

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.3.07

А.В.Григорьев

ДИАПАЗОН РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Определим, что диапазон регулирования электромагнитного момента АД будет вычисляться в соответствии с выражением:

$$d_M = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\text{ном}}}, \quad (1)$$

где M_{\max} , M_{\min} , $M_{\text{ном}}$ – максимальное, минимальное (при любом варианте управления состоянием) и номинальное значения электромагнитного момента АД. Gj1

Значение d_M определяется максимальными значениями амплитуд потокосцеплений, токов и напряжений АД и зависит от параметров АД и частоты вращения ротора, и не зависит от варианта управления состоянием. Для его определения необходимо знать зависимость величины электромагнитного момента от амплитуд потокосцеплений, токов и напряжений, а также частоты вращения ротора АД.

В [1] приводится общее условие максимума электромагнитного момента АД, полученное на основе схемы замещения АД при работе в установившемся режиме. Это условие применимо для систем скалярного частотного управления и может использоваться при установленном законе частотного управления, т.е. зависимости относительной амплитуды напряжения от его относительной частоты и абсолютного скольжения. Так как это условие используется только при установленном законе частотного управления, то оно не применимо к нахождению d_M .

В работе [2] приведено выражение для максимального приращения угла между векторами потока и тока статора АД $\Delta\theta_{\max}$ при пренебрежении активным сопротивлением статора. Это выражение определяет максимальное приращение электромагнитного момента АД, но оно приводит к громоздким выражениям, содержащим тригонометрические функции.

Наиболее простые выражения получаются при использовании метода, использованного в работе [3]. В ней приводятся правила, определяющие максимальные значения электромагнитного момента в зонах номинального и ослабленного потока статора в соответствии с ограничением тока, потокосцепления и напряжения статора номинальными значениями. Эти правила не определя-

ют зависимость электромагнитного момента от амплитуд токов и напряжений АД, для определения которой целесообразно представить модель АД через переменные, связанные с вектором потока статора:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi_s}{dt} = \bar{U}_s - R_s \bar{i}_s - j\omega_0 \Psi_s, \\ \frac{d\Psi_r}{dt} = -R_r \bar{i}_r - j\omega_s \Psi_r, \end{cases} \quad (2)$$

где ω_0 – частота вращения вектора потокосцепления статора АД;

ω – частота вращения ротора;

p – число пар полюсов АД;

$\omega_s = \omega_0 - p\omega$ – частота скольжения;

$\bar{i}_r = \frac{1}{L_m} \bar{\Psi}_s - \frac{L_s}{L_m} \bar{i}_s$ – вектор тока ротора,

$\bar{\Psi}_r = \frac{L_r}{L_m} \bar{\Psi}_s - \frac{L_r L_s \sigma}{L_m} \bar{i}_s$ – вектор потокосцепления ротора,

$\sigma = \left(1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s}\right)$ – коэффициент рассеяния.

В установившемся режиме система уравнений (2) упрощается до следующего вида:

$$\begin{cases} \bar{U}_s - R_s \bar{i}_s - j\omega_0 \bar{\Psi}_s = 0, \\ -R_r \bar{i}_r - j\omega_s \bar{\Psi}_r = 0, \end{cases} \quad (3)$$

Из (3) выражим:

$$\begin{aligned} \Psi_{sm} &= \frac{U_{sm} \left(1 + \omega_s^2 T_r^2 \sigma^2\right)}{[\omega_s^3 T_r^2 \sigma^2 + \omega_s^2 T_r^2 \sigma^2 p\omega + \\ &\quad + \omega_s \left(1 + \frac{T_r}{T_s} (1 - \sigma)\right) + p\omega]}, \end{aligned} \quad (4)$$

где U_{sm} – амплитуда вектора напряжения статора;

$T_s = L_s/R_s$ – постоянная времени цепи статора,

$T_r = L_r/R_r$ – постоянная времени цепи ротора.

В выражении (4) значение Ψ_{sm} ограничено номинальным значением амплитуды потока статора $\Psi_{s\text{ном}}$.

Из (3) также следует:

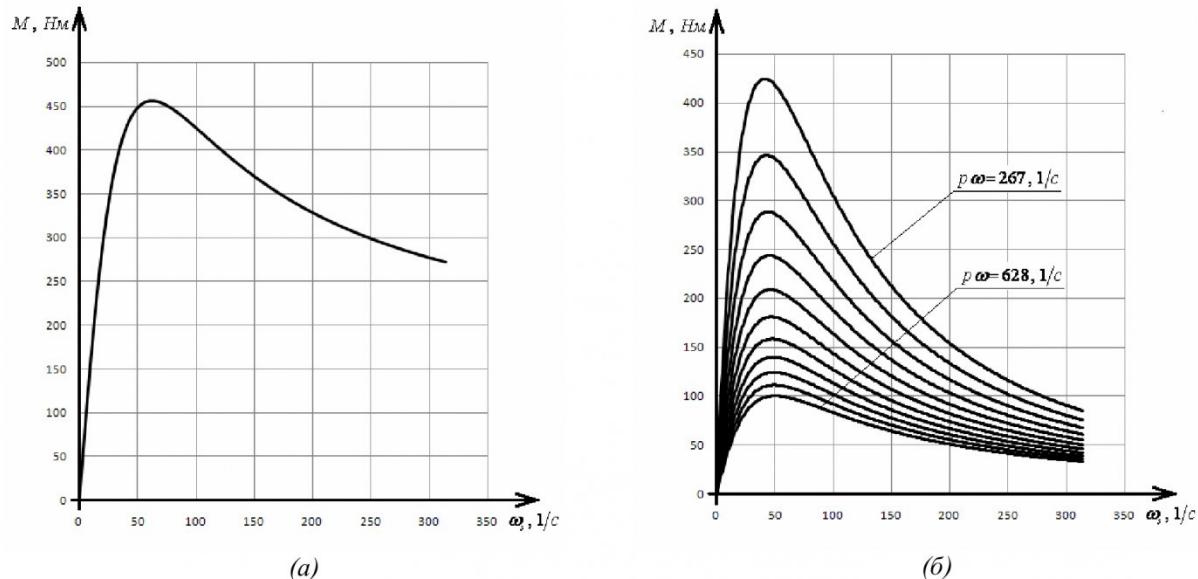


Рис. 1. Зависимости электромагнитного момента от частоты скольжения: в зоне номинального потока (а), в зоне ослабленного потока (б)

$$M = \frac{3}{2} p \frac{\omega_s T_r (1-\sigma)}{L_s (1 + \omega_s^2 T_r^2 \sigma^2)} \Psi_{sm}^2 \quad (5)$$

В зоне номинального потока статора:

$$M = \frac{3}{2} p \frac{\omega_s T_r (1-\sigma)}{L_s (1 + \omega_s^2 T_r^2 \sigma^2)} \Psi_{snom}^2 \quad (6)$$

При этом частота скольжения, при которой достигается максимум электромагнитного момента,

$$\omega_{smax} = \frac{1}{\sigma T_r} \quad (7)$$

Из (6) и (7) имеем :

$$M_{max} = \frac{3}{2} p \frac{(1-\sigma)}{2\sigma L_s} \Psi_{snom}^2 \quad (8)$$

Подставив (4) в (5), можно получить следующее выражение для электромагнитного момента в зоне ослабления поля статора:

$$M = \frac{3}{2} p \frac{T_r (1-\sigma)}{L_s} U_{sm}^2 \times \frac{\omega_s + \omega_s^3 T_r^2 \sigma^2}{\left(\omega_s^3 T_r^2 \sigma^2 + \omega_s^2 T_r^2 \sigma^2 p\omega + \left(\omega_s \left(1 + \frac{T_r}{T_s} (1-\sigma) \right) + p\omega \right)^2 \right)} \quad (9)$$

На рис. 1 показаны зависимости электромагнитного момента от частоты скольжения для двигателя ВРП160М4: до первой граничной частоты вращения ротора (а) и в зоне ослабления поля статора до $p\omega = 628$ рад /с (б).

Максимальный электромагнитный момент достигается при больших значениях частоты скольжения (для ВРП160М4 $\omega_{max} = 52$ рад /с), а, значит, и больших значениях тока статора.

Поэтому ток статора должен быть ограничен

некоторым значением, определенным условиями работы АД.

Выразим из (3) амплитуду тока статора:

$$I_{sm} = \frac{\Psi_{sm}}{L_s} \sqrt{\frac{(1 + T_r^2 \omega_s^2)}{(1 + \sigma^2 T_r^2 \omega_s^2)}} \quad (10)$$

Теперь можно выразить частоту скольжения через амплитуды потока и тока статора:

$$\omega_{sil} = \sqrt{\frac{1 - \left(L_s \frac{I_{sm}}{\Psi_{sm}} \right)^2}{\left(L_s \frac{I_{sm}}{\Psi_{sm}} \right)^2 \sigma^2 T_r^2 - T_r^2}} \quad (11)$$

Формула (11) дает действительные значения частоты скольжения при условии:

$$\frac{\Psi_{sm}}{L_s} \leq I_{sm} \leq \frac{\Psi_{sm}}{\sigma L_s}$$

Это говорит о том, что минимальный ток статора будет при условии, что векторы тока и потока статора совпадают, а, значит, электромагнитный момент при этом будет равен 0.

Частота скольжения для некоторого значения тока статора в зоне ослабления поля определяется из (12).

$$(L_s I_{sm})^2 \left(\begin{aligned} & \left(\omega_s^3 T_r^2 \sigma^2 + \omega_s^2 T_r^2 \sigma^2 p\omega + \right. \\ & \left. + \omega_s \left(1 + \frac{T_r}{T_s} (1-\sigma) \right) + p\omega \right)^2 \times \\ & \times \left(1 + \sigma^2 T_r^2 \omega_s^2 \right) - U_{sm}^2 \times \\ & \times \left(1 + \omega_s^2 T_r^2 \sigma^2 \right) \left(1 + T_r^2 \omega_s^2 \right) = 0 \end{aligned} \right) \quad (12)$$

Решение уравнения (12) может отсутствовать при некоторых значениях тока статора, что связано с неминуемым ослаблением тока статора при некоторой частоте вращения из-за ослабления по-

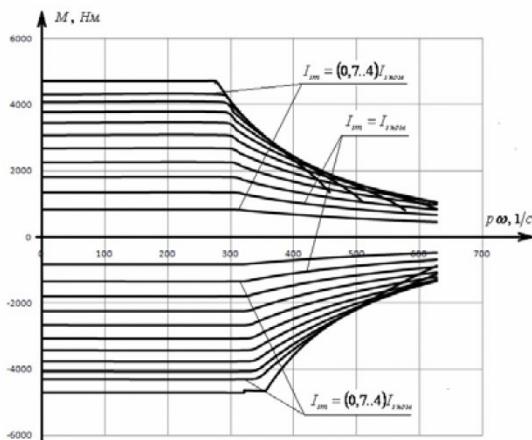


Рис. 2. ДКВ250КМ

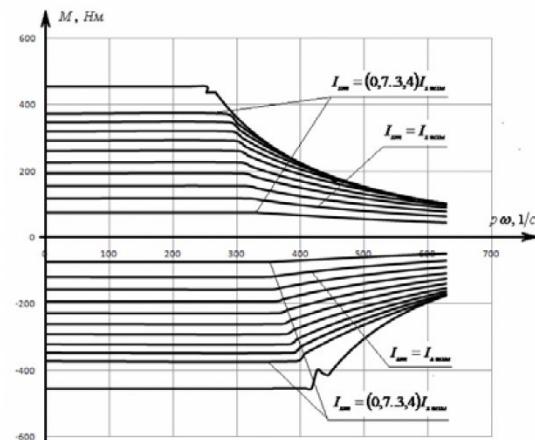


Рис. 3. ВРП160М4

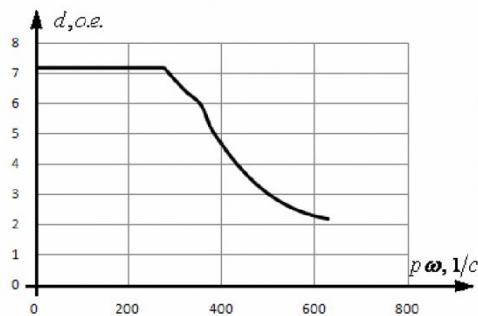


Рис. 4. Диапазон регулирования АД ДКВ250КМ

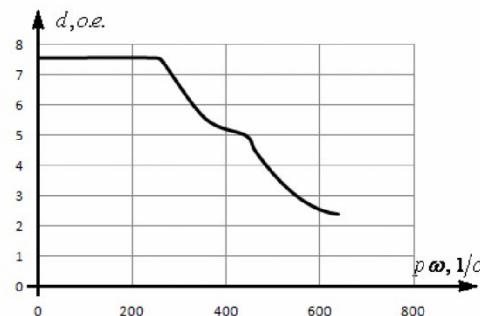


Рис. 5. Диапазон регулирования АД ВРП160М4

тока статора.

На рис. 2 - 3 представлены графики зависимостей максимального и минимального значений электромагнитного момента АД ДКВ250КМ и ВРП160М4 от частоты вращения ротора для различных значений амплитуды тока статора.

На рис. 4 - 5 приведены графики зависимостей диапазонов регулирования моментов АД ДКВ250КМ (200 кВт) и ВРП160М4 (18,5 кВт) от частоты вращения ротора.

Таким образом, были получены выражения для определения зависимостей максимального и минимального электромагнитных моментов, а

также диапазона регулирования электромагнитного момента АД от частоты вращения ротора.

При частоте вращения ротора, превышающей номинальную в 2 раза, может быть получен электромагнитный момент, близкий к номинальному (рис. 4 и рис. 5).

Максимальный и минимальный моменты АД равны по абсолютному значению в зоне номинального потока статора, и это значение выше значения критического момента. А значит его достижение невозможно при использовании методов управления, основанных на схеме замещения АД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергия, 1974. – 328 с.
2. P. Matic, B. Blanusa, S. Vukosavic. A Novel Direct Torque and Flux Control Algorithm for the Induction Motor Drive // Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDCapos; 03. IEEE International Volume 2, Issue , 1-4 June 2003 Page(s): 965 - 970 vol.2.
3. R. Bojoi, F. Farina, G. Griva, F. Profumo, A. Tenconi. Direct torque control for dual three-phase induction motor drives // IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 41, NO. 6, 2005. p. 1627-1636.

□ Автор статьи:

Григорьев
Александр Васильевич
- аспирант каф. вычислительной
техники и информационных техно-
логий КузГТУ
Тел. 8-913-402-29-66
E-mail: grigav84@mail.ru