

Асинхронные машины

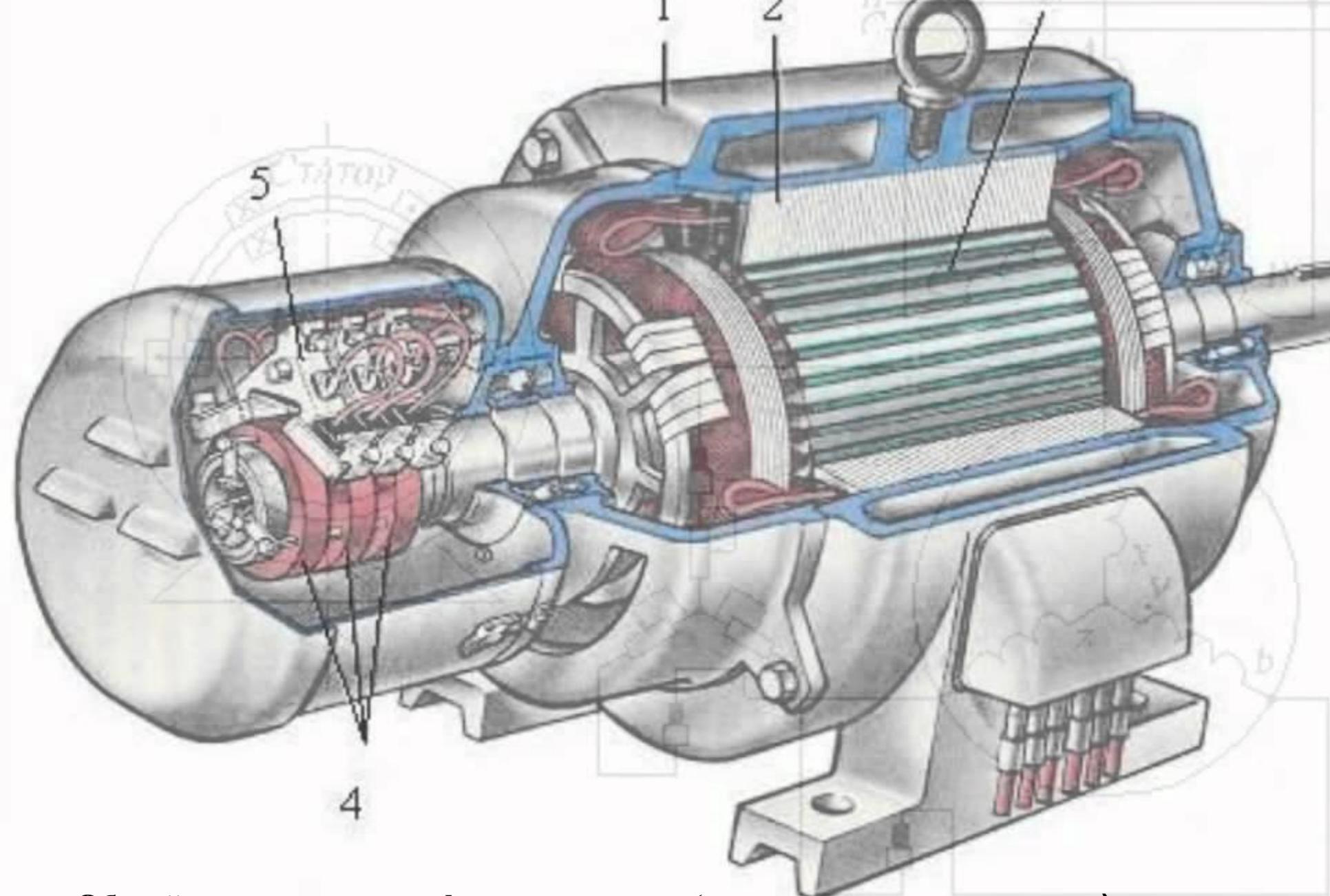
- Элементы конструкции
- Устройство и принцип действия
- Понятие «скольжение»
- Уравнение моментов
- Приведение параметров ротора к параметрам статора
- Уравнения, схема замещения
- Векторная диаграмма
- Энергетическая диаграмма

Устройство и принцип действия асинхронной машины

Асинхронной машиной называют двухобмоточную электрическую машину переменного тока, у которой только одна (первичная) получает питание от сети с частотой f_1 , а вторую обмотку (вторичную) замыкают накоротко или на сопротивления. Токи во вторичной обмотке появляются в результате индукции. Их частота f_2 является функцией частоты вращения ротора.

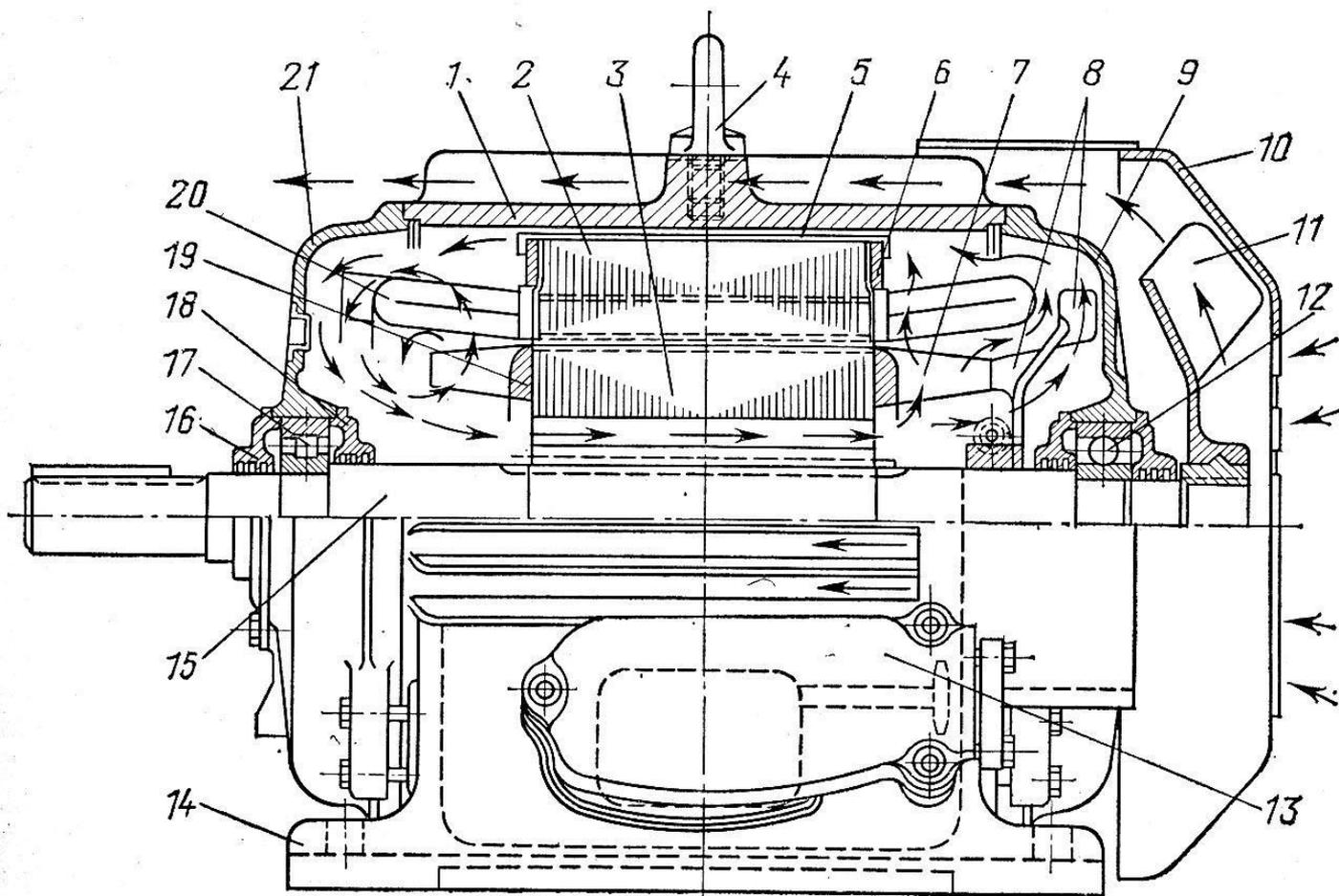
Первичную обмотку располагают в пазах сердечника статора – на неподвижной части, вторичную – в пазах ротора – на подвижной части.

В зависимости от вида обмотки ротора различают машину с короткозамкнутым ротором и машину с фазным ротором (с контактными кольцами).



Общий вид двигателя с фазным ротором(с контактными кольцами)

Конструкция АД с короткозамкнутым ротором



Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (55 кВт, 1500 об/мин, 50 Гц, защищенный, обдуваемый).

Конструкция к.з. и фазного роторов

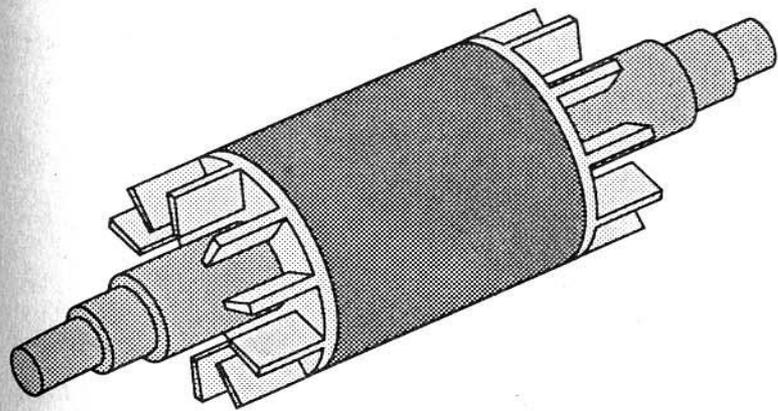


Рис. 7.3. Короткозамкнутый ротор

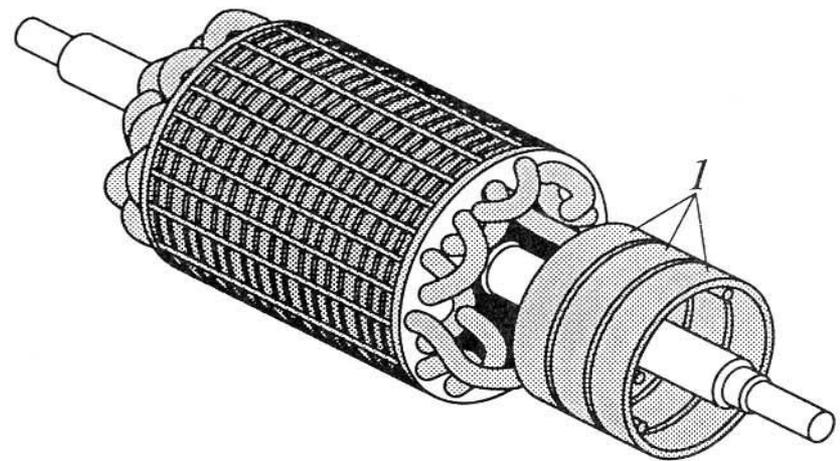
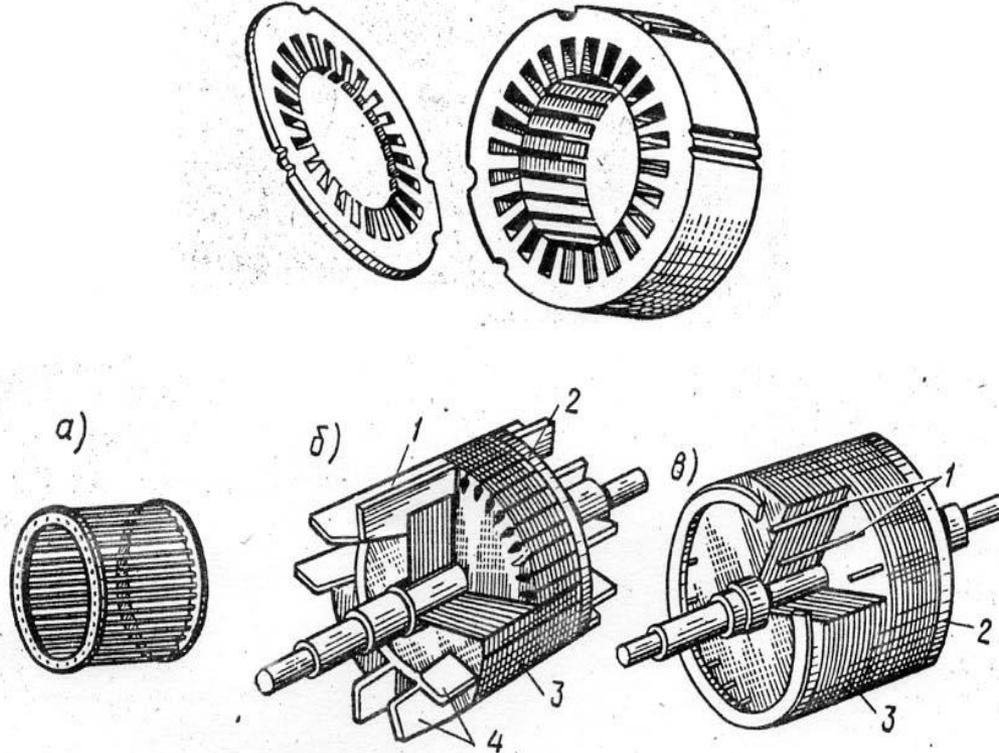


Рис. 7.4. Фазный ротор асинхронного двигателя:

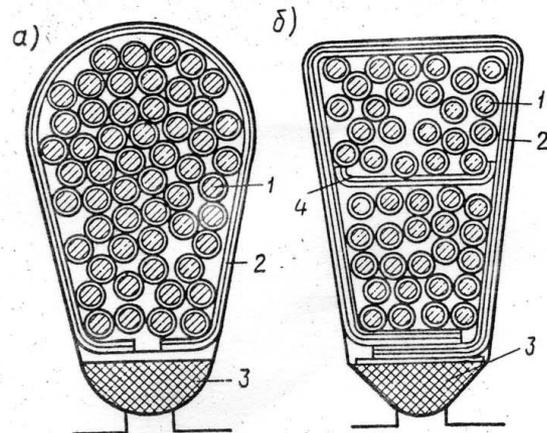
1 — контактные кольца

Элементы конструкции: сердечник статора (верхний рисунок справа) и шихтованный лист (верхний рисунок слева), а) беличья клетка, б) сердечник ротора с вентиляционными лопатками 4, в) сердечник ротора со стержнями и к.з. кольцами 2.



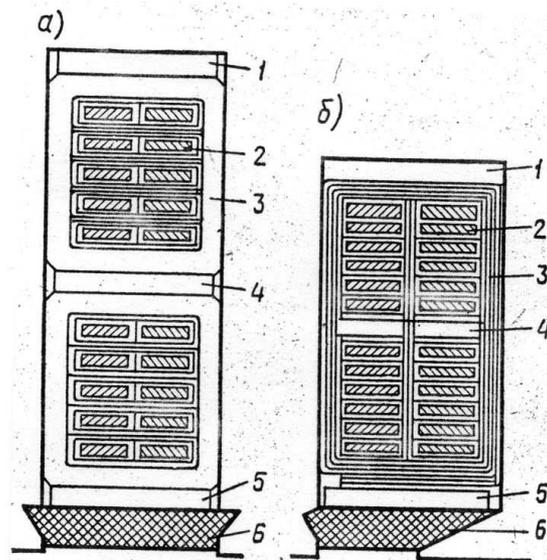
Конструкция пазов ротора и статора

Пазы ротора: а) всыпная однослойная укладка обмотки, б) двухслойная укладка обмотки



Пазы статора с двухслойной обмоткой :

а) открытый паз,
б) полузакрытый паз



Принцип действия асинхронной машины

Статорную обмотку подключают к сети переменного тока. По ней под действием переменного напряжения протекает переменный трёхфазный ток, который создаёт МДС и вращающееся магнитное поле (ВМП).

ВМП сцепляется как с обмоткой статора, так и с обмоткой ротора и наводит в них ЭДС.

При этом ЭДС обмотки статора, являясь ЭДС самоиндукции, действует встречно приложенному к обмотке напряжению и ограничивает величину тока в обмотке статора.

А в обмотке ротора, цепь которой всегда замкнута, ЭДС ротора наводит в стержнях ротора токи.

В проводниках наводится ЭДС $e_{\text{пр}} = Blv_{\text{отн}}$

Токи ротора, взаимодействуя с ВМП статора, вызовут появление электромагнитной силы, действующей на проводники, и электромагнитного момента как произведения этой силы на плечо (радиус сердечника ротора) и на количество проводников.

Поле статора вращается всегда со скоростью $n_1 = 60f_1/p$ об/мин независимо от нагрузки.

Ротор под действием электромагнитного момента вращается со скоростью $n_2 < n_1$, отставая, «скользя» относительно него. Это отставание называют скольжением (s) (относительная разность скоростей):

$$s = (n_1 - n_2) / n_1 \text{ измеряют его в о.е. или в \%}$$

Отсюда скорость ротора : $n_2 = n_1(1-s)$, частота тока в роторе :

$$f_2 = s \cdot f_1$$

При пуске: скорость ротора: $n_2 = 0$, скольжение: $s = 1$;

При х.х.: $n_2 \approx n_1$, $s \approx 0$; При ном. реж.: $s_{\text{НОМ}} = 0,02$.

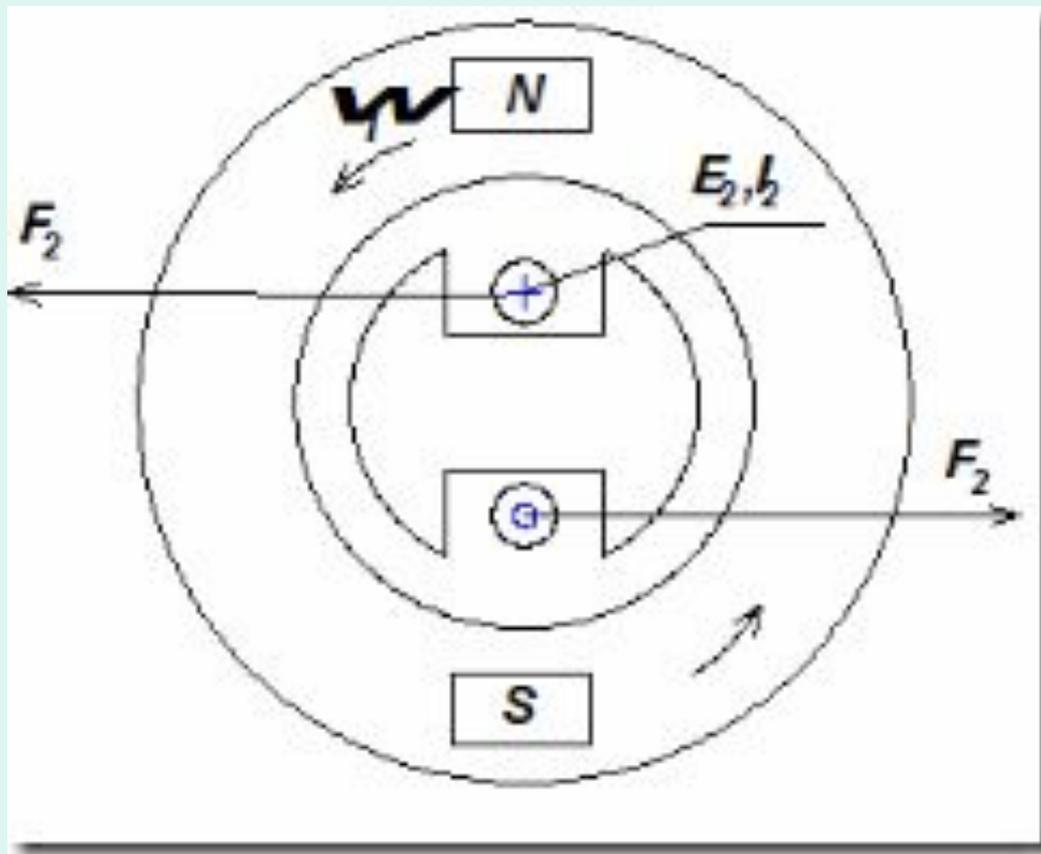


Рис. А. К принципу действия асинхронного двигателя

Вращающееся магнитное поле пересекает проводники обмотки ротора и по закону электромагнитной индукции наводит в них ЭДС E_2 . Направление ЭДС E_2 определяют по правилу правой руки. Так как обмотка ротора короткозамкнутая, в ней возникает ток I_2 (рис. А), направление которого определяют по правилу левой руки.

Уравнение равновесия моментов на валу ротора

В магнитном поле, создаваемом полюсами ВМП, появляются проводники ротора с током I_2 . На них по закону Ампера будет действовать сила, направление которой определяют правилом левой руки. За счет пары сил F_2 (рис. А) возникает вращающий момент $M_{2П}$, уравнение:

$$M_{2П} - M_{2С} = J \cdot \varepsilon, \quad (A),$$

где $M_{2П}$ – вращающий момент на валу двигателя при $n_2 = 0$.

$M_{2С}$ – момент сопротивления, обусловленный наличием рабочего механизма;

$J \cdot \varepsilon$ - динамический момент

J – момент инерции вращающихся масс

ε – угловое ускорение

Если $M_{2П} > M_{2С}$, то ротор придет во вращение, согласно основному закону динамики вращающегося движения:

nota bene!

Основной закон динамики вращательного движения:

**Произведение момента инерции на
угловое ускорение равно
результатирующему моменту сил,
действующих на материальную
точку.**

Так как для реального объекта момент инерции вращающихся масс $J = \text{const}$, то из выражения (А) следует, что $\varepsilon > 0$.

Вывод. Ротор приходит во вращение в направлении, которое совпадает с направлением вращающегося магнитного поля.

Допустим, что $n_1 = n_2$, т. е. скорость ВМП равна скорости ротора, тогда ВМП не пересекает проводники обмотки ротора. Значит $E_2 = 0$, $I_2 = 0$, $F_2 = 0$, $M_2 = 0$,
т.е. **ротор не вращается!!!**.

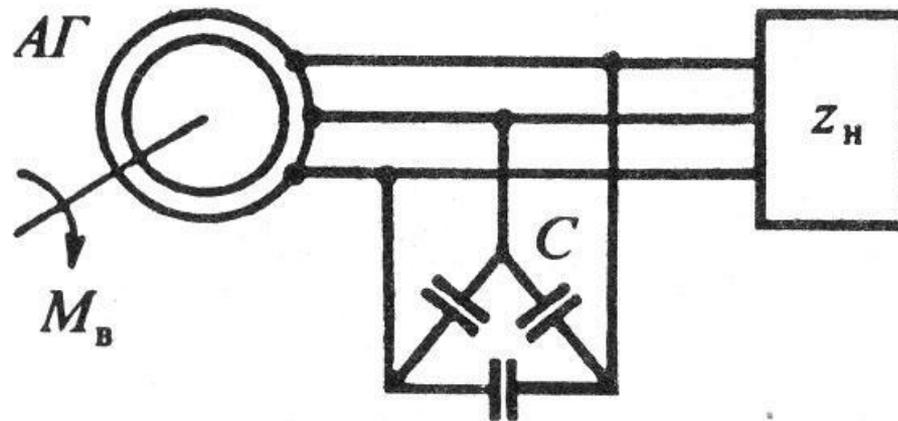
Вывод. Для нормальной работы асинхронного двигателя необходимо выполнение условия $n_1 \neq n_2$. Данное неравенство характеризуется специальной величиной, которую обозначают S и называют скольжением.

Режимы работы и области применения асинхронных машин

$0 \leq s \leq 1$ – двигательный режим,

$-\infty < s \leq 0$ - генераторный режим,

$+\infty > s \geq 1$ - режим электромагнитного тормоза.



Автономная энергетическая система с асинхронным генератором

Приведение параметров роторной цепи к параметрам статорной цепи. Уравнения асинхронной машины.

1.Цель приведения – упрощение анализа процессов

2.Приём приведения: принимают, что $W_1 = W_2$

Находят действующие значения ЭДС и коэффициент приведения (трансформации) ЭДС k_E :

$$E_1 = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot \Phi_m \cdot k_{обм1}$$

$$E_2 = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f_2 \cdot w_2 \cdot \Phi_m \cdot k_{обм2}$$

$$k_E = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 \cdot k_{обм1}}{w_2 \cdot k_{обм2}}, \quad E_1 = E'_2 = E_2 \cdot k_E$$

Здесь - k_E коэффициент приведения (трансформации) ЭДС

3.Условие приведения – соблюдение закона сохранения энергии.

Первое уравнение (основное) для асинхронных машин (уравнение равновесия напряжений на обмотке статора):

$$\dot{U}_1 = - \dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1,$$

где $\dot{I}_0 Z_1 = \dot{I}_0 \cdot r_1 + j \cdot \dot{I}_0 \cdot x_1$

- падение напряжения на активном сопротивлении r_1 и на путях рассеяния потока jx_1

Из условия равенства мощностей реального и приведённого

ротора найдём коэф. приведения для тока ротора k_I :

$$m_2 \cdot I_2 \cdot E_2 = m_1 \cdot I'_2 \cdot E'_2$$

$$I'_2 = m_2 \cdot E_2 \cdot I_2 / m_1 \cdot E'_2 = m_2 \cdot w_2 \cdot k_{обм2} \cdot I_2 / m_1 \cdot w_1 \cdot k_{обм1} = I_2 / k_I$$

$$I'_2 = I_2 / k_I \quad k_I = m_1 \cdot w_1 \cdot k_{обм1} / m_2 \cdot w_2 \cdot k_{обм2}$$

Приведение сопротивления цепи ротора к сопротивлению

цепи статора. Из равенства электрических потерь до и после

приведения:

$$m_2 \cdot (I_2)^2 \cdot r_2 = m_1 (I'_2)^2 \cdot r'_2$$

получим приведённое активное сопротивление ротора

$$r'_2 = r_2 \cdot m_2 / m_1 (I_2 / I'_2)^2 = r_2 \cdot k_i \cdot k_E;$$

$$r'_2 = r_2 \cdot k_i \cdot k_E; \quad k_E = w_1 \cdot k_{обм1} / w_2 \cdot k_{обм2}$$

Из равенства относительных реактивных падений напряжений получим приведённое индуктивное сопротивление ротора X'_2 :

$$I_2 \cdot X_2 / E_2 = I'_2 \cdot X'_2 / E'_2 \text{ откуда найдём:}$$

$$X'_2 = (E'_2 / E_2) \cdot (I_2 / I'_2) \cdot X_2 = k_A \cdot X_2$$

$$X'_2 = k_A \cdot X_2$$

$$K_A = k_e \cdot k_i \quad \text{коэффициент приведения сопротивлений}$$

При определении коэффициента k_A для короткозамкнутого ротора принимают

$$w_2 = 0.5; m_2 = Z_2; k_{обм2} = 1$$

Основные уравнения и схема замещения асинхронной машины

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1; \\ 0 &= \dot{E}'_2 = -j\dot{I}'_2 x'_2 - \dot{I}'_2 \frac{r'_2}{s}; \\ \dot{I}_0 &= \dot{I}_1 + \dot{I}'_2. \end{aligned} \right\}$$

Запишем выражение для тока I_1 :

$$I_1 = I_0 + (-I'_2)$$

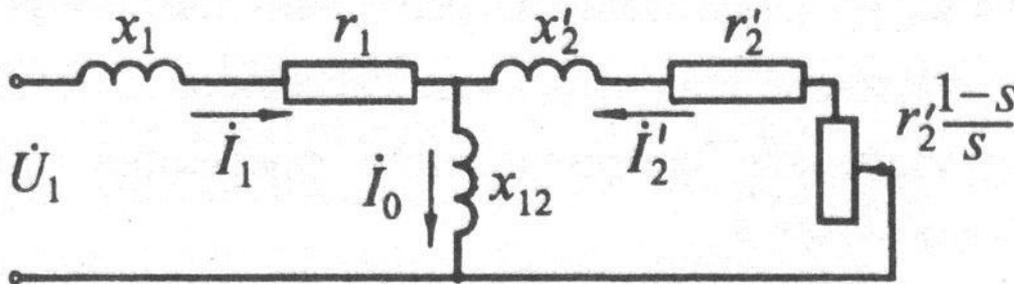
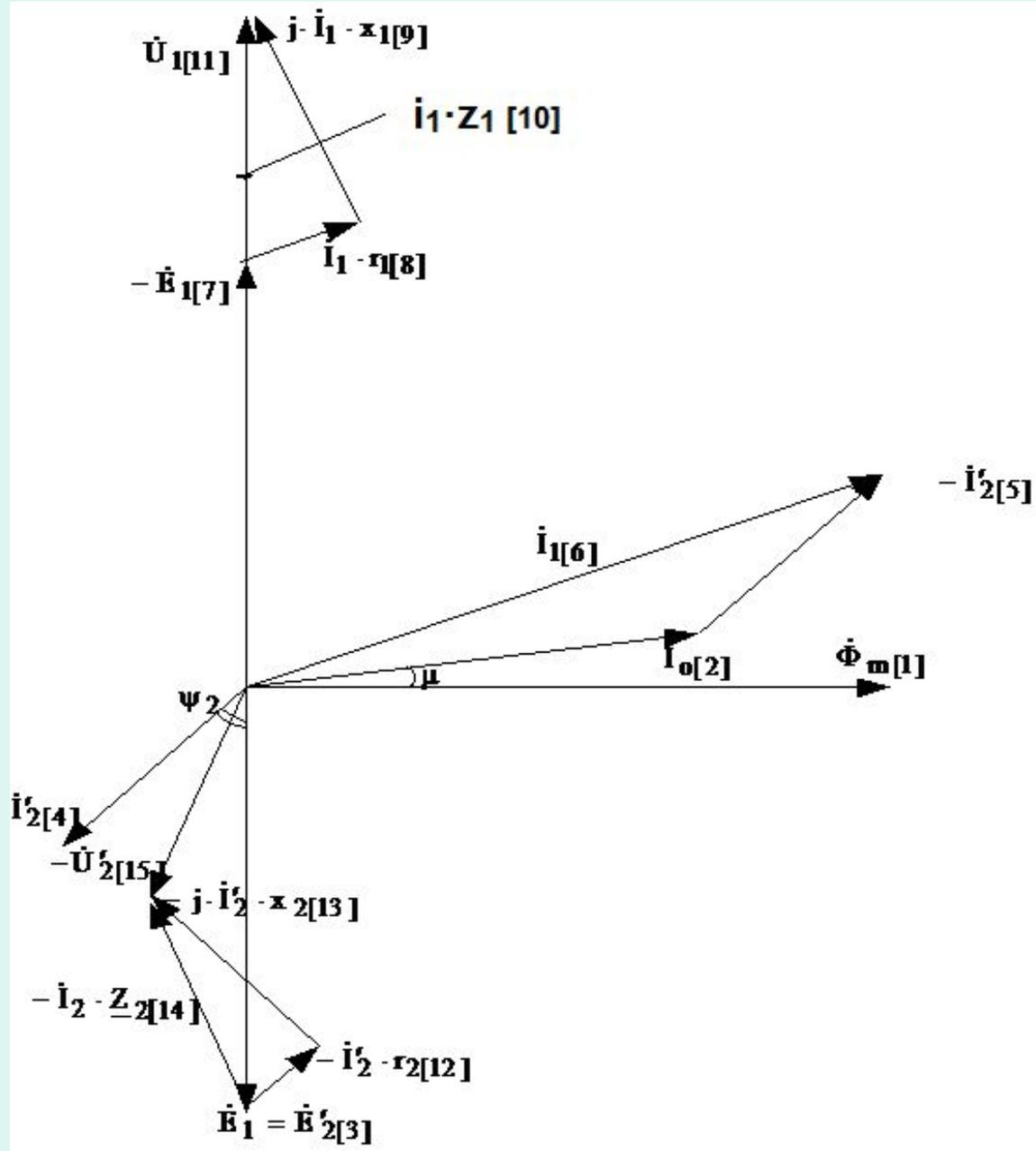


Схема замещения асинхронной машины, соответствующая уравнениям



**Векторная
 диаграмма
 асинхронной
 машины,
 работающей под
 нагрузкой**

Векторная диаграмма асинхронной машины работающей под нагрузкой.

На рисунке обозначено:

Φ_m рабочий поток (создаёт ЭДС, отстающую от него на 90°)

I_0 ток холостого хода

μ угол магнитного запаздывания

E_1 ЭДС в обмотке статора,

E'_2 ЭДС в обмотке ротора

I'_2 - ток в роторе

I_1 - ток в статоре

Номера в скобках индексов – последовательность построения векторов с 1 по 15 вектор

Энергетическая диаграмма асинхронной машины

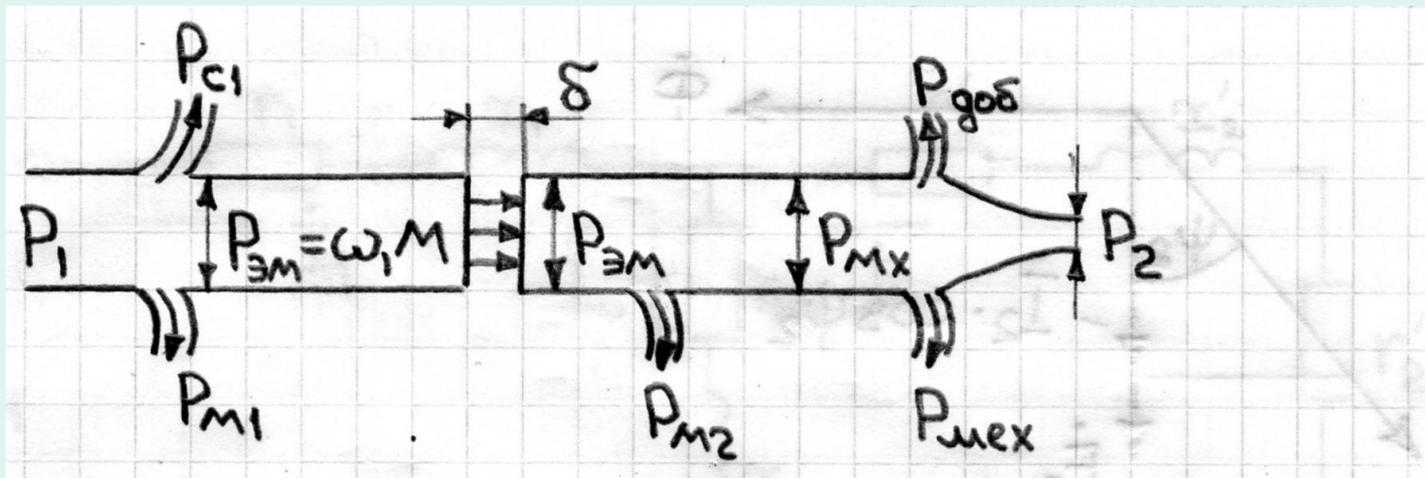
$\eta_1 = \frac{P_2}{P_1}$ где P_2 – полезная (отдаваемая мощность);
 P_1 – затрачиваемая (потребляемая

мощность): $P_1 = 3U_\phi \times I_\phi \times \cos \varphi$

$P_{m1} = m_1 \times I_1^2 \times r_1$ потери в обмотке статора (потери в меди)

$P_{c1} \equiv f_1^{(1,3 \div 1,5)}$ потери в стали статора

$P_{m2} = m_1 \times I_2^2 \times r_2$ потери в обмотке ротора (потери в меди)



p_{c2} - пренебрегаем, т.к. $f_2 = S \times f_1 = 1,5 \Gamma \text{ц}$
 $P_{\text{мх}}$ – механическая мощность, развиваемая ротором.
 $p_{\text{доб}}$ и $p_{\text{мех}}$ – добавочные и механические потери.
Угловая частота вращения.

$$\Omega_1 = 2\pi \times n_1 = \frac{2\pi \times f_1}{p} = \frac{\omega_1}{p} \quad (1) \qquad \Omega_2 = \Omega_1(1 - S) \quad (2)$$

$$P_{\text{эм}} = \Omega_1 \times M \quad (3) \qquad P_{\text{мх}} = \Omega_2 \times M \quad (4)$$

Подставим (2) в (4). $P_{\text{мх}} = \Omega_1 \times M(1 - S) = P_{\text{эм}}(1 - S) \quad (5)$

Приравняем (5) к (6). $P_{\text{мх}} = P_{\text{эм}} - P_{M2} \quad (6)$

$$P_{M2} = S \times P_{\text{эм}} \quad (7)$$

Вывод:

потери в роторе тем больше, чем больше скольжение.

Следовательно, с увеличением скольжения уменьшается КПД и ухудшается охлаждение.



Обмотка статора, распределение , укорочение

Начала и концы фаз должны иметь стандартное обозначение

По ГОСТ 183-74 (до 1987г.)

По ГОСТ 26772-85 (с 1987г.)

Обмотка статора

C_1 C_4

U_1 U_2

C_2 C_5

V_1 V_2

C_3 C_6

W_1 W_2

Обмотка ротора

P_1 P_2 P_3

K_1 K_2

L_1 L_2

M_1 M_2

K L M Q звезда