

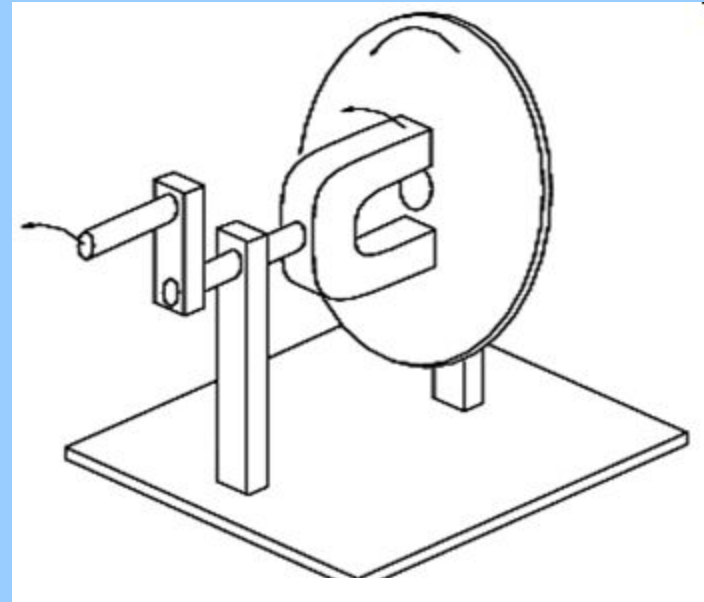


Асинхронные двигатели



Историческая справка

Впервые явление, названное магнетизмом вращения, продемонстрировал французский физик Д. Ф. Араго (1824)

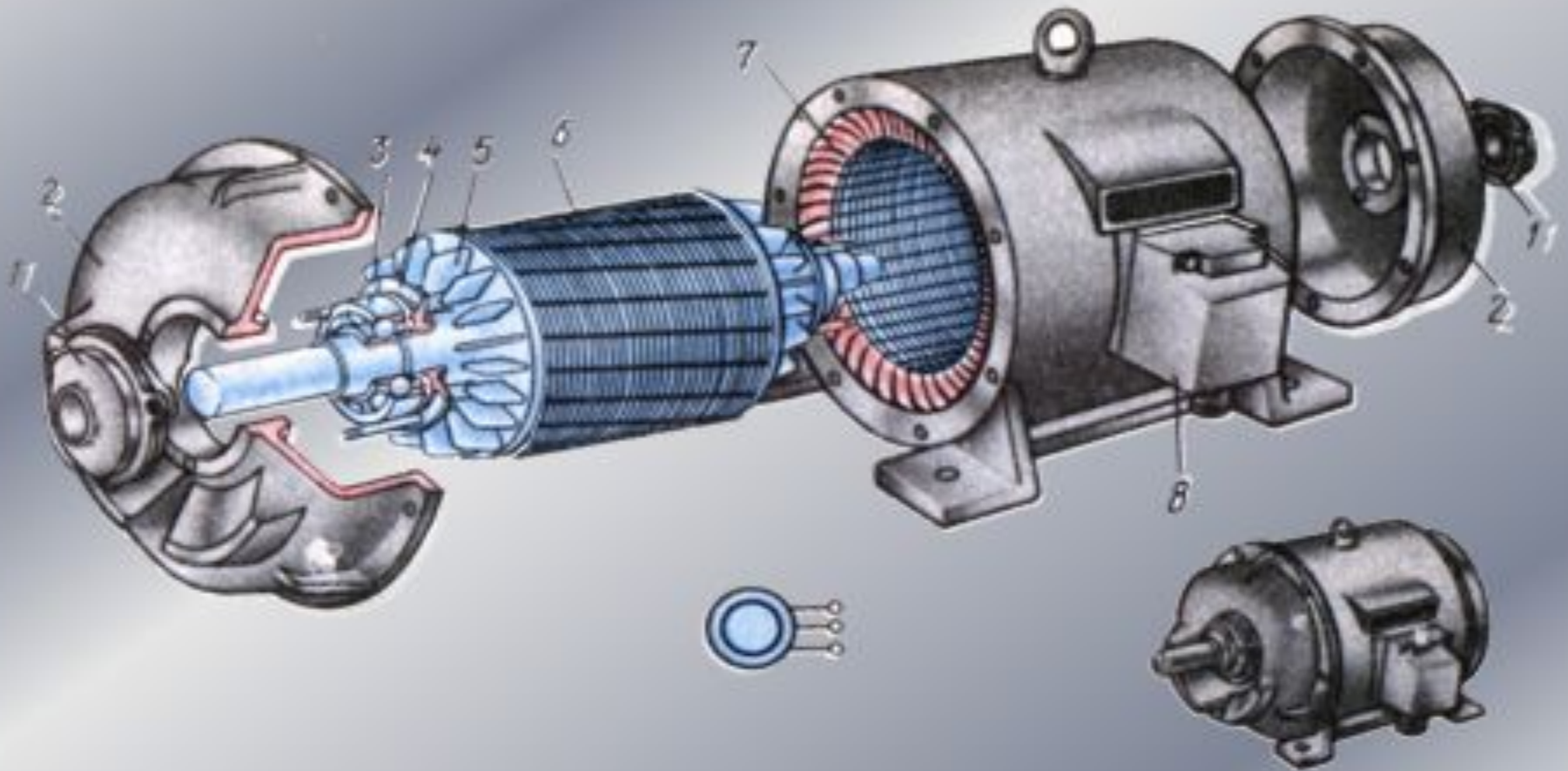


Двухфазный асинхронный электродвигатель был изобретен Н. Тесла (1887)

В 1889 М. О. Доливо-Добровольский сконструировал и испытал первый в мире трехфазный асинхронный двигатель

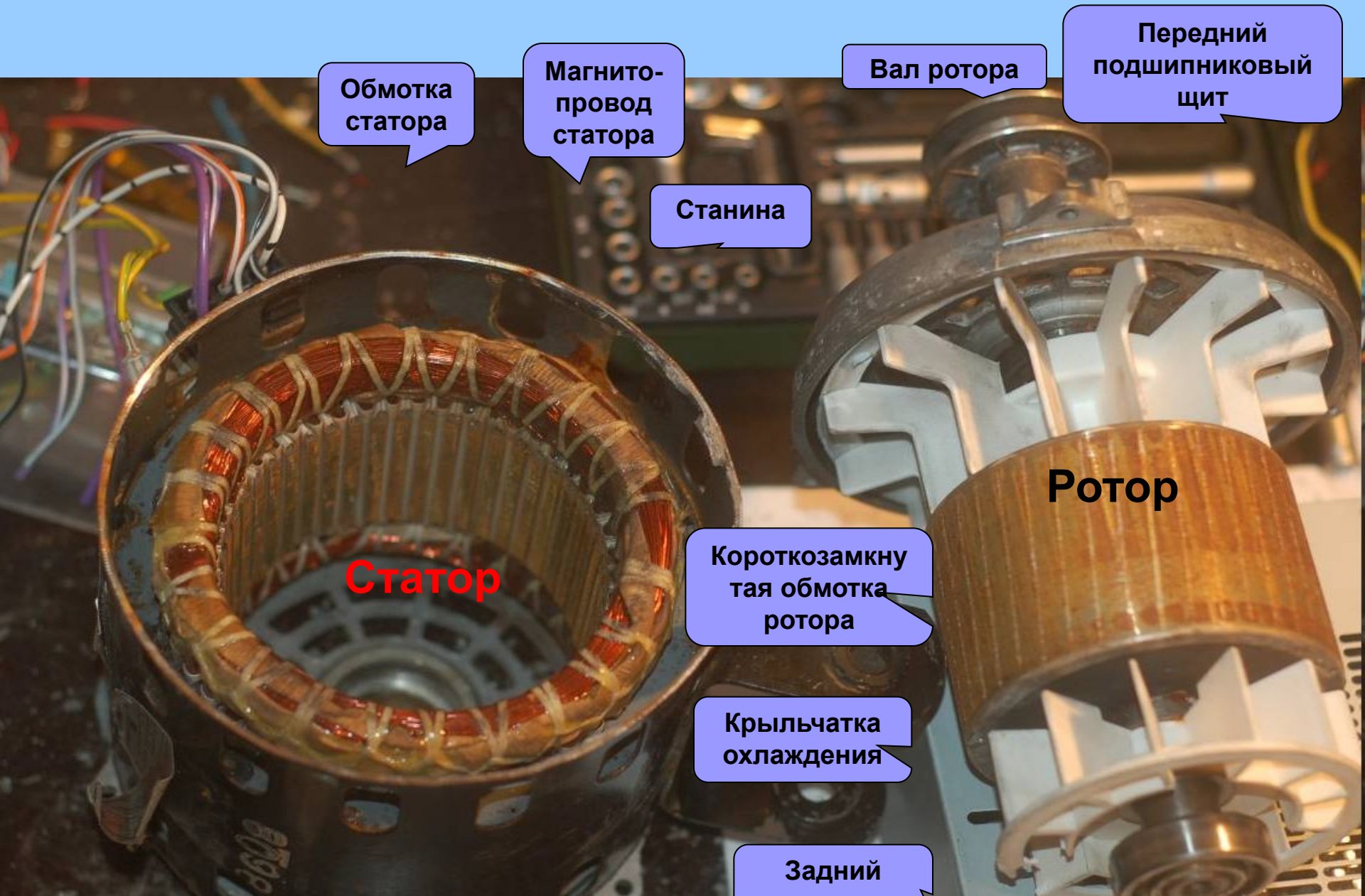


Асинхронный двигатель с коротко замкнутым ротором



1 – вал; 2 – подшипниковый щит; 3 – подшипник; 4 – прокладка; 5 – лопасти
6 – стержни; 7 – обмотка статора; 8 – клемный щиток.

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором



Обмотка статора

Магнитопровод статора

Вал ротора

Передний подшипниковый щит

Станина

Статор

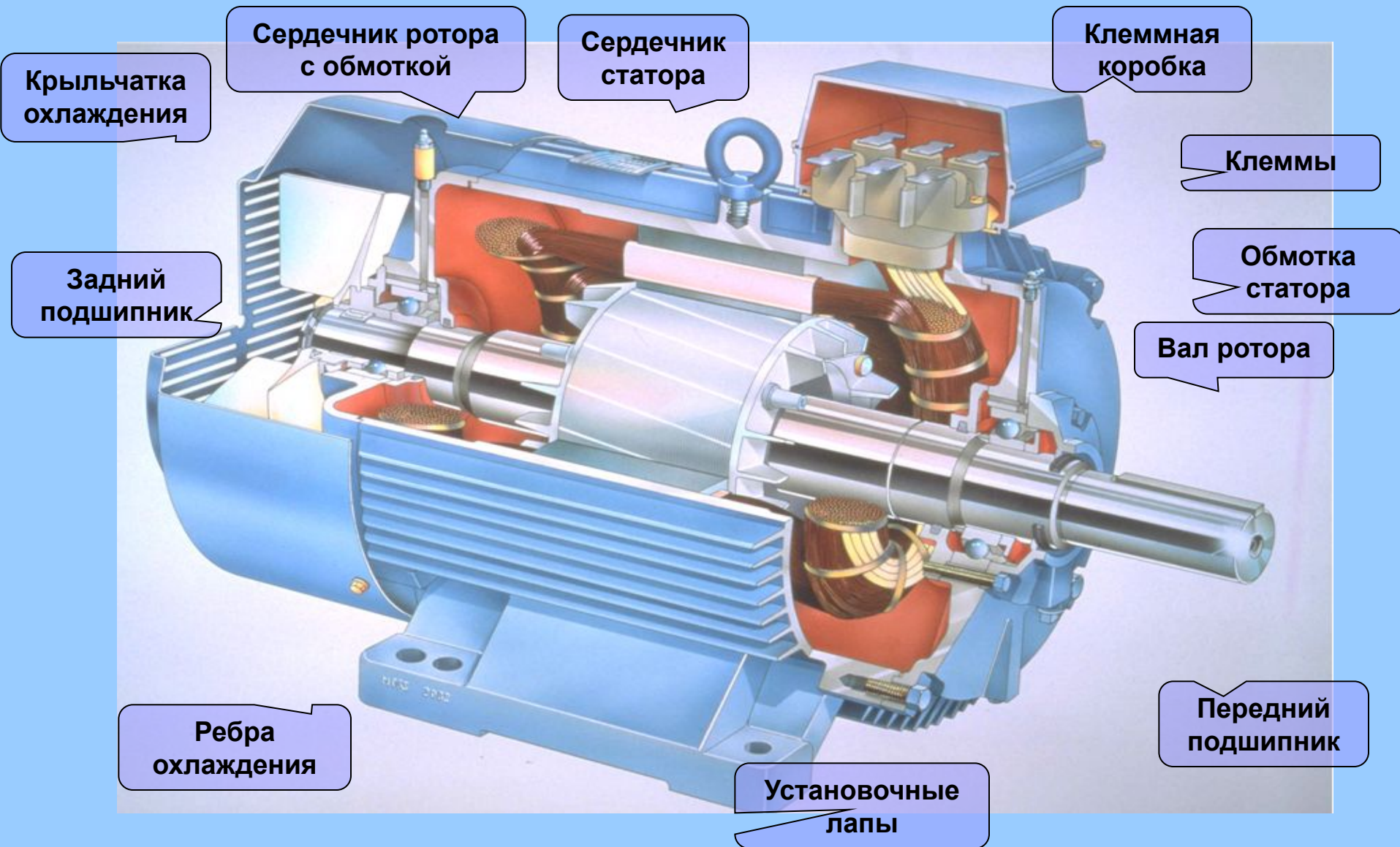
Короткозамкнутая обмотка ротора

Ротор

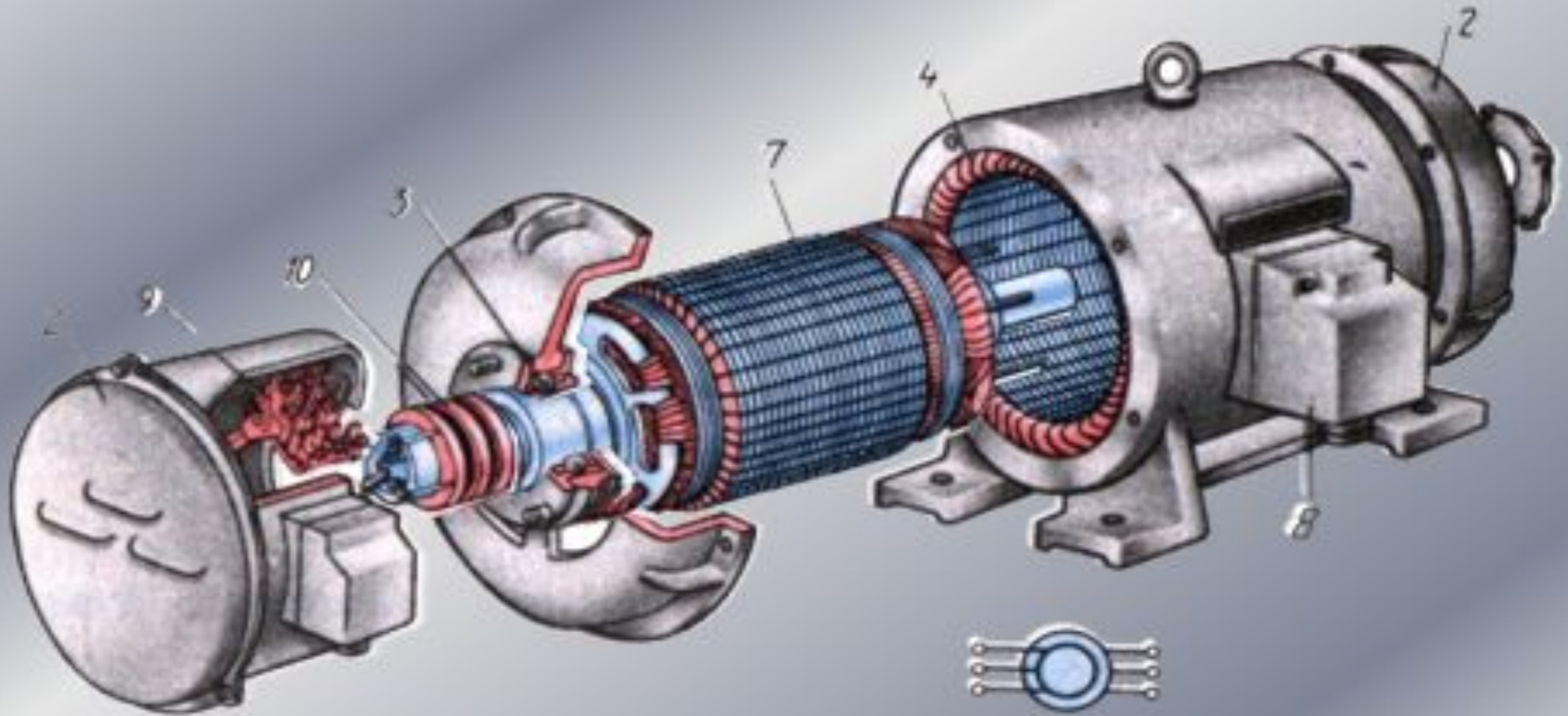
Крыльчатка охлаждения

Задний

Асинхронный двигатель (АД)

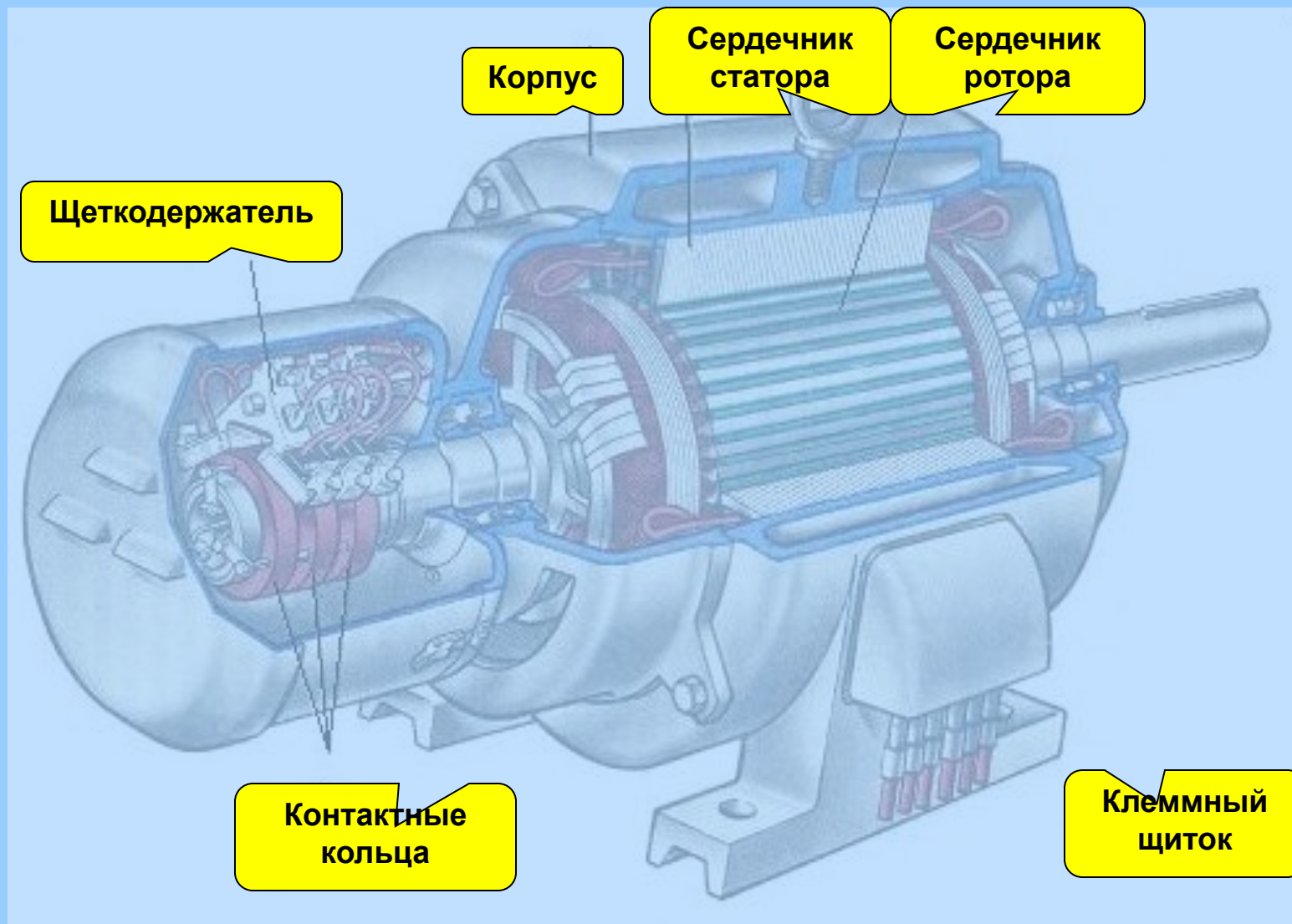


Асинхронный двигатель с фазным ротором

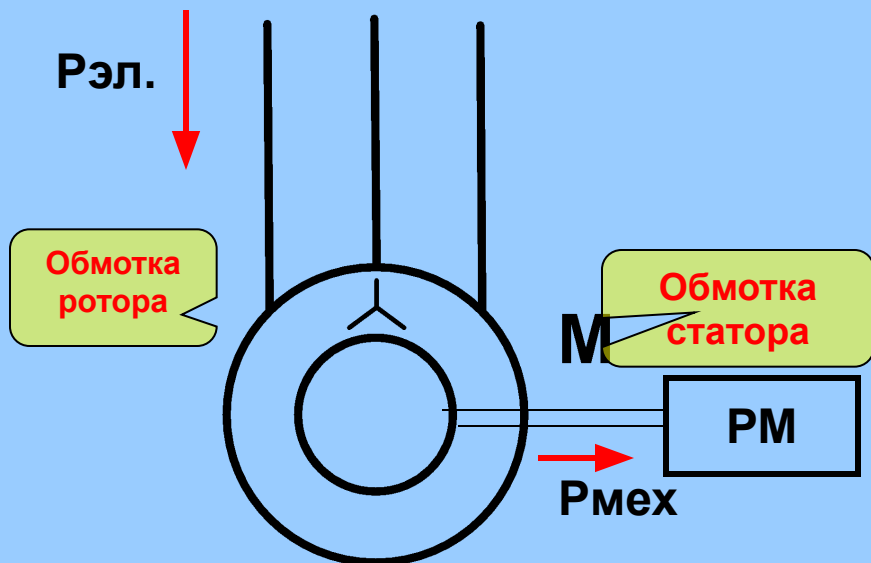


1 – крышка; 2 – подшипниковый щит; 3 – подшипник; 4 – прокладка; 5 – лопасти; 6 – стержни; 7 – обмотка статора; 8 – клемный щиток.

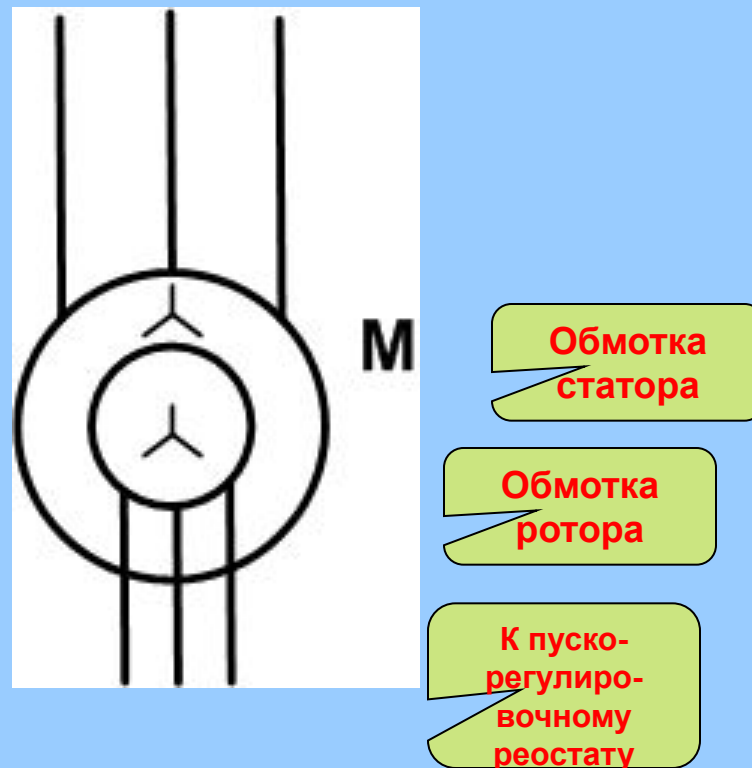
Асинхронный двигатель с фазным ротором



Обозначение асинхронных двигателей на схемах

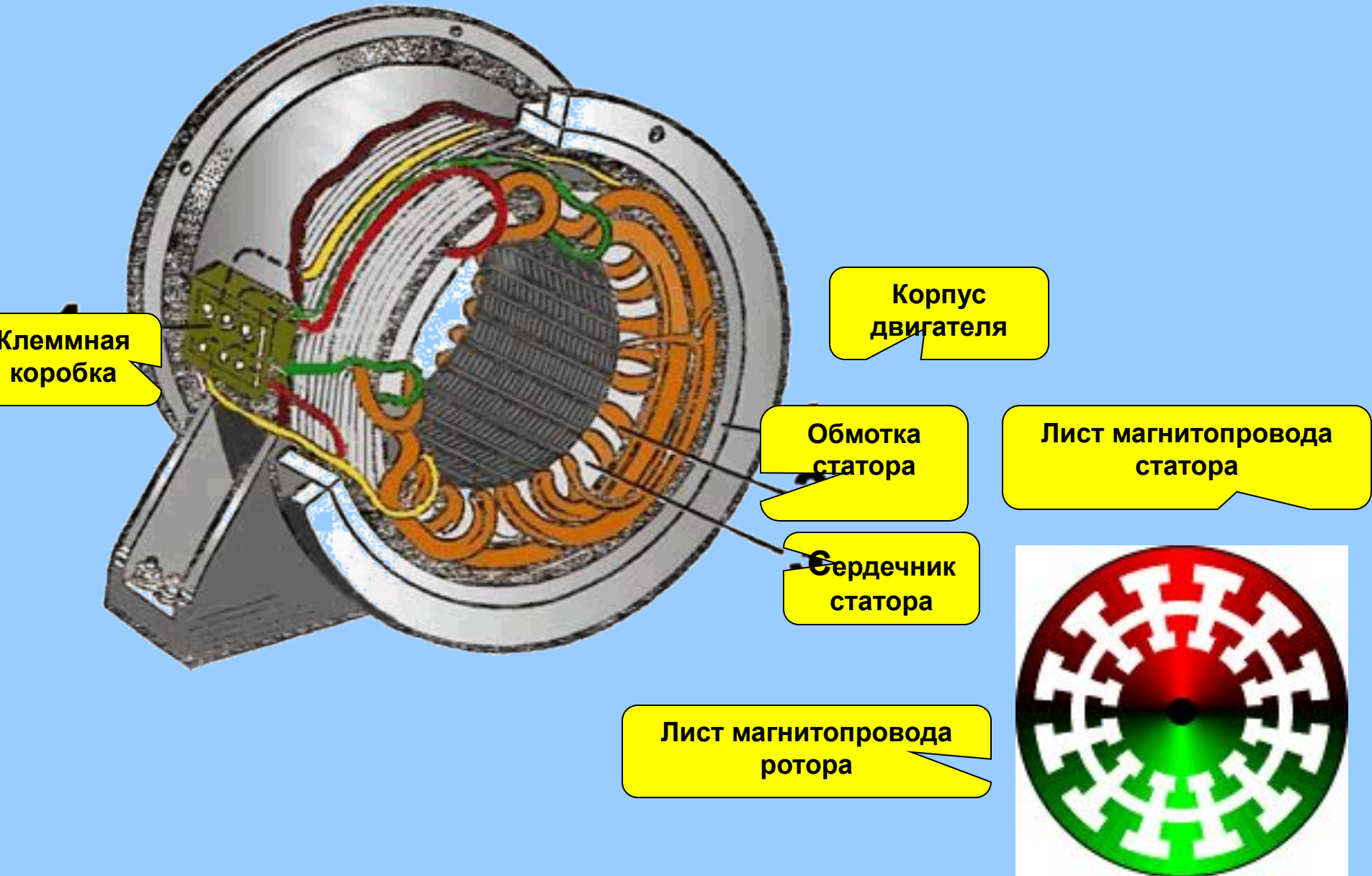


**АД с КЗ ротором
(обмотки статора
соединены звездой)**



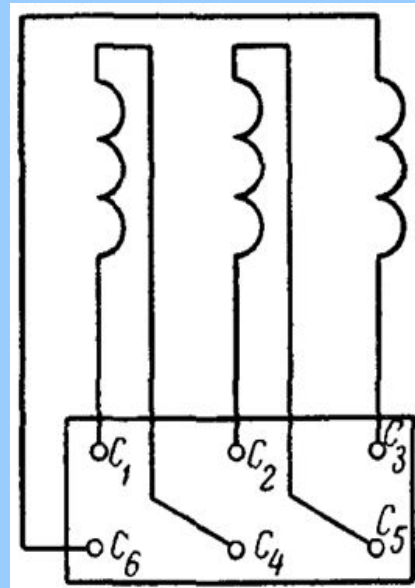
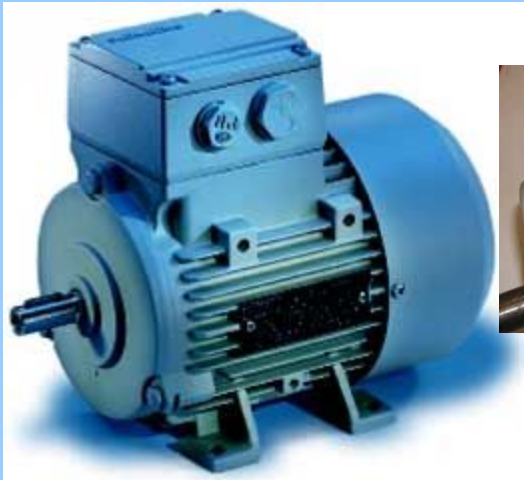
**АД с фазным ротором
(обмотки статора и
ротора соединены
звездой)**

Статор асинхронного двигателя



Подключение асинхронного двигателя к сети

АД подключаются к трехфазной электрической сети



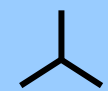
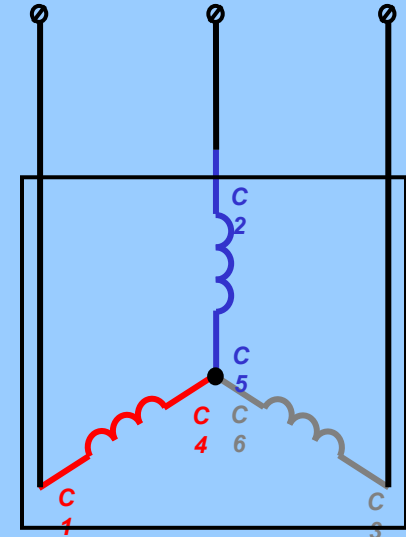
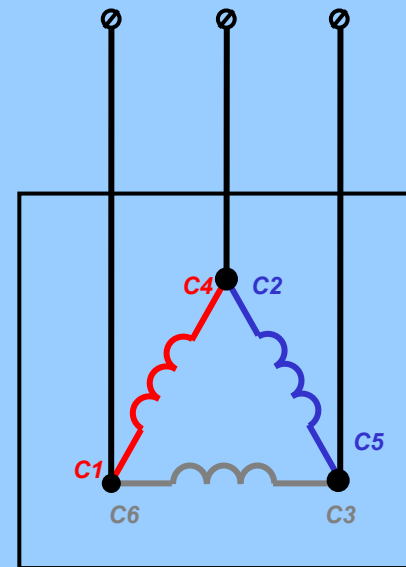
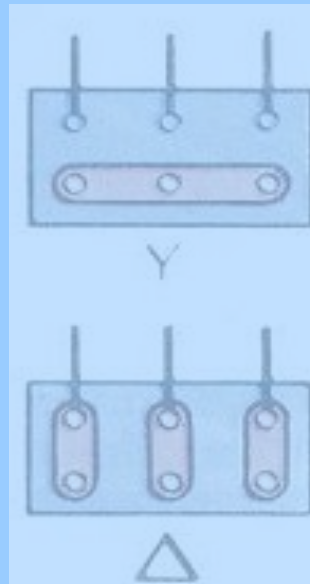
к сети

Клеммная колодка позволяет подключать обмотки статора к трехфазной сети.

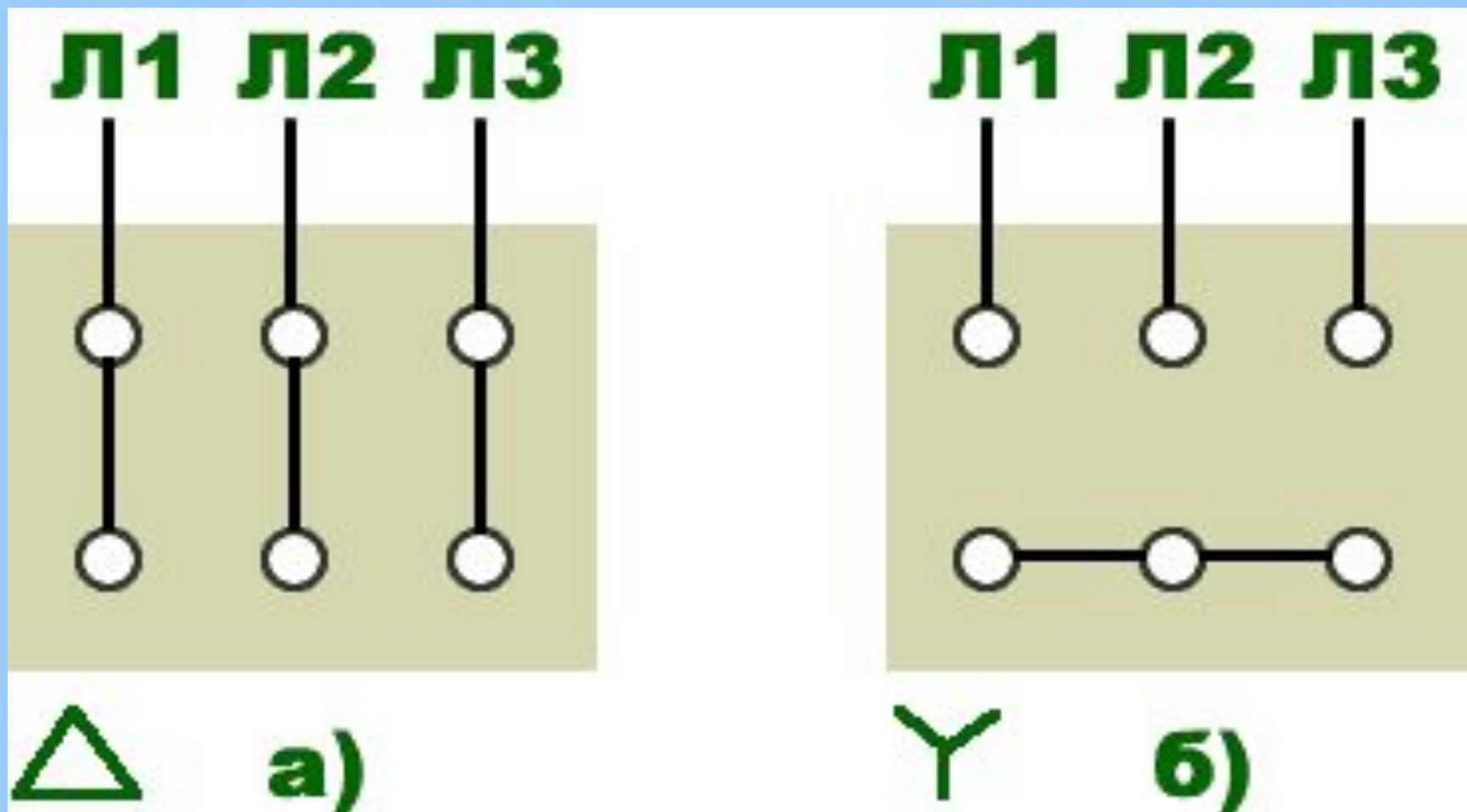
На клеммную колодку выведены концы 3-х обмоток статора. Начала и концы этих обмоток обозначены: **C1-C4, C2-C5 и C3-C6**

к сети

Соединение обмоток **звездой** дает возможность подключать АД на напряжение в **1,73** раза больше чем при подключении **треугольником**, и наоборот. Например, если двигатель рассчитан на работу под напряжением **380/220В** это значит, что его обмотки нужно соединить **звездой** при подключении к сети **380В** или **треугольником** при подключении к сети **220В**.



Схемы соединения обмоток статора



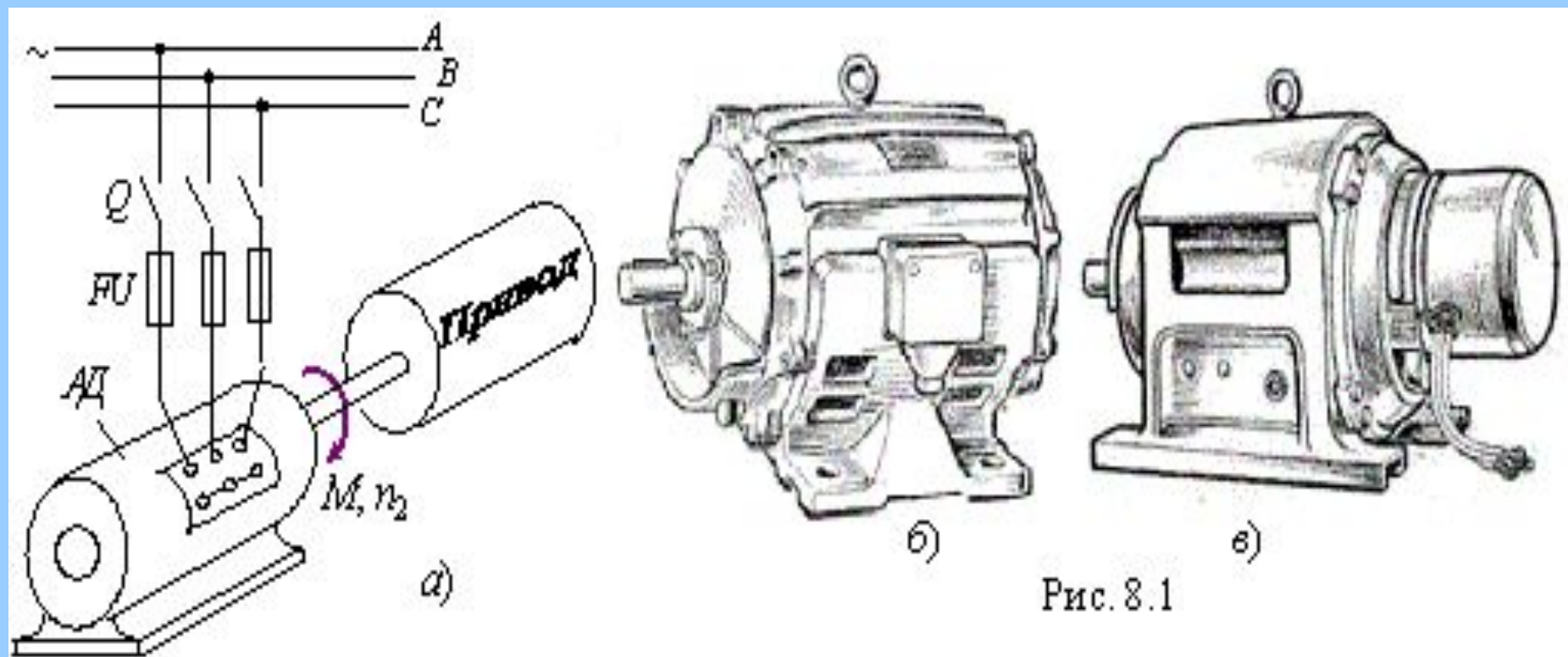
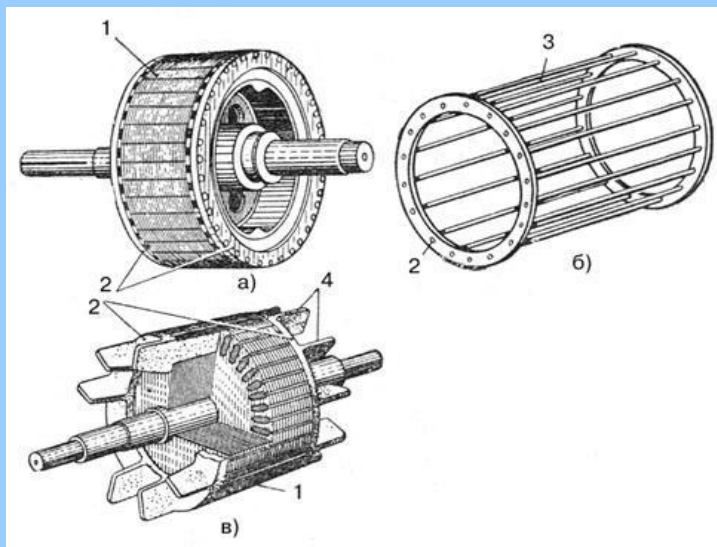


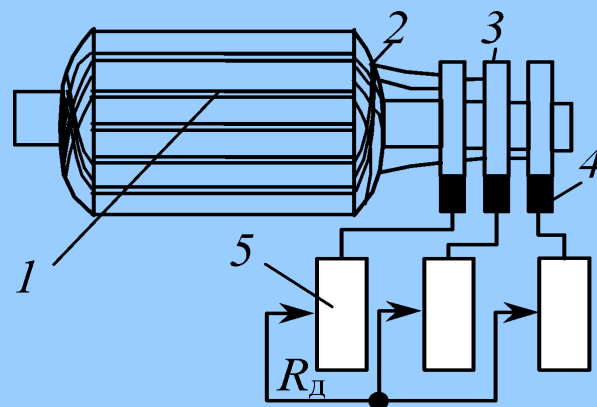
Рис. 8.1

Устройство короткозамкнутого и фазного роторов АД



•Короткозамкнутый ротор

- 1- магнитопровод ротора;
- 2 – короткозамкнутые кольца;
- 3 – стержни (обмотка) ротора;
- 4 – вентиляционные лопасти



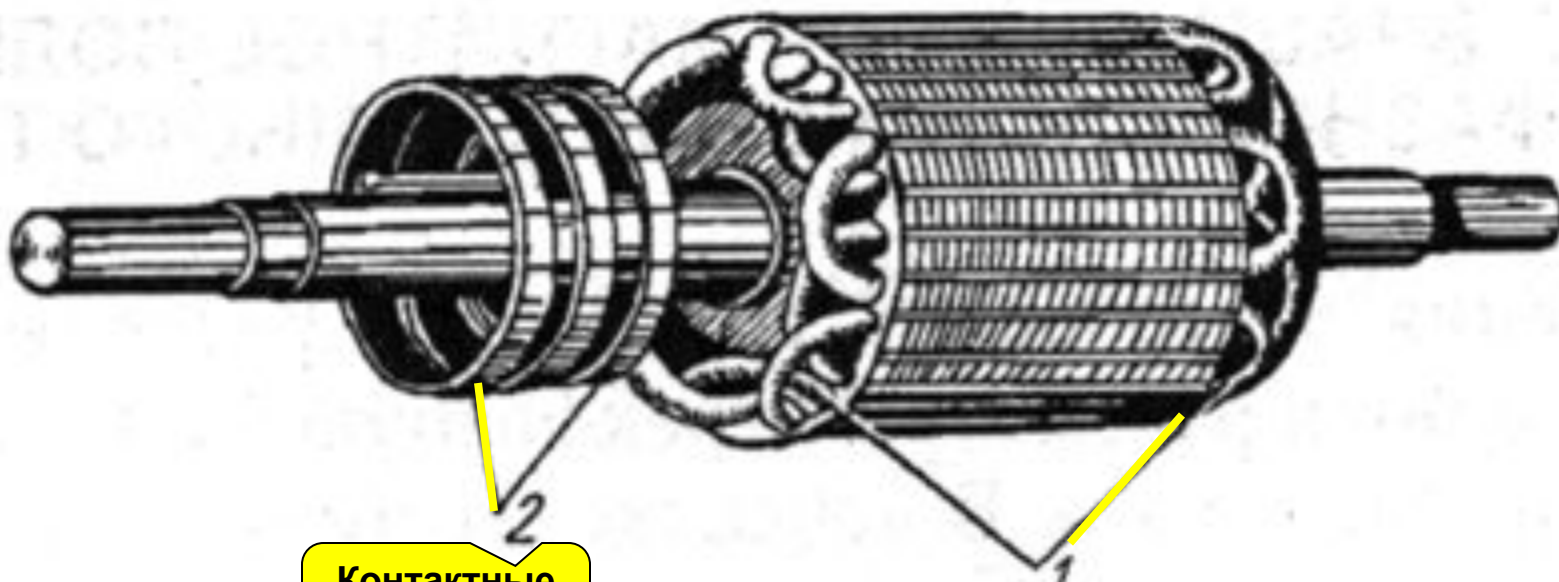
•Фазный ротор

- 1 – обмотка ротора;
- 2 – сердечник;
- 3 – контактные кольца;
- 4 – щётки;
- 5 – пуско-регулирующий реостат

Фазный ротор асинхронного двигателя

Сердечник
ротора

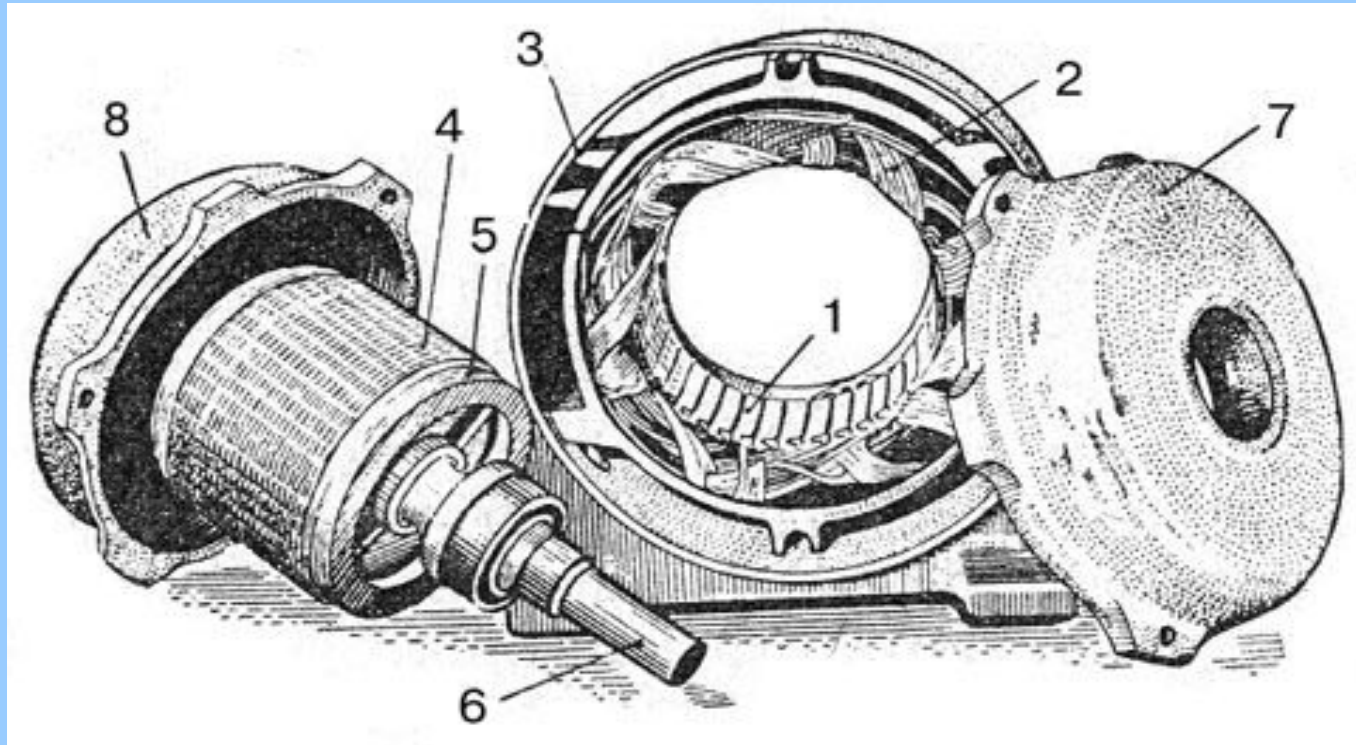
Вал



2
Контактные
кольца

1
Обмотка
ротора

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором



- 1 – магнитопровод статора; 2 – обмотка статора; 3 – корпус; 4 – магнитопровод ротора; 5 – кольца; 6 – вал; 7,8 – подшипниковые щиты

Получение ВМП в трехфазном асинхронном двигателе

Условия возникновения ВМП:

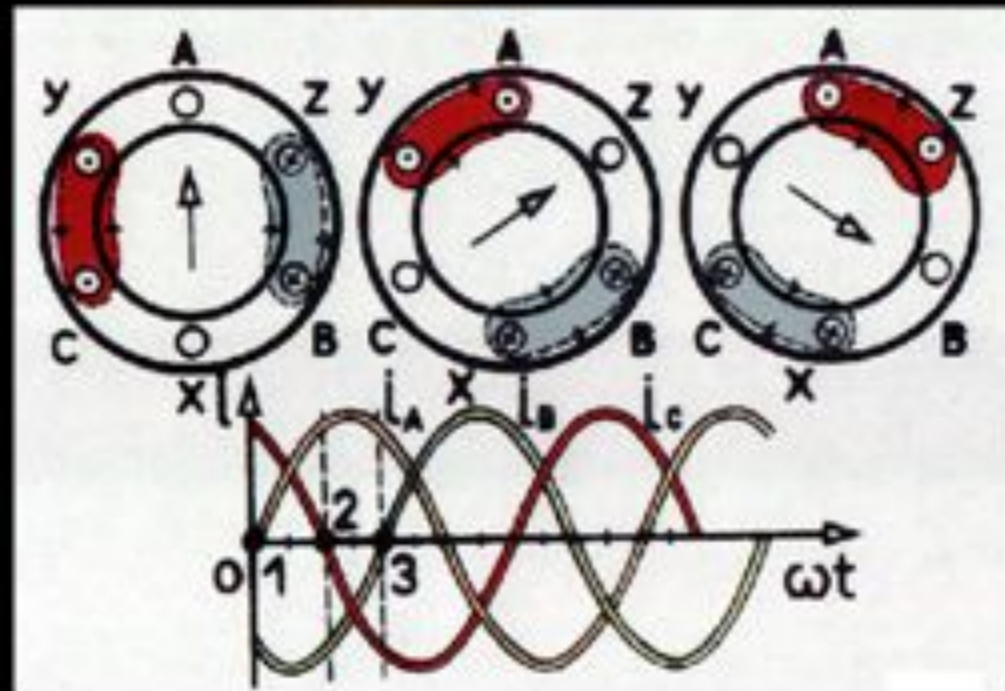
1. Наличие трех обмоток, размещенных в пространстве под углом 120° .

2. Протекание в обмотках токов, имеющих сдвиг фаз 120° эл.градусов:

$$i_1 = I_m \sin(\omega t + 0^\circ);$$

$$i_2 = I_m \sin(\omega t - 120^\circ);$$

$$i_3 = I_m \sin(\omega t + 120^\circ).$$



Н ← К



– положительное направление тока

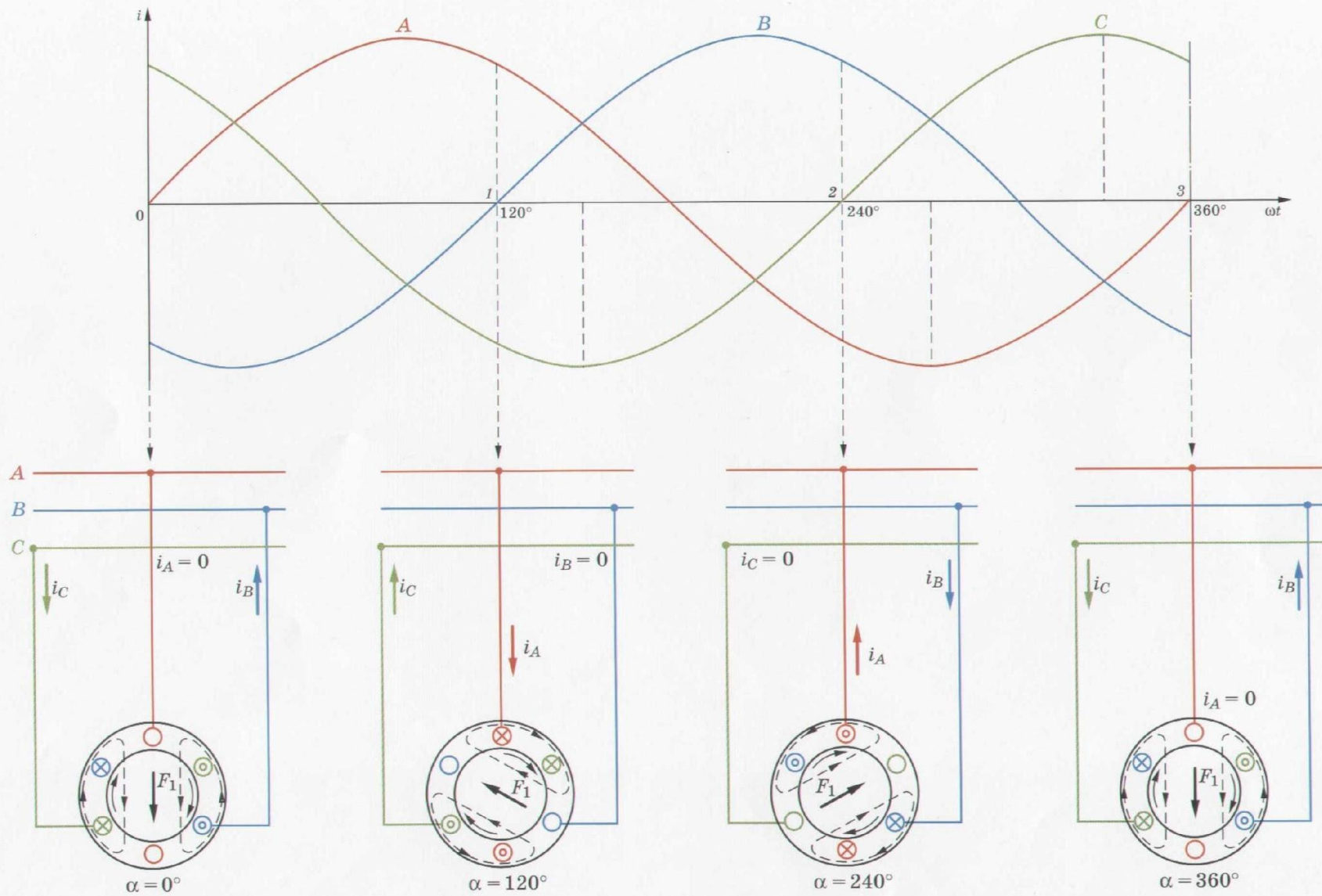
Н → К,



– отрицательное направление тока

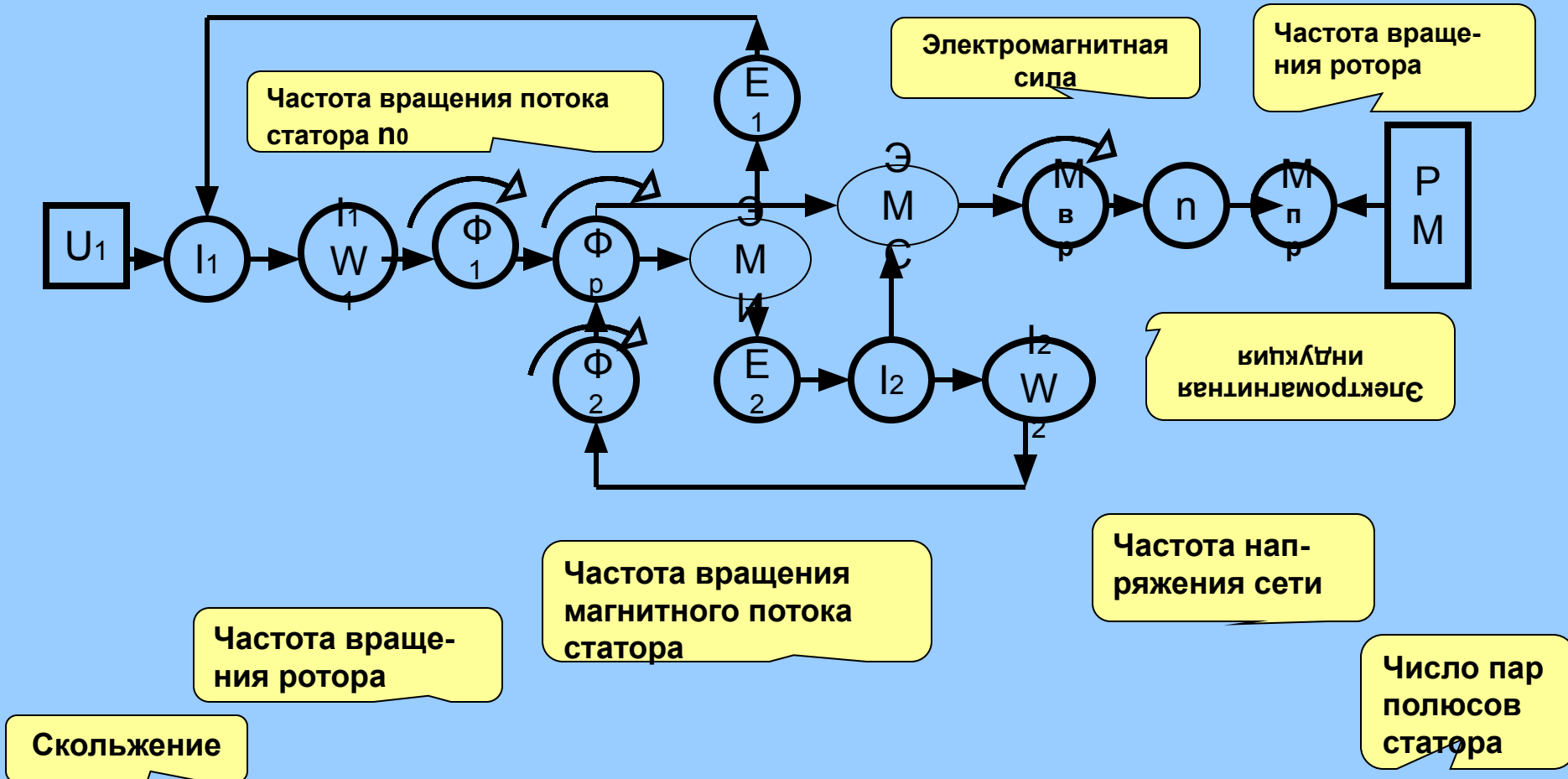
$n_0 = 1 / T, \text{ об/сек} = 60f / p, \text{ об/ мин}$ – частота вращения магнитного поля статора

Образование вращающегося магнитного поля



Положения векторов МДС статора в разные промежутки времени волновой диаграммы токов

Условно-логическая схема принципа работы асинхронного двигателя

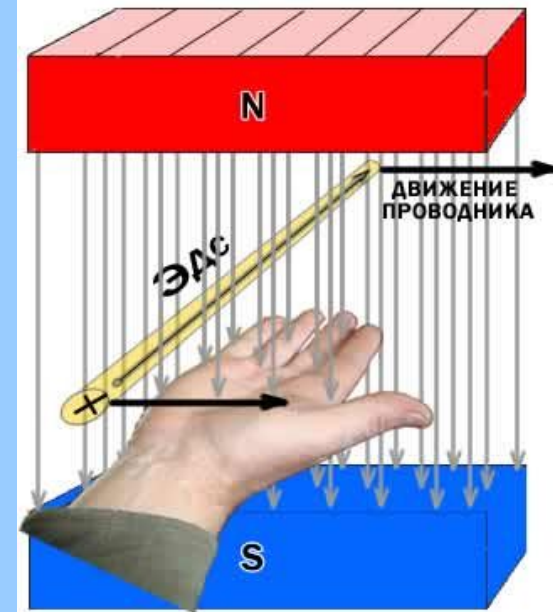


$S = (n_0 - n)/n_0$ → **$n = n_0(1 - s) = 60f_1(1 - s)/p$**

Принцип действия асинхронного двигателя

- Принцип действия АД основан на создании вращающегося магнитного поля (ВМП), получаемое с помощью
- 3-х фазной обмотки статора, токи в каждой фазе которой сдвинуты на 120 электрических градусов относительно друг друга. Возникает вращающееся магнитное поле, которое пересекая проводники обмотки ротора, наводит в них (на основании закона электромагнитной индукции) переменную ЭДС, направление которой определяют по правилу правой руки. Так как обмотка ротора замкнута, переменная ЭДС вызывает в ней ток того же направления, что и сама ЭДС. В результате взаимодействия тока ротора с вращающимся магнитным полем возникает сила, действующая на проводники ротора, направление которой определяют по правилу левой руки (сила определяется по закону Ампера: $F = BIl$).
- Сила создает вращающий момент, направленный в ту же сторону, что и сила, под действием которой ротор приходит в движение.

Правило правой руки.

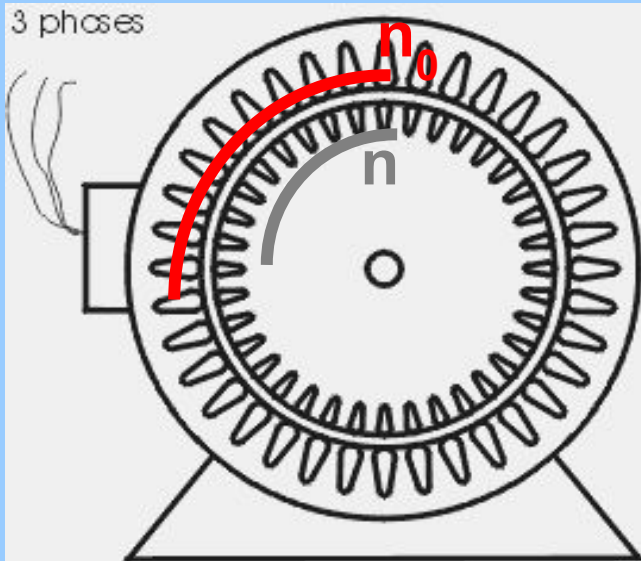


Правило левой руки.



Скольжение асинхронного двигателя

Скольжение s – показывает насколько частота вращения ротора n отличается от частоты вращения магнитного поля статора n_0 . Чем меньше s , тем меньше отставание вращения ротора от статора.



Частота вращения магнитного поля статора (синхронная частота), об/мин

Частота вращения ротора, об/мин

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

$s \rightarrow 0$ – минимальное отставание вращения ротора от поля статора, т.е. ротор вращается без нагрузки (режим ХХ)

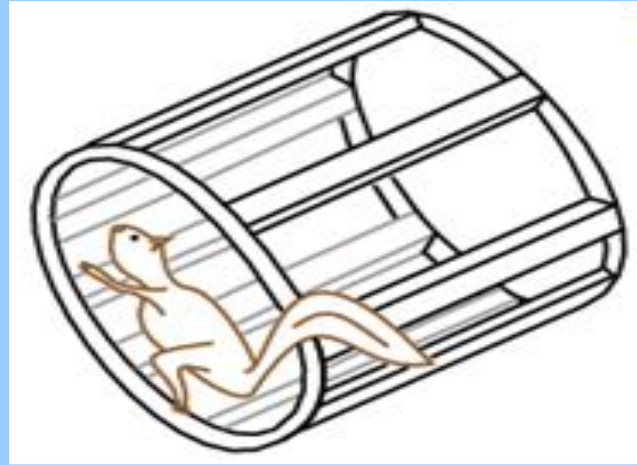
$s=1$ – максимальное отставание, т.е. ротор АД неподвижен (режим пуска или КЗ)

$s=0.02 \dots 0.05$ – ротор незначительно отстает от поля статора (на 2...5%), что соответствует работе АД при номинальной нагрузке



Так как **частота вращения ротора АД всегда меньше частоты вращения поля статора**, т.е. не синхронна с ней и возникло название двигателя - **асинхронный**

Изменение параметров ротора при его вращении



Частота пересечения проводников обмотки ротора магнитным потоком статора:

$$n_s = (n_0 - n) = (n_0 - n) n_0 / n_0 = n_1 s,$$

Частота ЭДС и токов ротора:

$$f_{2s} = n_s p / 60 = s f_1,$$

где f_1 – частота токов статора.

Например, при питании АД от сети с частотой $f_1 = 50$ Гц при $s_{\text{ном}} = 0,04$ частота токов ротора в номинальном режиме составляет $f_{2\text{ном}} = 2$ Гц;

при пуске ($s = 1$) $f_{2\text{п}} = f_1 = 50$ Гц

ЭДС обмотки вращающегося ротора:

$$E_{2s} = 4,44f_2s w_2 K_{об2} \Phi_m = sE_2,$$

где $E_2 = 4,44f_2 w_2 K_{об2} \Phi_m$ – ЭДС неподвижного ротора; w_1, w_2 – числа витков обмотки ротора;

$K_{об1}, K_{об2}$ – обмоточные коэффициенты, учитывающие снижение ЭДС из-за распределения обмоток по пазам, укорочения их шага и скоса пазов (для короткозамкнутого ротора $K_{об2} = 1$).

В прикладных расчетах параметров двигателей коэффициент $K_{об}$ принимают равным 0,95.

Индуктивное сопротивление обмотки ротора

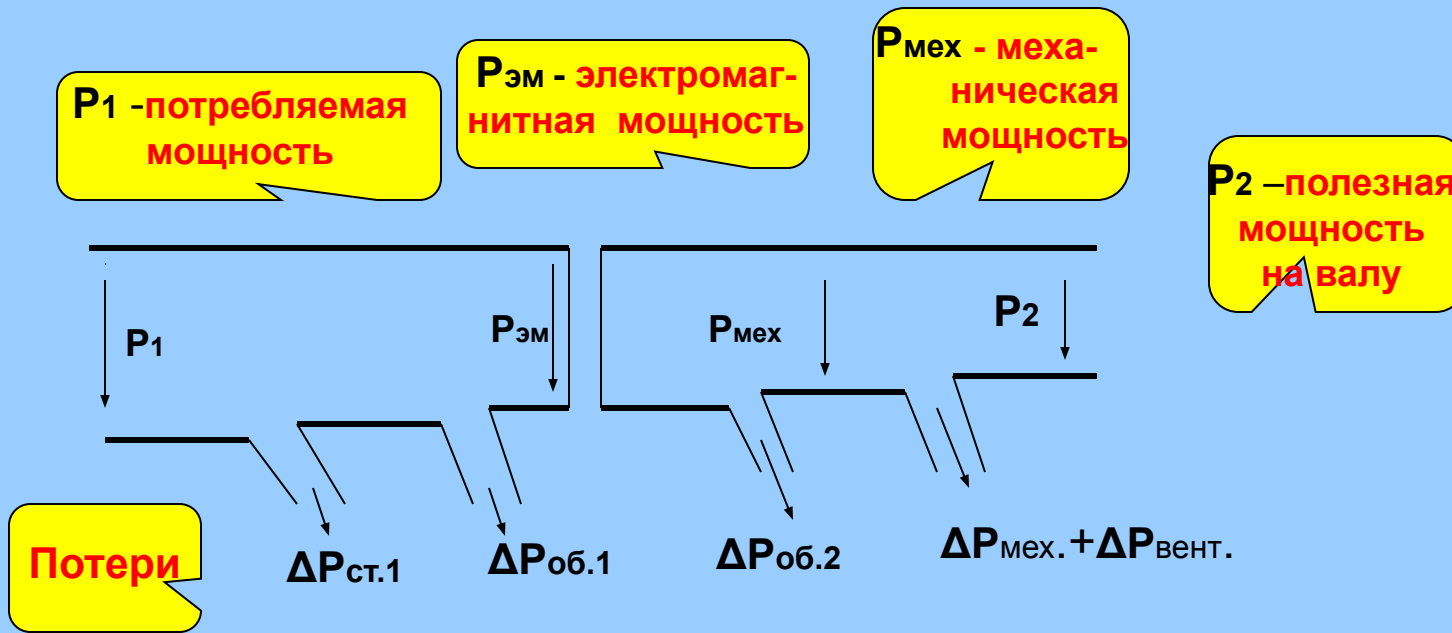
$$X_{2s} = 2\pi f_2 s L_2 = sX_2$$

Ток I_2 в обмотке ротора:

$$I_{2s} = E_{2s} / Z_{2s} = E_2 / \sqrt{(R_2 / s)^2 + X_2^2}$$

Изменение тока I_2 учитывается R_2/s , которое зависит от s .

Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя



$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

$$P_{эм} = P_1 - \Delta P_{ст.1} - \Delta P_{об.1}$$

$$P_{мех} = P_{эм} - \Delta P_{об.2}$$

$$P_2 = P_{мех} - \Delta P_{мех.} - \Delta P_{вент}$$

Вращающий момент асинхронного двигателя

Из энергетической диаграммы:

$$\Delta P_{об.2} = P_{эм} - P_{мех} = M\Omega_1 - M\Omega_2 = M(\Omega_1 - \Omega_2)(\Omega_1/\Omega_1) = M\Omega_1 S$$



$$M = \Delta P_{об.2} / \Omega_1 S$$

$$\Delta P_{об.2} = m_2 E_{2s} I_2 \cos \Psi_2 = m_2 4,44 k_{обм2} f_1 S w_2 \Phi_{max} I_2 \cos \Psi_2$$

$\Omega_1 = 2\pi n_0 / 60 = 2\pi f_1 / p$ – угловая частота вращения магнитного потока статора

$$M = p m_2 4,44 k_{обм2} f_1 S w_2 \Phi_{max} I_2 \cos \Psi_2 / 2\pi f_1 S = C_M \Phi_{max} I_2 \cos \Psi_2, \text{ где}$$

$C_M = p m_2 4,44 k_{обм2} / 2\pi f_1$ – постоянная момента

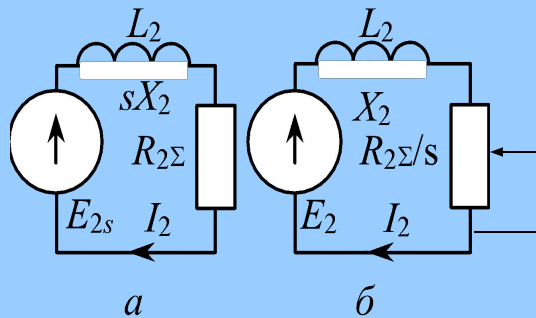
Универсальная формула вращающего момента

$$M = C_M \Phi_{max} I_2 \cos \Psi_2$$

- Вращающий момент АД пропорционален току ротора, амплитуде вращающегося магнитного потока и \cos угла между векторами ЭДС и тока ротора. Вращающий момент создается только активной составляющей тока ротора – $I_2 \cos \Psi_2$.

Схема замещения асинхронного двигателя

Схемы замещения ротора АД



В схеме рис.а мощность, выделяемая на участке с R_2 равна по значению потерям в обмотках ротора

$$\Delta P_{об.2} = 3R_2 I_2^2$$

В схеме рис.б ток I_2 , протекающий по участку с R_2/s равен:

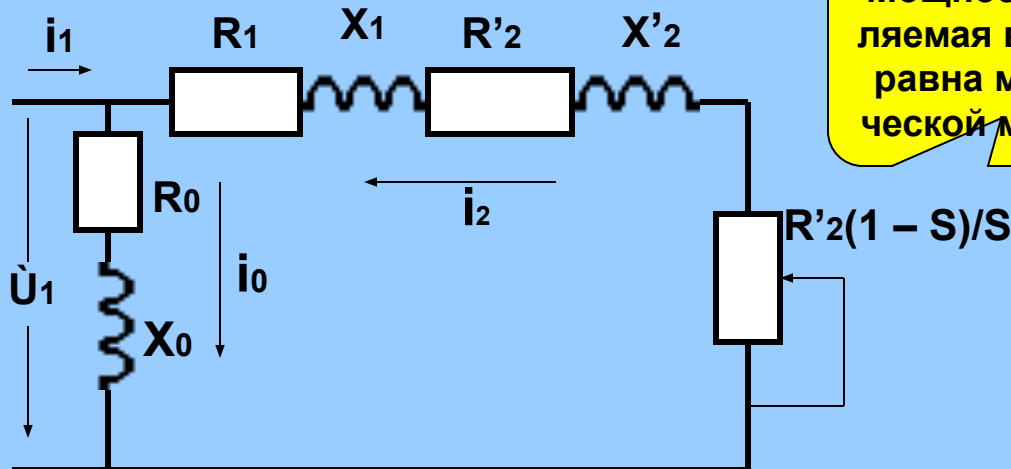
$$I_{2s} = E_{2s} / Z_{2s} = E_2 / \sqrt{(R_2/s)^2 + X_2^2}$$

Мощность, выделяемая на резисторе R_2/s равна:

$$P_{R2} = 3R_2 I_2^2 / s$$

Тогда: $\Delta P_{об.2} / P_{R2} = s$, т. е. P_{R2} – электромагнитная мощность

Схема замещения АД



Мощность, выделяемая в элементе, равна механической мощности

Выразив I_2 из схемы замещения, получим формулу вращающегося момента:

$$M = \frac{1}{\Omega_1 s} \frac{3U_{1\phi}^2 R'_{2\Sigma}}{\left(R_1 + \frac{R_{2\Sigma}}{s}\right)^2 + X_K^2}$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя $M = f(s)$

$$M = \frac{1}{\Omega_1 s} \frac{3U_{1\phi}^2 R'_{2\Sigma}}{\left(R_1 + \frac{R_{2\Sigma}}{s}\right)^2 + X_K^2}$$

Рассмотрим работу АД при условии:
 $U_1 = \text{const}$. Введем $C'_m = 3U_1^2 / \Omega_1 = \text{const}$
пренебрегая R_1 , получим:

$$M = \frac{c'_m R'_2 / s}{(R'_2 / s)^2 + X_k^2}$$

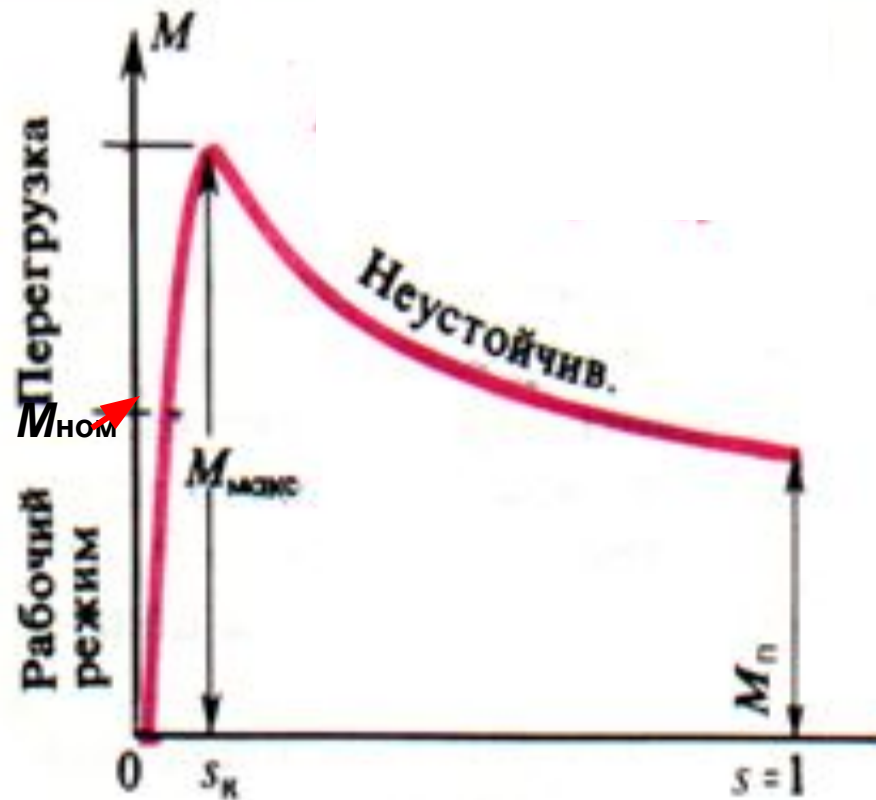
Взяв, $dM/ds = 0$, определим $s_{кр}$:

$$s_{кр} = R'_2 / X_{кр}$$

Подставив в формулу, получим:

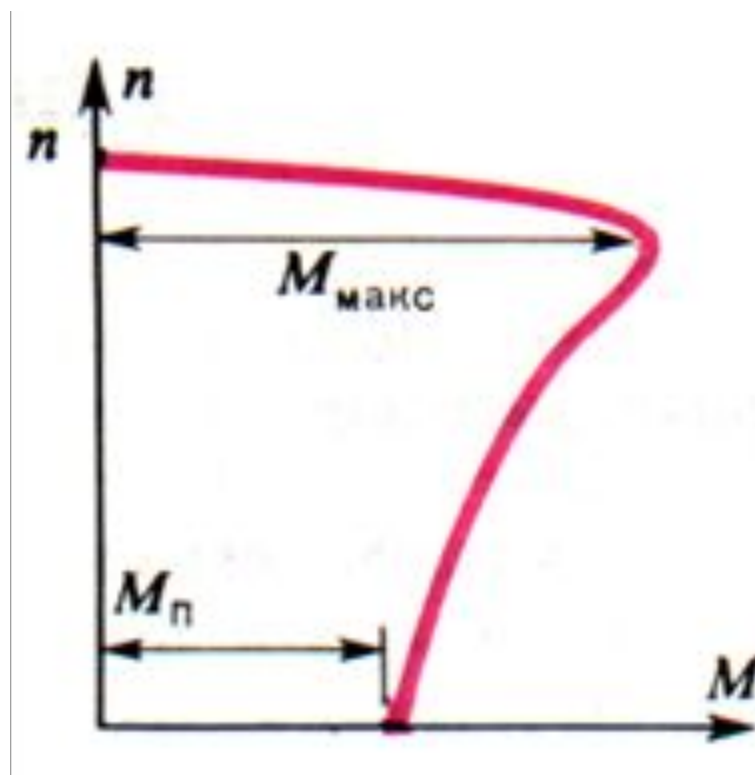
$$M_{\max} = C'_m / 2X_{кр}$$

M_{\max} не зависит от R'_2 , но сдвигает его в область больших скольжений, зависит от U_1^2

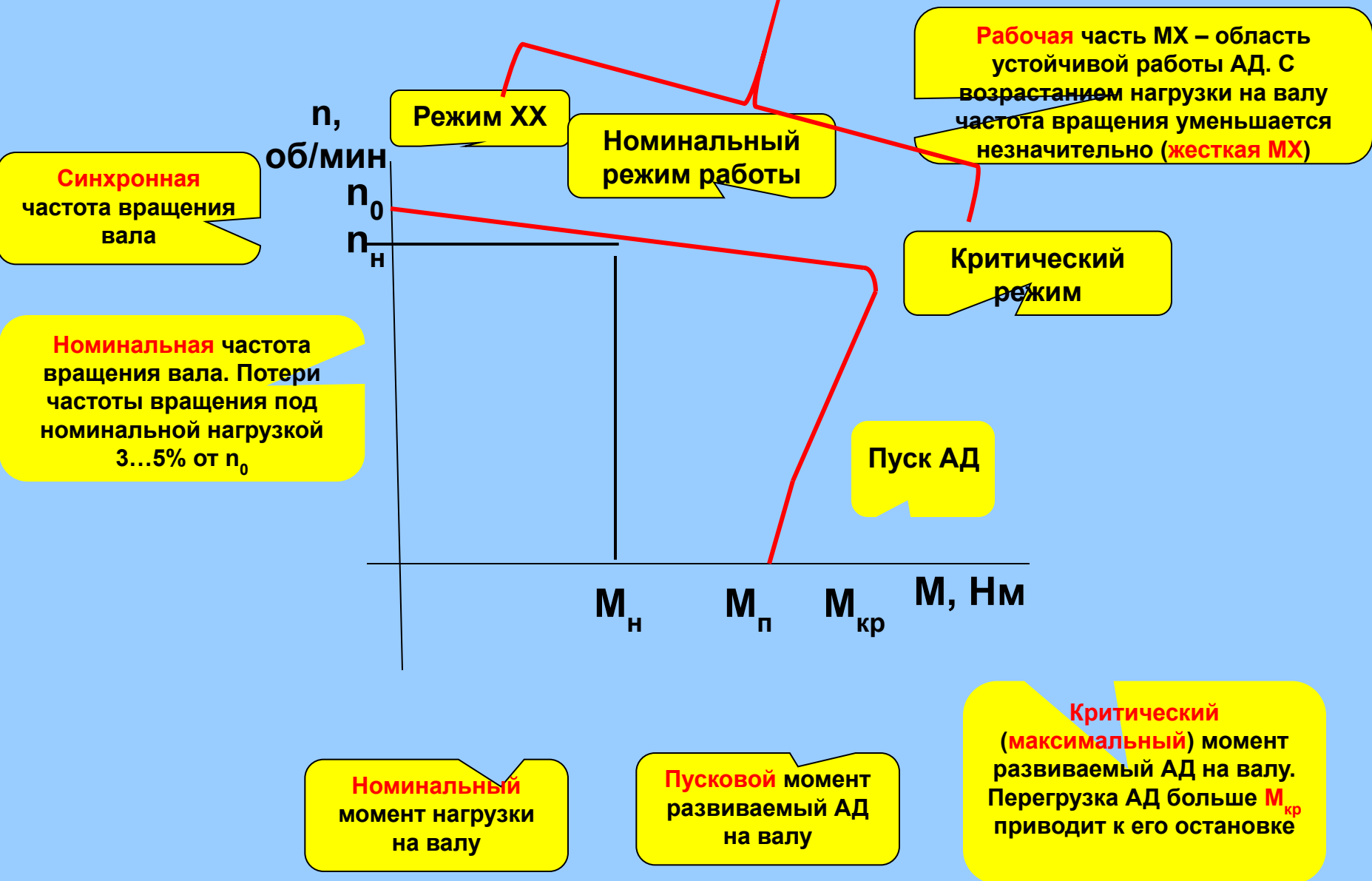


Механическая характеристика асинхронного двигателя $n = f(M)$

$$n = n_0(1-s)$$



Механическая характеристика асинхронного двигателя



Построение механической характеристики по паспортным данным

Паспортными данными электродвигателей являются следующие величины:

$P_{ном}$ – номинальная мощность, кВт; $n_{ном}$ – номинальная частота вращения ротора об/мин;
 λ_m – кратность максимального (критического) момента; λ_{II} – кратность пускового момента

n_0 – синхронная частота вращения; $M=0$;

$n_{ном}$ – номинальная частота вращения ротора; $M_{ном} = 9550 P_{ном} / n_{ном}$;

$M_{кр}$ – максимальный (критический) момент, $M_{кр} = \lambda_m M_{ном}$;

$$s_K = s_{ном} (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}).$$

$M_{п} = \lambda_{II} M_{ном}$, $n=0$

Рабочий участок механической характеристики строится по точкам, задаваясь значением скольжения s от 0 до 1 по упрощенной формуле Клосса:

$$M = \frac{2M_{max}}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}$$

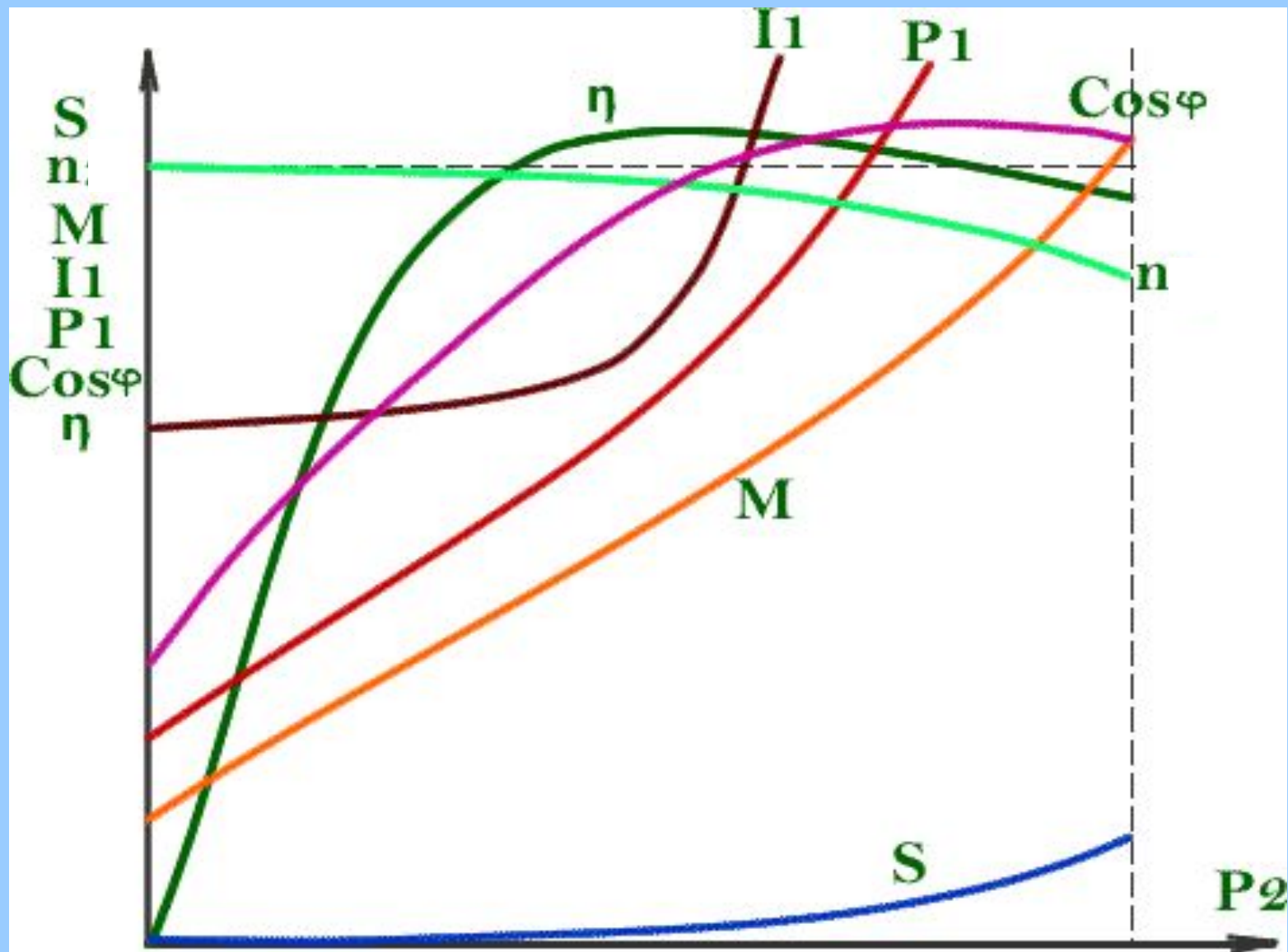
Важным показателем механических характеристик является их жесткость $\beta = dM/dn$. Чем жестче, т. е. чем меньше угол наклона рабочего участка характеристики двигателя, тем меньше изменяется частота вращения n при изменении момента нагрузки $Mс$.

Паспортный показатель $\lambda_m = M_{max} / M_{ном}$ называют кратностью максимального момента.

Он характеризует перегрузочную способность двигателя. Для АД общего назначения $\lambda_m = 1,7 \div 2,5$, для АД, работающих с большими перегрузками (крановые, металлургические), $\lambda_m = 2,2 \div 3,5$.

Кратность пускового момента $\lambda_{п} = M_{п} / M_{ном}$ для двигателей малой и средней мощности (менее 100 кВт) составляет $\lambda_{п} = 1,0 \div 2,0$.

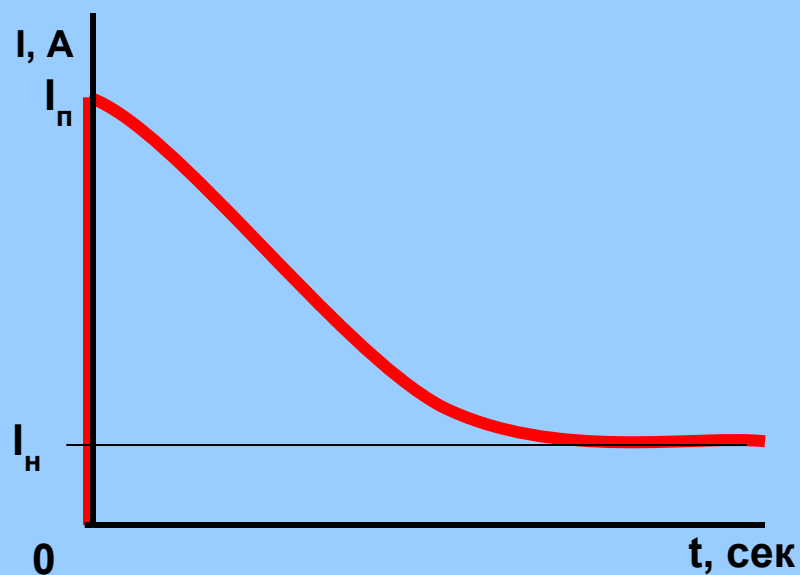
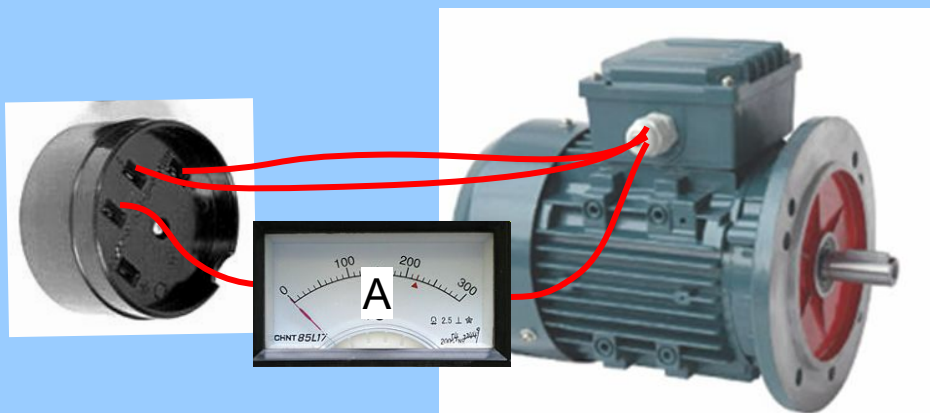
Рабочие характеристики асинхронного двигателя



Пуск асинхронного двигателя

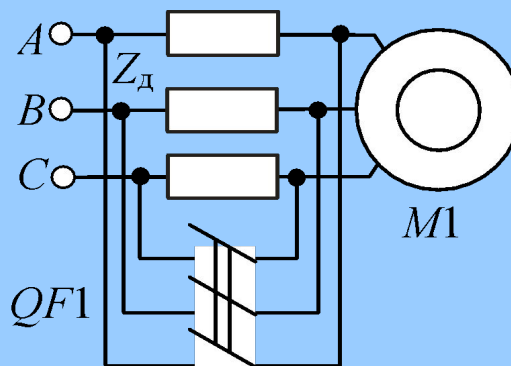
Пуск АД сопровождается скачком тока до I_p , который в 5-7 раз превышает номинальный ток I_n , на который рассчитаны провода или жилы кабеля, питающего двигатель.

Поэтому, прямое включение АД в сеть применяется только для АД не более 15-20кВт



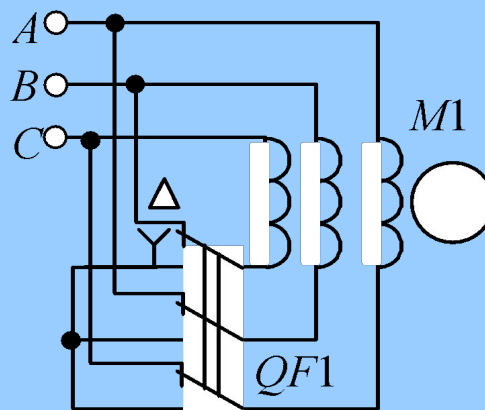
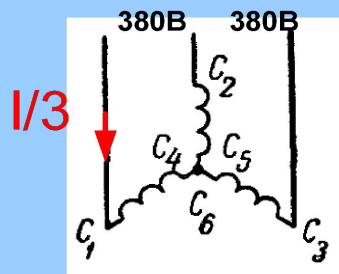
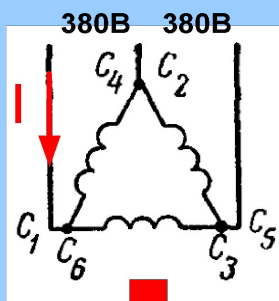
1. Пуск при пониженном напряжении

а) включение последовательно с обмотками статора реостатов или индуктивностей

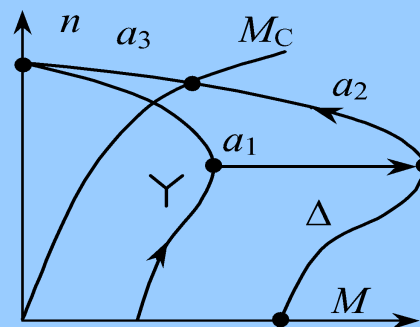


а

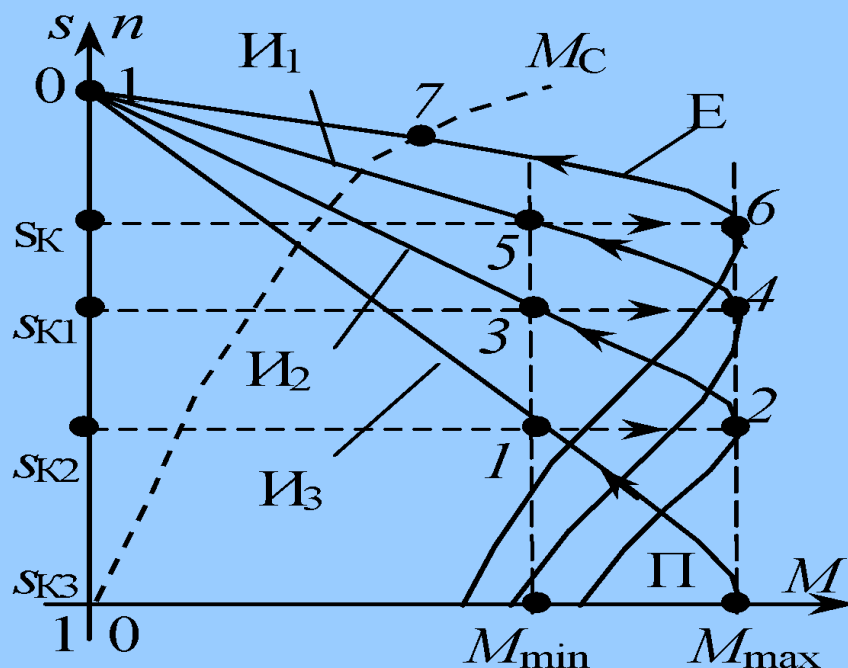
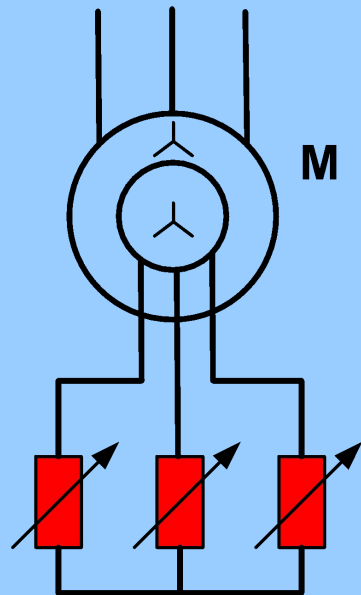
б) соединение обмоток статора на время пуска звездой



б



2. Пуск с помощью пускового реостата в цепи обмотки ротора (только для АД с фазным ротором)



Пуск АД начинается с введения в цепь ротора всех ступеней R_D , что соответствует пусковой точке П

на характеристике I_3 . Характеристику I_3 с пусковым моментом $M_n = M_{max}$ получим при полном сопротивлении пускового реостата

$$R_D = R_I + R_{II} + R_{III} = R_2 \left(\frac{1}{s_K} - 1 \right)$$

где s_K – критическое скольжение характеристики Е.

Пусковой реостат, включенный в цепь фазного ротора через контактные кольца, позволяет увеличить пусковой момент до максимального (характеристика I_3).

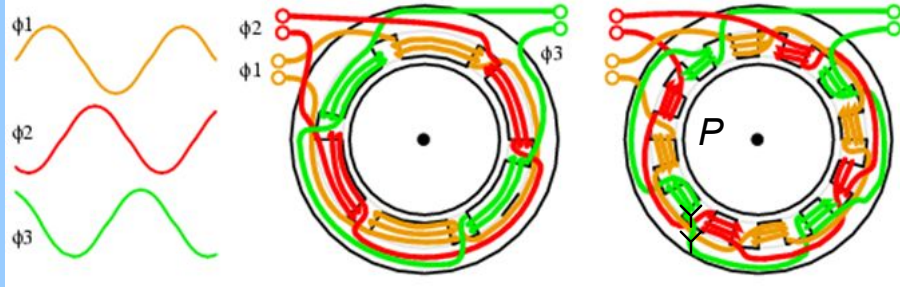
Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя

Из формулы $n = n_0(1 - s) = 60f_1(1-s)/p$, следует, что частоту вращения ротора можно регулировать изменением числа пар полюсов p , частотой питающего напряжения f_1 и скольжением s .

1. Изменением количества полюсов статора – включением в сеть разного количества полюсов.

Существуют **многоскоростные АД**: **двухскоростные**: 500/1000, 750/1500, 1500/3000 об/мин

трехскоростные: 1000/1500/3000, 750/1000/1500 об/мин: **четырёхскоростные**: 500/750/1000/1500 об/мин

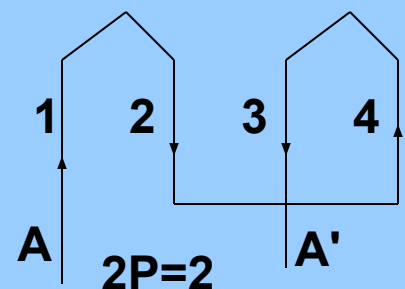
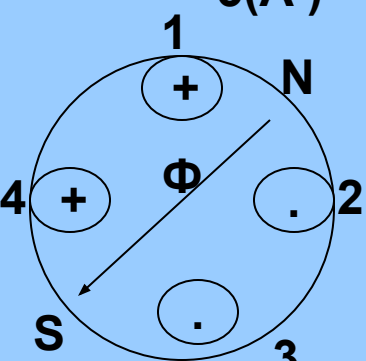
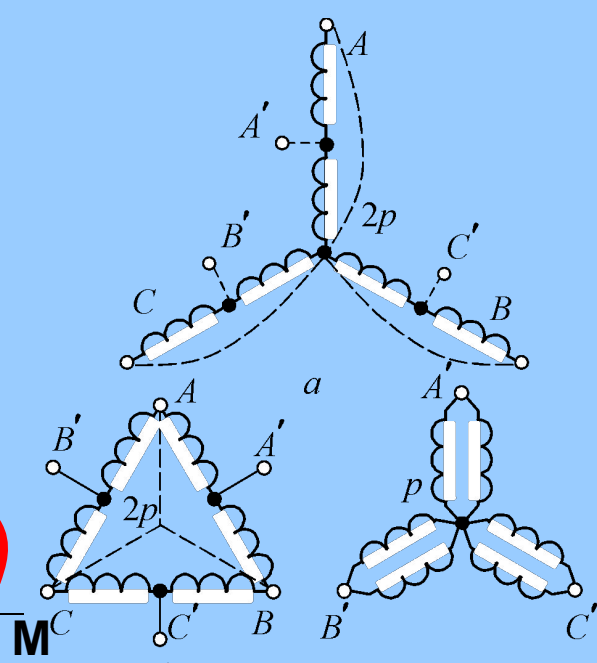
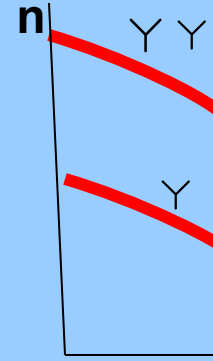
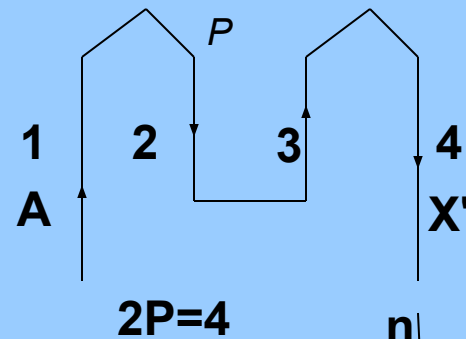
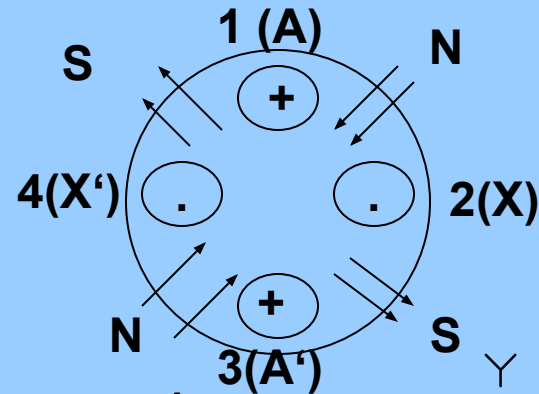


При переключении $Y \rightarrow YY$

$$YY \approx 2P_Y, \quad M_{YY} \approx M_Y$$

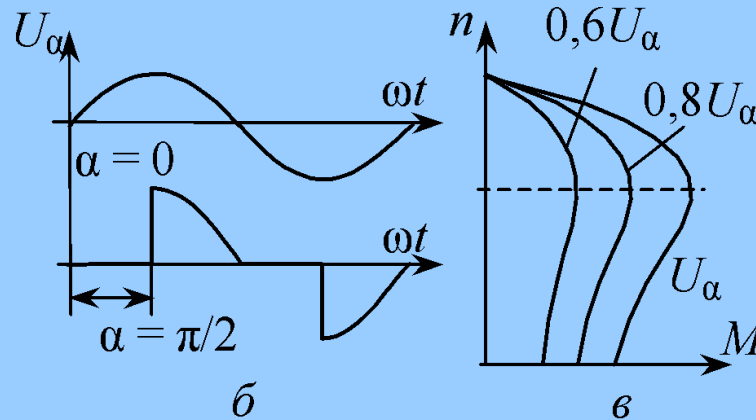
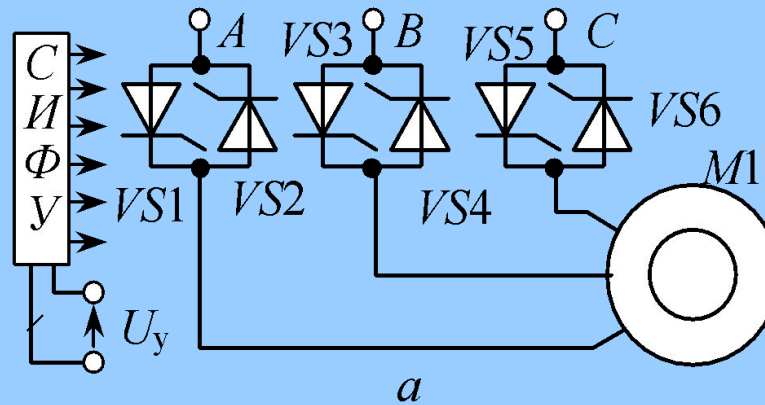
при переключении $\Delta \rightarrow YY$

$$YY \approx P_{\Delta}, \quad M_{YY} \approx M_{\Delta}/2$$



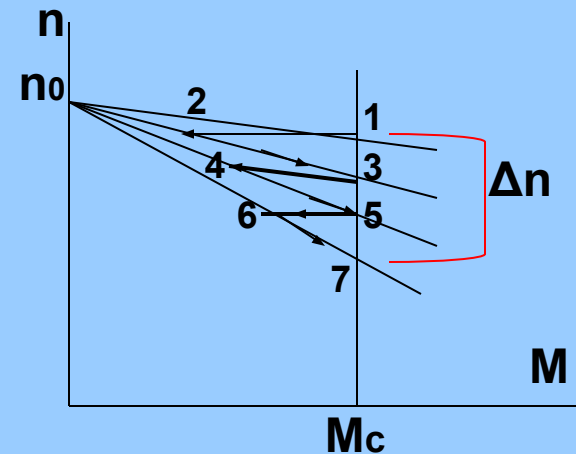
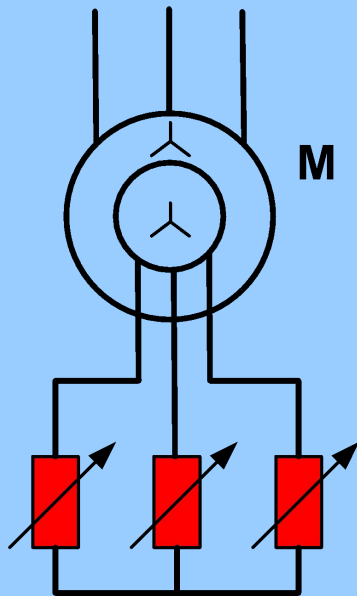
2. Изменением скольжения для двигателя с короткозамкнутым ротором

Система
Импульсно-
фазового
управления



Изменением скольжения для двигателя с фазным ротором

Путем введения в цепь обмоток ротора реостатов.



- 1 – включение 1-ой ступени реостата →
 $R_p \uparrow \quad I_2 \downarrow \quad M_{вр} \downarrow < M_c \quad \bullet(2) \rightarrow n \downarrow \quad s \uparrow \quad I_2 \uparrow \quad M_{вр} \uparrow = M_c \bullet(3)$
- (3) – включение 2-ой ступени реостата.
- (5) – включение 3-ей ступени реостата.
- (1) - •(7) – диапазон регулирования частоты вращения ротора Δn

Недостатки данного способа:

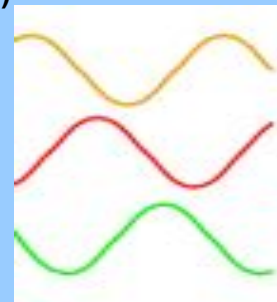
- 1) низкая экономичность из-за потерь в реостате R_p ;
- 2) снижение жесткости механических характеристик;
- 3) частоту вращения можно регулировать только в сторону понижения

3. Частотное регулирование

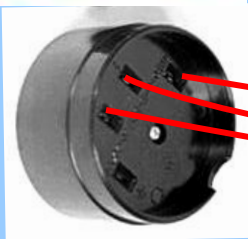
Изменением частоты питающего напряжения - **частотное регулирование**. Бесступенчатый способ. Экономичный и перспективный. Необходим **ПЧ (преобразователь частоты)**



$f_{\text{сети}} = 50 \text{ Гц}$



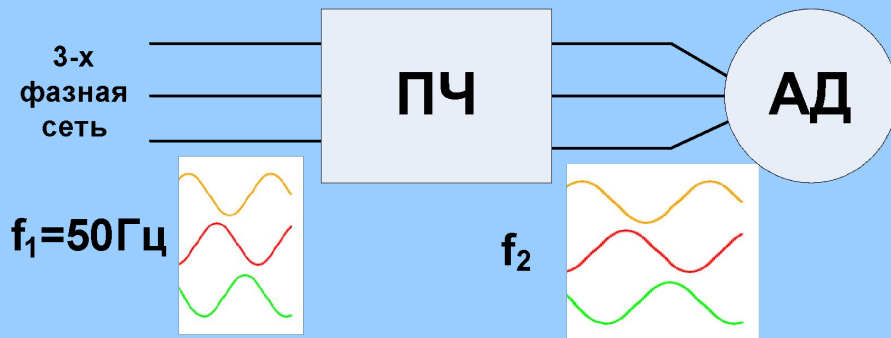
$f_{\text{пч}} < f_{\text{сети}}$



Уменьшение только частоты питающего напряжения ведет к уменьшению максимального момента двигателя



Продолжение частотного регулирования



Изменение частоты по закону:

$$\frac{f}{U} = \text{const}$$

позволяет регулировать частоту вращения без изменения момента

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{f_{1\text{НОМ}}} \sqrt{\frac{M_C(\Omega)}{M_{C\text{НОМ}}}}$$

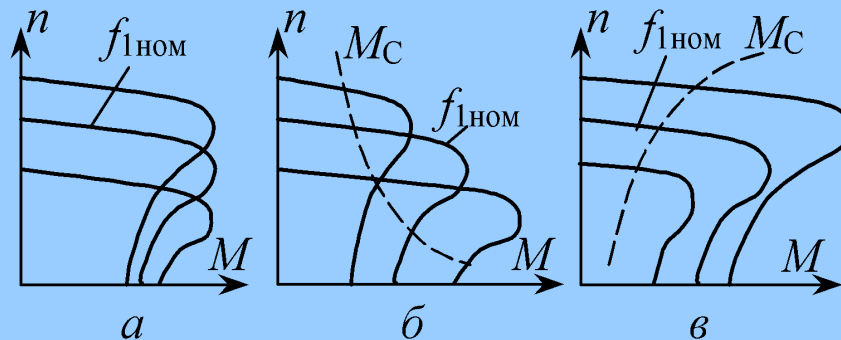
Для механизмов:

а) с постоянным моментом M_C ;

б) постоянной мощности P_C ;

в) вентиляторного типа получаем:

а) $\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{f_{1\text{НОМ}}} = \text{const}$ б) $\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const}$ в) $\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}$



Управление асинхронного двигателя преобразователями частоты

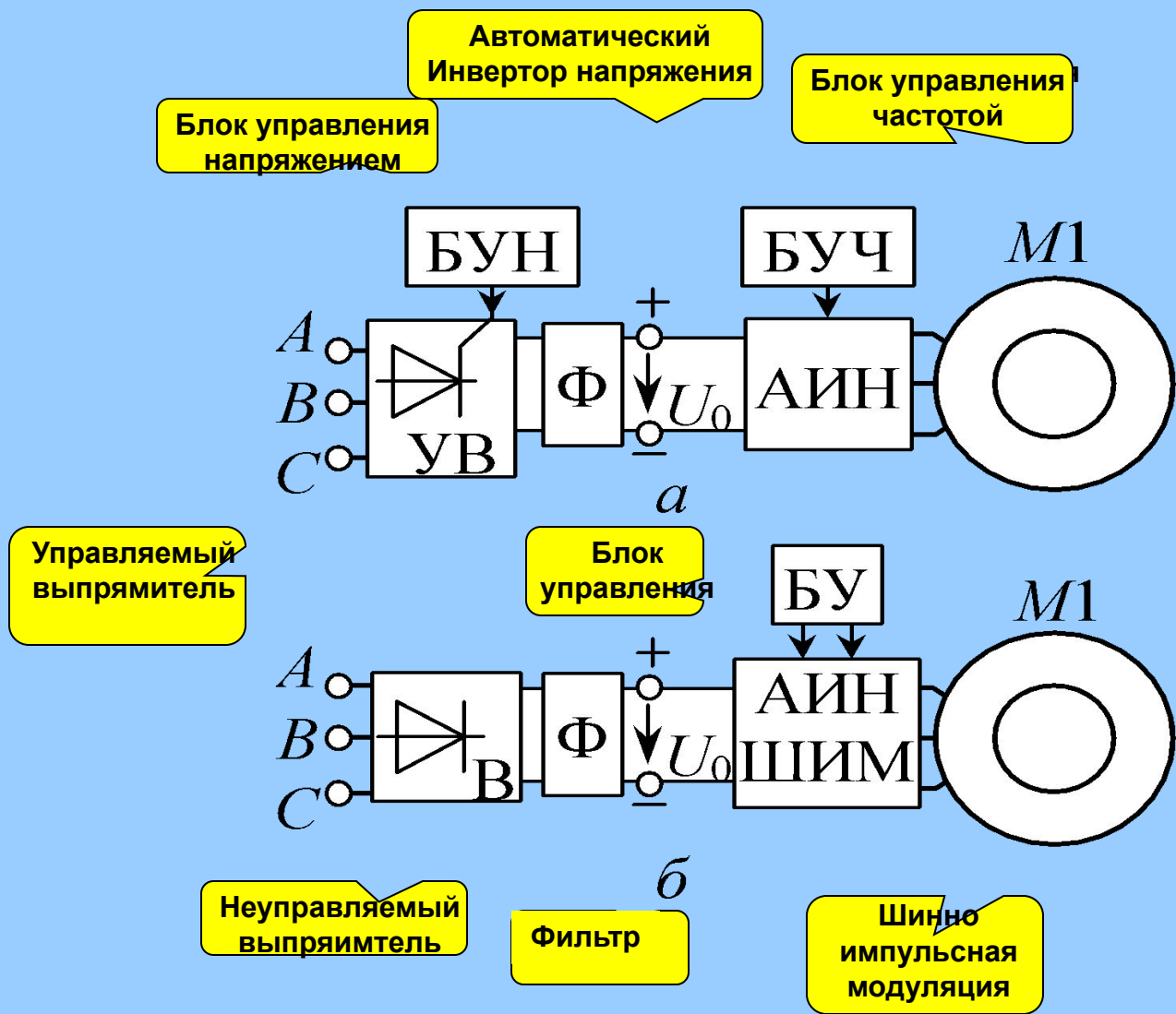
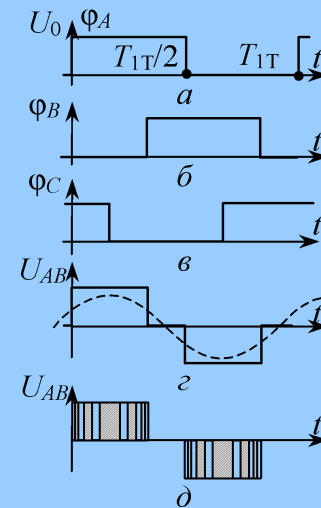
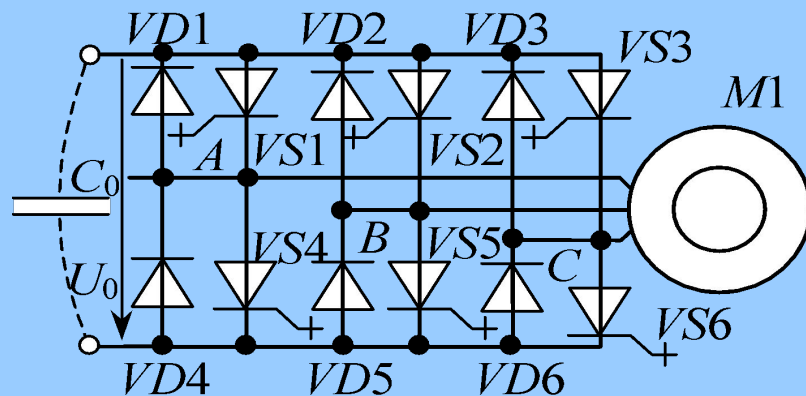


Схема трехфазного АИН на запираемых тиристорах VS1–VS6.

Пусть $f_{1T} = 1/T_{1T}$ – требуемая частота напряжения статора.

Форма линейного напряжения на статоре может быть различной в зависимости от алгоритма коммутации тиристоров. Пусть в каждой фазе тиристоры открываются и закрываются попеременно через $\Delta t = T_{1T}/2$ с фазным запаздыванием $T_{1T}/3$.



Временные диаграммы потенциалов точек A, B, C (потенциал нижней шины принят нулевым).

Линейное напряжение $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ (рис. e) является последовательностью разнополярных прямоугольных импульсов, первая гармоника которой изображена пунктиром.

Данный инвертор допускает регулирование частоты f как вверх, так и вниз от номинального значения.

Выходное напряжение инвертора с учетом ШИМ (рис. d) состоит из импульсов повышенной

частоты, имеющих различную ширину, которая устанавливается так, чтобы получить на выходе

максимум первой гармоники. При использовании ШИМ возрастают требования к быстродействию

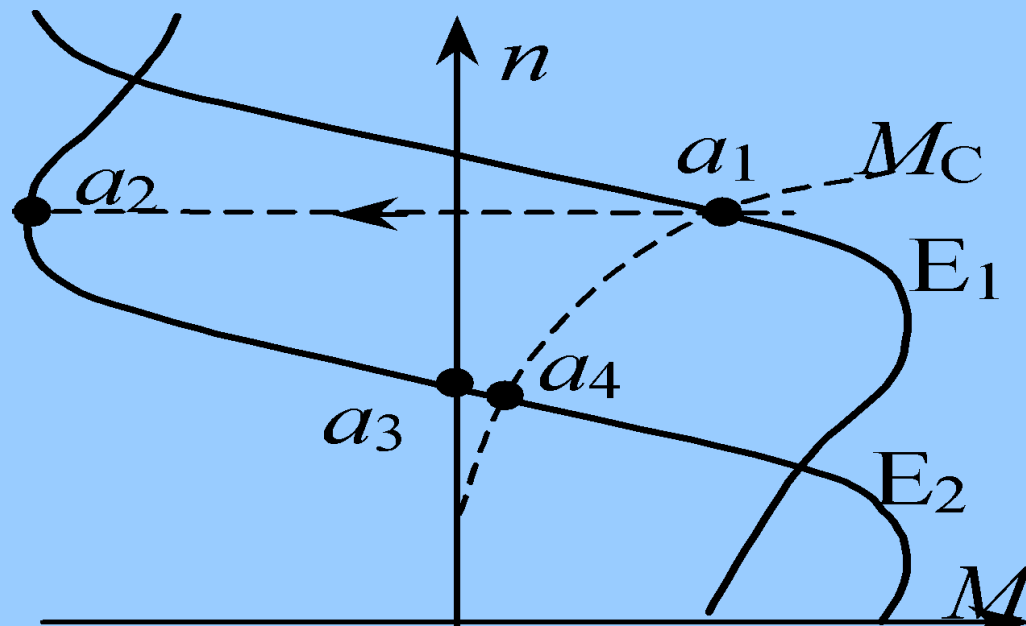
ключей, которые выполняют на транзисторах или тиристорах. Обратновключенные диоды $VD1$ – $VD6$

совместно с емкостью C_0 фильтра Ф образуют пути замыкания спадающих токов статорных обмоток.

Способы торможения асинхронных двигателей

Генераторное торможение

Этот вид торможения наблюдается в частотно-управляемых двигателях при понижении частоты f_1 , а также в многоскоростных двигателях при переходе на низкую скорость. Например, при увеличении числа пар полюсов характеристика E_1 заменяется на E_2 , при этом рабочая точка a_1 по горизонтали скачком переходит в точку a_2 и далее по характеристике E_2 плавно в точке a_3 , a_4 . Участок a_2 - a_3 является генераторным. Ему соответствует торможение ($M < 0$) с возвратом (рекуперацией) энергии в сеть. Рекуперативное торможение может также использоваться в приводах подъемников в режиме быстрого спуска. Двигатель включается на спуск и под действием груза разгоняется до частоты $n > n_1$, т. е. переходит в генераторный режим, при этом кинетическая энергия груза преобразуется в электрическую энергию и отдается в сеть

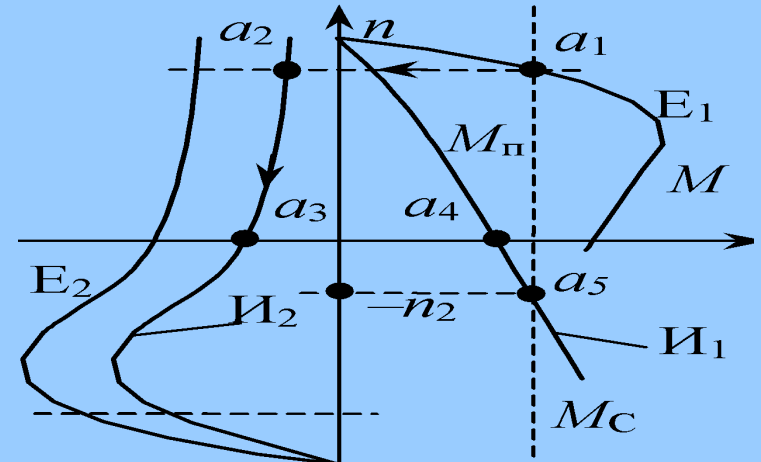
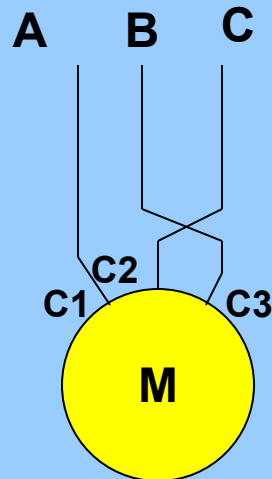
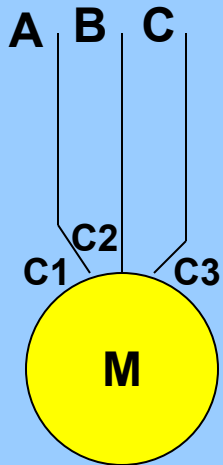


Торможение противовключением

Торможение противовключением достигается изменением направления вращения поля статора. При этом характеристика E_1 заменяется обращенной характеристикой E_2 . Для уменьшения токов АД одновременно уменьшают напряжение статора (характеристика I_2).

Рабочая точка из a_1 по горизонтали скачком переходит в a_2 и затем по характеристике I_2 движется вниз. При достижении точки a_3 ($n = 0$) АД нужно отключить от сети, иначе начнется реверс.

При активном моменте M_c (груз в подъемнике) возможен второй способ торможения противовключением: в цепь ротора вводится большое сопротивление (характеристика I_1) и АД включается на подъем. Под действием преобладающего момента $M_c > M_n$ из точки a_4 начнется спуск груза с подтормаживанием. В точке a_5 пересечения характеристик I_1 и M_c установится частота спуска $-n_2$ (тормозной спуск).



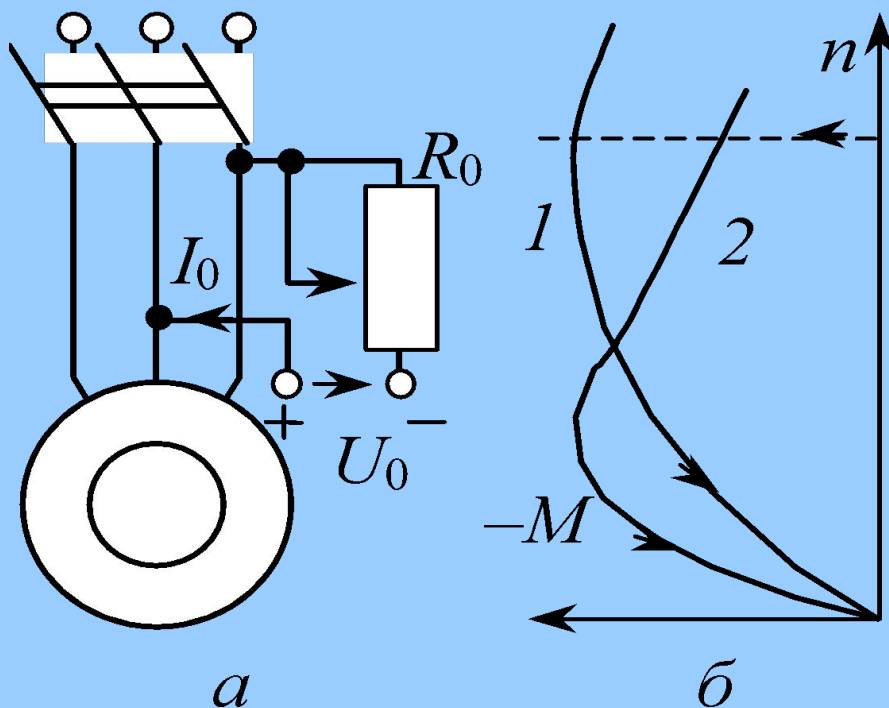
$$S = [n_1 - (-n_2)]/n_1 > 1$$

$$Z'_2 = \sqrt{(R'_2)^2 + X'_2{}^2}$$

уменьшается, а ток ротора и статора увеличивается

Динамическое торможение

Осуществляют отключением обмоток статора от трехфазной сети и подключением к источнику постоянного напряжения U_0 (рисунок а). Постоянный ток I_0 обмоток статора создает неподвижное магнитное поле, под действием которого в обмотке вращающегося по инерции ротора индуцируются токи, создающие тормозной момент. Искусственные механические характеристики в режиме динамического торможения (рисунок б) можно регулировать изменением сопротивлений R_0 или R_d в цепи ротора (кривая 1). Кривая 2 соответствует двигателю с короткозамкнутым ротором.



Паспортные данные асинхронных двигателей

АД выпускаются с синхронной частотой вращения n_0 (частотой вращения магнитного поля статора):

3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 об/мин

Перегрузочная
способность

Номинальная
мощность на
валу

Номинальное
КПД

Номинальное
скольжение

Номинальный
коэффициент
мощности

Кратность
пускового
момента

Кратность
пускового
тока

Синхронная
частота
вращения

Типоразмер двигателя	Мощ- ность, кВт	Скольже- ние, %	КПД, %	$\cos\varphi$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
-------------------------	--------------------	--------------------	-----------	---------------	---------------------------	-------------------------	-------------------------

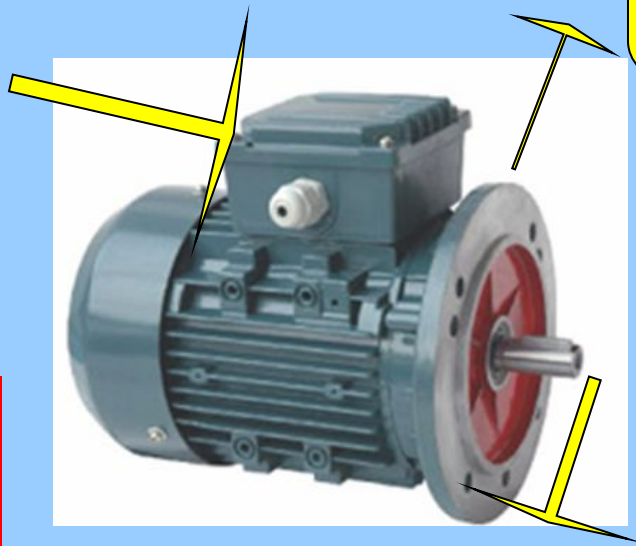
Синхронная частота вращения 3000 об/мин

RA 90L2	2,2	6,0	82	0,87	3,4	2,9	6,5
4A80B2У3	2,2	5,0	83	0,87	2,2	2,0	6,5
AIP80B	2,2	5,0	83	0,87	2,2	2,0	7,0

Коэффициент полезного действия асинхронных двигателей

$P_{\text{потр}}$ – потребляемая электрическая мощность от источника, Вт

$P_{\text{потерь}}$ – потери электрической мощности, Вт



$P_{\text{полезн}}$ (или $P_{\text{н}}$, P_2) – полезная механическая мощность на валу двигателя, Вт

$$\eta = \frac{P_{\text{полезная}}}{P_{\text{потр}}}$$

$$I = \frac{P_{\text{потр}}}{\sqrt{3}U \cos \varphi}$$

КПД АД в номинальном режиме работы составляет 70-90%, причем для более мощных АД КПД 94 – 96%.

Основные формулы

Частота напряжения сети

$$n_0 = 60 \frac{f_1}{p}$$

Число пар полюсов обмотки статора

Частота вращения магнитного потока статора

Скольжение

Частота вращения ротора

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

$$n = n_0(1 - S) = \frac{60 f_1}{p} (1 - S)$$

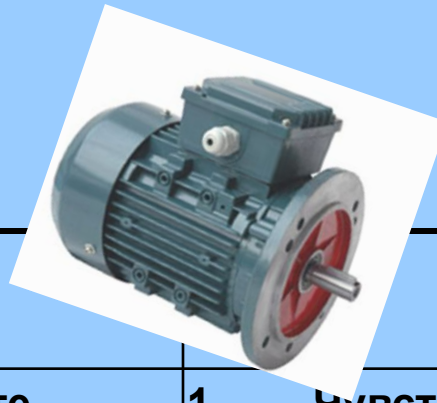
Амплитуда магнитного потока

Ток ротора

$$M = C_M \Phi_{max} I_2 \cos \phi_2$$

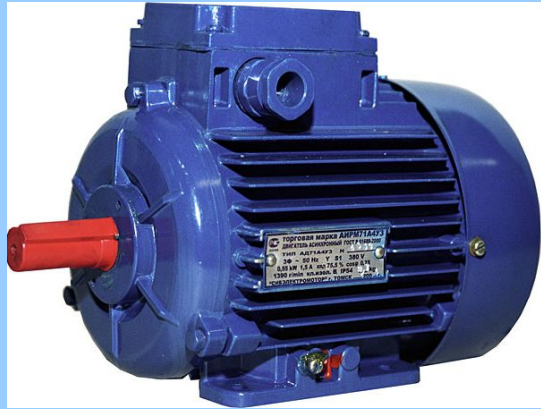
$$M = \frac{1}{\Omega_1 s} \frac{3U_{1\phi}^2 R'_{2\Sigma}}{\left(R_1 + \frac{R_{2\Sigma}}{s}\right)^2 + X_K^2}$$

Достоинства и недостатки асинхронных двигателей



Достоинства	Недостатки
1. Высокая надёжность в работе	1. Чувствительность к колебаниям сетевого напряжения
2. Возможность питания непосредственно от сети переменного трёхфазного напряжения	2. Меньший пусковой момент (по сравнению с ДПТ той мощности)
3. Простота конструкции	
4. Низкая стоимость	
5. Малые эксплуатационные расходы	
6. Высокая степень защиты от влияния окружающей среды	

Применение асинхронных двигателей



Консольный центробежный насос для сточных масс



Пылевой вентилятор

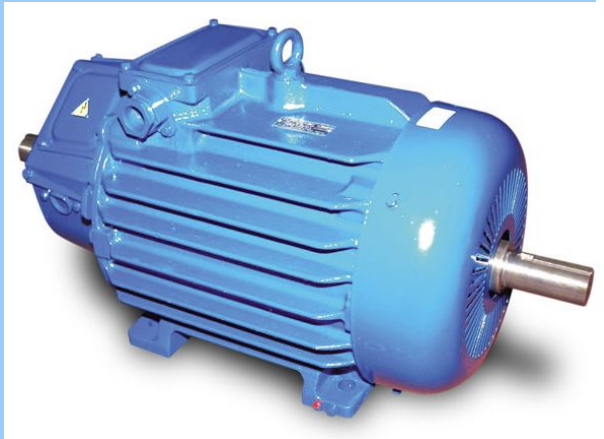
Общепромышленные двигатели применяются в станкостроении, деревообрабатывающей промышленности, в сельском хозяйстве, строительной технике, системах промышленной вентиляции, на транспортерах, подъемниках, в насосном оборудовании, холодильных и вакуумных установках.



Электронасосы моноблочные центробежные циркуляционные для воды



Центробежный многосекционный насос для подачи питательной воды в паровые котлы



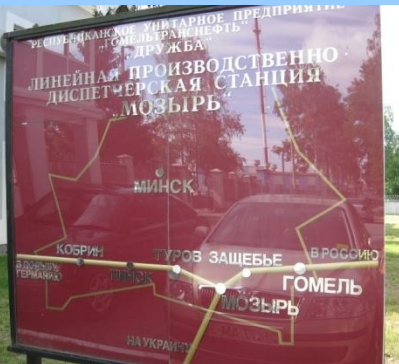
Крановые двигатели используются в строительстве, энергетике, на транспорте, работают на башенных, порталных, козловых, мостовых кранах, приводят в движение лифты и различные подъемные механизмы.



Насос одновинтовой типа Н1В - химический

Станция перекачки нефти ЛПДС "Мозырь" Гомельского предприятия

транспорта нефти "Дружба"



Задачи

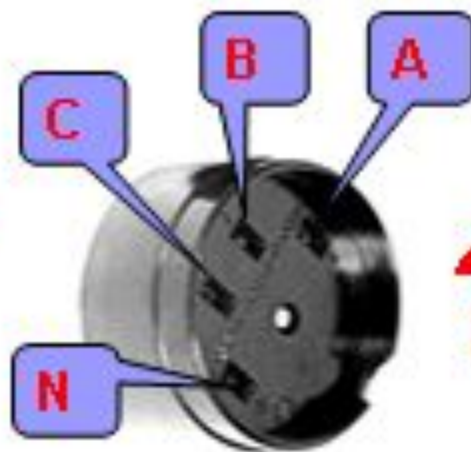
1. Трехфазный АД с КЗ ротором имеет номинальную мощность 4кВт (напряжение 380В (50Гц)), КПД 0.84, коэффициент мощности 0.85 и кратность пускового тока 6.5. Найти потребляемую двигателем мощность из сети, протекающий ток в жиле кабеля, суммарные потери в двигателе в номинальном режиме нагрузки, а также ток в момент пуска двигателя.

2. Трехфазный АД с КЗ ротором имеет номинальную мощность 7.5кВт, номинальную частоту вращения 2900 об/мин, кратность пускового момента 1.8, перегрузочную способность 2.2. Найти номинальный, максимальный и пусковой моменты, скольжение.

А Б В Г Д Е Ё Ж З И К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Э Ю Я

Задание

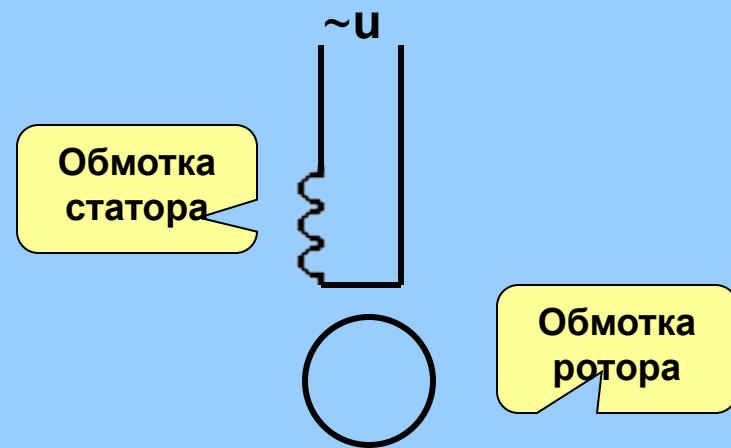
Как необходимо соединить обмотки в клеммной коробке АД (звездой или треугольником), и в какие гнезда трехфазной розетки подключить 3 вывода АД для его работы?



Сеть	Номинальное напряжение АД
380/220 В	380/220 В
380/220 В	660/380 В
380/220 В	220/127 В
220/127 В	380/220 В
660/380 В	660/380 В
660/380 В	380/220 В

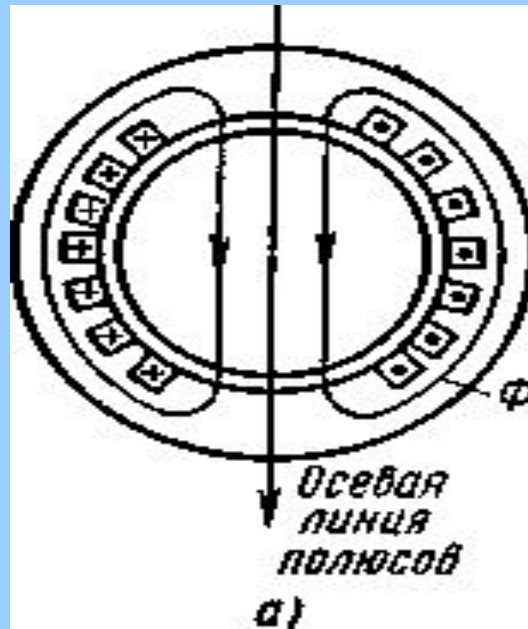
А Б В Г Д Е Ё Ж З И К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Э Ю Я

Однообразный двигатель

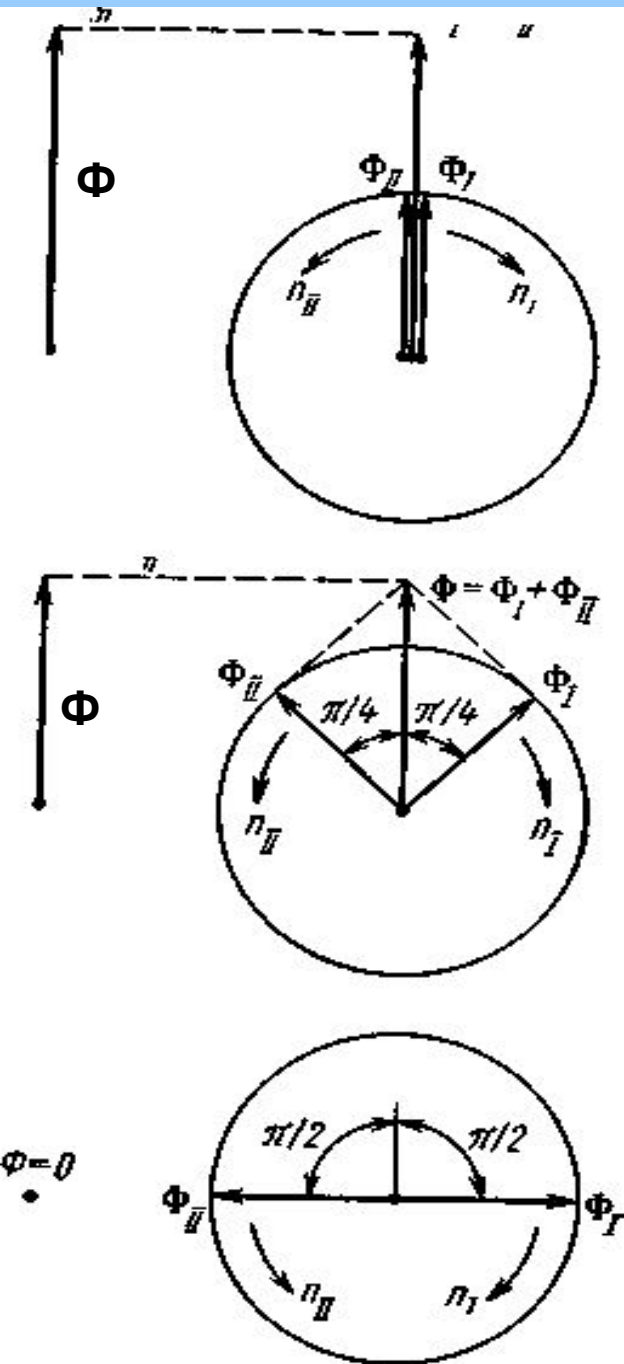


Устройство однофазного асинхронного двигателя

Магнитный поток ОД



На статоре однофазного АД располагается **одна обмотка**. Ротор имеет короткозамкнутую обмотку. Протекающий по обмотке статора переменный ток создает пульсирующий магнитный поток, изменяющий свое направление с частотой напряжения сети. Этот **поток все время направлен по осевой линии полюсов**, и его значение во времени изменяется по **синусоидальному закону**.

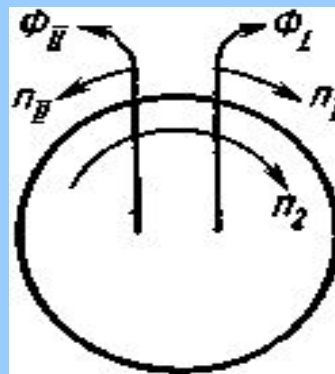


Если пульсирующий поток изменяется по закону $\Phi = \Phi_{\max} \cos \omega t$, то при $t=0$ поток $\Phi = \Phi_{\max}$. Вращающиеся потоки Φ_I и Φ_{II} равны $0,5 \Phi_{\max}$ и при $t=0$ совпадают по направлению.

Сумма вращающихся потоков равна пульсирующему потоку при $t=0$.

Через некоторое время при $t = T/8$ пульсирующий поток $\Phi = \Phi_{\max} \cos(\pi/4) = 0,707 \Phi_{\max}$. За это время поток Φ_I , вращающийся по часовой стрелке с частотой n_I , повернется на угол $\pi/4$. на такой же угол, но в противоположном направлении, повернется вращающийся поток Φ_{II} , частота вращения которого n_{II} . Частоты вращения равны между собой: $n_I = n_{II} = 60f/p$. При $t = T/8$ имеем $\Phi_I + \Phi_{II} = \Phi$. Таким образом, для каждого момента времени векторная сумма вращающихся потоков равна пульсирующему магнитному потоку.

Это позволяет рассматривать однофазный АД при условии существования двух вращающихся магнитных потоков Φ_I и Φ_{II} .



Зависимость вращающего момента ОД от скольжения

Скольжение по отношению к прямому потоку $s_1 = (n_1 - n_2)/n_1$, а $n_2 = n_1(1-s)$.

Скольжение по отношению к обратному потоку, определяется так же, как в режиме электромагнитного тормоза,

$$s_{11} = (n_{11} + n_2)/n_{11} = [n_1 + n_1(1 - s_1)] = 2 - s_1.$$

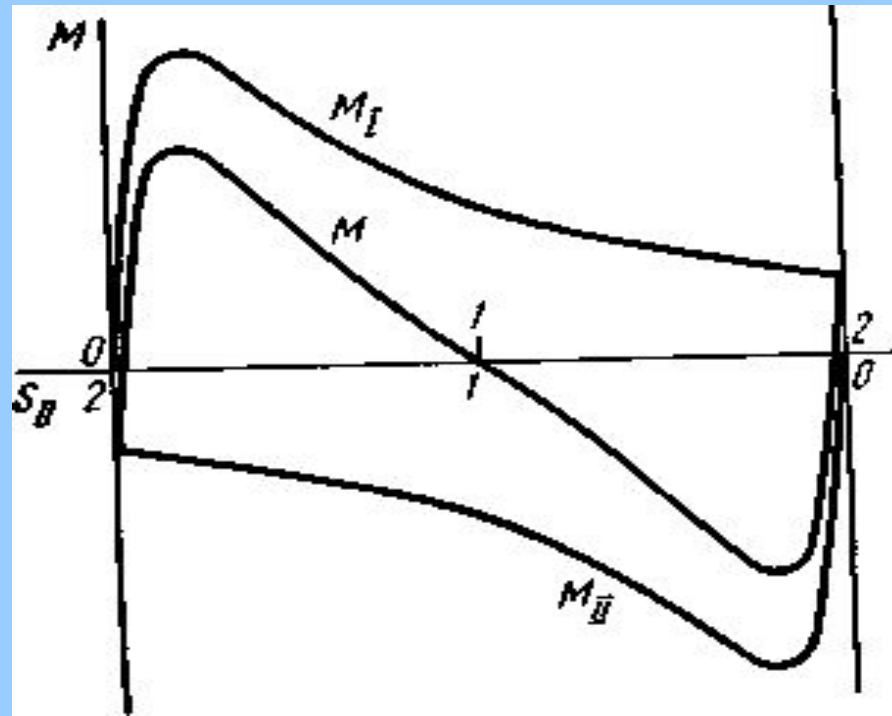
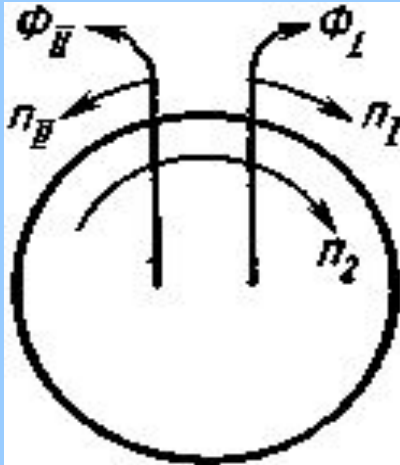
При пуске двигателя $s_1 = 1$ и $s_{11} = 1$. Если $s_1 = 0$, то $s_{11} = 2$, а если $s_1 = 2$, то $s_{11} = 0$.

Каждый из вращающихся потоков создает вращающий момент зависимости от скольжения которых имеет такой же вид, как для трехфазных асинхронных двигателей.

$$M_1 = \frac{(c'_M R'_2 / s_1)}{(c'_M R'_2 / s_1)^2 + X_k^2}$$

$$M_{11} = \frac{(c'_M R'_2 / s_{11})}{(c'_M R'_2 / s_{11})^2 + X_k^2}$$

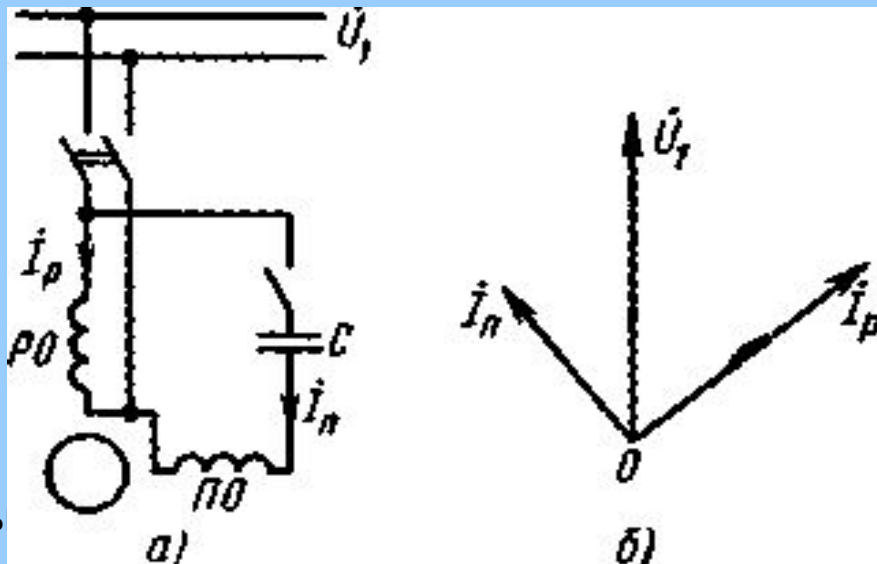
С учетом связи между s_1 и s_{11} и того, что моменты M_1 и M_{11} противоположны по направлению получают зависимость $M_1(s_1)$, $M_{11}(s_{11})$, и суммарного момента $M(s)$.



Однофазный асинхронный двигатель с пусковой обмоткой

Для пуска однофазного АД применяют специальную пусковую обмотку (ПО),

располагаемую на статоре под углом 90° к рабочей (РО).



Последователь
которому ток I_n

в этой обмотке опережает по фазе напряжение сети U_1 на некоторый угол.

Применение

пусковой обмотки обеспечивает выполнение двух необходимых условий получения

вращающегося магнитного потока (сдвиг обмоток статора в пространстве и сдвиг токов

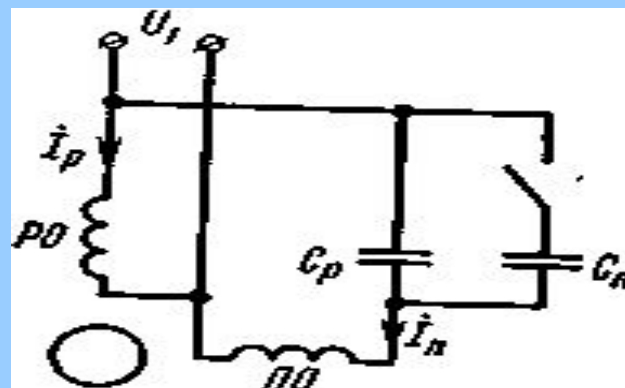
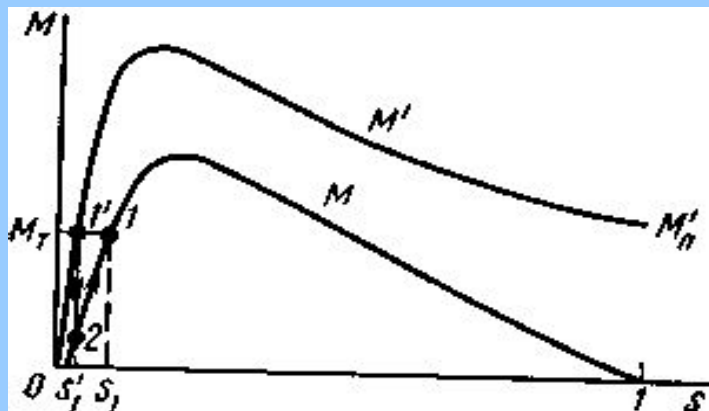
в обмотках по фазе на некоторый угол).

Пусковая обмотка включается только при пуске. Благодаря ей в двигателе образуется

вращающийся магнитный поток и появляется вращающий момент M' , причем пусковой

конденсатор C , благодаря

Пуск однофазного асинхронного двигателя



Двигатель трогается с места и разгоняется в соответствии с зависимостью $M'(s)$. Разгон двигателя заканчивается в точках 1', когда вращающий момент становится равным тормозному ($M' = M_T$). После этого пусковую обмотку отключают. Теперь магнитный поток создается только рабочей обмоткой. В этом режиме имеется вращающий момент M . При отключении пусковой обмотки благодаря инерции массы частота вращения ротора не изменится, скольжение останется равным s'_1 , а рабочей точкой становится точка 2 на кривой $M(s)$. Так как тормозной момент M_T останется неизменным, то точки 2 имеем $M < M_T$. Двигатель начинает тормозиться, скольжение s увеличивается, вращающий момент увеличивается, и в точке 1 кривой $M(s)$ наступает равенство моментов ($M = M_T$). Получаем установившийся режим работы двигателя при несколько большем скольжении s_1 .

При постоянно включенной пусковой обмотке с конденсатором двигатель называется конденсаторным. В этом случае для получения наибольшего пускового момента и лучших характеристик в рабочем режиме параллельно с рабочей ёмкостью C_p включают пусковую обмотку C_n , которую отключают после окончания пуска.

Коэффициент мощности конденсаторного двигателя выше, чем однофазного, и достигает значений 0,8...0,95, а КПД — 0,5- 0,7.

Достоинства, недостатки и применение однофазных двигателей

Преимуществом однофазного двигателя является то, что для его питания не требуется источник трехфазного напряжения.

Недостатки:

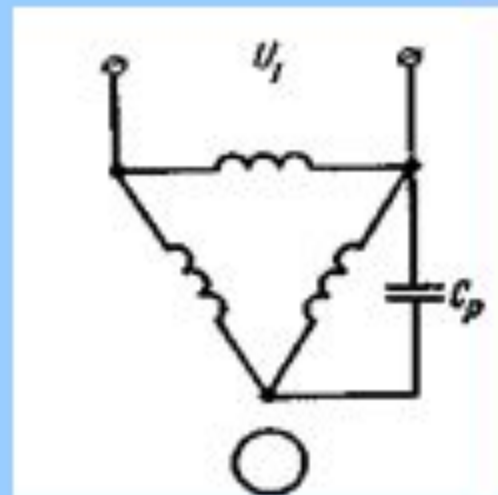
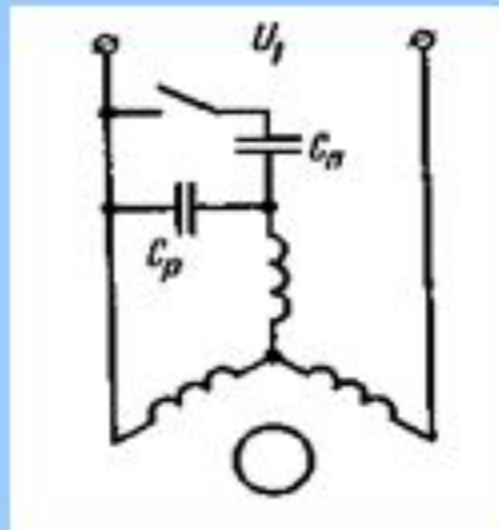
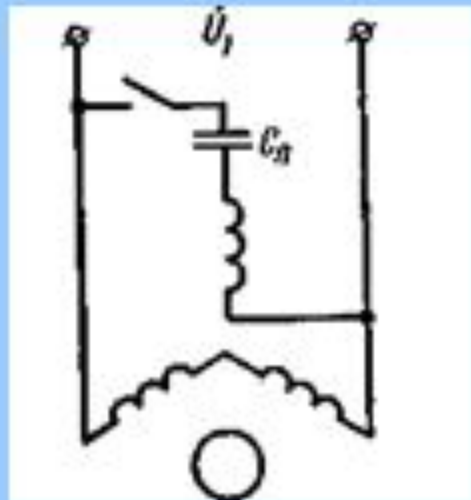
- отсутствие пускового момента;
- низкий $\cos \varphi$ и КПД;
- меньшая перегрузочная способность;
- нерегулируемая частота вращения.

Однофазные двигатели с пусковой обмоткой выпускаются на мощность до 600 Вт.

Однофазные асинхронные двигатели нашли применение в:

- системах автоматического управления;
- бытовых приборах;
- промышленных устройствах.

Схемы включения трехфазных асинхронных двигателей в однофазную сеть



Трехфазный асинхронный двигатель может оказаться в однофазном режиме при обрыве одной из линий (перегорание предохранителя, повреждение провода или нарушение контакта). Если это происходит до пуска двигателя, то двигатель с места не тронется и будет слышно лишь гудение, вызванное пульсирующим магнитным потоком. Если обрыв происходит при работе двигателя, то двигатель продолжает вращаться. При тяжелых условиях работы (при большом M_f) может оказаться, что максимальное значение вращающего момента в однофазном режиме меньше тормозного момента. В этом случае двигатель остановится.