

# **АВИАЦИОННЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**

## **Тема 1.4. Трехфазные асинхронные электрические машины**

### **Лекция 9**

**9.1 Приведение параметров обмотки ротора к обмотке статора асинхронной машины.**

**9.2 Векторная диаграмма асинхронного двигателя .**

**9.3 Схема замещения асинхронного двигателя.**

## 9.1. Приведение параметров обмотки ротора к обмотке статора асинхронной машины

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  $k_{об2}$  и числом витков одной фазной обмотки  $w_2$  заменить обмоткой с  $m_1$ ,  $w_1$  и  $k_{об1}$ . 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 (см. разд. 1.5).

При  $s=1$  приведенная ЭДС ротора

$$E'_2 = E_2 k_e \quad (9.1)$$

где  $k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{k_{об1} \omega_1}{k_{об2} \omega_2}$  — коэффициент трансформации

напряжения в асинхронной машине при неподвижном роторе.

Приведенный ток ротора  $I'_2 = \frac{I_2}{k_i}$  (9.2)

где  $k_i = \frac{m_1 \omega_1 k_{об1}}{m_2 \omega_2 k_{об2}} = \frac{m_1 k_e}{m_2}$  — 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:

$$\left. \begin{aligned} r'_2 &= r_2 k_e k_i; \\ x'_2 &= x_2 k_e k_i \end{aligned} \right\} \quad (9.3)$$

Число фаз  $m_2$  и число витков  $w_2$  для короткозамкнутой обмотки ротора определяют следующим образом. Каждый стержень этой обмотки рассматривают как одну фазу, а поэтому число витков одной фазы короткозамкнутой обмотки ротора  $w_2=0,5$ ; обмоточный коэффициент такой обмотки  $k_{об2}=1$ , а число фаз  $m_2=Z_2$ , т. е. равно числу стержней в короткозамкнутой обмотке ротора.

Подставив в (3.12) приведенные значения параметров обмотки ротора  $E'_2$ ,  $I'_2$ ,  $r'_2$  и  $x'_2$ , получим уравнение напряжений обмотки ротора в приведенном

виде:

$$E'_2 - jI'_2 x'_2 - \frac{I'_2 r'_2}{s} = 0 \quad (9.4)$$

Величину  $\frac{r'_2}{s}$  можно представить в виде

$$\frac{r'_2}{s} = \frac{r'_2}{s} - \frac{r'_2 s}{s} + r'_2 = r'_2 + r'_2 \frac{1-s}{s} \quad (9.5)$$

тогда уравнение ЭДС для цепи ротора в приведенных параметрах примет вид

$$E'_2 - jI'_2 x'_2 - I'_2 r'_2 - I'_2 r'_2 \frac{1-s}{s} = 0 \quad (9.6)$$

## 9.2. Векторная диаграмма асинхронного двигателя

Для асинхронного двигателя (так же как и для трансформатора) можно построить *векторную диаграмму*. Основанием для построения этой диаграммы являются уравнение токов (8.19) и уравнения напряжений обмоток статора (8.5) и ротора (8.11)

Угол сдвига фаз между ЭДС  $E'_2$  и током  $I'_2$

$$\psi_2 = \operatorname{arctg} \frac{x'_2 s}{r'_2}$$

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.

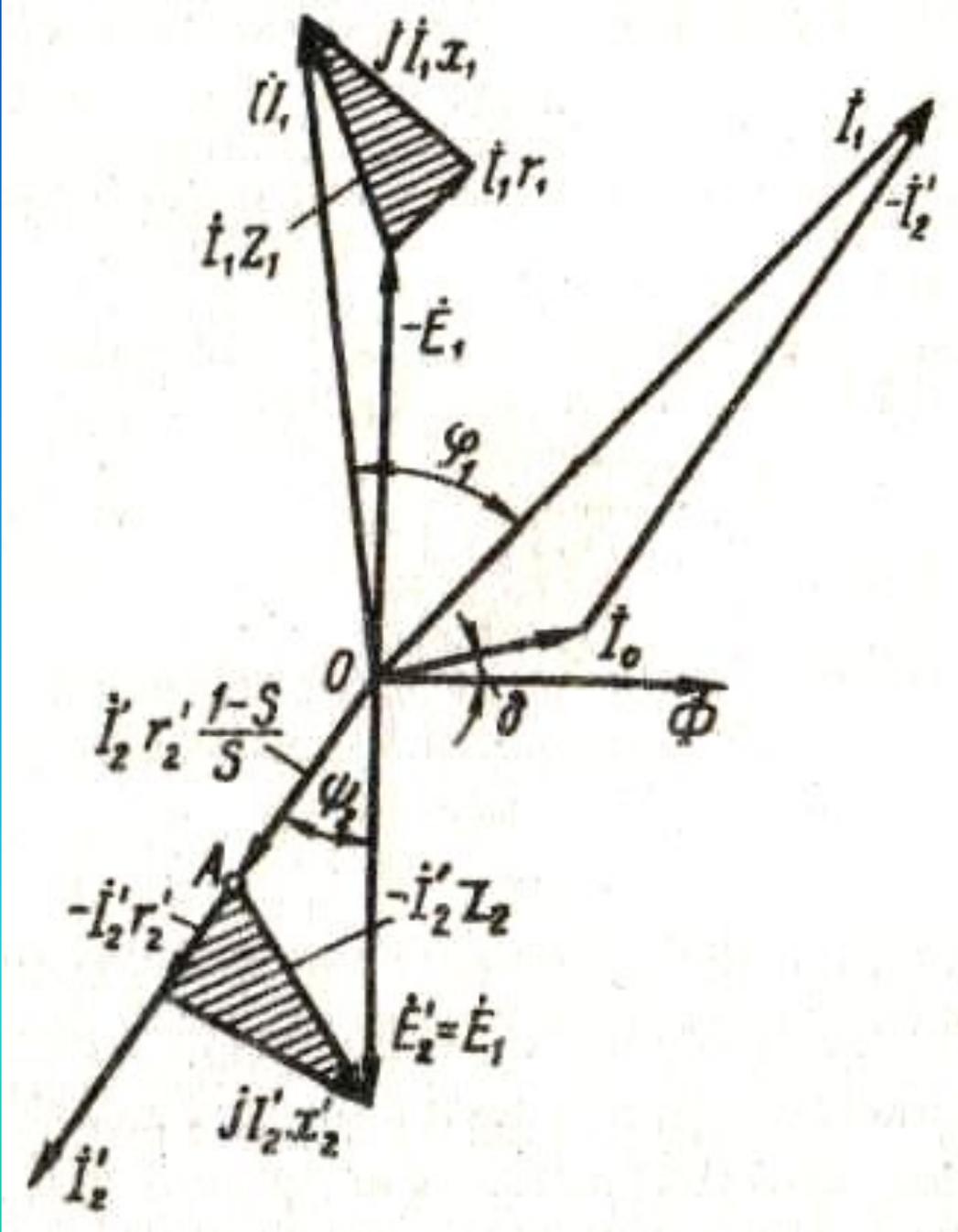


Рис. 9.1. Векторная диаграмма асинхронного двигателя

На рис. 9.1 представлена векторная диаграмма асинхронного двигателя. От векторной диаграммы трансформатора (см. рис. 1.8) она отличается тем, что сумма падений напряжения в обмотке ротора (во вторичной обмотке) уравновешивается ЭДС  $E_2'$  обмотки неподвижного ротора ( $n_2=0$ ), так как обмотка ротора замкнута накоротко.

Однако если падение напряжения  $\overline{OA} = I_2 r_2' \frac{1-s}{s}$  рассматривать как напряжение на некоторой активной нагрузке,  $r_2' \frac{1-s}{s}$  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  $r_2' \frac{1-s}{s}$ .

Иначе говоря, асинхронный двигатель в электрическом отношении подобен трансформатору, работающему на чисто активную нагрузку. Активная мощность вторичной обмотки такого трансформатора

$$P'_2 = m_1 I_2'^2 r_2' \frac{1-s}{s} \quad (9.7)$$

представляет собой полную механическую мощность, развиваемую асинхронным двигателем.

### 9.3. Схема замещения асинхронного двигателя

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

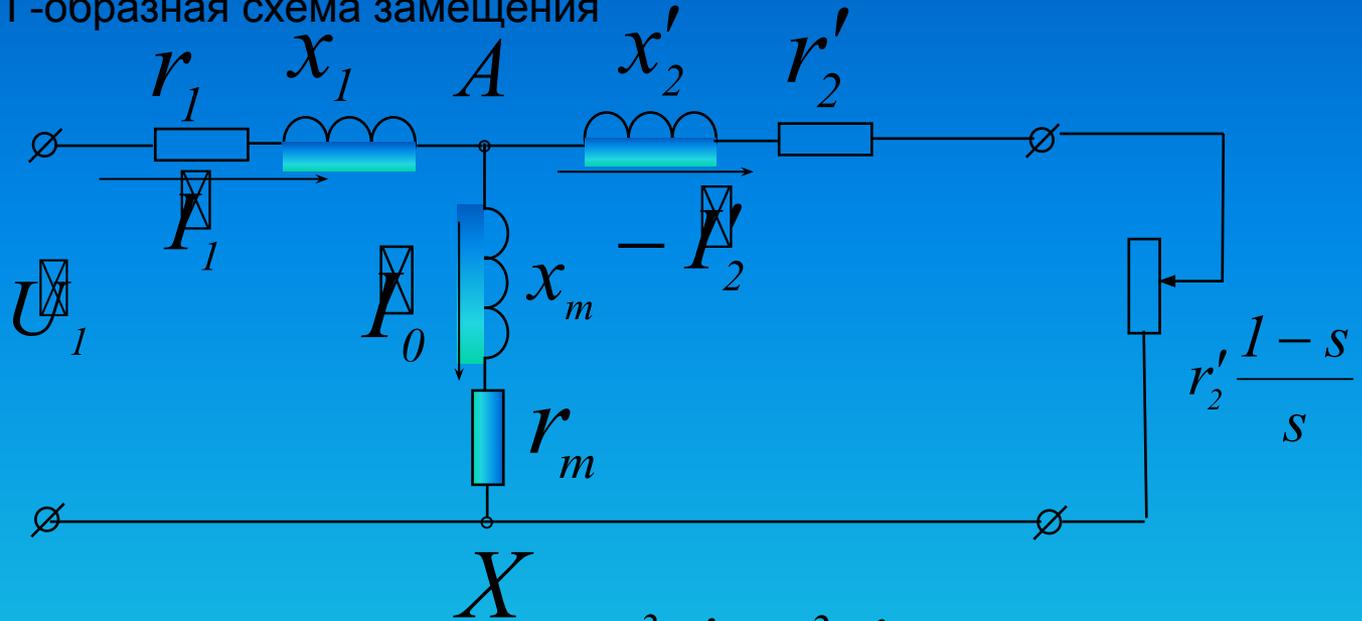
На рис. 9.2, а представлена Т-образная схема замещения.

Рис. 9.2. Схемы замещения асинхронного двигателя:

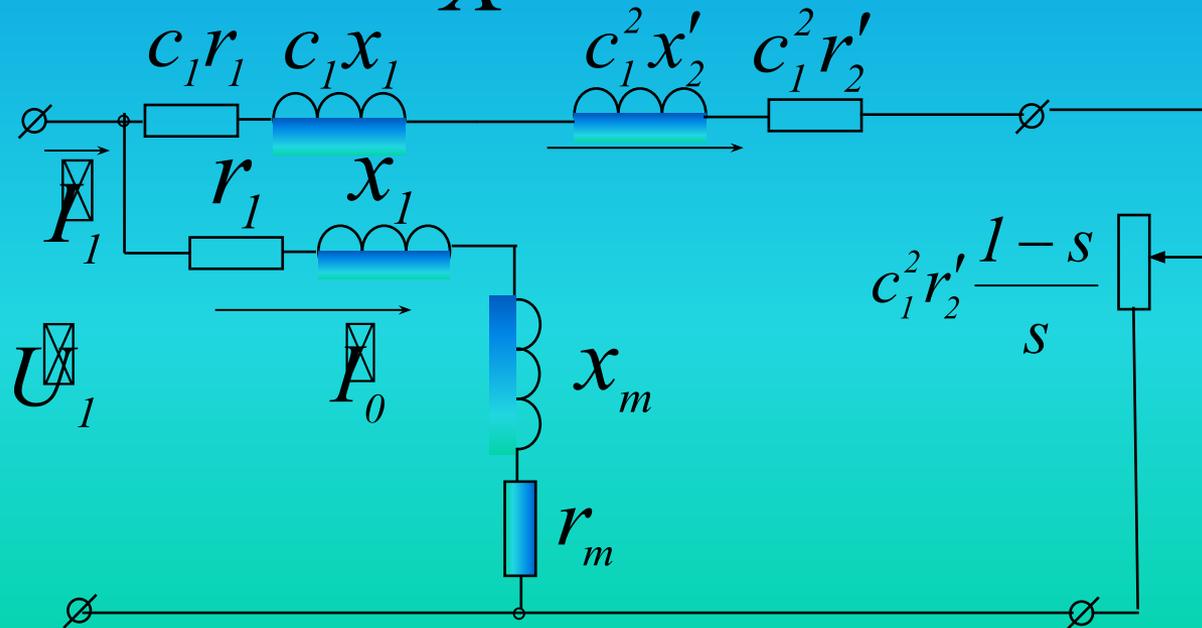
а) Т-образная схема замещения;

б) Г-образная схема замещения

а)



б)



Магнитная связь обмоток статора и ротора в асинхронном двигателе на схеме замещения заменена электрической связью цепей статора и ротора. Активное сопротивление  $r_2' \frac{1-s}{s}$

можно рассматривать как внешнее сопротивление, включенное обмотку неподвижного ротора. В этом случае асинхронный двигатель аналогичен трансформатору, работающему на активную нагрузку.

Сопротивление  $r_2' \frac{1-s}{s}$  — 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  $r_2' \frac{1-s}{s} \rightarrow \infty$ , что соответствует работе двигателя в режиме ХХ.

Если же нагрузочный момент на валу двигателя превышает его вращающий момент, то ротор останавливается ( $s=1$ ). При этом  $r_2' \frac{1-s}{s} = 0$  что соответствует режиму КЗ асинхронного двигателя.

Более удобной для практического применения является Г-образная схема замещения (рис. 9.2, б), у которой намагничивающий контур ( $Z_m = r_m + jx_m$ ) 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  $I_0$  и рабочего с током

$$I_2$$

Расчет параметров рабочего контура Г-образной схемы замещения требует уточнения, что достигается введением в расчетные формулы коэффициента  $c_1$  (рис. 9.2, 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  $c_1 = \frac{U_1}{E_1}$  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  $\Gamma$ -образной схемой замещения и приняв  $s_1=1$ , запишем выражение тока в рабочем контуре:

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2}} \quad (9.8)$$

или с учетом (9.6) получим

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + r'_2 + r'_2 \frac{1-s}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2}} \quad (9.9)$$

Знаменатель выражения (9.9) представляет собой полное сопротивление рабочего контура  $\Gamma$ -образной схемы замещения асинхронного двигателя.