

19-Лекция. Электромагнитные процессы асинхронной машины при тормозном режиме

Как следует из принципа действия асинхронного двигателя, обмотка ротора не имеет электрической связи с обмоткой статора. Между этими обмотками существует только магнитная связь, и энергия из обмотки статора передается в обмотку ротора магнитным полем. В этом отношении асинхронная машина аналогична трансформатору: обмотка статора является первичной, а обмотка ротора - вторичной.

В процессе работы асинхронного двигателя токи в обмотках статора и ротора создают две магнитодвижущие силы; МДС статора и МДС ротора. Совместным действием эти МДС наводят в магнитной системе двигателя результирующий магнитный поток, вращающийся относительно статора с синхронной частотой вращения n_1 . Так же как и в трансформаторе, этот магнитный поток можно рассматривать состоящим из основного потока Φ , сцепленного как с обмоткой статора, так и с обмоткой ротора (магнитный поток взаимоиндукции), и двух потоков рассеяния: $\Phi_{\sigma 1}$ — потока рассеяния обмотки статора и $\Phi_{\sigma 2}$ — потока рассеяния обмотки ротора. Рассмотрим, какие ЭДС наводят указанные потоки в обмотках двигателя.

Электродвижущие силы, наводимые в обмотке статора. Основной магнитный поток Φ , вращающийся с частотой n_1 наводит в неподвижной обмотке статора ЭДС E_1 , значение которой определяется выражением [см. (7.20)] $E_1 = 4,44 f_1 \Phi \omega_1 k_{o61}$.

Магнитный поток рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ наводит в обмотке статора ЭДС рассеяния, значение которой определяется индуктивным падением напряжения в обмотке статора:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j \dot{I}_1 x_1 \quad (12.1)$$

где x_1 — индуктивное сопротивление рассеяния фазной обмотки статора, Ом.

Для цепи обмотки статора асинхронного двигателя, включенной в сеть с напряжением U_1 , запишем уравнение напряжений по второму закону Кирхгофа:

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} = \dot{I}_1 r_1, \quad (12.2)$$

где $I_1 r_1$ - падение напряжения в активном сопротивлении обмотки статора r_1 .

После переноса ЭДС E_1 , и $E_{\sigma 1}$, в правую часть уравнения (12.2) с учетом (12.1) получим уравнение напряжений обмотки статора асинхронного двигателя:

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j \dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \quad (12.3)$$

Сравнив полученное уравнение с уравнением (1.13), видим, что оно не отличается от уравнения напряжений для первичной цепи трансформатора.

Электродвижущие силы, наводимые в обмотке ротора. В процессе работы асинхронного двигателя ротор вращается в сторону вращения поля статора с частотой n_2 . Поэтому частота вращения поля статора относительно ротора равна разности частот вращения ($n_1 - n_2$). Основной магнитный поток Φ , обгоняя ротор с частотой вращения $n_s = (n_1 - n_2)$, индуцирует в обмотке ротора ЭДС

$$E_2 = 4,44 f_2 \Phi \omega_2 k_{o62} \quad (12.4)$$

где f_2 — частота ЭДС E_{2s} в роторе, Гц; ω_2 — число последовательно соединенных витков одной фазы обмотки ротора; k_{o62} — обмоточный коэффициент обмотки ротора.

Частота ЭДС (тока) в обмотке вращающегося ротора пропорциональна частоте вращения магнитного поля относительно ротора $n_s = n_1 - n_2$, называемой частотой скольжения:

$$f_2 = p n_s / 60 = p(n_1 - n_2) / 60,$$

или

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \frac{n_1}{n_1} = \frac{p n_1}{60} \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 s \quad (12.5)$$

т. е. частота ЭДС (тока) ротора пропорциональна скольжению. Для асинхронных двигателей общепромышленного назначения эта частота обычно невелика и при $f_1 = 50$ Гц не превышает нескольких герц, так при $s = 5\%$ частота $f_2 = 50 \cdot 0,05 = 2,5$ Гц. Подставив (12.5) в (12.4), получим

$$E_{2s} = 4,44 f_1 s \Phi \omega_2 k_{об2} = E_2 s. \quad (12.6)$$

Здесь E_2 - ЭДС, наведенная в обмотке ротора при скольжении $s = 1$, т. е. при неподвижном роторе, В.

Поток рассеяния ротора $\Phi_{\sigma 2}$ индуцирует в обмотке ротора рассеяния, значение которой определяется индуктивным падением напряжения в этой обмотке:

$$\dot{E}_{\sigma 2} = -j \dot{I}_2 x_2 s \quad (12.7)$$

где x_2 - индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора при неподвижном роторе [см. (11.8)], Ом.

Обмотка ротора асинхронного двигателя электрически не связана с внешней сетью и к ней не подводится напряжение. Ток в этой обмотке появляется исключительно за счет ЭДС, наведенной основным магнитным потоком Φ . Поэтому уравнение напряжений для цепи ротора асинхронного двигателя по второму закону Кирхгофа имеет вид

$$\dot{E}_{2s} + \dot{E}_{\sigma 2} = \dot{I}_2 r_2$$

где r_2 — активное сопротивление обмотки ротора. С учетом (12.6) и (12.7) получим

$$\dot{E}_{2s} - j \dot{I}_2 x_2 s - \dot{I}_2 r_2 \quad (12.8)$$

Разделив все слагаемые равенства (12.8) на s , получим

$$\dot{E}_2 - j \dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 / s = 0 \quad (12.9)$$

-уравнение напряжений для обмотки ротора.

Уравнения МДС и токов асинхронного двигателя. Основной магнитный поток Φ в асинхронном двигателе создается совместным действием МДС обмоток статора F_1 и ротора F_2 :

$$\dot{\Phi} = (\dot{F}_1 + \dot{F}_2) / R_m = \dot{F}_0 / R_m \quad (12.10)$$

где R_m — магнитное сопротивление магнитной цепи двигателя потоку Φ ; F_0 — результирующая МДС двигателя, численно равная МДС обмотки статора в режиме х.х. [см. (9.16)]:

$$F_0 = 0,45 m_1 I_1 \omega_1 k_{o61} / P \quad (12.11)$$

I_0 — ток х.х. в обмотке статора, А.

МДС обмоток статора и ротора на один полюс в режиме нагруженного двигателя

$$\begin{aligned} F_1 &= 0,45 m_1 I_1 \omega_1 k_{o61} / P \\ F_2 &= 0,45 m_2 I_2 \omega_2 k_{o62} / P \end{aligned} \quad (12.2)$$

где m_2 — число фаз в обмотке ротора; k_{o62} — обмоточный коэффициент обмотки ротора.

При изменениях нагрузки на валу двигателя меняются токи в статоре I_1 , и роторе I_2 . Но основной магнитный поток Φ при этом сохраняется неизменным, так как напряжение, подведенное к обмотке статора, неизменно ($U_1 = \text{const}$) и почти полностью уравновешивается ЭДС E_1 обмотки статора [см. (12.3)]:

$$\dot{U}_1 \approx (-\dot{E}_1) \quad (12.13)$$

Так как ЭДС E_1 пропорциональна основному магнитному потоку Φ [см. (7.20)], то последний при изменениях нагрузки остается неизменным. Этим и объясняется то, что, несмотря на изменения МДС F_1 и F_2 , результирующая МДС остается неизменной, т. е. $\dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \text{const}$.

Подставив вместо F_0 , F_1 и F_2 их значения по (12.11) и (12.12), получим

$$0,45 m_1 \dot{I}_0 \omega_1 k_{o61} / p = 0,45 m_1 \dot{I}_1 \omega_1 k_{o61} / p + 0,45 m_2 \dot{I}_2 \omega_2 k_{o62} / p.$$

Разделив это равенство на $m_1 \omega_1 k_{o61} / p$, определим уравнение токов асинхронного двигателя:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \frac{m_2 \omega_2 k_{o62}}{m_1 \omega_1 k_{o61}} = \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 \quad (12.14)$$

где

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 \frac{m_2 \omega_2 K_{об2}}{m_1 \omega_1 K_{об1}} \quad (12.15)$$

- ток ротора, приведенный к обмотке статора.

Преобразовав уравнение (12.14), получим уравнение токов статора асинхронного двигателя

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2) \quad (12.16)$$

из которого следует, что ток статора в асинхронном двигателе \dot{I}_1 имеет две составляющие: \dot{I}_0 - намагничивающую (почти постоянную) составляющую ($I_0 \approx I_{1\mu}$) и $-\dot{I}'_2$ — переменную составляющую, компенсирующую МДС ротора.

Следовательно, ток ротора I_2 оказывает на магнитную систему двигателя такое же размагничивающее влияние, как и ток вторичной обмотки трансформатора (см. § 1.5). Таким образом, любое изменение механической нагрузки на валу двигателя сопровождается соответствующим изменением тока в обмотке статора I_1 так изменение этой нагрузки двигателя вызывает изменение скольжения s . Это, в свою очередь, влияет на ЭДС обмотки ротора [см.(12.6)], а следовательно, и на ток ротора I_2 . Но так как этот ток развивает размагничивающее действие на магнитную систему двигателя, то его изменения вызывают соответствующие изменение тока в обмотке статора I_1 за счет составляющей $-\dot{I}'_2$. Так, в режиме холостого хода, когда нагрузка на валу двигателя отсутствует и $s \approx 0$, ток $I_2 \approx 0$. В этом случае ток в обмотке статора $\dot{I}_1 \approx \dot{I}_0$. Если же ротор двигателя затормозить, не отключая обмотку статора от сети (режим короткого замыкания), то скольжение $s = 1$ и ЭДС обмотки ротора E_{2s} достигает своего наибольшего значения E_2 . Также наибольшего значения достигнет ток I_2 , а следовательно, и ток в обмотке статора I_1 .