

АЛГОРИТМЫ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ КОНДЕНСАТОРНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ С ЗАДАНЫМИ НАГРУЗКАМИ

А.В. Ямщиков

В статье изложена методика разработки алгоритмов частотного управления конденсаторными двигателями в составе автоматизированных приводов, позволяющая обоснованно задавать в частотных преобразователях характеристику «выходное напряжение / частота» для любых типов заданных нагрузок.

Ключевые слова: конденсаторный двигатель, частотное управление.

В настоящее время целый ряд автоматизированных скоростных электроприводов производственных механизмов, обеспечивающих плавное управление их скоростью движения, построен на основе асинхронных конденсаторных двигателей (АКД) общего применения, именуемых далее АКД. Последние имеют на статоре двухфазную обмотку. Обмотка одной фазы – главная – подключается непосредственно к регулируемому однофазному переменному напряжению (ОПН). Обмотка другой фазы – вспомогательная – подключается к указанному напряжению через конденсатор. Плавное управление частотой вращения n_2 АКД и соответственно производственного механизма выполняется в большинстве случаев либо путем изменения только действующего значения U ОПН либо частотным спосо-

бом, т.е. путем изменения частоты f_1 и действующего значения U ОПН, которое изменяется в определенном соответствии с изменением частоты f_1 [1].

Необходимость повышения энергоэффективности электроприводов обусловила переход в настоящее время на частотное управление [2]. В этой связи современная промышленность приступила к выпуску аппаратуры для плавного управления АКД – однофазных преобразователей частоты (ОПЧ), что отмечается, например, в [3]. Для эффективного управления АКД с помощью ОПЧ в них предусмотрена возможность задания параметров т.н. характеристики «выходное напряжение/частота» (U / f_1). Однако в настоящее время отсутствует методика выбора параметров характеристик U / f_1 при управлении АКД, что не позволяет в полной мере реализовать возможности ОПЧ по организации эффективных алгоритмов управления АКД. В статье устраняется данный пробел для автоматизированных скоростных электроприводов с АКД, работающими при заданных нагрузках.

Методика получения характеристики U / f_1 рассматривается на примере управления АКД в скоростном электроприводе, работающем на заданную нагрузку и реализующем линейную характеристику «вход-выход», описываемую равенством:

$$n_2 = k_3 u_{\text{зад}}, \quad (1)$$

где $k_3 = \text{const}$ – заданный коэффициент; $u_{\text{зад}}$ – сигнал задания, формируемый входными цепями управления ОПЧ.

Искомая характеристика U / f_1 может быть получена из уравнения механической характеристики (МХ) АКД:

$$M = M(n_2, U, f_1), \quad (2)$$

где M – электромагнитный момент АКД, с учетом равенства (1) и следующих соотношений, первое из которых является следствием второго закона Ньютона для статического режима работы АКД, а второе обусловлено принципом работы ОПЧ:

$$M = M_c(n_2); \quad (3)$$

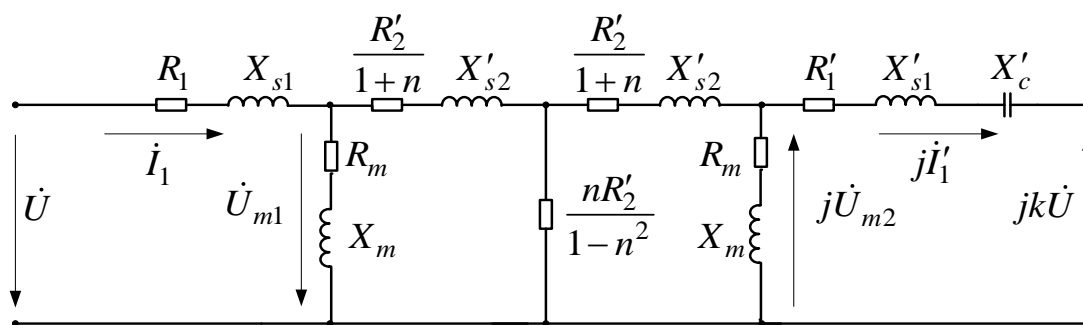
$$f_1 = k_f u_{\text{зад}}, \quad (4)$$

где $M_c(n_2)$ – механическая характеристика нагрузки АКД, представляющая собой заданную функцию скорости n_2 ; $k_f = \text{const}$ – коэффициент.

В настоящее время известны общие уравнения МХ АКД, справедливые для АКД любого типа. Эти уравнения приведены, например, в [1, 4] и учитывают все параметры АКД. Однако получаемые на их основе уравнения характеристики U / f_1 для АКД общего применения, которые имеют опре-

деленные особенности, оказываются неоправданно громоздкими и неудобными для их использования в практической инженерной работе.

Ниже предлагается методика вывода уравнения МХ АКД общего применения, которая учитывает их особенности и устраняет указанные недостатки. Методика опирается на электрическую схему замещения АКД любого типа и конструктивного исполнения [1], представленную на рис., и основывается на допущениях, справедливых для АКД общего назначения.



Электрическая схема замещения АКД

На рисунке приведены обозначения параметров схемы замещения АКД, которые имеют следующий физический смысл: R_1, X_{s1} – активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния главной обмотки статора; R_m, X_m – активное и индуктивное сопротивления контуров намагничивания; R'_2, X'_{s2} – приведенные активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния одной фазы обмотки ротора; R'_1, X'_{s1} – приведенные активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния вспомогательной обмотки статора; $X'_c = k^2 X_c$ – приведенное сопротивление конденсатора; X_c – сопротивление конденсатора; k – коэффициент трансформации ЭДС между главной и вспомогательной обмотками статора; \dot{U} – комплекс статорного напряжения, подводимого к главной обмотке (или, иначе, выходное напряжение ОПН); \dot{I}_1, \dot{I}'_1 – комплексы тока главной обмотки и приведенного тока вспомогательной обмотки; $\dot{U}_{m1}, \dot{U}_{m2}$ – комплексы напряжений контуров намагничивания; $n = n_2 p / f_1$ – относительная частота вращения вала двигателя; n_2 – абсолютная частота вращения вала двигателя; p – количество пар полюсов двигателя; f_1 – частота статорного напряжения (выходного напряжения ОПН).

При выводе уравнения МХ АКД общего применения учитываются их особенности, которые позволяют принять следующие допущения:

– индуктивное сопротивление X_m много больше прочих электрических сопротивлений схемы замещения, исключая конденсатор;

– имеет место:

$$|R'_1 + jX'_{s1}| \ll |X'_c|. \quad (5)$$

Известно [1], что для конденсаторного двигателя с произвольными значениями параметров справедливо равенство:

$$M = \frac{P}{2\pi f_1} \text{Im}(\dot{I}'_1 \dot{U}^*_{m1} - \dot{I}_1 \dot{U}^*_{m2}). \quad (6)$$

Учитывая принятые выше допущения, можно упростить общую схему замещения конденсаторного двигателя, приведенную на рисунке, исключив из нее оба контура намагничивания, а также сопротивления R'_1 и X'_{s1} .

Определяя по упрощенной схеме величины $\dot{I}'_1, \dot{U}_{m1}, \dot{I}_1, \dot{U}_{m2}$ можно получить соотношения для электромагнитного момента АКД в виде:

$$M = \frac{pU^2(1-n^2)[R'_2n + (1-n^2)R_{\text{pac}}]}{2\pi f_1 \left\{ [(R_1 + R'_2)(1-n^2) + R'_2n]^2 + (1-n^2)^2(X_{s1} + X'_{s2})^2 \right\}}, \quad (7)$$

$$R_{\text{pac}} = [R'_2(R_1 + R'_2) + 0,5(X_{s1} + X'_{s2})^2] / (X_c k). \quad (8)$$

Учитывая, что $n = n_2 p / f_1$, а также равенства (1) и (4), получаем:

$$n = pk_3 / k_f = \text{const}, \quad (9)$$

$$n_2 = f_1 k_3 / k_f. \quad (10)$$

Из (8), если учесть соотношения для реактивных сопротивлений, следует:

$$R_{\text{pac}} = R_{\text{pac}}(f_1) = [R'_2(R_1 + R'_2) + 2(\pi f_1 L_k)^2] 2\pi f_1 C_k / k, \quad (11)$$

где $L_k = (X_{s1} + X'_{s2}) / (2\pi f_1)$ – индуктивность короткого замыкания АКД; C_k – емкость конденсатора.

Из (7)–(11) с учетом (3) нетрудно получить уравнение для определения искомой характеристики U / f_1 в виде:

$$\frac{U^2 [R'_2n + (1-n^2)R_{\text{pac}}(f_1)]}{f_1 M_c (f_1 k_3 / k_f) \left\{ [(R_1 + R'_2)(1-n^2) + R'_2n]^2 + [2\pi(1-n^2)L_k]^2 \right\}} = \frac{2\pi}{p(1-n^2)}. \quad (12)$$

Уравнение (12) может быть упрощено, если учесть, что при частотном управлении выполняется, как правило, условие:

$$n \approx 1. \quad (13)$$

Подставив (13) в (12), получим с учетом (9) и (10) более простое уравнение для определения искомой характеристики U / f_1 в следующем виде:

$$U^2 / \left[f_1 M_c (f_1 k_3 / k_f) \right] = 2\pi R_2' k_3 / k_f = \text{const} . \quad (14)$$

Полагая, что нагрузка привода имеет, например, вентиляторный характер, т.е. описывается равенством:

$$M_c (f_1 k_3 / k_f) = k_B n_2^2 = k_B (f_1 k_3 / k_f)^2 , \quad (15)$$

где $k_B = \text{const}$ – заданный коэффициент, нетрудно получить из (14) уравнение для определения характеристики U / f_1 :

$$U^2 / f_1^3 = 2\pi R_2' k_B k_3^3 / k_f^3 = \text{const} . \quad (16)$$

Аналогично могут быть получены уравнения характеристики U / f_1 для других режимов работы электроприводов с АКД при заданных нагрузках.

Библиографический список

1. Хрущев, В.В. Электрические машины систем автоматики / В.В. Хрущев. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 368 с.
2. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Академа, 2004. – 200 с.
3. Преобразователи частоты OPTIDRIVE для однофазных асинхронных двигателей. Инструкция по установке и эксплуатации. – URL: www.intechincs.ru.
4. Волков, Н.И. Электромашинные устройства автоматики / Н.И. Волков. – М.: Высшая школа, 1986. – 335 с.