

20-Лекция. Приведение параметров обмотки ротора. Векторная диаграмма схема замещения асинхронного двигателя

Чтобы векторы ЭДС, напряжений и токов обмоток статора и ротора можно было изобразить на одной векторной диаграмме, следует параметры обмотки ротора привести к обмотке статора, т. е. обмотку ротора с числом фаз m_2 , обмоточным коэффициентом k_{o62} и числом витков одной фазной обмотки ω_2 заменить обмоткой с m_1 , ω_1 и k_{o61} . При этом мощности и фазовые сдвиги векторов ЭДС и токов ротора после приведения должны остаться такими же, что и до приведения. Пересчет реальных параметров обмотки ротора на приведенные выполняется по формулам, аналогичным формулам приведения параметров вторичной обмотки трансформатора.

При $s = 1$ приведенная ЭДС ротора

$$E'_2 = E_2 k_e, \quad (12.17)$$

где $k_e = E_1 / E_2 = k_{o61} \omega_1 / (k_{o62} \omega_2)$ - коэффициент трансформации напряжения в асинхронной машине при неподвижном роторе. Приведенный ток ротора

$$I'_2 = I_2 / k_i, \quad (12.18)$$

где $k_i = m_1 \omega_1 k_{o61} / (m_2 \omega_2 k_{o62}) = m_1 k_e / m_2$ - коэффициент трансформации тока асинхронной машины.

В отличие от трансформаторов в асинхронных двигателях коэффициенты трансформации напряжения и тока не равны ($k_e \neq k_i$). Объясняется это тем, что число фаз в обмотках статора и ротора в общем случае не одинаково ($m_1 \neq m_2$). Лишь в двигателях с фазным ротором, у которых $m_1 = m_2$, эти коэффициенты равны.

Активное и индуктивное приведенные сопротивления обмотки ротора:

$$\begin{aligned} r'_2 &= r_2 k_e k_i; \\ x'_2 &= x_2 k_e k_i. \end{aligned} \quad (12.19)$$

Следует обратить внимание на некоторую специфику определения числа фаз m_2 и числа витков ω_2 для короткозамкнутой обмотки ротора (см. рис. 10.3). Каждый стержень этой обмотки рассматривают как одну фазу, а поэтому число витков одной фазы короткозамкнутой обмотки ротора $\omega_2 = 0,5$; обмоточный коэффициент такой обмотки $k_{o62} = 1$, а число фаз $m_2 = Z_2$, т. е. равно числу стержней в короткозамкнутой обмотке ротора.

Подставив в (12.9) приведенные значения параметров обмотки ротора E'_2 , I'_2 , r_2 и x'_2 , получим уравнение напряжений обмотки ротора в приведенном виде:

$$\dot{E}'_2 - j\dot{I}'_2 x'_2 - \dot{I}'_2 r'_2/s = 0 \quad (12.20)$$

Величину r'_2/s можно представить в виде

$$\frac{r'_2}{s} = \frac{r'_2}{s} - \frac{r'_2 s}{s} + r'_2 = r'_2 + r'_2 \frac{1-s}{s} \quad (12.21)$$

тогда уравнение ЭДС для цепи ротора в приведенных параметрах примет вид

$$0 = \dot{E}'_2 - j\dot{I}'_2 x_2 - \dot{I}'_2 r'_2 r'_2(1-s)/s. \quad (12.22)$$

Для асинхронного двигателя (так же как и для трансформатора) можно построить векторную диаграмму. Основанием для построения этой диаграммы являются уравнение токов (12.14) и уравнения напряжений обмоток статора (12.3) и ротора (12.22).

Угол сдвига фаз между ЭДС \dot{E}'_2 и током \dot{I}'_2

$$\Psi_2 = \arctg(x'_2 s / r'_2).$$

Так как векторную диаграмму асинхронного двигателя строят по уравнениям напряжений и токов, аналогичным уравнениям трансформатора, то порядок построения этой диаграммы такой же, что и векторной диаграммы трансформатора (см. § 1.7).

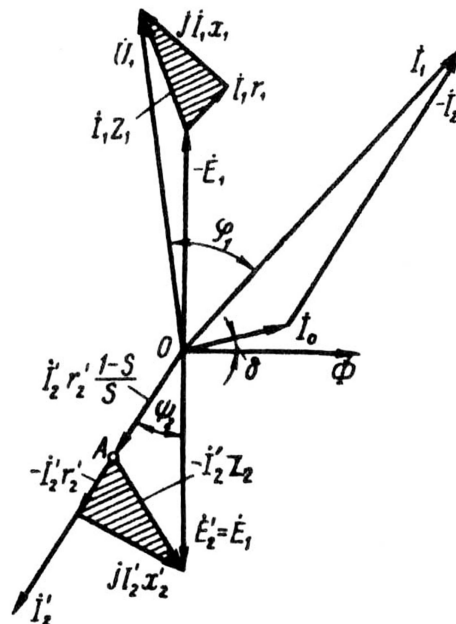


Рис. 12.1 Векторная диаграмма асинхронного двигателя

На рис. 12.1 представлена векторная диаграмма асинхронного двигателя. От векторной диаграммы трансформатора (см. рис. 1.19) она отличается тем,

что сумма падений напряжения в обмотке ротора (во вторичной обмотке) уравнивается ЭДС \dot{E}'_2 обмотки неподвижного ротора ($n_2 = 0$), так как обмотка ротора замкнута накоротко. Однако если падение напряжения $\overline{OA} = \dot{I}'_2 r'_2 (1-s)/s$ рассматривать как напряжение на некоторой активной нагрузке $r'_2 (1-s)/s$, подключенной на зажимы неподвижного ротора, то векторную диаграмму асинхронного двигателя можно рассматривать как векторную диаграмму трансформатора, на зажимы вторичной обмотки которого подключено переменное активное сопротивление $r_2 (1-s)/s$. Иначе говоря, асинхронный двигатель в электрическом отношении подобен трансформатору работающему на чисто активную нагрузку. Активная мощность вторичной обмотки такого трансформатора

$$P'_2 = m_1 I_2'^2 r'_2 (1-s)/s \quad (12.23)$$

представляет собой полную механическую мощность, развиваемую асинхронным двигателем.

Уравнениям напряжений и токов, а также векторной диаграмме асинхронного двигателя соответствует электрическая схема замещения асинхронного двигателя.

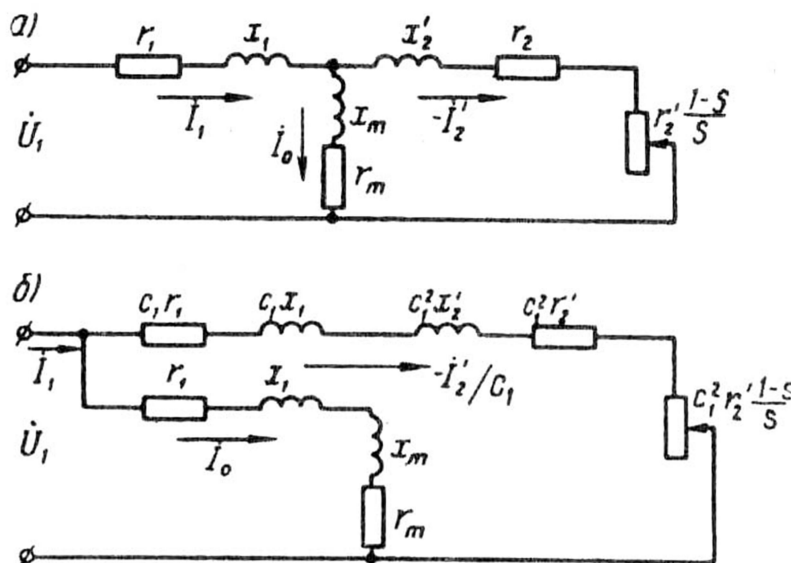


Рис. 12.2. Схемы замещения асинхронного

На рис. 12.2, а представлена T-образная схема замещения. Магнитная связь обмоток статора и ротора в асинхронном двигателе на схеме замещения заменена электрической связью цепей статора и ротора. Активное сопротивление можно рассматривать как внешнее сопротивление,

включенное в обмотку неподвижного ротора. В этом случае асинхронный двигатель аналогичен трансформатору, работающему на активную нагрузку. Сопротивление – единственный переменный параметр схемы. Значение этого сопротивления определяется скольжением, а следовательно, механической нагрузкой на валу двигателя. Так, если нагрузочный момент на валу двигателя $M_2 = 0$, то скольжение $s \approx 0$. При этом $r_2' (1 - s) / s = \infty$, что соответствует работе двигателя в режиме х.х. Если же нагрузочный момент на валу двигателя превышает его вращающий момент, то ротор останавливается ($s = 1$). При этом $r_2'(1 - s) / s = 0$, что соответствует режиму к.з. асинхронного двигателя.

Более удобной для практического применения является Г-образная схема замещения (рис. 12.2, б), у которой намагничивающий контур ($Z_m = r_m + j x_m$) вынесен на входные зажимы схемы замещения. Чтобы при этом намагничивающий ток I_0 не изменил своего значения, в этот контур последовательно включают сопротивления обмотки статора r_1 и x_1 . Полученная таким образом схема удобна тем, что она состоит из двух параллельно соединенных контуров: намагничивающего с током \dot{I}_0 и рабочего с током $-\dot{I}'_2$. Расчет параметров рабочего контура Г-образной схемы замещения требует уточнения, что достигается введением в расчетные формулы коэффициента c_1 (рис. 12.2, б), представляющего собой отношение напряжения сети U_1 к ЭДС статора E_1 при идеальном холостом ходе ($s = 0$). Так как в этом режиме ток холостого хода асинхронного двигателя весьма мал, то U_1 оказывается лишь немногим больше, чем ЭДС E_1 , а их отношение $c_1 = U_1 / E_1$ мало отличается от единицы. Для двигателей мощностью 3 кВт и более $c_1 = 1,05 \div 1,02$, поэтому с целью облегчения анализа выражений, характеризующих свойства асинхронных двигателей и упрощения практических расчетов, примем $c_1 = 1$. Возникшие при этом неточности не превысят значений, допустимых при технических расчетах. Например, при расчете тока ротора I'_2 эта ошибка составит от 2 до 5 % (меньшие значения относятся к двигателям большей мощности).

Воспользовавшись Г-образной схемой замещения и приняв $c_1 = 1$, запишем выражение тока в рабочем контуре:

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{[r_1 + r_2' + r_2'(1-s)/s]^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (12.24)$$

или с учетом (12.21) получим

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (12.25)$$

Знаменатель выражения (12.25) представляет собой полное сопротивление рабочего контура Г-образной схемы замещения асинхронного двигателя.