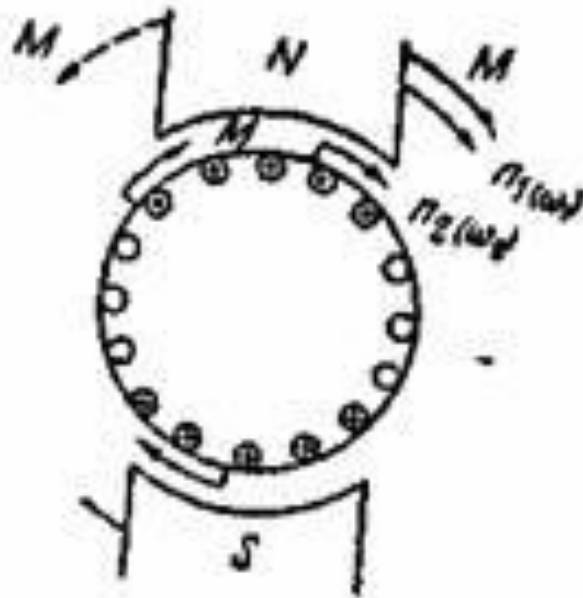


Принцип действия асинхронного двигателя и его энергетическая диаграмма

- 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 ,

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3-60)$$

- 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,

$$M = \frac{C}{s} \quad (3-61)$$

- Тогда мощность, необходимая для вращения полюсов,

$$P = \frac{C}{s^2} \quad (3-62)$$

- 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](#).

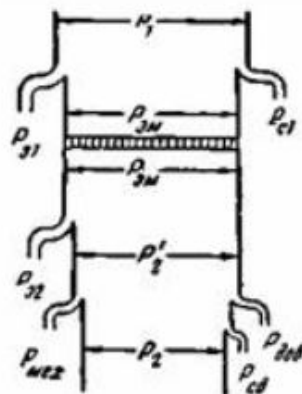


Рис. 3-29. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.

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° , 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° (§ 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 Φ 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 Φ 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 Φ) 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).

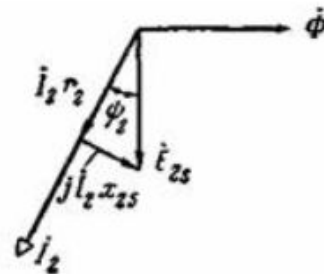


Рис. 3-32. Векторная диаграмма роторной цепи при $s > 0$.

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 ψ_2 относительно э.д.с. (рис. 3-32 и 3-33).

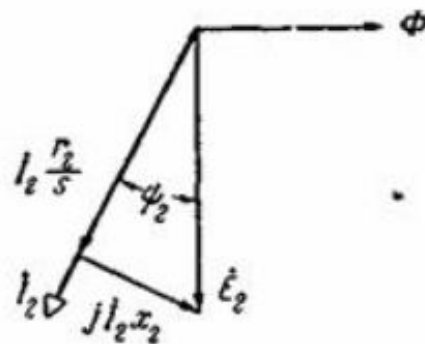


Рис. 3-33. Векторная диаграмма роторной цепи при неподвижном роторе.

- 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 Φ ([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 $\frac{r_2}{s}$.

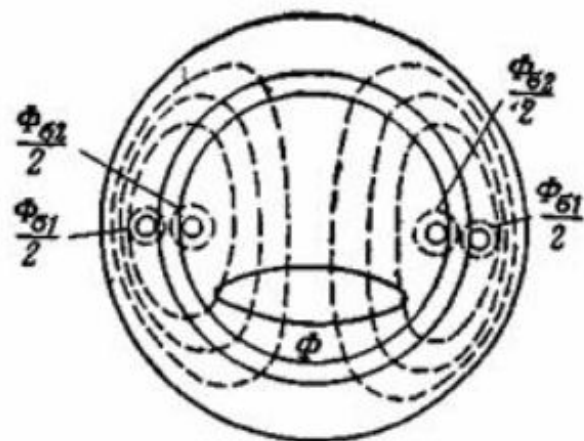


Рис. 3-34. Фазы обмоток статора и ротора асинхронной машины, работающей как трансформатор.

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.

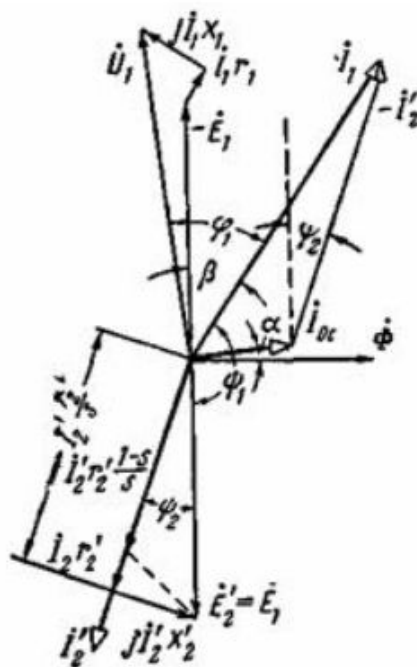


Рис. 3-35. Векторная диаграмма асинхронного двигателя (приведенного к работе трансформатором).

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

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

Векторная диаграмма асинхронного тормоза

Векторная диаграмма н.с. машины, работающей тормозом принципиально не отличается от диаграммы [рис 3-31](#), так как при вращении ротора против поля ($s > 1$) направление перемещения поля относительно проводников статора и ротора будет тем же, что и при работе машины двигателем.

Диаграмма временных векторов может быть построена для условного трансформатора ([рис. 3-34](#)) на основе тех же уравнений ([3-98](#)). Она представлена на [рис. 3-36](#).

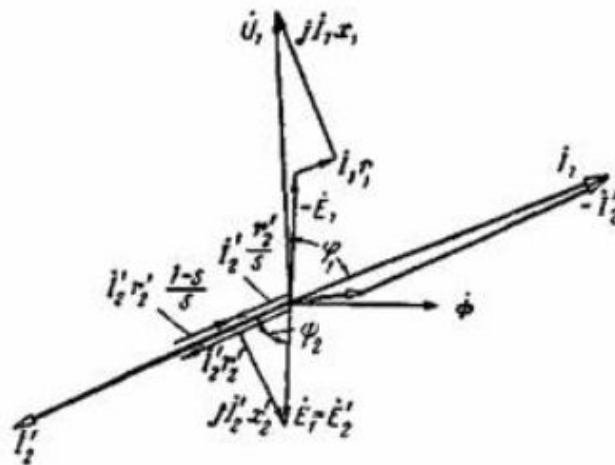


Рис. 3-36. Векторная диаграмма асинхронного тормоза (приведенного к работе трансформатором).

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 $s < 0$).

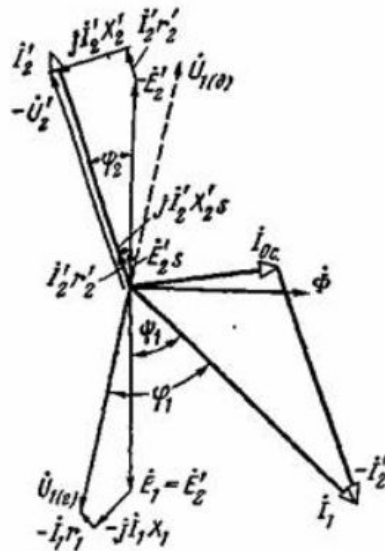


Рис. 3-39. Векторная диаграмма асинхронного генератора (приведенного к работе трансформатором).