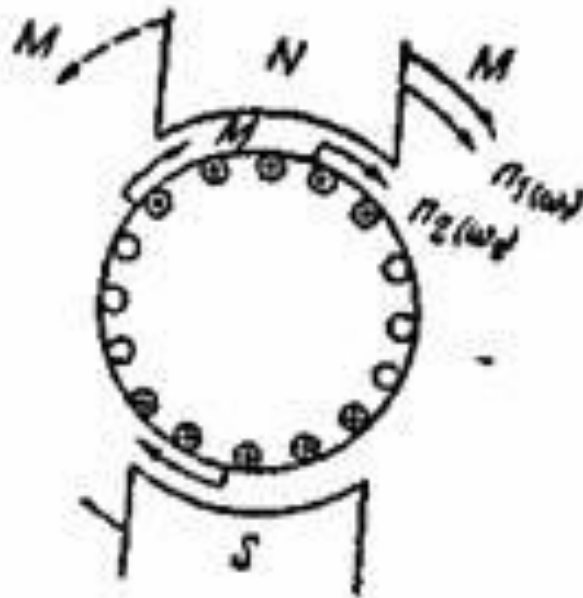


# Принцип действия асинхронного двигателя и его энергетическая диаграмма

- примем, что его вращающееся поле создается путем вращения двух полюсов (постоянных магнитов или электромагнитов)



- В проводниках замкнутой обмотки ротора при этом будут наводиться токи. Их направления указаны на [рис. 3-28](#). Они найдены по правилу правой руки, позволяющему определить направление наведенного тока в проводнике, перемещающемся относительно поля. Пользуясь правилом левой руки, найдем направления электромагнитных сил, действующих на ротор и заставляющих его вращаться. Ротор двигателя будет вращаться в направлении вращения поля. Его частота вращения  $n_2$ , об/мин, будет меньше частоты вращения поля  $n_1$ , об/мин, так как только в этом случае возможны наведение токов в обмотке ротора и возникновение электромагнитных сил и вращающего момента.

- Частота вращения поля  $n_1$  называется синхронной частотой вращения.
- Скорость поля относительно ротора ( $n_1 - n_2$ ) называется частотой скольжения, а отношение этой частоты к частоте поля, обозначаемое через  $s$ ,

$$n_1 - n_2 = s n_1$$

(3-60)

- называется скольжением.
- Обозначим через  $M$  вращающий момент, который нужно приложить к полюсам ([рис. 3-28](#)), чтобы вращать их с частотой  $n_1$ , об/мин, или с угловой частотой, рад/с,

$$M = k(n_1 - n_2)$$

(3-61)

- Тогда мощность, необходимая для вращения полюсов,

$$P = M n_1$$

(3-62)

- На ротор и полюсы действуют одинаковые электромагнитные силы (действие равно противодействию). Они создают одинаковые вращающие моменты, а так как момент, действующий на полюсы (на [рис. 3-28](#) показан пунктирной стрелкой), равен  $M$ , той же и на ротор действует момент  $M$ . Следовательно, механическая мощность, развиваемая ротором,
  - $P_{\text{мех}} = M \omega_2$  (3-63)
  - где угловая частота ротора, рад/с,
  - $\omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60}$  (3-64)
- При работе машины двигателем  $\omega_2 < \omega_1$ , так как  $\omega_2 < \omega_1$ .

Можно считать, что разность мощностей  $P_{эм}$  и  $P_2'$  равна только электрическим потерям в обмотке ротора, имеющей  $m_2$  фаз при токе в фазе  $I_2$  и ее активном сопротивлении  $r_2$ , так как потерями в стали ротора, как будет показано, можно пренебречь:

$$P_{эм} - P_2' = P_{с2} = m_2 I_2^2 r_2. \quad (3-65)$$

Мощность  $P_{эм}$  передается вращающимся полем ротору. Она называется электромагнитной мощностью или мощностью вращающегося поля.

В реальной асинхронной машине, работающей двигателем, электромагнитная мощность  $P_{эм}$  равна первичной мощности  $P_1$ , подведенной к статору, за вычетом  $P_{с1}$  электрических потерь в обмотке статора

$$P_{с1} = m_1 I_1^2 r_1 \quad (3-66)$$

( $m_1$  — число фаз;  $I_1$  — ток в фазе обмотки статора,  $r_1$  — ее активное сопротивление) и потерь в стали статора  $P_{с1}$ , т. е.

$$P_{эм} = P_1 - P_{с1} - P_{с1}, \quad (3-67)$$

Механическая мощность на валу двигателя  $P_2$  (полезная мощность) меньше механической мощности  $P_2'$ , развиваемой ротором. Чтобы получить  $P_2$ , нужно вычесть из  $P_2'$  механические потери  $P_{\text{мех}}$  на трение в подшипниках и вращающихся частей о воздух, потери  $P_{\text{с.д}}$  в зубцах статора и ротора, вызываемые пульсациями поля в них, и небольшие добавочные потери  $P_{\text{доб}}$ , возникающие при нагрузке и вызываемые полями рассеяния статора и ротора:

$$P_2 = P_2' - P_{\text{мех}} - P_{\text{с.д}} - P_{\text{доб}}. \quad (3-68)$$

Наглядное представление о распределении мощностей в асинхронном двигателе дает его энергетическая диаграмма, приведенная на [рис. 3-29](#).

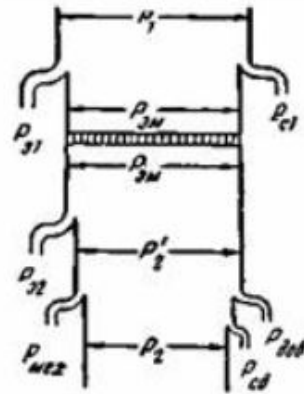


Рис. 3-29. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.

Она соответствует уравнениям [\(3-67\)](#) и [\(3-68\)](#).

Из написанных ранее соотношений [\(3-62\)](#), [\(3-63\)](#) и [\(3-65\)](#) следует:

$$P_{31} - P_{32} = M(\omega_1 - \omega_2) \frac{\omega_1}{\omega_1} = s\omega_1 M = sP_{21} = P_{22}, \quad (3-69)$$

так как

$$\frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = s.$$



(В равенствах  $P_{\text{мк}} = \omega_1 M = \frac{P_{32}}{s}$  угловая механическая скорость является постоянной при  $f_1 = \text{const}$ ; поэтому  $P_{\text{ЭМ}} \equiv M$ , что дало повод назвать величину  $P_{\text{ЭМ}}$  "моментом в синхронных ваттах".) Из (3-69) получаем

$$P'_2 = (1-s)P_{\text{мк}} \quad (3-70)$$

или

$$P'_2 = \frac{1-s}{s} P_{32}. \quad (3-70a)$$

Если скольжение выразить в процентах, то можно написать, что  $s\%$  от мощности  $P_{\text{ЭМ}}$ , полученной ротором от статора через посредство вращающегося поля, расходуется в обмотке ротора на электрические потери [см (3-69)], а оставшаяся часть, равная  $(1-s) 100\%$  от  $P_{\text{ЭМ}}$ , преобразуется в механическую мощность  $P'_2$  (3-70), развиваемую ротором. Поэтому асинхронные двигатели выполняются таким образом, чтобы их скольжение было невелико. Оно для нормальных двигателей мощностью от 1 до 1 000 кВт при их номинальной нагрузке составляет приблизительно  $6 \div 1\%$ ; при больших мощностях обычно  $s < 1\%$ .

Частота вращения поля (синхронная частота) определяется, как указывалось, по формуле (3-53):

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}, \quad (3-71)$$

где  $f$  — частота тока статора;

$p$  — число пар полюсов его обмотки.

При стандартной в СССР частоте  $f = 50$  Гц синхронные частоты вращения для различных чисел полюсов имеют значения, приведенные в табл. 3-3.

Таблица 3-3

$2p$	2	4	6	8	10	12	14	16	24	48
$n_1$	3000	1500	1000	750	600	500	428	375	250	125

Частота вращения ротора согласно (3-60), об/мин,

$$n_2 = (1 - s)n_1. \quad (3-72)$$

Номинальная частота вращения  $n_{2H}$ , получающаяся при номинальной нагрузке на валу, указывается на щитке двигателя. Она в обычных случаях позволяет определить синхронную частоту вращения, число полюсов двигателя и его номинальное скольжение  $s_H$ .

Например, на щитке двигателя, предназначенного для работы при частоте тока  $f_1=50$  Гц, указана частота вращения  $n_{2H} = 730$  об/мин. Ближайшая синхронная частота вращения равна 750 об/мин ([табл. 3-3](#)), чему соответствует число полюсов  $2p = 8$ .

Скольжение

$$s\% = \frac{750 - 730}{750} 100\% \approx 2,67\% .$$

При работе машины в обмотке ее ротора наводится э.д.с.

$$E_{2s} = 4,44 f_2 w_2 k_{02} \Phi , \quad (3-73)$$

где  $w_2$  и  $k_{02}$  — число витков и обмоточный коэффициент обмотки ротора;

$$f_2 = \frac{(n_1 - n_2)p}{60} \cdot \frac{n_1}{n_1} = sf_1 \quad (3-74)$$

— частота э.д.с. и тока в обмотке ротора. С такой же частотой будет перемагничиваться сталь ротора. При работе машины двигателем частота  $f_2$  мала (при  $f_1 = 50$  Гц  $f_2 = 0,5 \div 3$ -Гц), поэтому магнитными потерями в стали ротора можно пренебречь, что и было сделано при построении энергетической диаграммы на [рис. 3-29](#).

# Режимы работы машин двигателем, тормозом и генератором

Асинхронная машина при изменении скольжения от 1 до 0 работает как двигатель. В этом случае электромагнитная мощность  $P_{ЭМ}$  передается магнитным полем со статора ротору и частично преобразуется в механическую мощность  $P'_2 = (1-s)P_{эм}$  частично — в электрическую мощность  $P_{э2} = sP_{ЭМ}$ . При работе машины двигателем сдвиг между э.д.с.  $\dot{E}_1$ , наведенной в фазе обмотки статора, и током в этой фазе  $\dot{I}_1$  больше  $90^\circ$ , так же как для первичной обмотки трансформатора.

Исходя из полученных ранее соотношений между мощностями асинхронной машины, можно показать, что при изменении скольжения от  $s = 1$  до  $s = \infty$  машина работает как тормоз. Скольжение  $s > 1$  получается при вращении ротора против поля. При этом электрические потери в цепи ротора  $P_{э2} = sP_{ЭМ}$  будут больше мощности  $P_{ЭМ}$  и, следовательно, только частично покрываются за счет  $P_{ЭМ}$ , передаваемой полем со статора ротору. Другая часть электрических потерь в цепи ротора  $(s-1)P_{ЭМ}$  покрывается за счет механической мощности, приложенной к ротору. Механическая мощность ротора  $P'_2 = (1-s)P_{эм}$  будет отрицательной. Это значит, что она не отдается ротором, а подводится к нему и преобразуется в электрические потери в цепи ротора, т. е. поглощается в самой машине. Поэтому режим работы при  $s > 1$  называется тормозным режимом.

Электромагнитный момент при этом действует на ротор в направлении вращения поля, т. е. против вращения ротора; следовательно, он является тормозящим по отношению к внешнему моменту, приложенному к валу машины.

Можно также показать, что при отрицательных скольжениях

асинхронная машина работает генератором. При  $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} < 0$  ротор вращается в направлении вращения поля, но с частотой  $n_2$ , превышающей частоту поля ( $n_2 > n_1$ ). В этом случае электромагнитная мощность  $P_{эм}$  будет отрицательной, что следует из равенства

$$P_{эм} = \frac{P_{32}}{s}. \quad (3-75)$$

Мощность  $P_{эм}$  при отрицательном скольжении передается полем с ротора статору. Механическая мощность  $P_2'$  при этом будет также отрицательной, что следует из равенства

$$P_2' = \frac{1-s}{s} P_{32} = \frac{P_{32}}{s} - P_{32} = P_{эм} - P_{32}. \quad (3-76)$$

Механическая мощность, следовательно, приложена к ротору. Часть ее идет на покрытие электрических потерь  $P_{32}$  в цепи ротора, другая часть преобразуется в электромагнитную мощность  $P_{эм}$ , передаваемую полем статору. При работе машины генератором сдвиг между  $\dot{E}_1$  и  $\dot{I}_1$  меньше  $90^\circ$  (§ 3-12), так же как для вторичной обмотки трансформатора.

На рис. 3-30 приведена шкала скольжений для режимов генератора. Двигателя

На [рис. 3-30](#) приведена шкала скольжений для режимов генератора, двигателя и тормоза. Указанные режимы работы асинхронной машины и их использование для практических целей более подробно будут рассмотрены в последующем.



Рис. 3-30. Шкала скольжений для режимов генератора, двигателя и тормоза.

# Аналогия с трансформатором

- Между обмотками статора и ротора асинхронной машины, как отмечалось, существует только магнитная связь; здесь энергия из одной обмотки в другую передается через посредством магнитного поля.
- В последующем будет показано, что при любом скольжении машины н.с. обмоток статора и ротора вращаются относительно статора с одной и той же частотой и, следовательно, неподвижны одна относительно другой. Поле в машине создается их совместным действием.
- Примем, так же как для трансформатора, что в асинхронной машине при ее работе имеют место основное поле и поле рассеяния. Индукционные линии основного поля проходят через воздушные зазоры, зубцы и ярма статора и ротора и сцепляются с обеими обмотками — статорной и роторной. Этому полю соответствует главный поток  $\Phi$  в воздушном зазоре.
- Индукционные линии полей рассеяния проходят между стенками пазов, вокруг лобовых частей обмоток и между коронками зубцов ([§ 3-16](#)). Так как магнитные сопротивления для потоков индукционных трубок рассеяния определяются в основном воздушными промежутками, то в первом приближении их можно принять постоянными и в соответствии с этим считать постоянными индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора  $L_{\sigma 1}$  и  $L_{\sigma 2}$  (как для первичной и вторичной обмоток трансформатора).



Главный поток  $\Phi$  наводит в обмотке статора э.д.с.

$$E_1 = 4,44 f_1 w_1 k_{01} \Phi \quad (3-77)$$

и в обмотке ротора, вращающегося относительно поля со скольжением  $s$ , э.д.с.

$$E_{2s} = 4,44 f_2 w_2 k_{02} \Phi. \quad (3-78)$$

Так как согласно (3-74)  $f_2 = s f_1$ , то можно написать:

$$E_{2s} = 4,44 s f_1 w_2 k_{02} \Phi = s E_2, \quad (3-79)$$

где

$$E_2 = 4,44 f_1 w_2 k_{02} \Phi \quad (3-80)$$

есть э.д.с., наведенная в обмотке ротора при  $s = 1$ , т. е. при неподвижном роторе.

Поля рассеяния наводят в обмотках статора и ротора э.д.с. рассеяния  $\dot{E}_{\sigma 1}$  и  $\dot{E}_{\sigma 2s}$ , которые можно считать пропорциональными соответствующим токам:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j \dot{I}_1 x_1; \quad \dot{E}_{\sigma 2s} = -j \dot{I}_2 x_{2s}. \quad (3-81)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки

$$x_1 = 2\pi f_1 L_{\sigma 1}. \quad (3-82)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки

$$x_{2s} = 2\pi f_2 L_{\sigma 2} = 2\pi s f_1 L_{\sigma 2} = s x_2, \quad (3-83)$$

где  $x_2 = 2\pi f_1 L_{\sigma 2}$  — сопротивление при неподвижном роторе (при  $s = 1$ ).

Наряду с индуктивными сопротивлениями рассеяния обмотки статора и ротора имеют активные сопротивления  $r_1$  и  $r_2$ .

Таким образом, допустив, что в машине существуют основное поле (и соответствующий ему поток  $\Phi$ ) и отдельно поля рассеяния, мы можем для обмотки статора, так же как для первичной обмотки трансформатора, написать уравнение напряжений

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1. \quad (3-84)$$

Для обмотки ротора уравнение напряжений напишется в следующем виде:

$$0 = \dot{E}_{2s} - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 = s\dot{E}_2 - j\dot{I}_2 s x_2 - \dot{I}_2 r_2. \quad (3-85)$$

# Приведение вращающейся машины к неподвижной, работающей как трансформатор

Намагничивающая сила ротора при его вращении совместно с н.с. статора создает основное поле. Очевидно, что точно такое же поле будет создаваться в машине и при неподвижном роторе, если токи в его обмотке по величине и фазе (относительно э.д.с.) остаются теми же, что и при вращении.

На [рис. 3-32](#) представлена векторная диаграмма роторной цепи при  $s > 0$ , соответствующая уравнению напряжений (3-85).

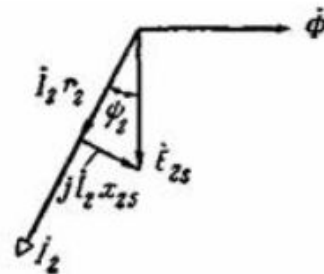


Рис. 3-32. Векторная диаграмма роторной цепи при  $s > 0$ .

Из этого уравнения находим:

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{\sqrt{r_2^2 + x_{2s}^2}}. \quad (3-86)$$

Если числитель и знаменатель правой части равенства разделить на  $s$ , то получим тот же ток

Если числитель и знаменатель правой части равенства разделить на  $s$ , то получим тот же ток

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2}}, \quad (3-87)$$

где  $E_2$  и  $x_2$  — э.д.с. и индуктивное сопротивление рассеяния роторной цепи при неподвижном роторе.

Таким образом, вместо вращающегося ротора можно рассматривать неподвижный ротор, но при этом необходимо считать активное

сопротивление его цепи равным  $\frac{r_2}{s}$ . В этом случае ток роторной цепи  $I_2$  остается тем же самым, что и при скольжении  $s$ , так же как и сдвиг его по фазе  $\psi_2$  относительно э.д.с. (рис. 3-32 и 3-33).

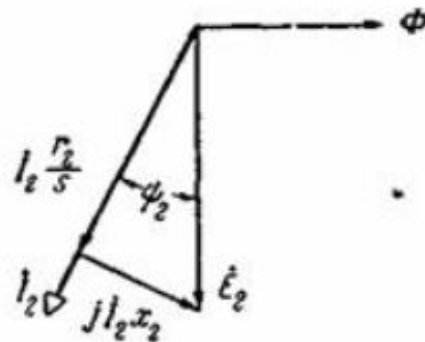


Рис. 3-33. Векторная диаграмма роторной цепи при неподвижном роторе.

- Теперь мы можем перейти от вращающегося ротора к неподвижному (эквивалентному), взяв здесь только фазы статора и ротора, оси которых совпадают, и рассматривать работу машины как работу условного трансформатора, первичная (статорная) и вторичная (роторная) обмотки которого пронизываются одновременно одним и тем же главным потоком  $\Phi$  ([рис. 3-34](#)). При этом необходимо, чтобы н.с. обмоток по амплитуде были равны  $F_1$  и  $F_2$  и чтобы эти н.с. по фазе (во времени) были сдвинуты на такой же угол, на который они были сдвинуты в пространстве при работе машины двигателем.

Уравнения напряжений для фаз статора и ротора можем написать так же, как для первичной и вторичной обмоток трансформатора. Уравнение напряжений роторной цепи (3-85) после деления его членов на  $s$  получает следующий вид:

$$0 = \dot{F}_2 - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 \frac{r_2}{s}. \quad (3-88)$$

Отсюда также видим, что при замене вращающейся машины неподвижной, когда она работает как трансформатор (рис. 3-34), нужно в ее

роторной цепи иметь активное сопротивление  $\frac{r_2}{s}$ .

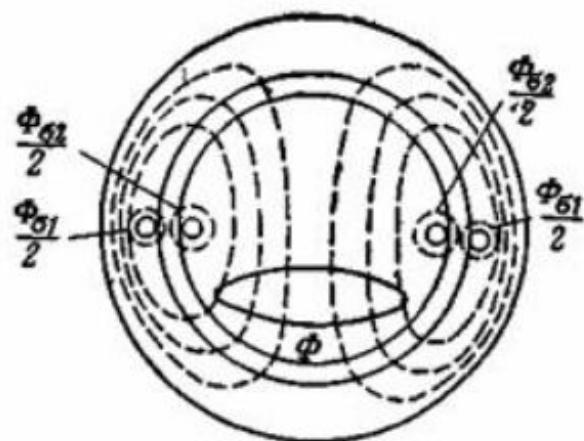


Рис. 3-34. Фазы обмоток статора и ротора асинхронной машины, работающей как трансформатор.

Тогда временной сдвиг н.с. статорной и роторной обмоток такого трансформатора будет соответствовать пространственному сдвигу н.с. вращающейся машины и мы можем написать:

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{F}_{0c}; \quad (3-89)$$

здесь  $\dot{F}_{0c}$  взято с учетом потерь в стали статора  $P_{c1}$ , и вследствие этого несколько отличается от  $F_0'$  на диаграмме [рис. 3-31](#), где для упрощения мы пренебрегали этими потерями (практически  $F_{0c} \approx F_0'$ ). Согласно [\(3-59\)](#) перепишем уравнение [\(3-89\)](#) в следующем виде:

$$0,45m_1 i_1 \frac{w_1 k_{01}}{p} + 0,45m_2 i_2 \frac{w_2 k_{02}}{p} = 0,45m_1 i_{0c} \frac{w_1 k_{01}}{p}. \quad (3-90)$$

Разделим обе части этого равенства на  $0,45m_1 \frac{w_1 k_{01}}{p}$ . При этом получим:

$$i_1 + i_2' = i_{0c}, \quad (3-91)$$

где

$$i_2' = i_2 \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{w_2 k_{02}}{w_1 k_{01}} \quad (3-92)$$

есть ток ротора, приведенный к обмотке статора.

Обратимся теперь к уравнению напряжений роторной цепи (3-88).

Помножим его на  $\frac{w_1 k_{01}}{w_2 k_{02}}$  и два последних члена правой части еще на

$$\frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{w_1 k_{01}}{w_2 k_{02}} \cdot \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{w_2 k_{02}}{w_1 k_{01}}.$$

Тогда, учитывая формулы для э.д.с. (3-77) и (3-80) и для приведенного тока (3-92), получим:

$$0 = \dot{E}'_2 - j l'_2 x'_2 - i'_2 \frac{r'_2}{s}, \quad (3-93)$$

$$\text{где } \dot{E}'_2 = E_2 \frac{w_1 k_{01}}{w_2 k_{02}} = \dot{E}'_1 \quad (3-94)$$

— э.д.с. обмотки ротора, приведенная к обмотке статора;

$$r'_2 = r_2 \frac{m_1}{m_2} \left( \frac{w_1 k_{01}}{w_2 k_{02}} \right)^2 \quad (3-95)$$

и

$$x'_2 = x_2 \frac{m_1}{m_2} \left( \frac{w_1 k_{01}}{w_2 k_{02}} \right)^2 \quad (3-96)$$

— сопротивления обмотки ротора, приведенные к обмотке статора.



С учетом (3-92) и (3-94) те же соотношения между  $r_2$  и  $r_2'$  и между  $x_2$  и  $x_2'$  мы получили бы, исходя из равенств:

$$m_1 I_2'^2 r_2' = m_2 I_2^2 r_2 \text{ и } \left( \frac{I_2' r_2'}{E_2'} = \frac{I_2 r_2}{E_2} \right); \quad (3-97)$$

Приведенные величины  $E_2'$  и  $I_2'$  были бы равны действительным величинам обмотки ротора, если бы она была выполнена с теми же числами фаз, витков в фазе, пазов на полюс и фазу и с тем же шагом, что и обмотка статора. В такой обмотке электрические потери, а также относительные падения напряжения согласно (3-97) должны остаться неизменными.

# Векторная диаграмма асинхронного двигателя

На основе уравнений напряжений (3-84) и (3-93) и уравнения токов (3-91), которые мы еще раз напишем:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1;$$

$$0 = E_2' - j\dot{I}_2' x_2' - \dot{I}_2' \frac{r_2'}{s} = \dot{E}_2' - j\dot{I}_2' x_2' - \dot{I}_2' r_2' - \dot{I}_2' r_2' \frac{1-s}{s};$$

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2' = \dot{I}_{0c}, \quad (3-98)$$

могут быть построены векторные диаграммы асинхронной машины, приведенной к работе трансформатором.

На рис. 3-35 представлена диаграмма, соответствующая работе машины двигателем.

На [рис. 3-35](#) представлена диаграмма, соответствующая работе машины двигателем.

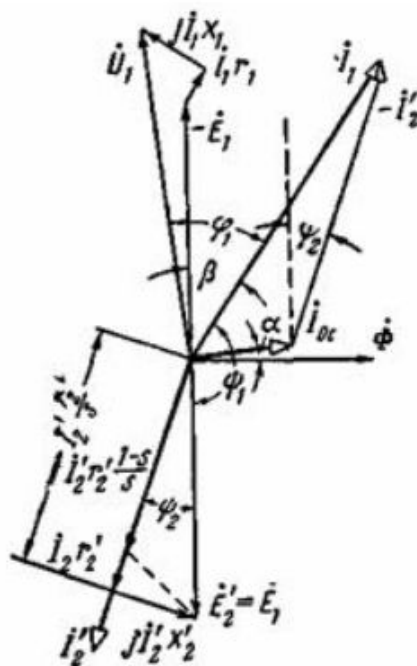


Рис. 3-35. Векторная диаграмма асинхронного двигателя (приведенного к работе трансформатором).

Она аналогична векторной диаграмме трансформатора, имеющего чисто активную нагрузку. К первичной (статорной) обмотке подведено напряжение  $\dot{U}_1$ . На зажимах, приведенной вторичной (роторной) обмотки, получается напряжение

$$\dot{U}'_2 = \dot{I}'_2 r'_2 \frac{1-s}{s} = \dot{E}'_2 - j\dot{I}'_2 x'_2 - \dot{I}'_2 r'_2. \quad (3-99)$$

Мощность, отдаваемая вторичной обмоткой, равна:

$$m_1 U_2' I_2' = m_1 I_2'^2 r_2' \frac{1-s}{s} = m_2 I_2'^2 r_2 \frac{1-s}{s}, \quad (3-100)$$

т. е. той механической мощности  $P_2'$ , которую развивал бы ротор машины при работе ее двигателем со скольжением  $s$  [см. уравнение (3-70a)].

Из диаграммы на [рис. 3-35](#) мы можем также получить выражение для электромагнитной мощности  $P_{эм}$ , передаваемой полем со статора ротору. Для этого спроектируем векторы напряжений обмотки статора на направление вектора  $\dot{I}_1$ . Будем иметь:

$$U_1 \cos \varphi_1 = E_1 \cos \beta + I_1 r_1. \quad (3-101)$$

Умножим полученное уравнение на  $m_1 I_1$ ;

$$m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 = m_1 E_1 I_1 \cos \beta + m_1 I_1^2 r_1. \quad (3-102)$$

Из диаграммы следует, что

$$I_1 \cos \beta = I_2' \cos \psi_2 + I_{0c} \sin \alpha. \quad (3-103)$$

Подставляя [\(3-103\)](#) в [\(3-102\)](#), получим:

$$m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 = m_1 E_1 I_2' \cos \psi_2 + m_1 E_1 I_{0c} \sin \alpha + m_1 I_1^2 r_1, \quad (3-104)$$

а отсюда, учитывая, что  $m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 = P_1$ ,  $m_1 E_1 I_{0c} \sin \alpha = P_{cl}$ ,  $m_1 I_1^2 r_1 = P_{s1}$ , будем иметь:

$$m_1 E_1 I_2' \cos \psi_2 = P_1 - P_{s1} - P_{cl} = P_{эм}, \quad (3-105)$$

ИЛИ

$$m_1 E_1 I_2' \cos \psi_2 = m_2 E_2 I_2 \cos \psi_2 = P_{эм}. \quad (3-106)$$



Здесь вектор  $\dot{U}'_2 = I'_2 r'_2 \frac{1-s}{s}$  направлен против  $I'_2$ , так как при  $s > 1$

величина  $\frac{1-s}{s}$  является отрицательной; следовательно, мы его должны рассматривать как вектор напряжения, приложенного извне к зажимам роторной цепи. Мы должны считать, что в роторную цепь включен внешний

источник энергии, мощность которого  $m_1 U'_2 I'_2$  вводится в обмотку ротора, где

расходуется на электрические потери. Другая часть  $m_1 I'^2_2 \frac{r'_2}{s}$  полных электрических потерь  $m_1 I'^2_2 r'_2$  в обмотке ротора покрывается за счет мощности, передаваемой ротору со статора магнитным полем.

Для вращающейся машины, работающей тормозом, мощность

$m_1 U'_2 I'_2 = m_1 I'^2_2 r'_2 \frac{1-s}{s} = P'_2$  является механической мощностью, подведенной извне к ее ротору.

# Асинхронный генератор и его векторная диаграмма

Переходя от вращающейся машины, работающей генератором, к неподвижной машине, работающей трансформатором (рис. 3-34), мы должны иметь н.с. обмоток, равными по амплитуде  $F_2$  и  $F_1$  и сдвинутыми по фазе (во времени) так же, как они сдвинуты в пространстве при работе машины генератором.

Следовательно, согласно уравнениям (3-98) векторная диаграмма трансформатора, эквивалентного асинхронному генератору, будет иметь вид, представленный на рис. 3-39 (здесь также показаны векторы э.д.с. и падений напряжения цепи вращающегося ротора при  $s < 0$ ).

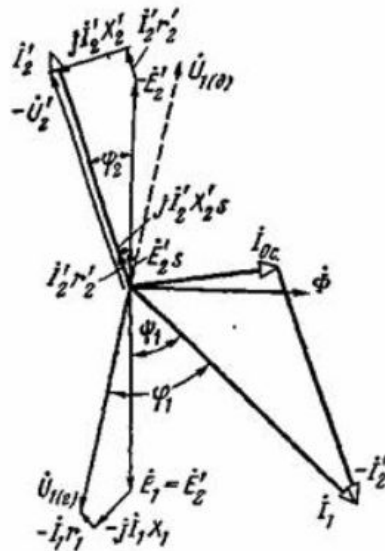


Рис. 3-39. Векторная диаграмма асинхронного генератора (приведенного к работе трансформатором).