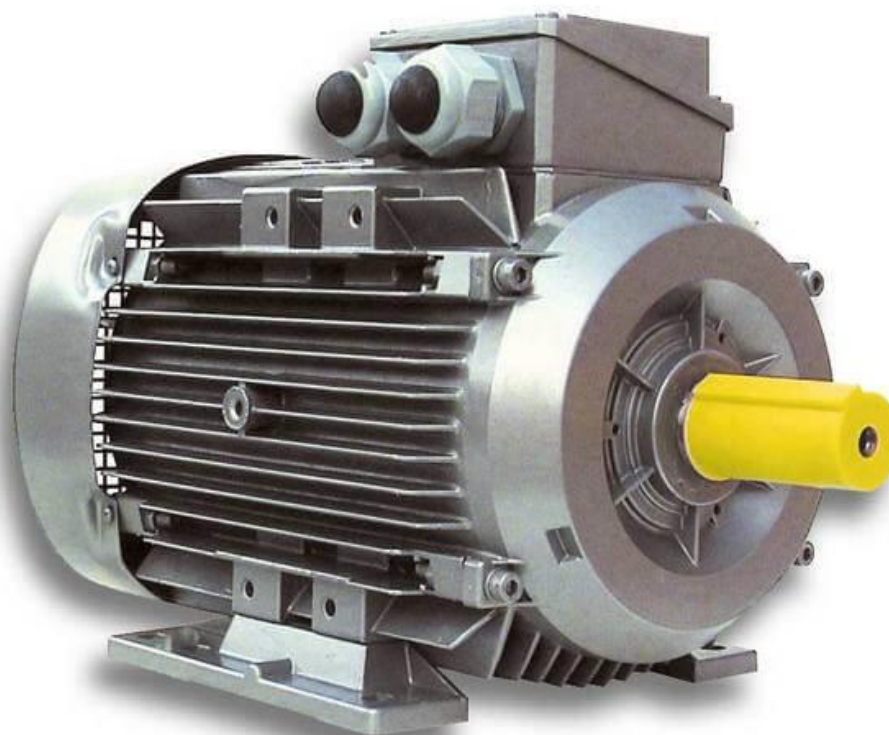


БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
кафедра электротехники, О8

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.

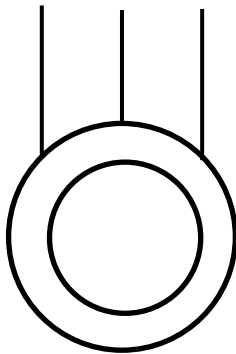
Асинхронные двигатели подключаются к трёхфазной и однофазной сетям.

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

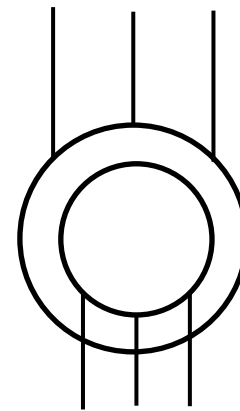
Трёхфазные двигатели - во всех отраслях, где необходимо вращение.

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

Обозначение асинхронных машин в электрических схемах



АД с короткозамкнутым ротором

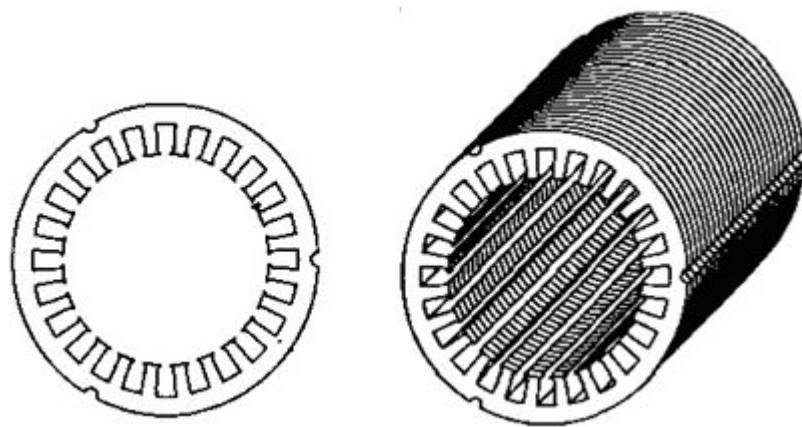


АД с фазным ротором

Устройство асинхронного двигателя

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

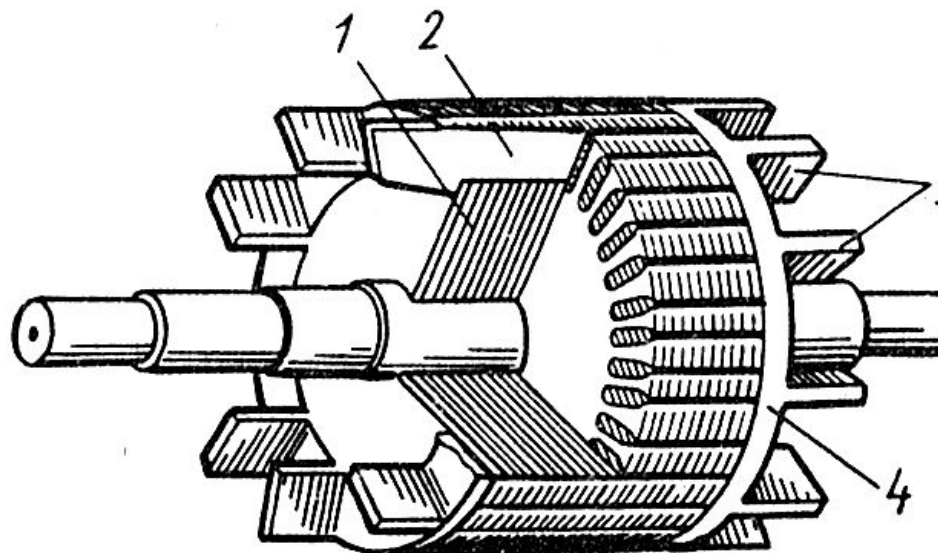
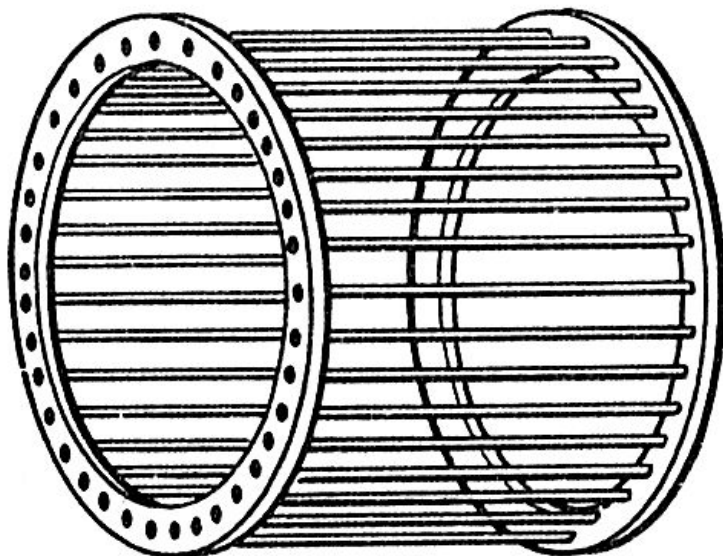
Сердечник статора представляет собой полый цилиндр, собранный из листов **электротехнической** стали и имеет пазы. В пазы уложены обмотки возбуждения.



Устройство статора асинхронной машины

Устройство асинхронного двигателя

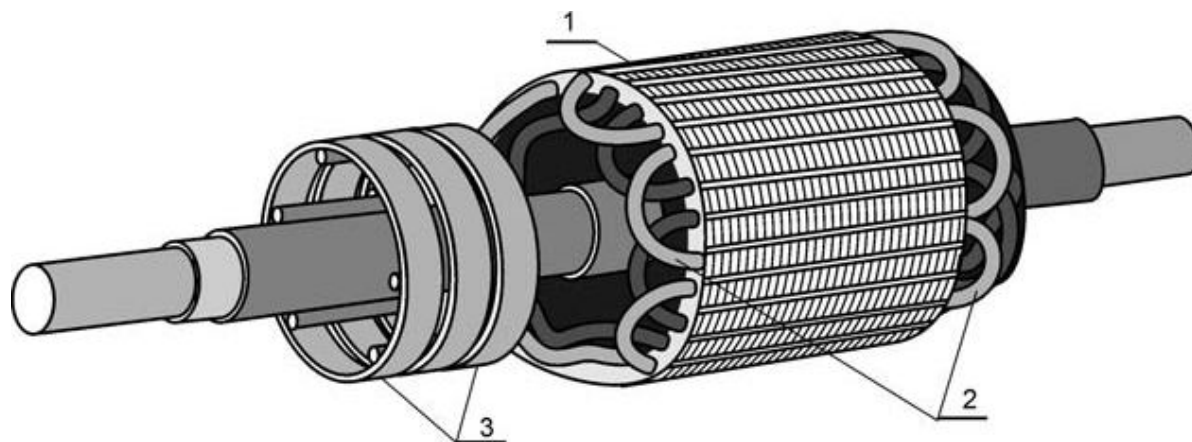
Короткозамкнутый ротор асинхронного двигателя (типа «беличьей клетки»)



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

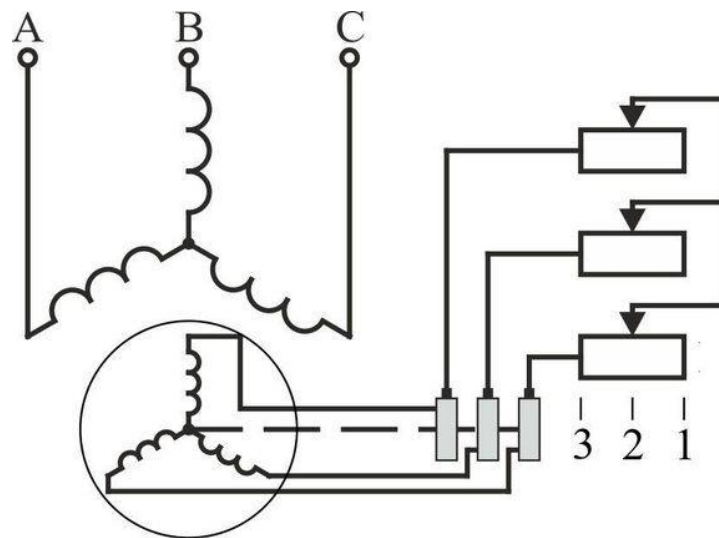
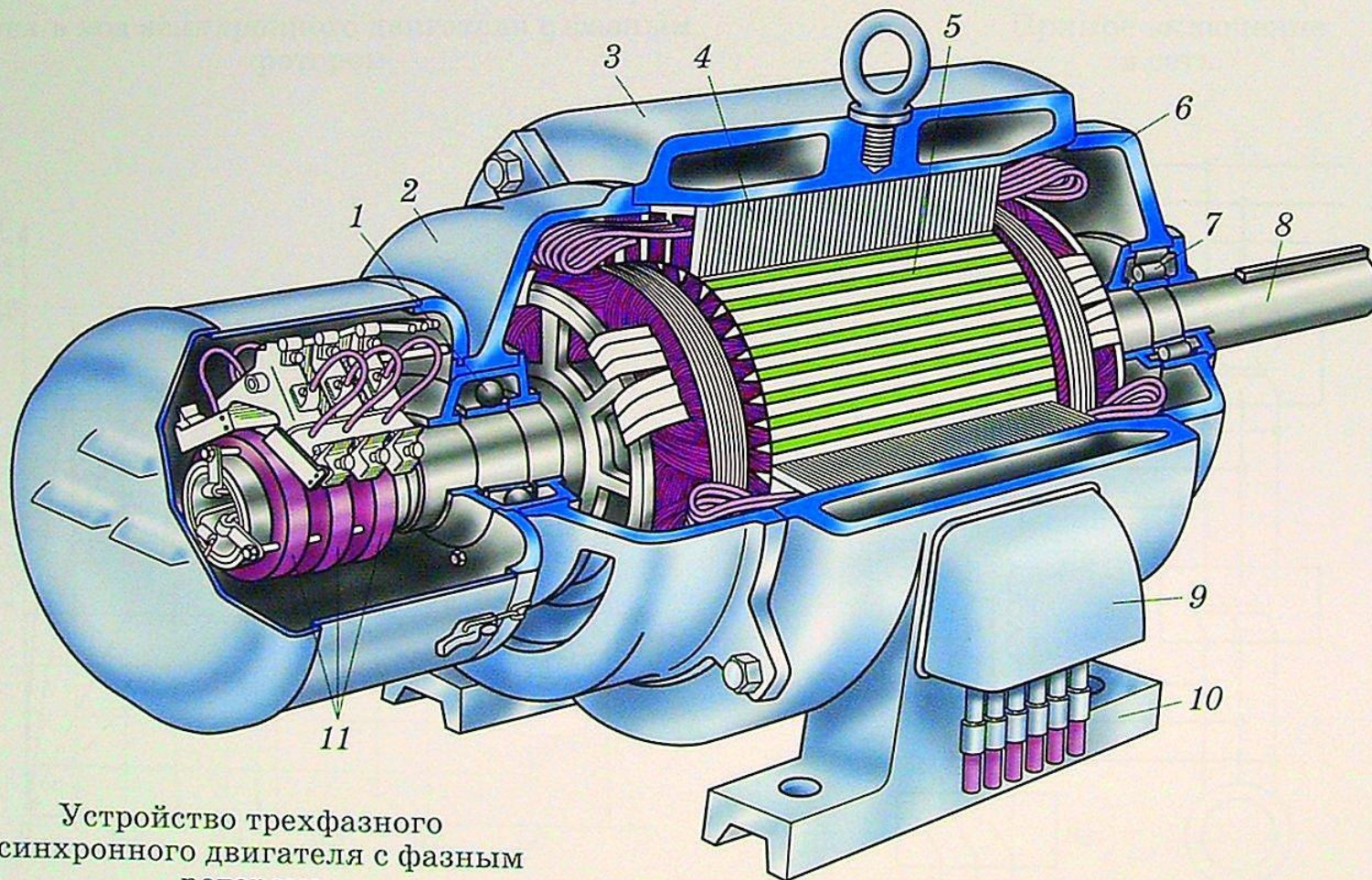


Схема асинхронного двигателя с фазным ротором

Трёхфазный асинхронный двигатель с фазным ротором



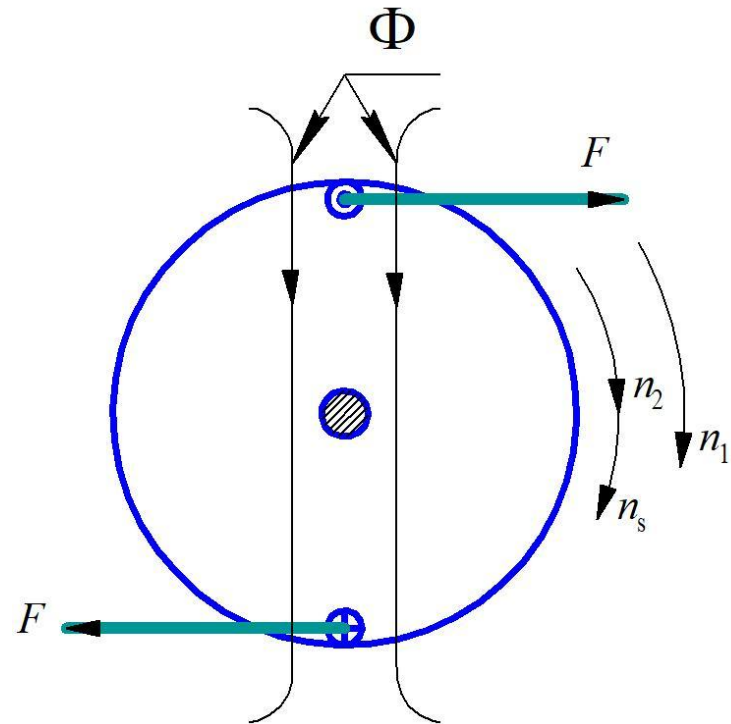
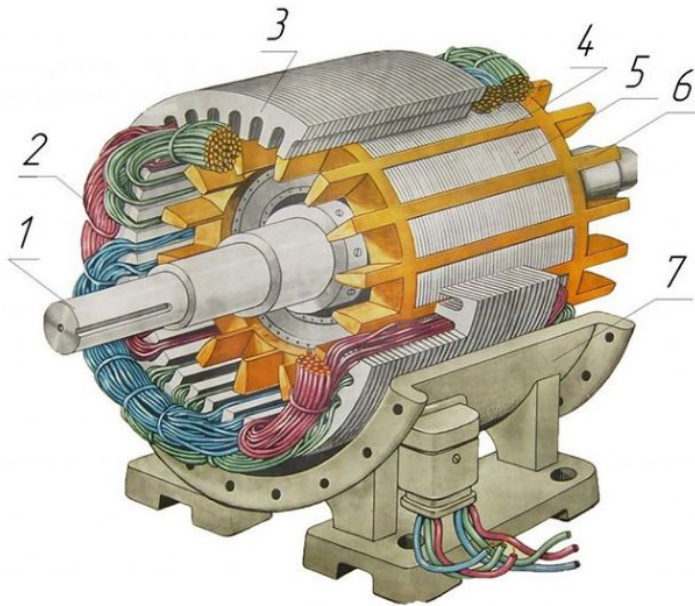
Устройство трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором:

- 1, 7 – подшипники; 2, 6 – подшипниковые щиты;
3 – корпус; 4 – сердечник статора с обмоткой;
5 – сердечник ротора; 8 – вал; 9 – коробка выводов; 10 – лапы; 11 – контактные кольца

Принцип действия асинхронного двигателя

Переменный ток в фазных обмотках создает вращающееся магнитное поле с угловой скоростью ω_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:

$$\Delta P = P_{1ээ} + P_{1сэ} + P_{2ээ} + P_{2ст} + P_{мех}$$

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)

$$P_{\text{эм}} = M\Omega_2$$

Ω_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!

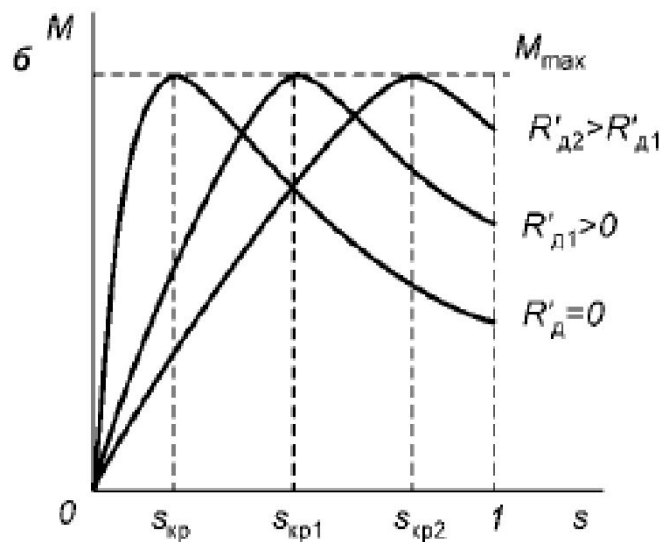
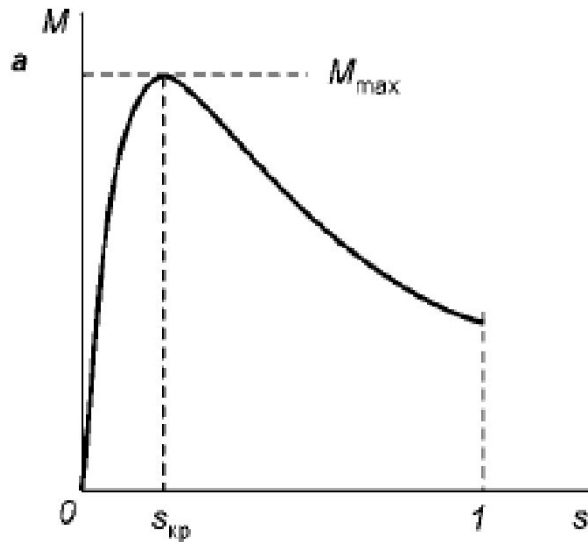
Учитывая малость активного сопротивления обмотки статора R_1 и $U_1 = \text{const}$ и введя реактивное сопротивление машины $x_k = x_1 + x'_2$ получим зависимость:

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

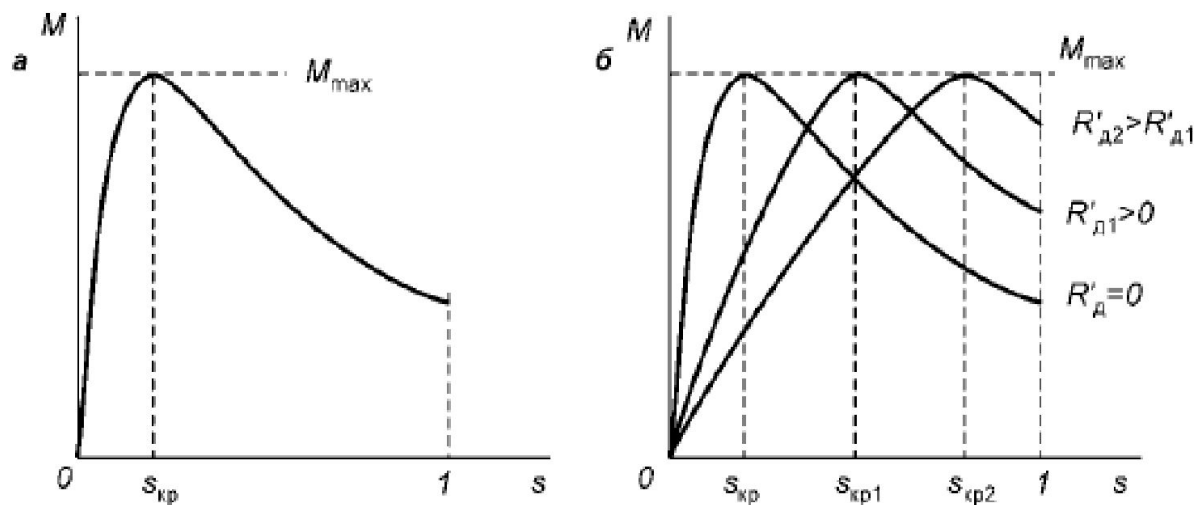
где

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

- 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 $s_{\text{кр}} = 0,1 \dots 0,2$.

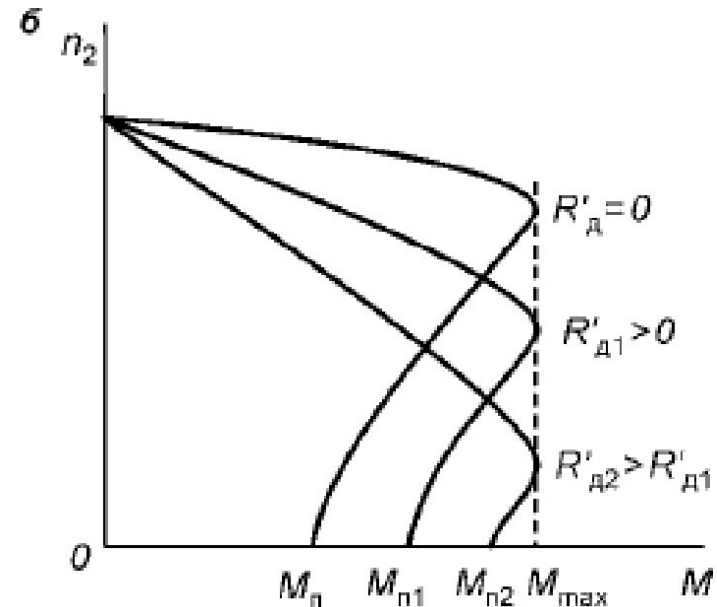
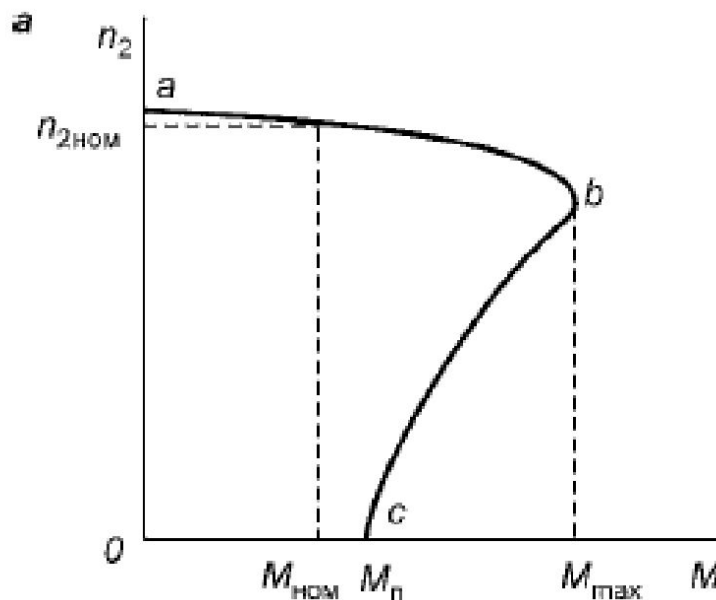
Характеристики асинхронного двигателя

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:

$$n_2 = f(P_2);$$

$$s = f(P_2);$$

$$M_2 = f(P_2);$$

$$I_1 = f(P_2);$$

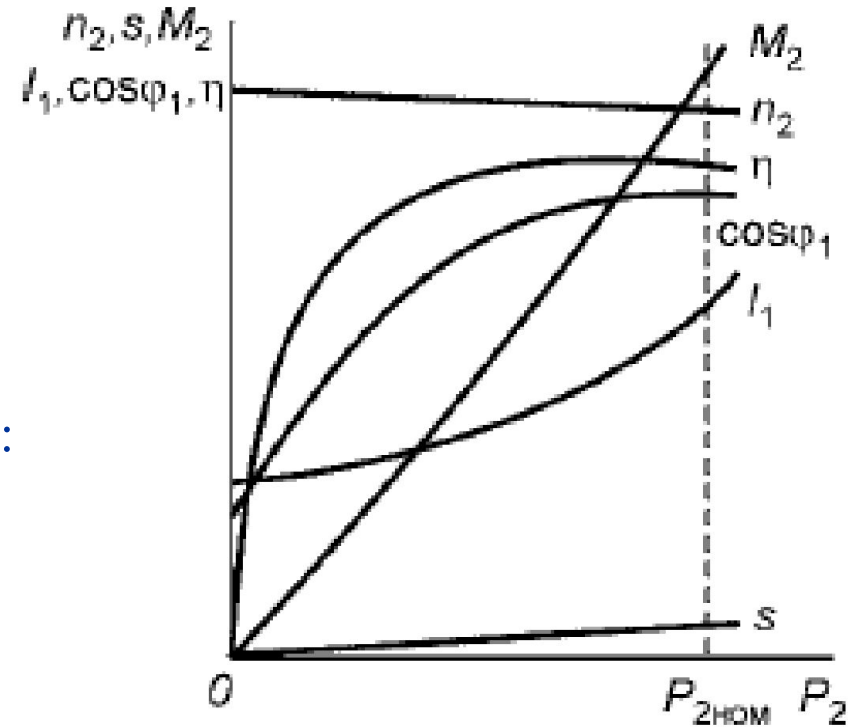
$$\cos\phi_1 = f(P_2);$$

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

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 $s=1$:

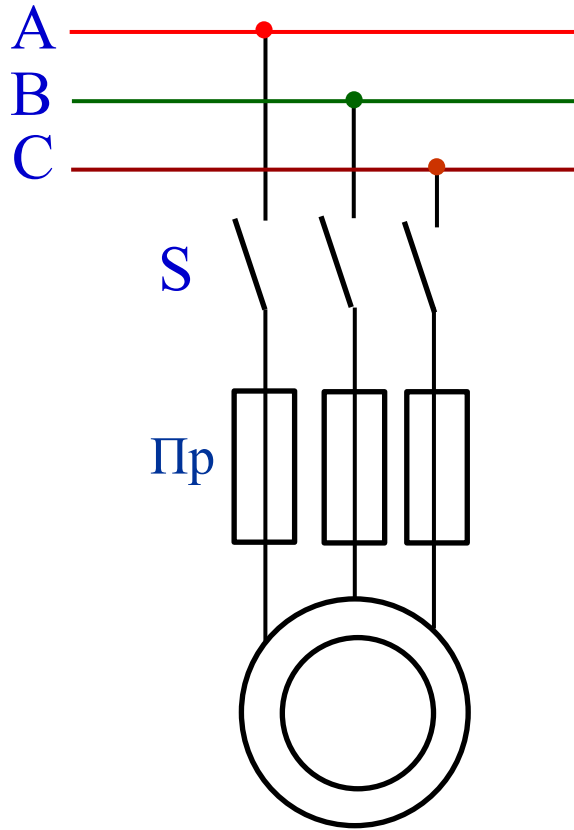
$$I'_{1\text{пуск}} = \frac{U_1}{\sqrt{(R'_1 + R'_2)^2 + (x'_1 + x'_2)^2}}$$

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

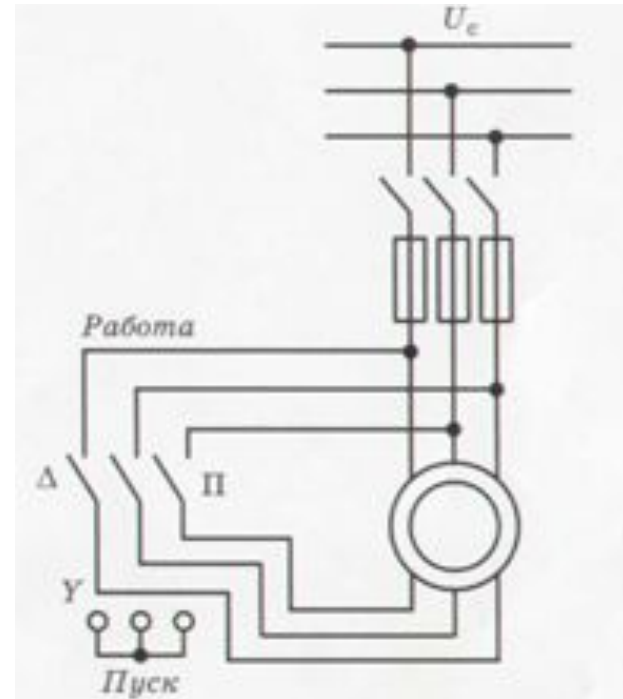
Поэтому к пуску предъявляются особые требования:

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

Пуск асинхронного двигателя



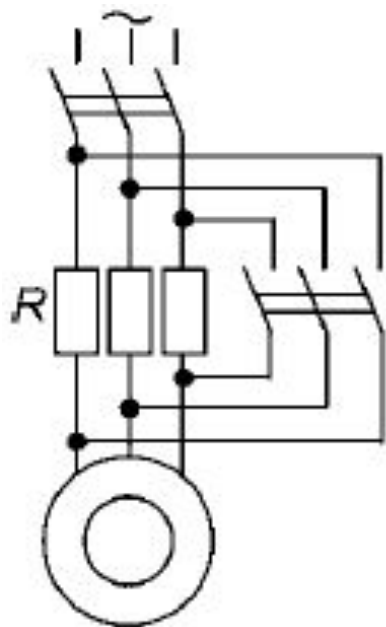
Прямой пуск



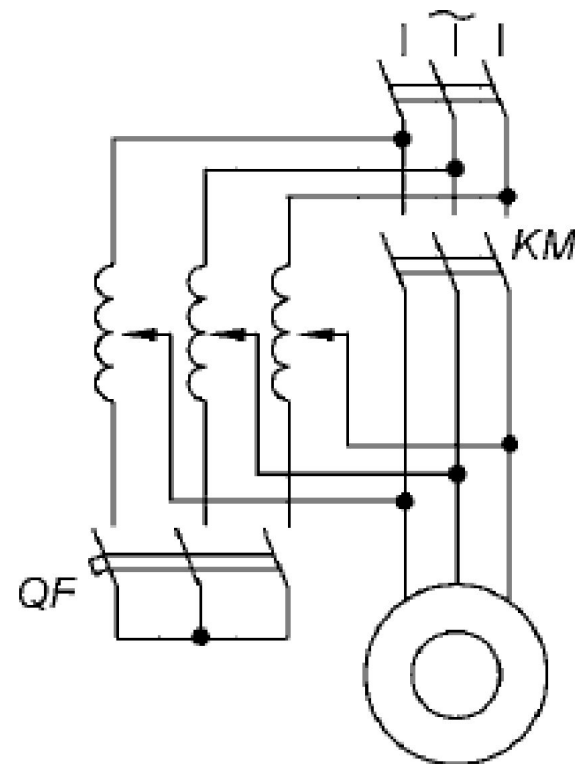
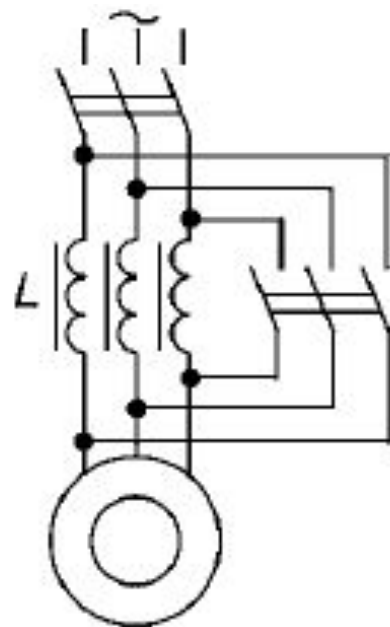
Пуск переключением
«Звезда-треугольник»

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

Пуск асинхронного двигателя

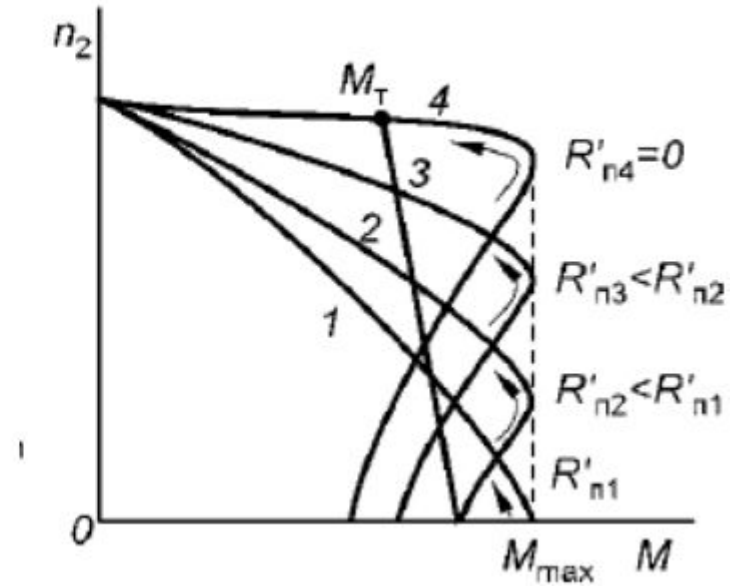
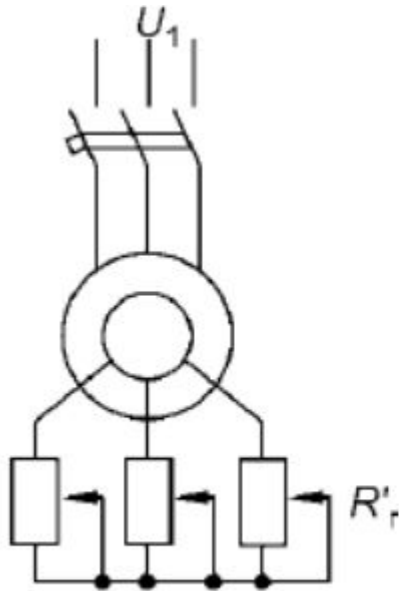


Пуск с помощью реакторов



Пуск с помощью
автотрансформатора

Пуск асинхронного двигателя с фазным ротором



Механические характеристики

Регулирование скорости асинхронного двигателя

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

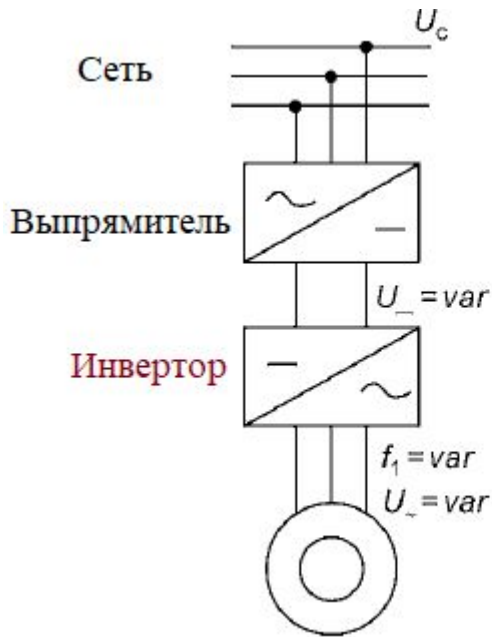
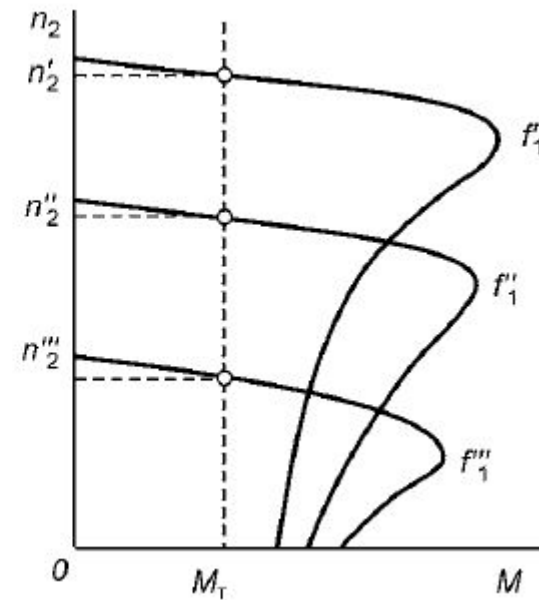


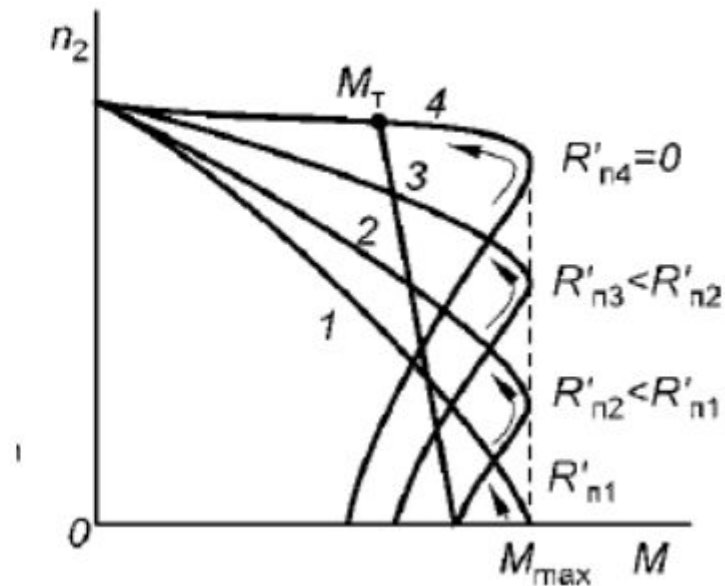
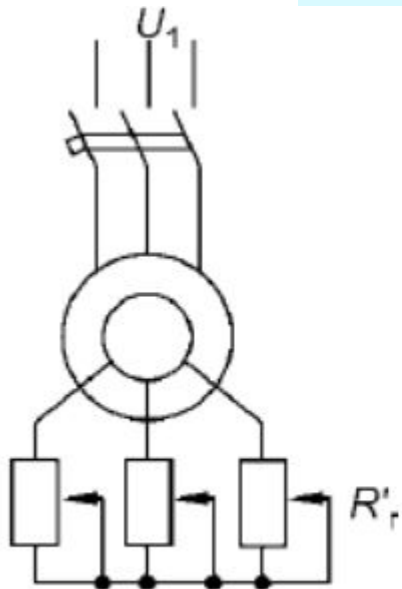
Схема частотного регулирования скорости АД



Механические характеристики АД при частотном регулировании

Регулирование скорости асинхронной машины с фазным ротором

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



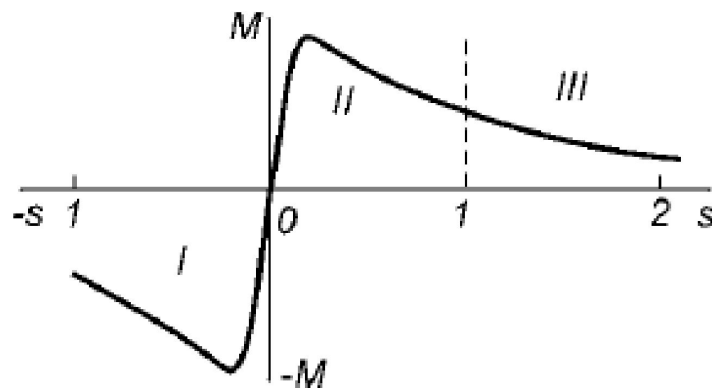
Механические характеристики

Регулирование скорости
скольжением

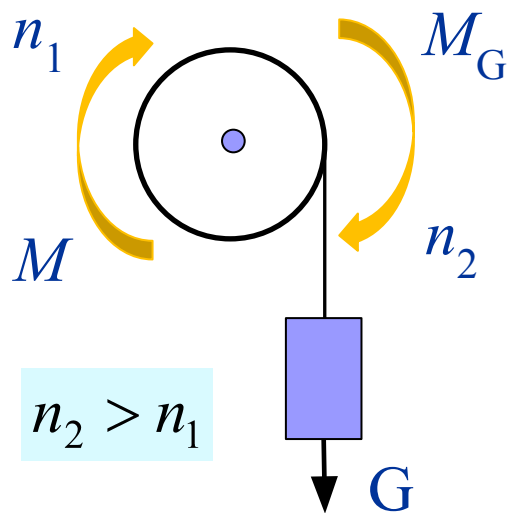
(с сопротивлениями в цепи ротора)

Режимы работы асинхронного двигателя

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



Генераторный режим

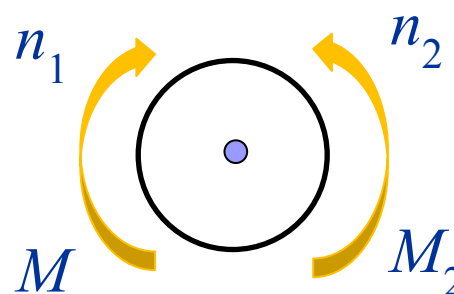


$$n_2 > n_1$$

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

Режим используют для подтормаживания

Режим электромагнитного тормоза



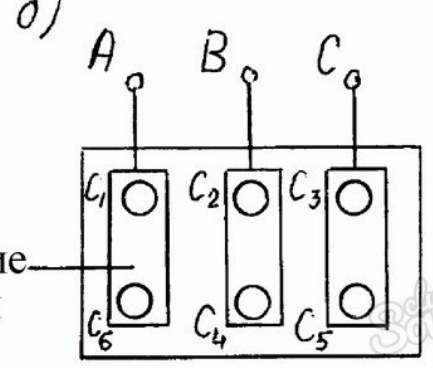
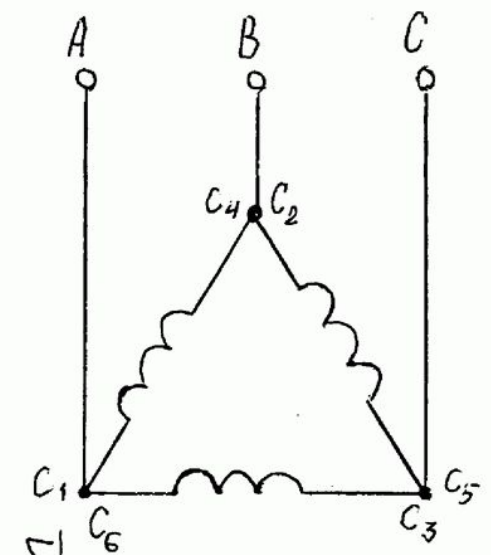
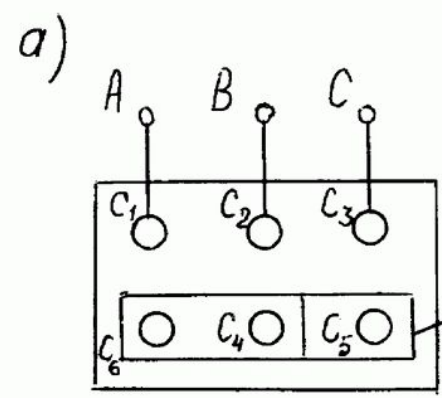
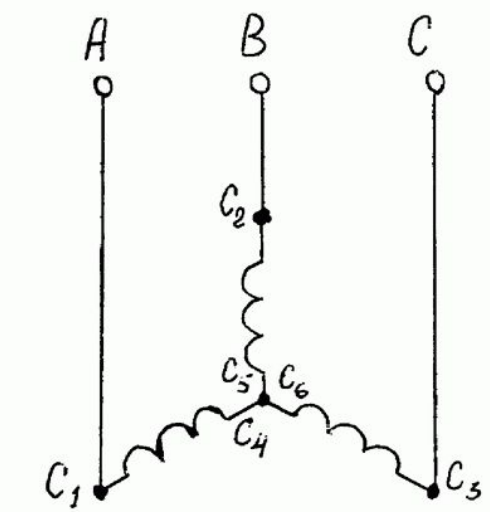
$$n_2 < 0$$

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

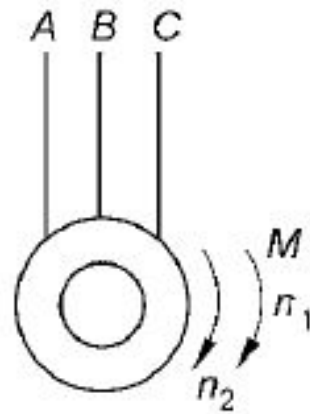
Режим используют для торможения АД противовключением

Способы соединения обмоток трёхфазного асинхронного двигателя

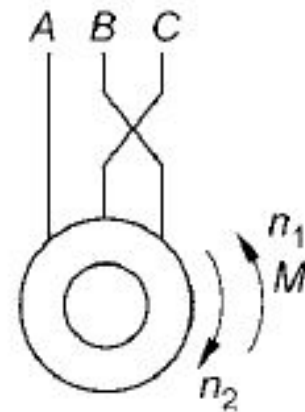
$C_1 - C_4$ фаза А;
 $C_2 - C_5$ фаза В;
 $C_3 - C_6$ фаза С.



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!!!