^2$$



Механическая характеристика



Равновесие моментов автоматически восстанавливается при увеличении s пока $M_T < M_{\max}$.

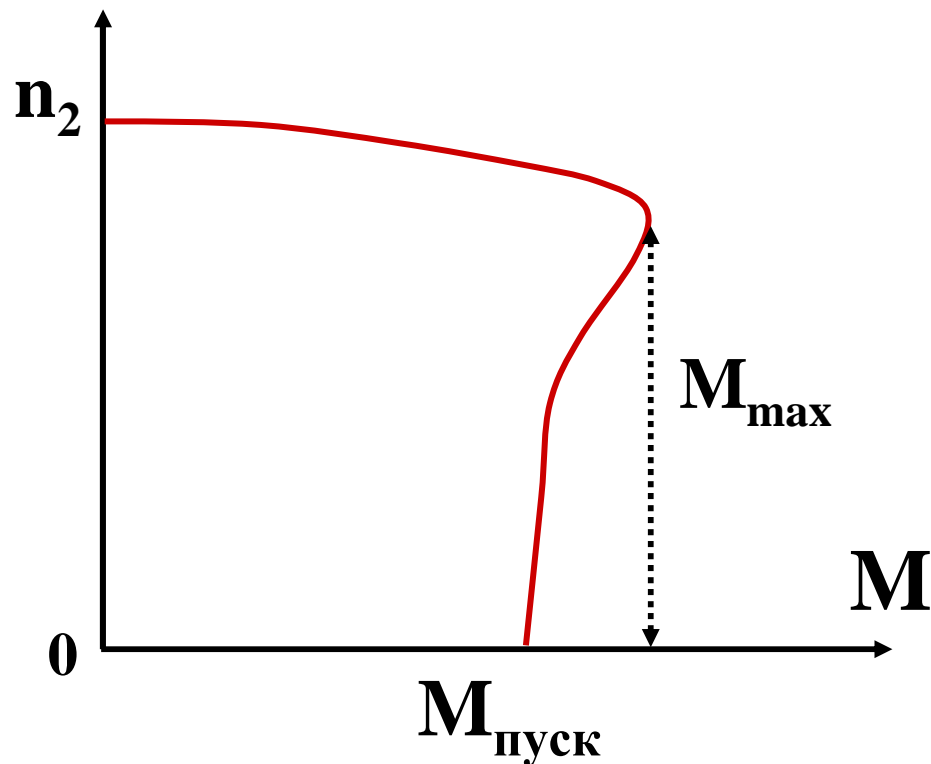
Пусть двигатель работает при $s > s_{\text{кр}}$

$$\text{Если } M_T \uparrow, \text{ то } M_{\text{вр}} - M_T = J \frac{d\Omega}{dt} < 0$$

-появляется отрицательное угловое ускорение (J – момент инерции).

Следовательно, $\Omega \downarrow \rightarrow s \uparrow \rightarrow M_{\text{вр}} \uparrow$ (по графику).

Механическая характеристика АД в пределах от $s=0$ до $s_{кр}$ является жесткой (падает не более чем на 10%).

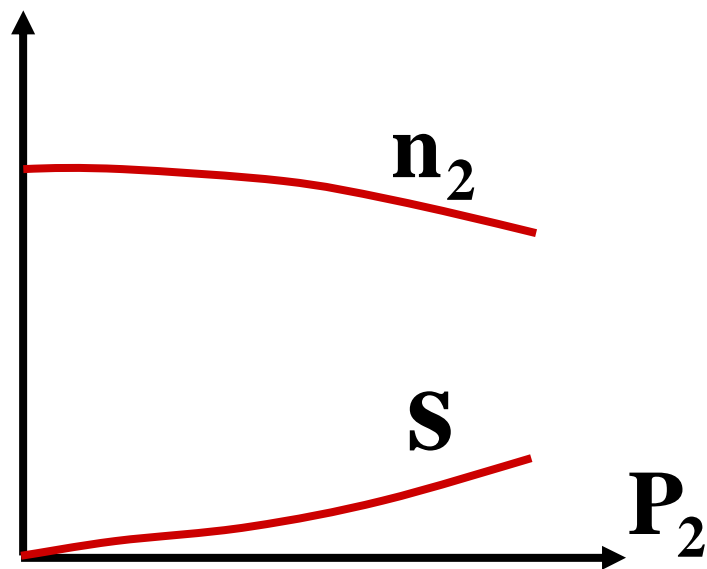


$$\frac{M_{max}}{M_H} = 2 \div 2,5$$

$$\frac{M_{пуск}}{M_H} = 1,6 \div 1,7$$

Рабочие характеристики АД

определяют основные эксплуатационные свойства АД и снимаются при f_H и U_H



$$P_2 \approx P_{\text{мех}}$$

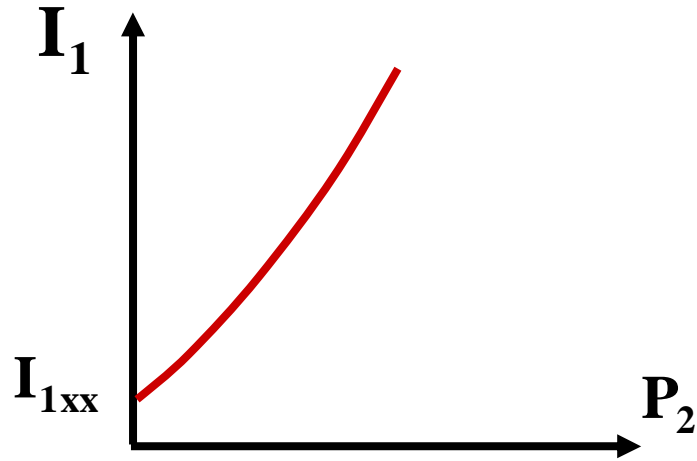
$$P_{\text{мех}} = M_{\text{вр}} \cdot \Omega_2$$

$$n_2 = f(P_2)$$

мало отличается от

$$n_2 = f(M)$$



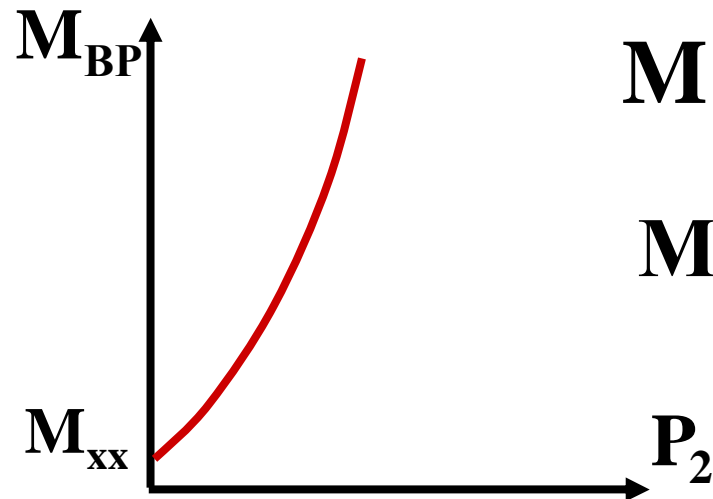


$$P_2 \uparrow \Rightarrow I_2 \uparrow \Rightarrow I_1 \uparrow$$

$$I_{1xx} \approx 0,5I_{1H}$$

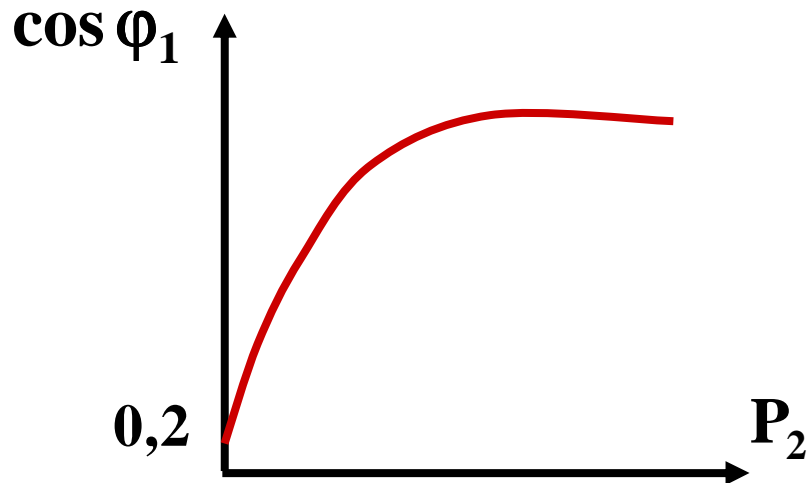
из-за воздушного зазора

Ток статора растет, компенсируя размагничивающее действие тока ротора, что обеспечивает неизменность магнитного потока вращающегося магнитного поля



$$M_{BR} = M_{xx} + M_2 \quad M_2 = \frac{P_2}{\Omega_2}$$

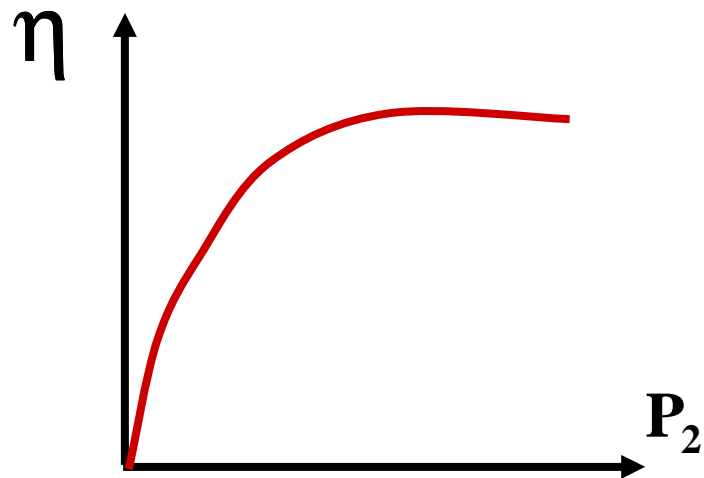
M_{xx} затрачивается на преодоление механических и добавочных потерь



$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}$$

0,7 ÷ 0,95

$Q_1 \approx \text{const}$, P растет с ростом нагрузки и достигает наибольшего значения в режиме, близком к номинальному



$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_1 = P_2 + P_{\text{пот}}$$



Постоянные потери – это потери в стали сердечника статора от гистерезиса и вихревых токов и механические потери.

Переменные потери – это потери на нагрев проводников статора и ротора

КПД максимален (65-95%), когда переменные потери равны постоянным

У большинства двигателей этот максимум имеет место при нагрузке, равной 75% от номинальной, т.к. двигатели проектируются с учетом того, что далеко не всегда они полностью загружены.



Пуск в ход двигателей

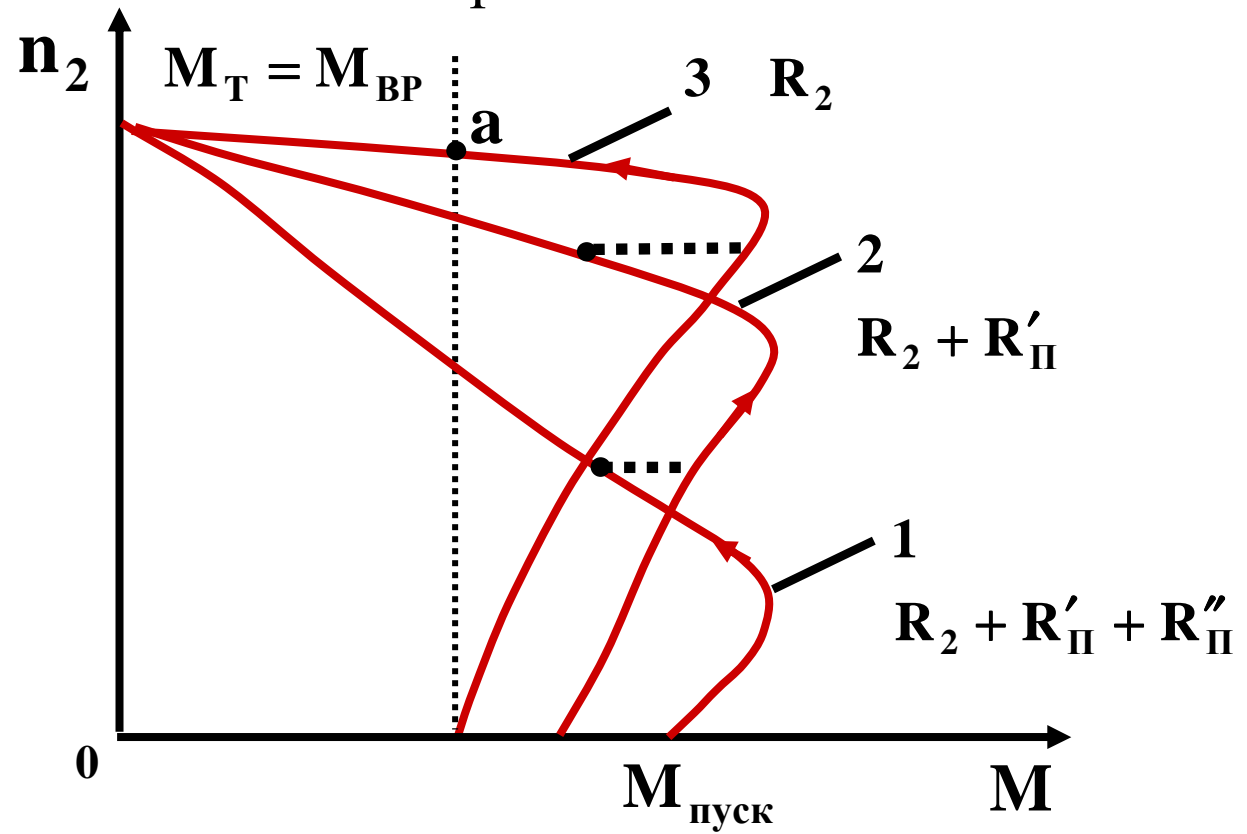
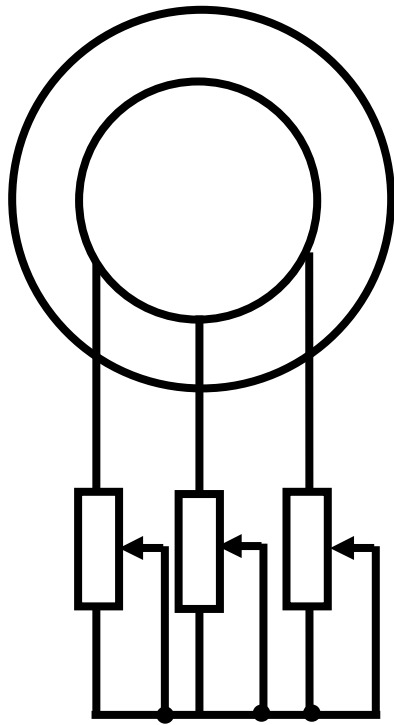
В силу механической инерционности вращающихся масс процесс пуска сопровождается бросками токов и моментов.

Пусковые свойства двигателей определяются пусковым током $I_{\text{пуск}}$ и пусковым моментом $M_{\text{пуск}}$, плавностью и экономичностью пуска



Пуск двигателя с фазным ротором

В каждую фазу цепи ротора вводится пусковой реостат.



Недостатки:

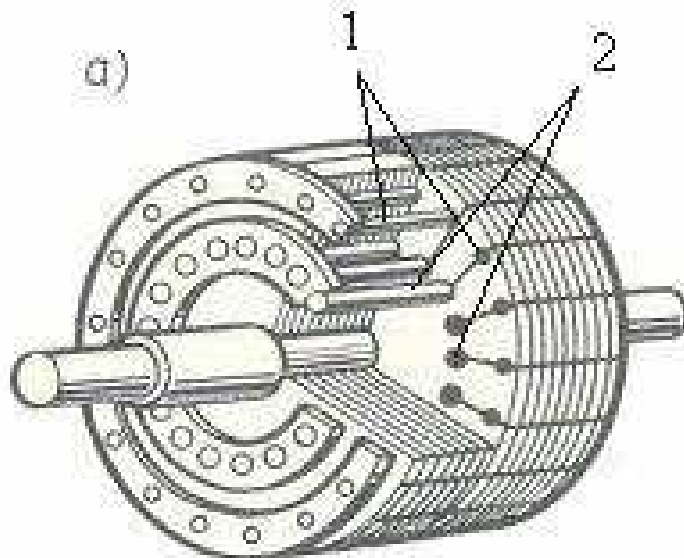
- **удорожание машины,**
- **усложнение ее обслуживания,**
- **длительность и сложность управления пусковыми реостатами,**
- **потеря активной мощности в реостатах**

Пуск двигателя с короткозамкнутым ротором

1. Прямой пуск (до 100 кВт)

Допускается, если мощность двигателя не превышает 5% от мощности трансформатора, если от него питается и осветительная сеть. Ограничение по мощности объясняется бросками тока в момент пуска, что приводит к снижению напряжения на зажимах вторичных обмоток трансформатора. Если от трансформатора не питается осветительная сеть, то прямое включение можно применять для двигателей, мощность которых не превышает 25% от мощности трансформатора.)

2. Двигатели специальной конструкции

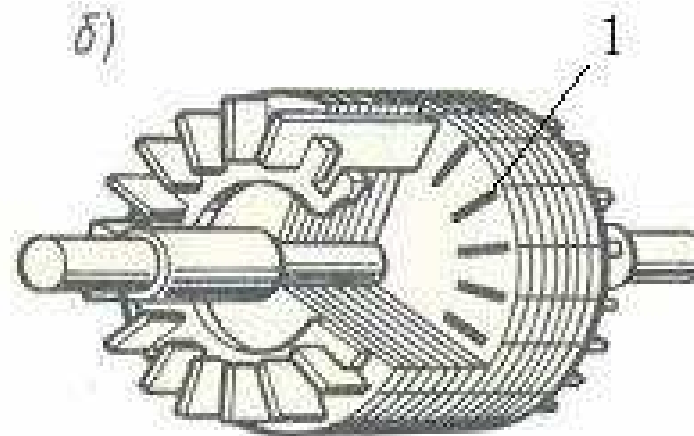


двойная «беличья клетка»;

1- пусковая обмотка(латунь);

2 – рабочая (медь).

$$R_{\text{пуск}} > R_{\text{раб}}$$



с глубоким пазом

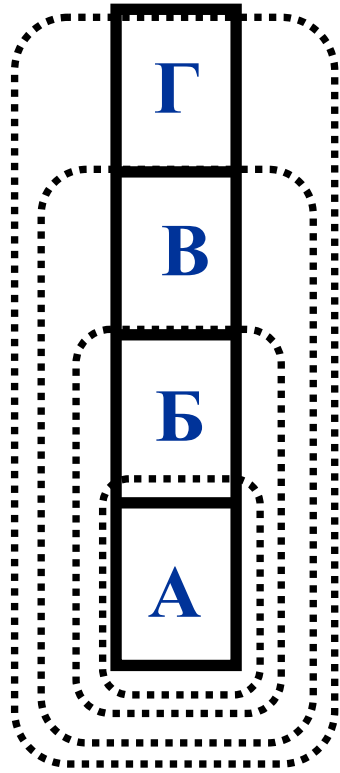
обмотка из прямоугольных стержней малой ширины и большой высоты, которые помещаются в глубокие пазы ротора

При пуске f_2 максимальна ($s=1$) →

индуктивное сопротивление рабочей обмотки
велико (охватывается сталью) →

почти весь ток течет по пусковой обмотке и создает
большой $M_{\text{пуск}}$

По мере разгона $f_2 \downarrow$ → индуктивное
сопротивление \downarrow и ток вытесняется в рабочую
обмотку.



При пуске $f_2=f$ и на распределение тока в стержне оказывает влияние поле рассеяния.

$$X_A > X_B > X_V > X_\Gamma \rightarrow$$

ток ротора вытесняется в наружную часть стержня.

Это эквивалентно увеличению активного сопротивления, $\rightarrow M_{\text{пуск}} \uparrow$, а $I_{\text{пуск}} \downarrow$. При рабочей f_2 индуктивное сопротивление становится незначительным и ток по сечению распределяется равномерно.

3. Переключение фаз обмоток статора с Δ на Y

Пусковой ток уменьшится в три раза, а затем переключают на Δ (при этом мощность возрастет в три раза).

4. Автотрансформаторный пуск АД

Это пуск при пониженном напряжении. На обмотку статора подается пониженное напряжение через автотрансформатор. Постепенно увеличивая напряжение выходят на естественную характеристику при U_{1H}