

Важной особенностью полученного решения является полная независимость решения от начального распределения, т.е. при решении задач такого типа оправдан произвол в выборе начального распределения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К вопросу о внутримолекулярной релаксации макромолекул / А.Б.Бартман, С.Г.Галактионов, В.П.Попкович, Т.Л.Перельман. — ИФЖ, 1974, т. 27, № 6, с. 1019—1027. 2. Курпант Р., Гилберт Д. Методы математической физики. — М.: ГИИТЛ, 1951. — 459 с.

УДК 621.313.333

В.Г.СИДОРОВ (БПИ)

### ПРЕДЕЛЬНЫЙ МОМЕНТ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ С ПОСТОЯНСТВОМ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ РОТОРА

В [1] показано, что частотное управление асинхронными электродвигателями (АД) с постоянством модуля обобщенного вектора потокосцепления ротора ( $|\bar{\psi}_R| = \psi_R = \text{const}$ ) позволяет получить механические характеристики привода, которые теоретически линейны, т.е. не имеют точки опрокидывающего момента. Данное свойство АД при частотном управлении с  $\psi_R = \text{const}$  без сомнения положительно, однако возникают вопросы: какова "плата" за линейность характеристик? Всегда ли на практике привод способен работать без опрокидывающего момента? Для ответа на эти вопросы рассмотрим взаимосвязь между электромагнитными величинами в АД при управлении с  $\psi_R = \text{const}$ . В частности, установим и проанализируем связь в АД между потокосцеплением ротора  $\psi_R$ , потокосцеплением взаимоиндукции  $\psi_m$  и электромагнитным моментом  $M$ . Общеизвестно [2], что

$$\bar{\psi}_R = \bar{\psi}_m + L_{\sigma R} \bar{I}_R, \quad (1)$$

где  $L_{\sigma R}$  — индуктивность рассеивания фазы ротора;  $\bar{I}_R$  — обобщенный вектор тока ротора АД.

Для установившегося режима в синхронно вращающейся системе координат [2] можно записать

$$\bar{\psi}_R = \psi_R e^{j\varphi_1}; \quad (2)$$

$$\bar{I}_R = I_R e^{j\varphi_2}, \quad (3)$$

где  $\varphi_1, \varphi_2$  — аргументы соответствующих обобщенных векторов в АД;  $\varphi_1 = \text{const}, \varphi_2 = \text{const}$ . С другой стороны, для установивше-

гося режима и принятой системы координат [ 1 ] справедливо соотношение

$$\bar{I}_R R_R = -j(\omega_0 - \omega_{R\dot{\alpha}}) \bar{\psi}_R, \quad (4)$$

где  $R_R$  — активное приведенное сопротивление фазы ротора АД;  $\omega_0$  — угловая частота питающего напряжения;  $\omega_{R\dot{\alpha}}$  — электрическая скорость ротора;  $\omega_{R\dot{\alpha}} = p\omega_R$ ;  $\omega_R$  — механическая (реальная) скорость ротора;  $p$  — число пар полюсов АД. Подставив (2) и (3) в (4), получим

$$I_R R_R e^{j\varphi_1} = (\omega_0 - \omega_{R\dot{\alpha}}) \psi_R e^{j(\varphi_1 - 90^\circ)},$$

откуда следует, что

$$\varphi_2 = \varphi_1 - 90^\circ. \quad (5)$$

Преобразуем (1) с учетом (2), (3), (5), в результате получим соотношение для модулей соответствующих обобщенных векторов

$$\psi_m = \sqrt{\psi_R^2 + L_{\sigma R}^2 I_R^2}. \quad (6)$$

Электромагнитный момент АД можно представить в виде [ 2 ]

$$\bar{M} = \frac{3}{2} p \bar{\psi}_R \bar{I}_R,$$

что, с учетом (5), дает

$$M = \frac{3}{2} p \psi_R I_R. \quad (7)$$

Выразим  $I_R$  из (7) и, подставив в (6), получим

$$\Psi_m = \sqrt{\Psi_R^2 + \left(\frac{2L_{\sigma R}}{3p}\right)^2 \frac{M^2}{\Psi_R^2}}. \quad (8)$$

Преобразуем (8), записав переменные в относительных единицах:

$$\psi_m = \sqrt{\psi_R^2 + a^2 \frac{\mu^2}{\psi_R^2}}; \quad (9)$$

$$a = \sqrt{\psi_{mH}^2 - 1}, \quad (10)$$

где  $\psi_m = \frac{\Psi_m}{\Psi_{RH}}$ ;  $\psi_{mH} = \frac{\Psi_{mH}}{\Psi_{RH}}$ ;  $\mu = \frac{M}{M_H}$ ;  $\psi_R = \frac{\Psi_R}{\Psi_{RH}}$ ;  $\psi_{RH}$ ,

$\Psi_{mH}$ ,  $M_H$  — номинальные значения соответственно потокосцепления ротора, потокосцепления взаимоиндукции и момента АД.

Из (9) следует, что при  $\psi_R = \text{const}$  увеличение момента нагрузки требует увеличения главного потокосцепления  $\psi_m$ . Последнее и представляет, по существу, "плату" за линейность механических характеристик АД при управлении с  $\psi_R = \text{const}$ . Увели-

чение  $\psi_m$ , однако, имеет определенные ограничения. Во-первых, поскольку возрастание  $\psi_m$  обеспечивается за счет увеличения модуля обобщенного вектора I гармоника напряжения статора  $U_s$ , то появляется ограничение по напряжению  $U_s \leq U_{sd}$ . Здесь  $U_{sd}$  — предельно допустимое значение напряжения в системе, определяемое из ТУ на двигатель либо преобразователь. Во-вторых, при увеличении  $\psi_m$  возможно сильное насыщение магнитной системы АД и резкое увеличение потерь на возбуждение, а также вибраций и шума в машине, поэтому необходимо учитывать ограничение по указанным факторам при увеличении  $\psi_m > \psi_{мон}$ , где  $\psi_{мон}$  — главное потокосцепление на холостом ходу при номинальных условиях питания АД. Следует иметь в виду, что если первое ограничение безусловно, то второе — условно, так как его устанавливают из компромисса между силовыми, энергетическими и шумовибрационными показателями привода. Исходя из тех или иных соображений, задано предельное значение главного потокосцепления  $\psi_{m\partial}$ , тогда максимальное значение момента можно выразить из (9):

$$\mu_M = \frac{\psi_R}{a} \sqrt{\psi_{m\partial}^2 - \psi_R^2}. \quad (11)$$

Анализ (11) показывает, что значение максимального момента определяется не только допустимым значением потокосцепления  $\psi_{m\partial}$ , но зависит и от уровня, на котором стабилизирован модуль вектора потокосцепления ротора  $\psi_R = \text{const}$ . Представляет интерес экстремальное значение координат  $\mu_{Mэ}$  и  $\psi_{Rэ}$  функции (11), которые можно получить с помощью условия

$$\left[ \frac{d\mu_M(\psi_R)}{d\psi_R} \right]_{\psi_R = \psi_{Rэ}} = 0. \quad (12)$$

Из решения уравнения (12) имеем

$$\psi_{Rэ} = \frac{\psi_{m\partial}}{\sqrt{2}}, \quad (13)$$

и далее

$$\mu_{Mэ} = \frac{\psi_{m\partial}^2}{2a}. \quad (14)$$

Используя из [1] выражения для механической характеристики привода при управлении с  $\psi_R = \text{const}$ , а также полученные в (13)–(14) значения  $\psi_{Rэ}$ ,  $\mu_{Mэ}$ , определим абсолютное скольжение АД в экстремальной точке:

$$\beta_э = s_H / 2a. \quad (15)$$

Введем в полученные соотношения параметры АД. Для этого перепишем выражение для  $\psi_{m\pi}$  с учетом (6):

$$\psi_{m\pi} = \frac{\Psi_{m\pi}}{\Psi_{RH}} = \frac{\sqrt{\Psi_{RH}^2 + L_{OR} I_{RH}^2}}{\Psi_{RH}}. \quad (16)$$

Затем выразим номинальное значение тока ротора  $I_{Rн}$  из (4) и подставим полученное выражение в (16). После преобразований получим

$$\psi_{mн} = \sqrt{1 + \left(\frac{X_R}{R_R} s_H\right)^2}, \quad (17)$$

где  $X_R$  — индуктивное сопротивление рассеивания обмотки ротора;  $s_H$  — номинальное скольжение АД. С помощью (17) из (10), (15) несложно получить следующие соотношения:

$$a = \frac{X_R}{R_R} s_H; \quad (18)$$

$$\beta_\vartheta = \frac{R_R}{X_R}; \quad (19)$$

$$\psi_{m\vartheta} = \frac{\Psi_{m\vartheta}}{\Psi_{mн}} \sqrt{1 + a^2}. \quad (20)$$

По выражению (19) видно, что значение абсолютного скольжения в точке предельного момента при управлении с  $\psi_R = \text{const}$  не зависит от уровня потокосцепления  $\psi_R$  и равно критическому скольжению [3] асинхронного двигателя, управляемого с  $\psi_m = \text{const}$ . Отсюда ясно, что равны и соответствующие моменты  $\mu_K = \mu_{Mэ}$ . Таким образом, частотное управление с  $\psi_R = \text{const}$  при ограничении  $\psi_m \leq \psi_{m\vartheta}$  по силовым показателям, в частности, по кратности максимального момента  $\mu_{Mэ}$ , не хуже частотного управления с  $\psi_m = \psi_{m\vartheta} = \text{const}$ . Зададимся в качестве предельного значением потокосцепления на холостом ходе при номинальных условиях питания, т.е.

$$\psi_{m\vartheta} = \psi_{mон}. \quad (21)$$

Такое ограничение по потоку представляется нам разумным компромиссом для большинства приводов, от которых не требуется высокого быстродействия. Используя параметры АД из [4],

Т а б л и ц а 1.

Результаты расчетов предельного момента для ряда машин серии 4 А

Высота центра, условная длина	Параметры АД								
	2p = 2			2p = 4			2p = 6		
	$P_{H'}$ , кВт	a, о.е	$\mu_{Mэ'}$ , о.е	$P_{H'}$ , кВт	a, о.е	$\mu_{Mэ'}$ , о.е	$P_{H'}$ , кВт	a, о.е	$\mu_{Mэ'}$ , о.е
90L	3,0	0,0915	6,01	2,2	0,1104	4,97	1,5	0,153	3,6
132M	11	0,1104	4,98	11	0,1140	4,84	7,5	0,088	6,25
200M	37	0,1086	4,98	37	0,1130	4,85	22	0,134	4,09
280S	110	0,154	3,57	110	0,193	2,83	75	0,124	4,44

по выражениям (21), (20), (18), (14) несложно рассчитать предельные значения момента при частотном управлении АД с  $\psi_R = \text{const}$  (табл. 1).

Анализ данных табл. 1 показывает, что максимальное значение момента при управлении с  $\psi_R = \text{const}$  существенно (в два и более раза) превосходит паспортное значение опрокидывающего момента.

Таким образом, сформулированы условия, ограничивающие увеличение момента нагрузки АД, и получены соотношения, позволяющие определить наибольшее значение максимального момента АД при частотном регулировании с постоянством потокосцепления ротора и заданных ограничениях по управлению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоров В.Г. Частотное управление крановым электроприводом со стабилизацией потокосцепления ротора асинхронного двигателя. — В кн.: Тез. докл. республиканского науч.-техн. совещания "Применение систем автоматизированного электропривода на промышленных предприятиях Белоруссии". Минск: БелНИИНТИ, 1982, с. 24—27.
2. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. — Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 743 с.
3. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. — М.: Энергия, 1974. — 327 с.
4. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/А.Э.Кравчик, Н.М.Шлаф, В.И.Афонин, Е.А.Соболенская. — М.: Энергоиздат, 1982. — 504 с.

УДК 62—83:621.314

И.В.БУРДЫКИН, К.И.КОЗЛОВСКИЙ, канд.техн.наук,  
Ю.Н.ПЕТРЕНКО, канд.техн.наук (БПИ)

### ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С микроЭВМ

Широкое применение регулируемого электропривода с двигателями переменного тока сдерживается сложностью законов частотного управления двигателем и, как следствие, сложной аппаратной реализацией этих законов. Очевидные преимущества асинхронных двигателей (АД) — простота конструкции, дешевизна, отсутствие механических контактов — не используются в полной мере. Одним из путей, позволяющих устранить существующее противоречие между конструктивной сложностью системы управления и простой АД с короткозамкнутым ротором, является применение управляющего специализированного вычислительного устройства [1]. Это устройство может быть выполнено на базе микропроцессорного набора или микроЭВМ. В этом случае существенно упрощается конструкция системы управления, уменьшаются ее габариты, повышается надежность системы управления и электропривода в целом. Использование системы управления, выполненной на базе микроЭВМ, позволяет реализовать сложные законы частотного