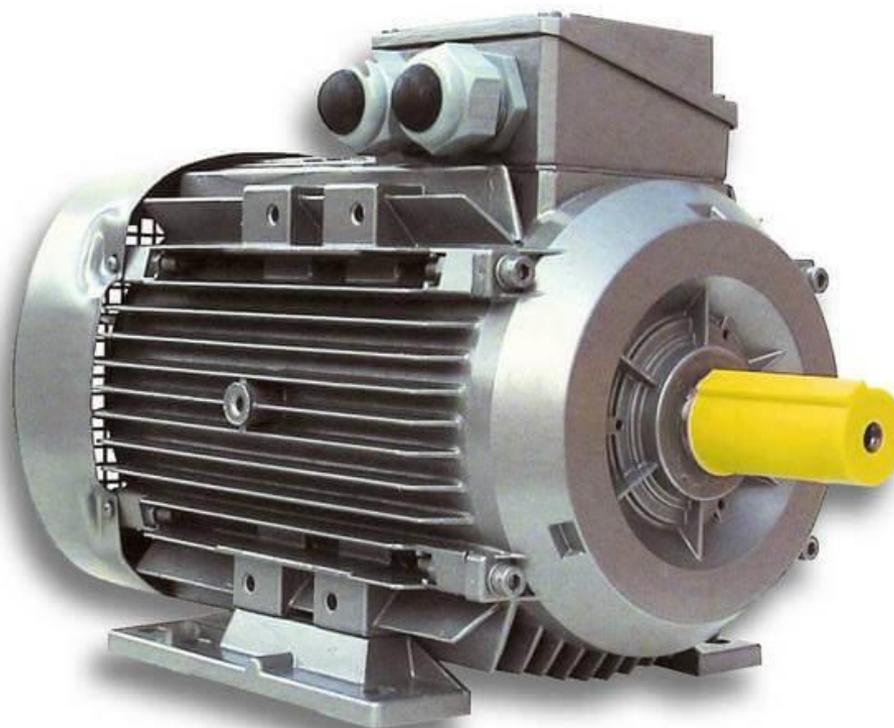


БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова  
кафедра электротехники, О8

Лекция 13

**Асинхронные машины**



## Асинхронные машины

Асинхронные машины являются машинами переменного тока, у которой магнитное поле статора и ротор вращаются с разными скоростями.

Асинхронные машины в основном используются в качестве двигателей.

АД являются самыми распространёнными.

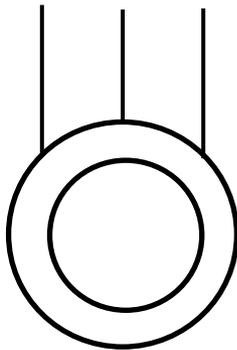
Асинхронные двигатели подключаются к трёхфазной и однофазной сетям.

Однофазные двигатели имеют небольшую мощность (до 1,5 кВт) и применяются в средствах автоматики.

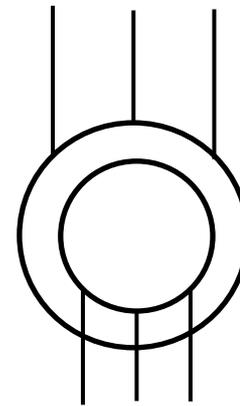
Трёхфазные двигатели во всех отраслях, где необходимо вращение.

Асинхронные машины сверхмалой мощности используются в качестве тахометров (тахогенераторов).

Обозначение асинхронных машин в электрических схемах



АД с короткозамкнутым ротором

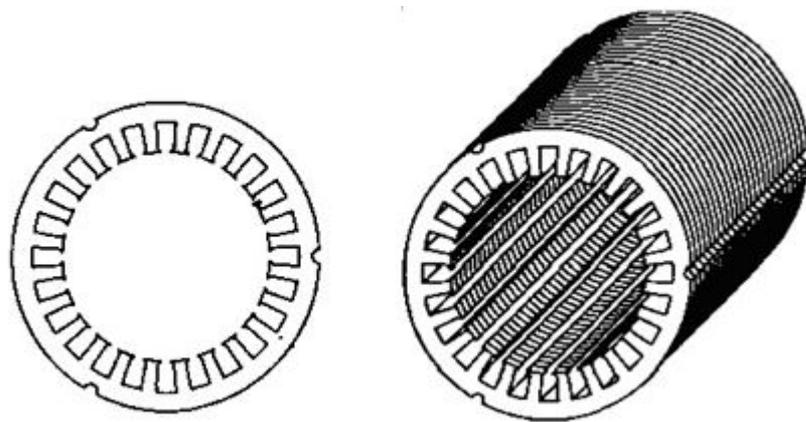


АД с фазным ротором

## Устройство асинхронного двигателя

Асинхронные двигатели состоят из **статора** и **ротора**.

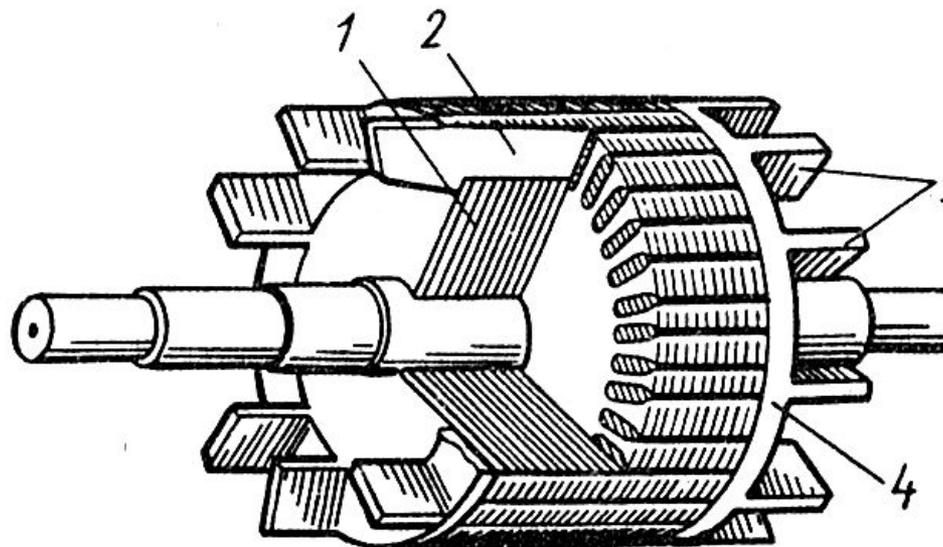
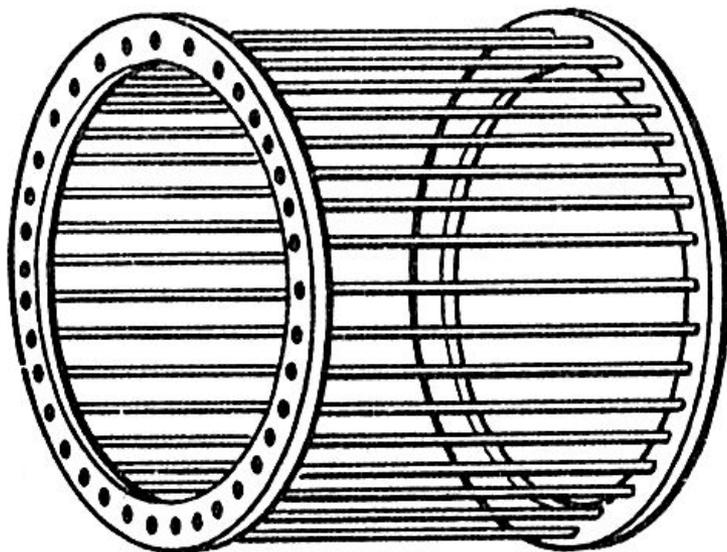
Сердечник статора представляет собой полый цилиндр, собранный из листов **электротехнической** стали и имеет пазы. В пазы уложены обмотки возбуждения.



Устройство статора асинхронной машины

## Устройство асинхронного двигателя

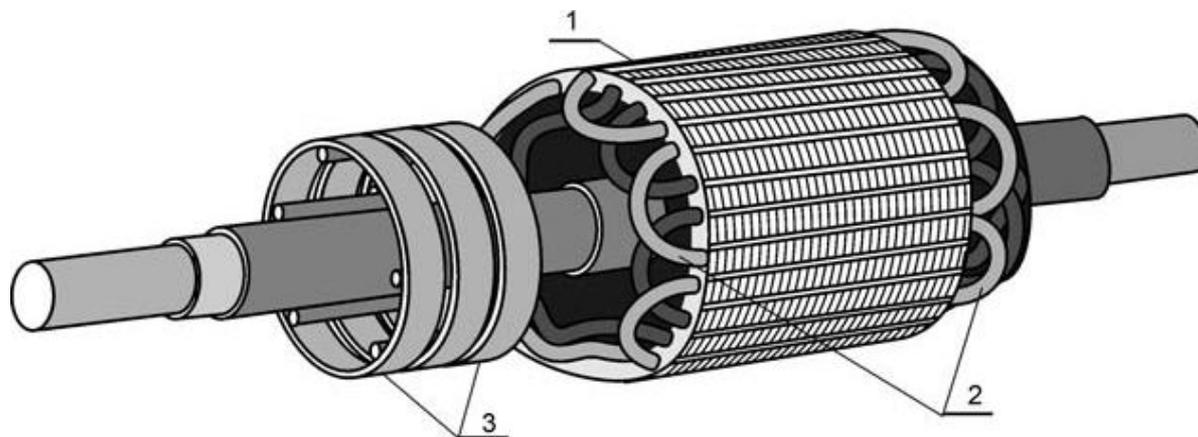
### Короткозамкнутый ротор асинхронного двигателя (типа «беличьей клетки»)



1 – магнитопровод, из листов электротехнической стали;

2 – проводники алюминиевые, залитые в пазы магнитпровода.

## Фазный ротор асинхронного двигателя



1. магнитопровод;
2. фазные обмотки;
3. контактные кольца

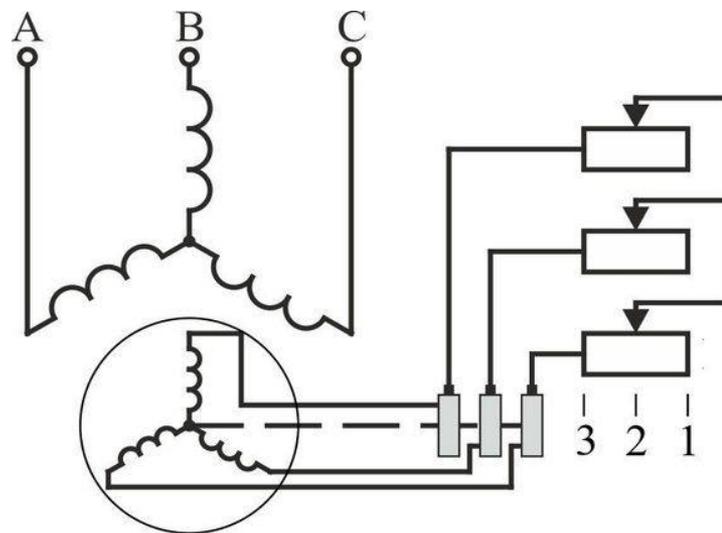
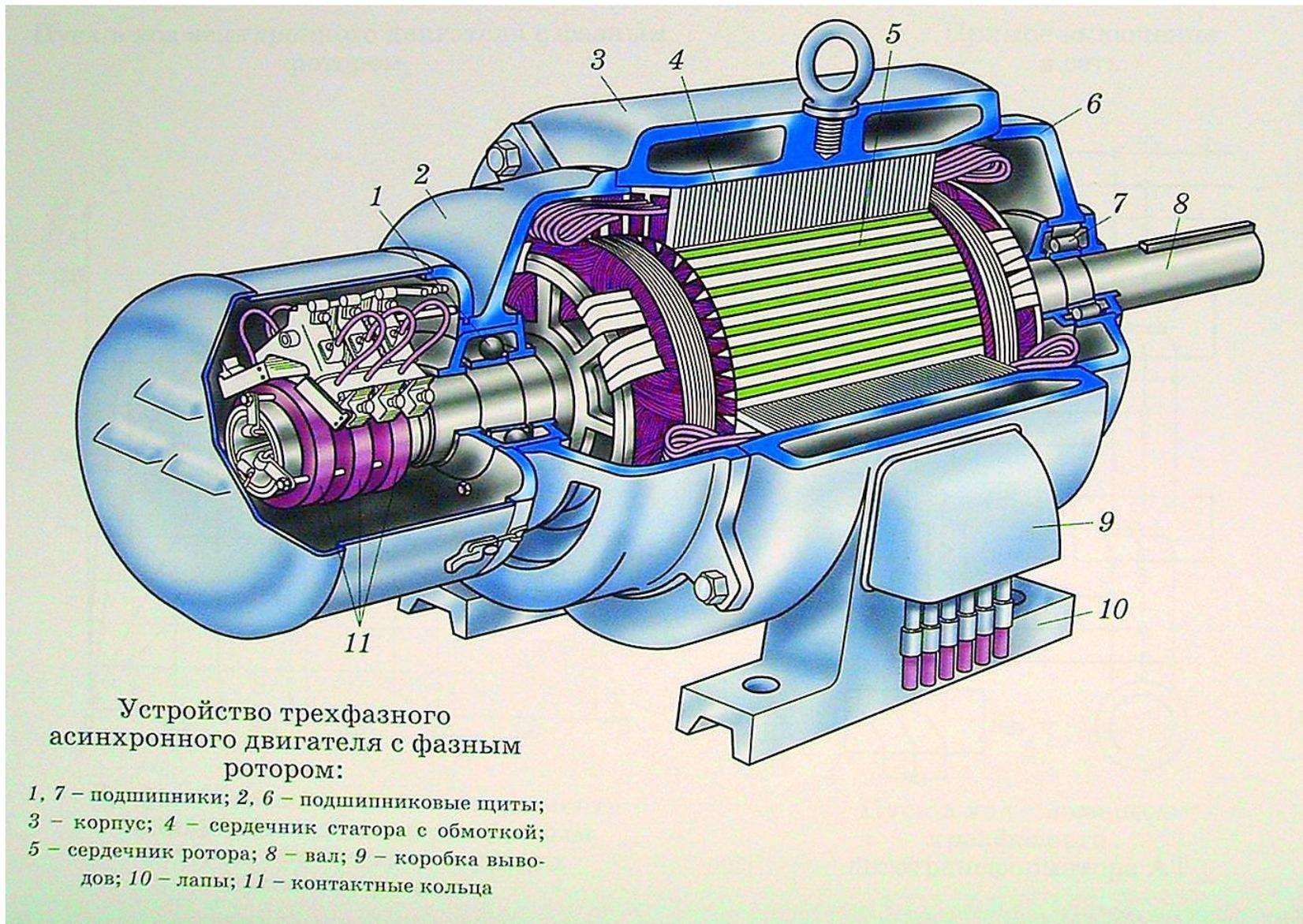


Схема асинхронного двигателя с фазным ротором

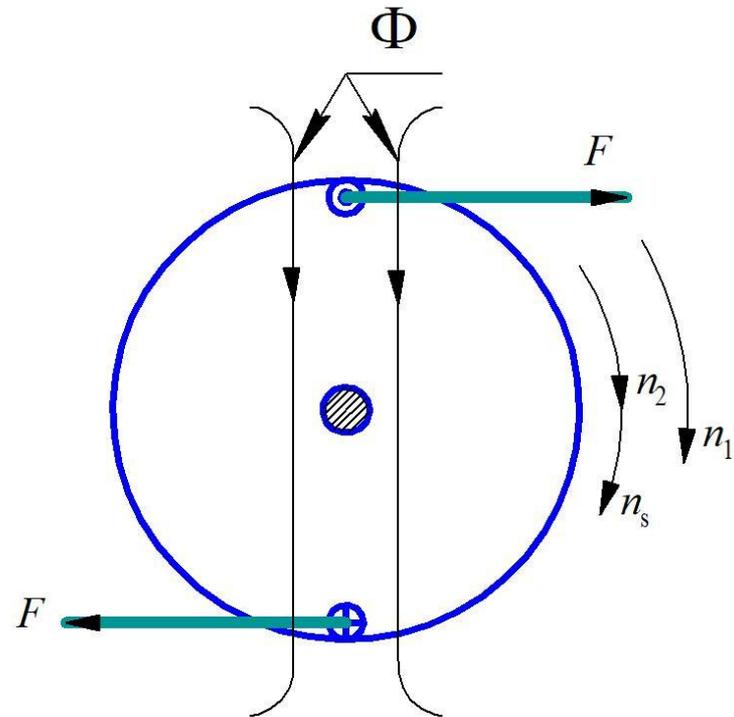
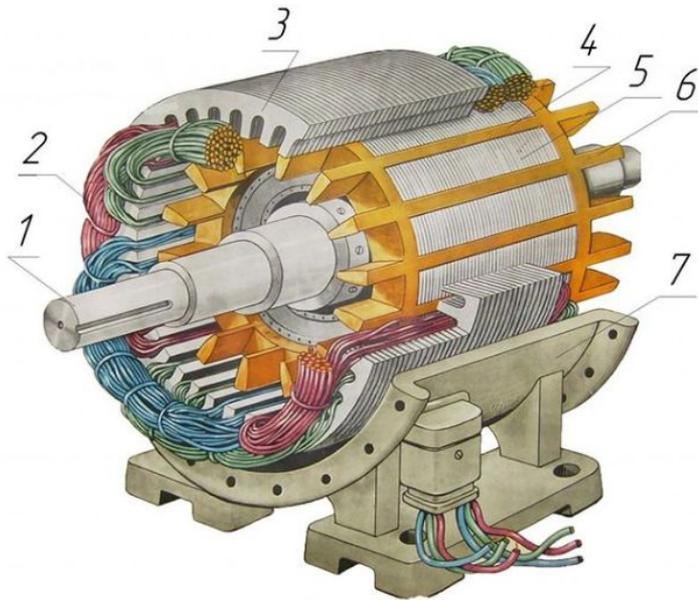
## Трёхфазный асинхронный двигатель с фазным ротором



## Принцип действия асинхронного двигателя

Переменный ток в фазных обмотках создает вращающееся магнитное поле с угловой скоростью  $\omega_1$ . (или  $n_1$ ).

Вращающееся магнитное поле пересекает витки ротора (якоря) и индуцирует в них ЭДС.



Так как концы проводников замкнуты накоротко, то в них возникает ток. Возникший ток взаимодействует с вращающимся магнитным потоком, появляется пара сил **Ампера**, действующих на проводники, приводят во вращение ротор.

Скорость вращения ротора  $n_2$  отстает от скорости вращения магнитного поля  $n_1$ .

Если скорости совпали бы ( $n_1 = n_2$ ) тогда исчезла бы ЭДС в обмотках ротора и ротор стал бы тормозиться. Следовательно, снова в обмотке ротора возникла бы ЭДС. Таким образом, ротор всё время пытается догнать магнитный поток статора.

Разница скоростей  $n_1$  и  $n_2$  описываются – **скольжением**.

$$s = \frac{n_s}{n_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Частота вращения ротора зависит от скольжения  $s$ , от частоты питающей сети  $f$  и от числа магнитных полюсов  $p$ :

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - s) = \frac{60f}{p} (1 - s)$$

В режиме двигателя скольжение  $0 < s < 1$ .

При номинальном режиме работы  $s = 0,03 \div 0,08$ .

Чем больше тормозной момент, тем больше скольжение.

## Величины ЭДС, индуцированных в обмотках статора и ротора

При пересечении переменного магнитного потока в обмотках статора и ротора возникают ЭДС:

$$E_1 = 4,44 f w_1 k_{\text{обм.1}} \Phi_m$$

$$E_2 = 4,44 f_2 w_2 k_{\text{обм.2}} \Phi_m$$

$k_{\text{обм.1}}$ ,  $k_{\text{обм.2}}$  – обмоточные коэффициенты машины

Магнитное поле относительно ротора вращается со скоростью :  $n_s = n_1 - n_2 = n_1 s$ . Частота ЭДС и тока в обмотке ротора определяется:

$$f_2 = \frac{p n_s}{60} = \frac{p s n_1}{60} = s \cdot f$$

Пример:

Если  $s=0,04$  и  $f=50$  Гц, то  $f_2 = s f = 0,04 * 50 = 2$  Гц

# Энергетическая диаграмма и КПД

Потребляемая от сети мощность определяется формулой:  $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$

$m_1$  - число фаз статора;

$U_1$  - фазное напряжение;

$I_1$  - фазный ток;

Электрические потери в обмотках статора:  $P_{1ЭЛ} = m_1 I_1^2 R_1$

Магнитные потери в стали статора:  $P_{1ст} = m_1 I_0^2 R_\mu = c \cdot m_1 E_1^2$

Электромагнитная мощность передаваемая от статора в ротор:  $P_{ЭМ} = P_1 - P_{1ЭЛ} - P_{1ст}$

Электрические потери в обмотках ротора:  $P_{1ЭЛ} = m_2 I_2^2 R_2$

Дополнительные механические потери:  $P_{мех}$

Потери машины в целом:  $\Delta P = P_{1ээ} + P_{1сст} + P_{2ээ} + P_{2ст} + P_{мех}$

КПД:  $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1}$

Номинальное значение КПД:

$$\eta = 0,7 \div 0,96$$

## Вращающий момент асинхронного двигателя

Электромагнитная мощность двигателя определяется моментом  
(механическая мощность на валу двигателя)

$$P_{\text{эм}} = M\Omega_2$$

$\Omega_2$  – угловая скорость вращения ротора (рад/сек)

$$\Omega_2 = \frac{2\pi \cdot n_2}{60}$$

С учётом математических преобразований

$$M = c_M I_2' \Phi_m \cos \psi_2$$

Вращающий момент асинхронного двигателя пропорционален току ротора, амплитуде вращающего магнитного потока и косинусу угла между током и напряжением в роторе.

В асинхронном двигателе вращающий момент создается только активной составляющей тока!

Учитывая происходящие электромагнитные процессы получим

$$M = \frac{m_1 p U_1^2 R_2' / s}{2\pi \cdot f ((R_1 + R_2' / s)^2 + (x_1 + x_2')^2)}$$

$$M = \frac{m_1 p U_1^2 R'_2 / s}{2\pi \cdot f ((R_1 + R'_2 / s)^2 + (x_1 + x'_2)^2)}$$

*Вращающий момент асинхронного двигателя зависит от скольжения!*

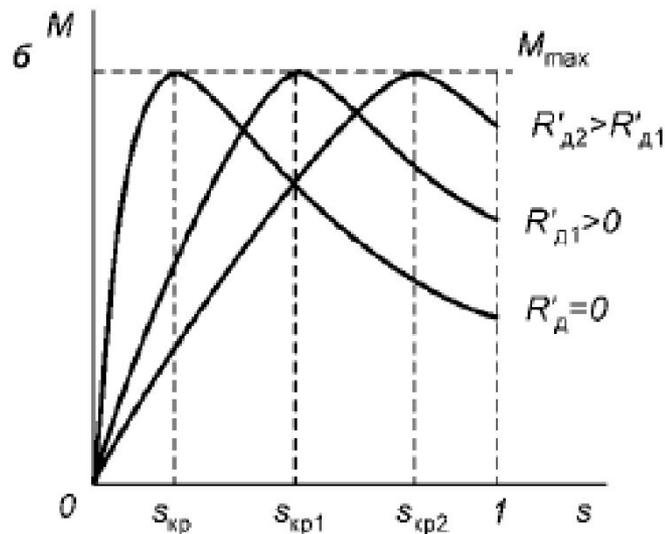
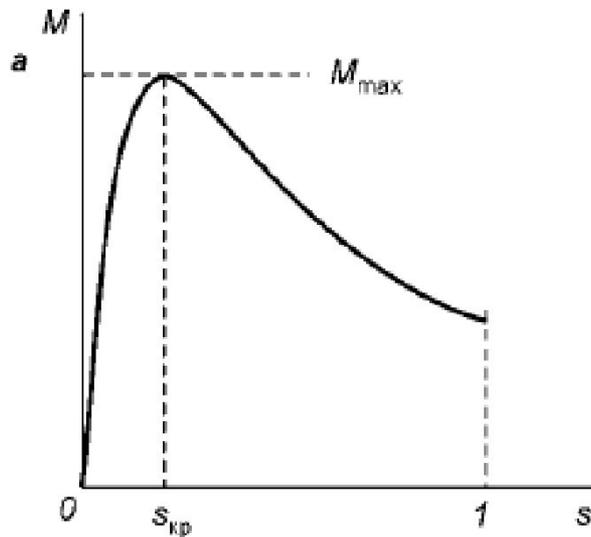
Учитывая малость активного сопротивления обмотки статора  $R_1$  и  $U_1 = \text{const}$  и введя реактивное сопротивление машины  $x_k = x_1 + x'_2$  получим зависимость:

$$M = \frac{c'_2 \cdot s}{R'_2}$$

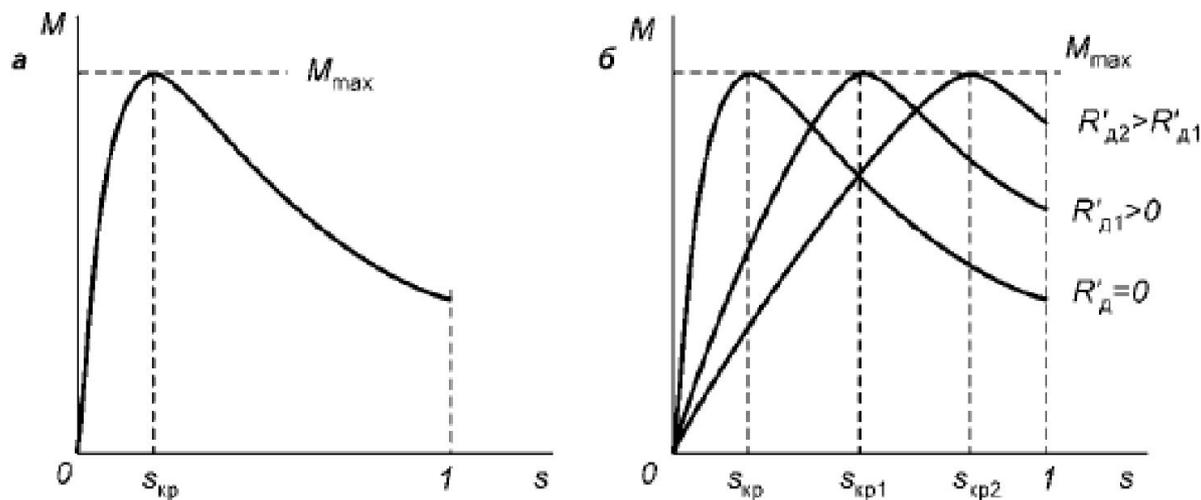
где

$$c'_2 = \frac{m_1 p U_1^2}{2\pi \cdot f}$$

- ПОСТОЯННЫЙ К-Т



## Зависимость момента от скольжения



Максимальное значение момента соответствует критическому скольжению  $s_{\text{кр}}$ , которое найдем производной

$$\frac{dM}{ds} = 0$$

$$s_{\text{кр}} = \frac{R'_2}{x_{\text{к}}}$$

Так как  $x_{\text{к}} = \text{const}$ , критическое скольжение  $s_{\text{кр}}$  зависит только от сопротивления обмотки ротора  $R_2$  ( $R'_2$ ).

Обычно  $s_{\text{кр}} = 0,1 \dots 0,2$ .

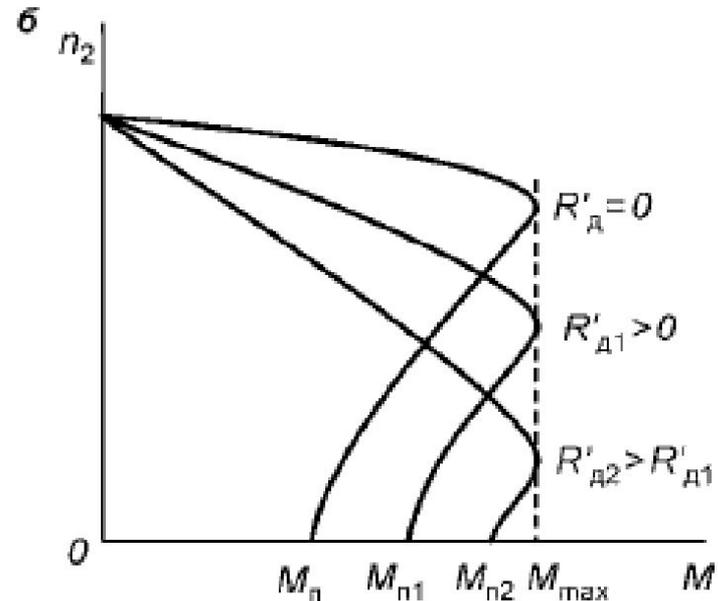
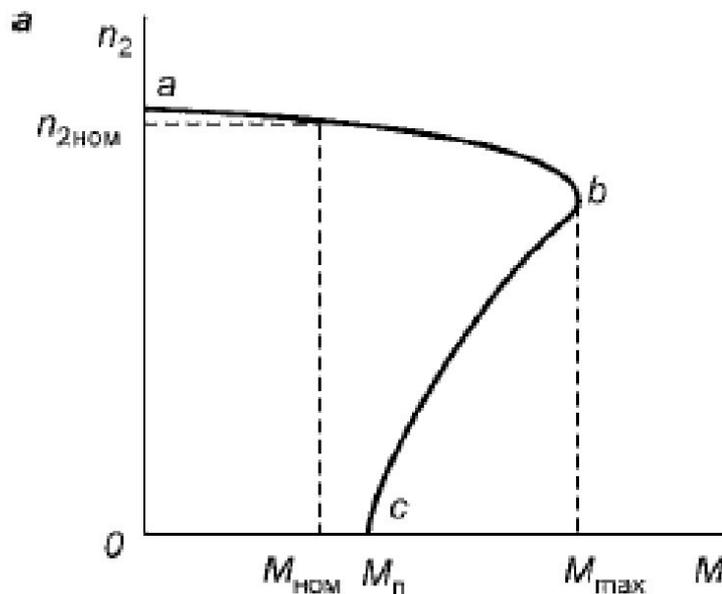
# Характеристики асинхронного двигателя

*Механической характеристикой* называют зависимость скорости вращения двигателя от момента  $n_2 = f(M)$  при  $U_1 = \text{const}$  и  $f = \text{const}$ .

Из формулы определения скорости  $n_2 = n_1(1 - s) = n_1 - n_1s$  можем найти:

если  $s=1$  тогда  $n_2 = 0$ ;

если  $s=0$  ТОГДА  $n_2 = n_1$ .



*a-b* - устойчивый режим работы двигателя;

*b* - максимальный момент двигателя;

*c* - пусковой момент двигателя;

# Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Рабочими характеристиками называют зависимости:

$$n_2 = f(P_2);$$

$$s = f(P_2);$$

$$M_2 = f(P_2);$$

$$I_1 = f(P_2);$$

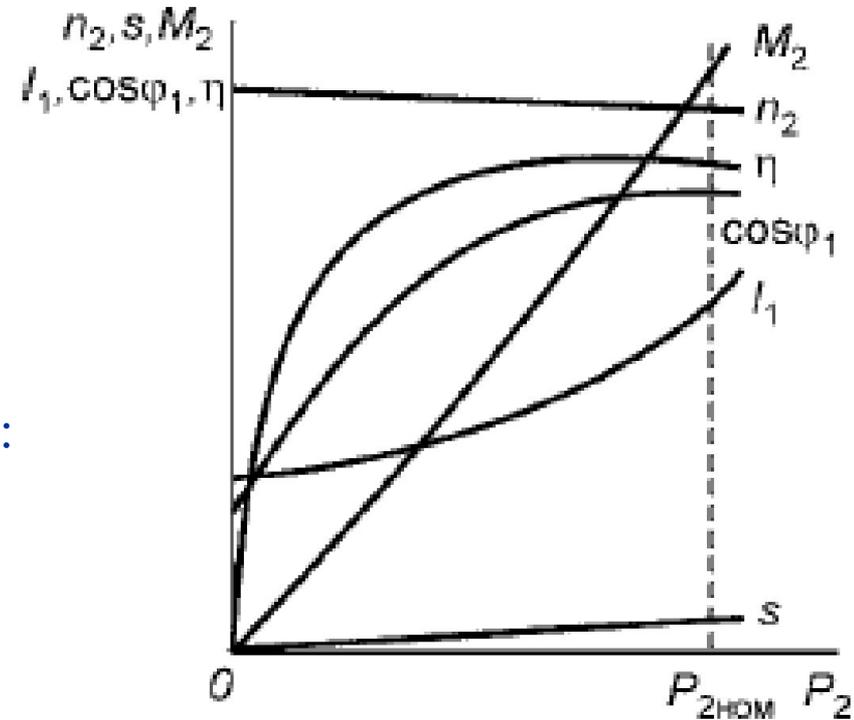
$$\cos\phi_1 = f(P_2);$$

$$\eta = f(P_2);$$

при  $U_1 = \text{const}$  и  $f = \text{const}$ .

Механический (полезный) момент на валу:

$$M_2 = 9,55 \frac{P_2}{n_2}$$



Ток холостого хода асинхронного двигателя составляет 40 – 60% от номинального тока!

## Пуск в ход асинхронных двигателей

В момент пуска  $n_2 = 0$  и скольжение  $s = 1$ .

Пусковой ток ротора (приведённое значение) при  $s=1$ :

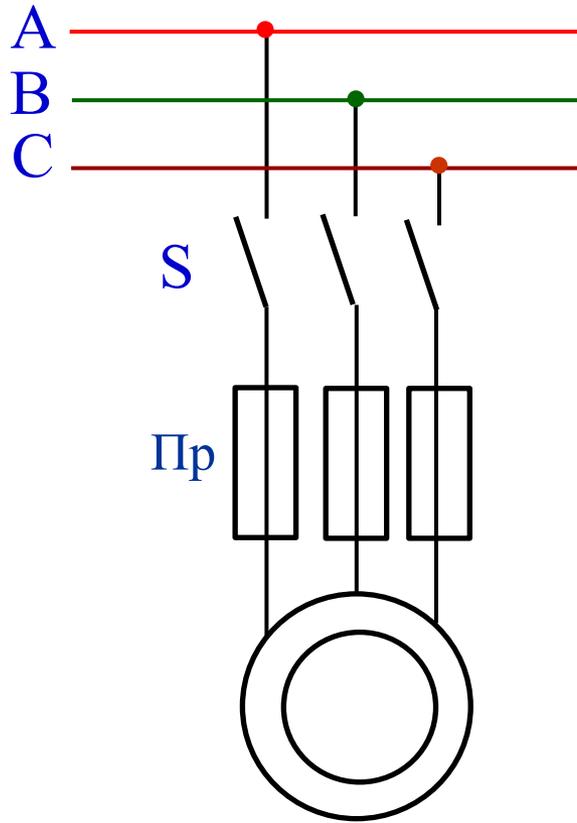
$$I'_{1\text{пуск}} = \frac{U_1}{\sqrt{(R'_1 + R'_2)^2 + (x'_1 + x'_2)^2}}$$

Пусковой ток превышает номинальный в  $5 - 7$  раз. При пуске появляется большой бросок тока первичной обмотки.

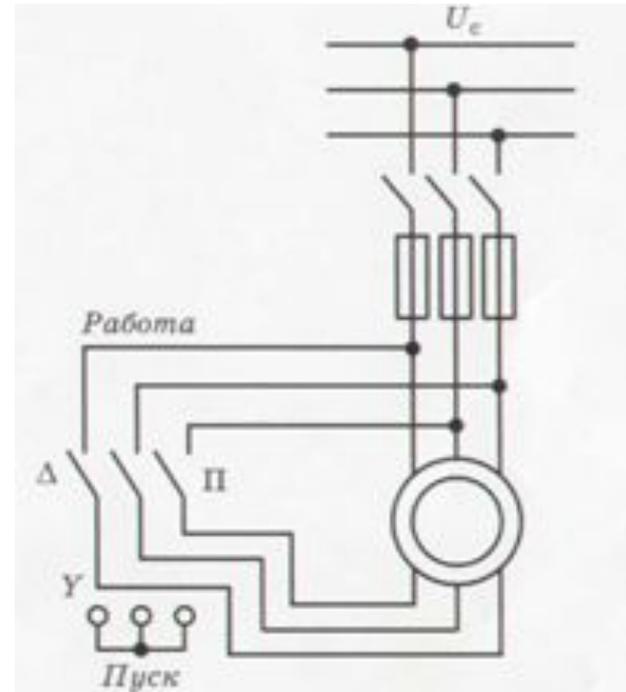
Поэтому к пуску предъявляются особые требования:

- пуск должен быть простым;
- пусковой момент должен быть достаточно большим;
- пусковой ток по возможности должен быть небольшим.

# Пуск асинхронного двигателя



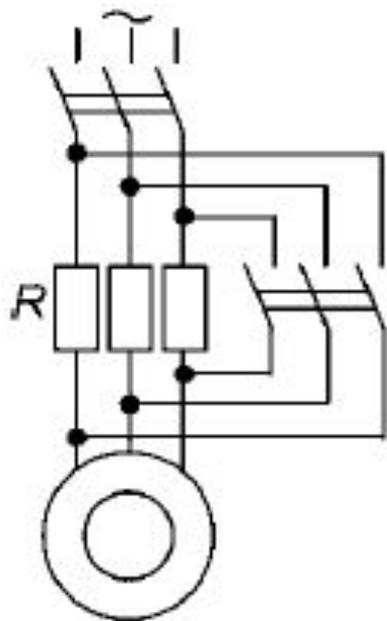
Прямой пуск



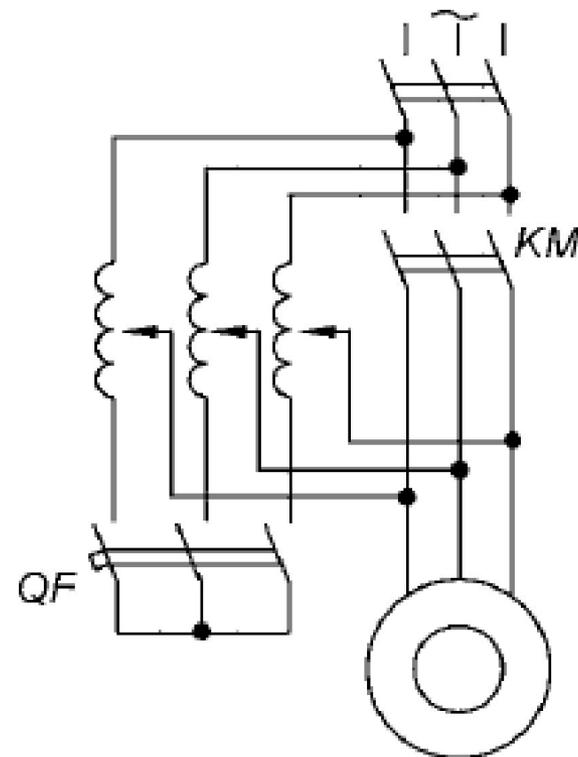
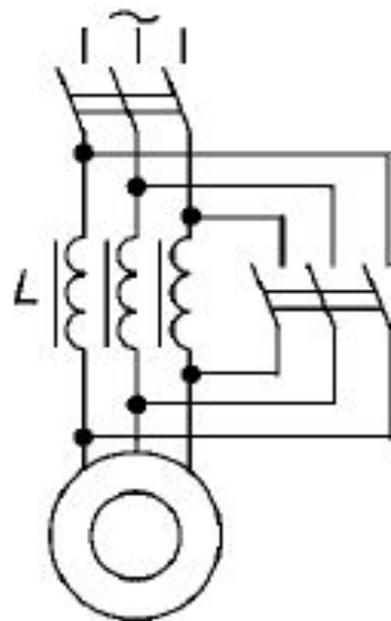
Пуск переключением  
«Звезда-треугольник»

- ❖ рабочий режим – **треугольник**;
- ❖ пусковой режим - **звезда**

## Пуск асинхронного двигателя

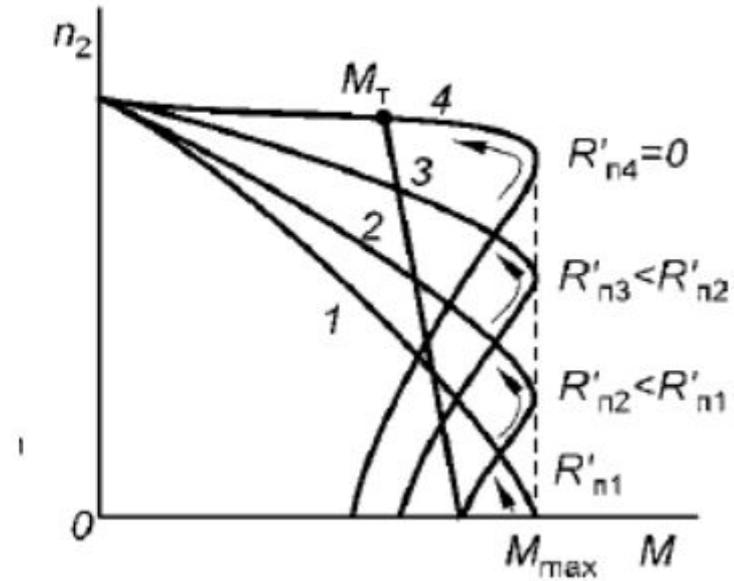
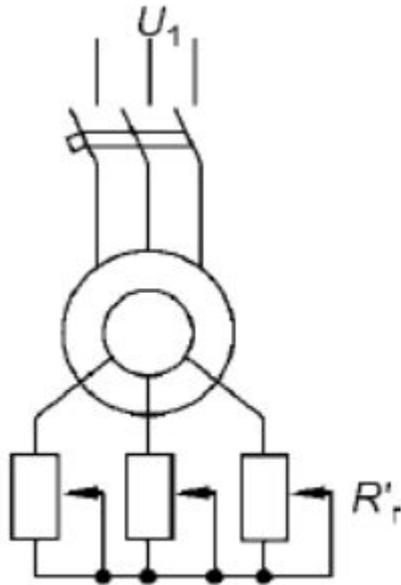


Пуск с помощью реакторов



Пуск с помощью  
автотрансформатора

# Пуск асинхронного двигателя с фазным ротором



Механические характеристики

# Регулирование скорости асинхронного двигателя

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - s) = \frac{60f}{p} (1 - s)$$

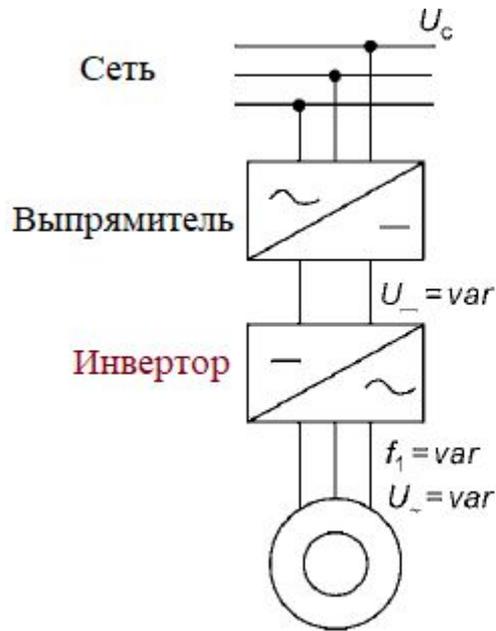
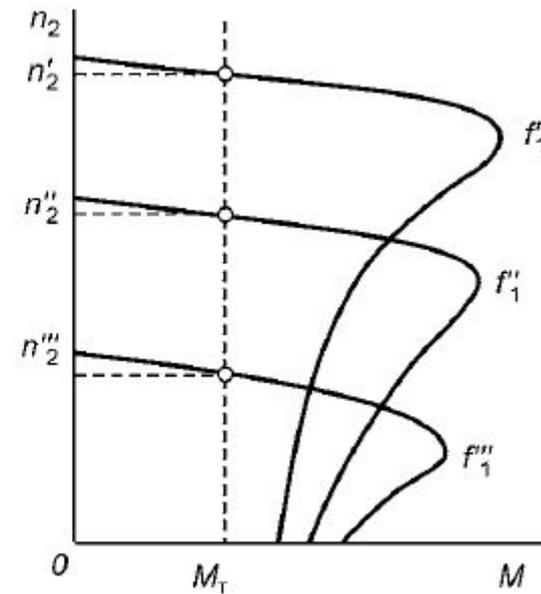


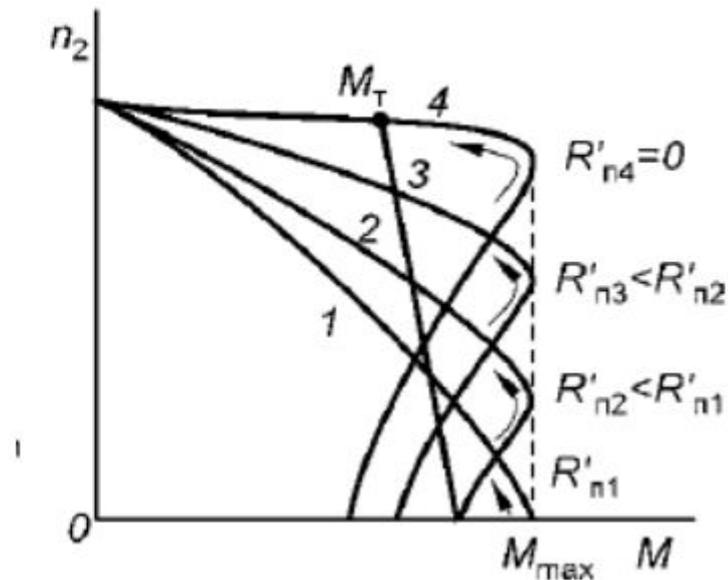
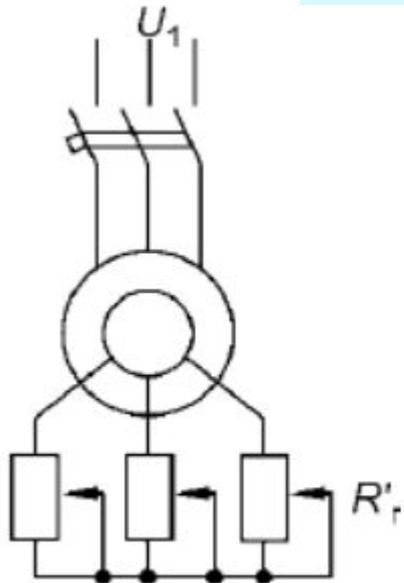
Схема частотного регулирования скорости АД



Механические характеристики АД при частотном регулировании

# Регулирование скорости асинхронной машины с фазным ротором

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - s) = \frac{60f}{p} (1 - s)$$



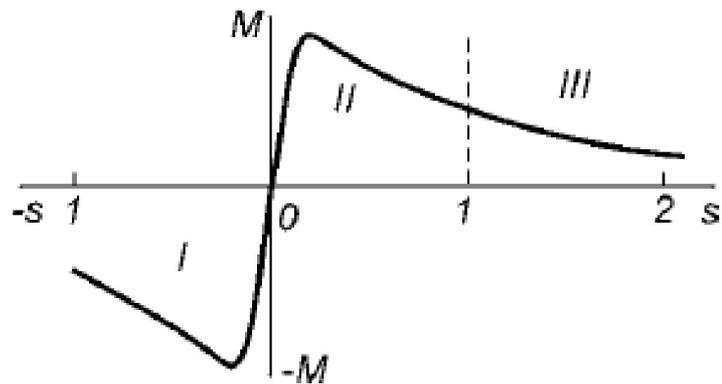
## Механические характеристики

Регулирование скорости  
скольжением

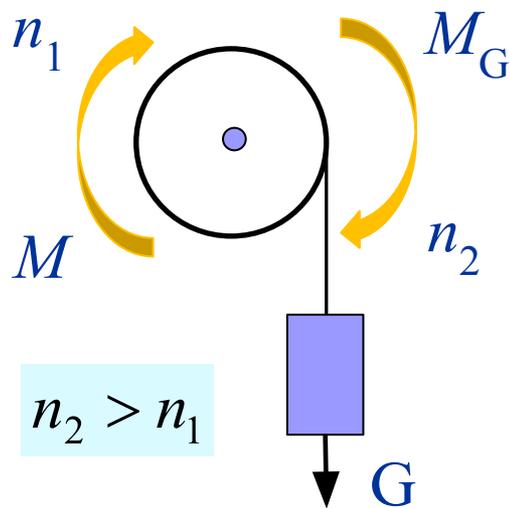
(с сопротивлениями в цепи ротора)

# Режимы работы асинхронного двигателя

- I – генераторный режим;
- II – двигательный режим;
- III – режим электромагнитного тормоза



## Генераторный режим

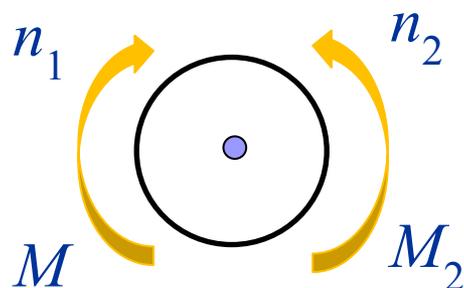


$$n_2 > n_1$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} < 0$$

Режим используют для подтормаживания

## Режим электромагнитного тормоза



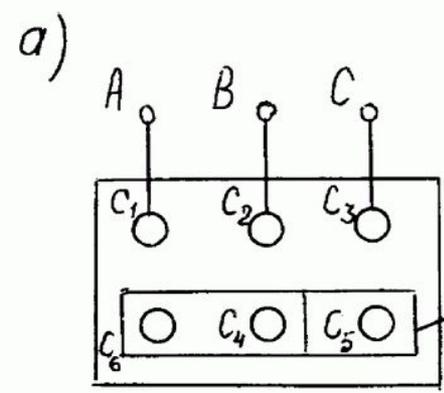
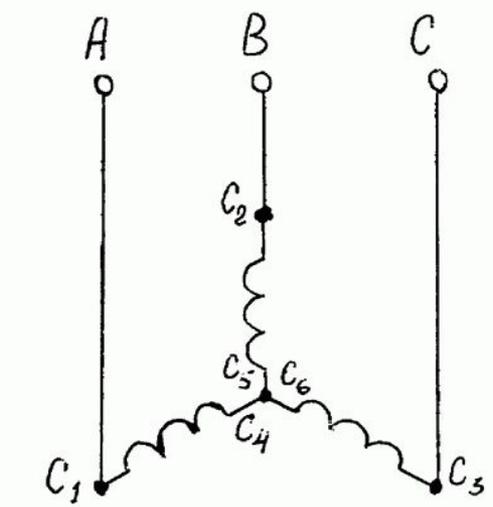
$$n_2 < 0$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} > 1$$

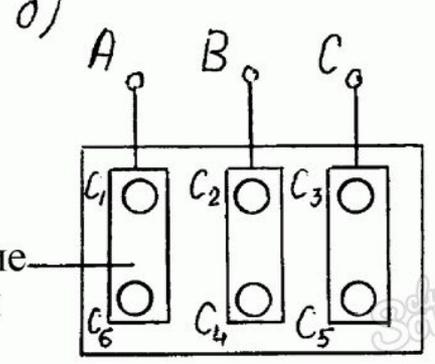
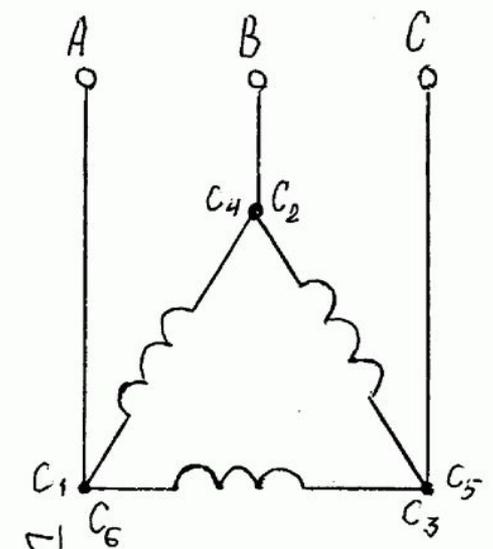
Режим используют для торможения АД противовключением

# Способы соединения обмоток трёхфазного асинхронного двигателя

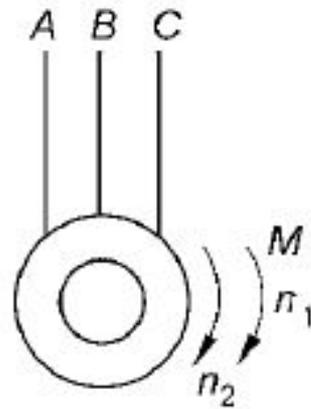
$C_1 - C_4$  фаза А;  
 $C_2 - C_5$  фаза В;  
 $C_3 - C_6$  фаза С.



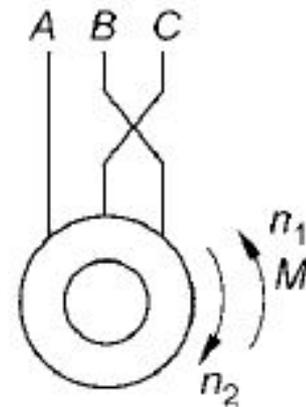
соединяющие  
перемычки



# Реверсирование (изменение направления вращения) асинхронного двигателя



Прямое чередование  
А, В, С



Обратное чередование  
А, С, В

Способы торможения асинхронного двигателя  
Схема замещения асинхронного двигателя

**Подготавливаем самостоятельно!!!**