

УДК 621.313.333

М. А. Глазко

## УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Количество электроприводов, имеющих в своем составе несколько асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АД), увеличивается. Естественно при этом, что моменты сопротивлений на валах данных электродвигателей могут иметь различный характер изменения. Каждый из входящих в систему электродвигателей может работать либо на индивидуальную нагрузку, либо входить в состав взаимосвязанного электропривода [1-2].

Созданию систем управления многодвигательным электроприводом уделяется достаточно много внимания [1, 3-4]. Так как управляемый электропривод по системе преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель ПЧ – АД широко распространен [5], то возникает необходимость использования возможностей этой системы для управления в варианте ПЧ – АД – АД ... АД (рис.1), при котором управление осуществляется от одного управляющего устройства (ПЧ) путем изменения частоты и амплитуды питающего напряжения, которые являются общими управляющими воздействиями для всех электродвигателей. При этом ПЧ может располагаться на значительном удалении от самих электродвигателей.

Для описания процессов, происходящих в подобных системах, можно применить математическую модель [1] в системе синхронных вращающихся координат  $u-v$  в виде:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\Psi_{sui}}{dt} + L_k \sum_{j=1}^N \frac{1}{L'_{sj}} \cdot \frac{d\Psi_{suj}}{dt} &= U_u + item\_iNu, \\ \frac{d\Psi_{svi}}{dt} + L_k \sum_{j=1}^N \frac{1}{L'_{sj}} \cdot \frac{d\Psi_{svj}}{dt} &= U_v + item\_iNv, \\ \frac{d\Psi_{rui}}{dt} &= -R_{ri}i_{rui} + (\omega_n\alpha - p_i\omega_i)\Psi_{rui} = f_i^3, \\ \frac{d\Psi_{rvi}}{dt} &= -R_{ri}i_{rvi} - (\omega_n\alpha - p_i\omega_i)\Psi_{rvi} = f_i^4, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где

$$\left\{ \begin{aligned} item\_iNu &= L_k \sum_{j=1}^N \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} f_j^3 - R_k \sum_{j=1}^N i_{suj} - R_{si}i_{sui} + \omega_n\alpha\Psi_{svi}, \\ item\_iNv &= L_k \sum_{j=1}^N \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} f_j^4 - R_k \sum_{j=1}^N i_{svj} - R_{si}i_{svi} - \omega_n\alpha\Psi_{sui}, \end{aligned} \right.$$

$\Psi_{sui}, \Psi_{svi}, \Psi_{rui}, \Psi_{rvi}$  – составляющие векторов потокосцеплений статоров и роторов АД;  $U_u, U_v$  – составляющие вектора выходного напряжения преобразователя частоты;  $R_{si}, R_{ri}$  – активные сопротивления обмоток статоров и роторов АД;  $i_{sui}, i_{svi},$

$i_{rui}, i_{rvi}$  – составляющие векторов токов статоров и роторов АД;  $L_k, R_k$  – индуктивное и активное сопротивление общего участка кабеля от преобразователя к электродвигателям;  $L'_{sj}$  – переходные индуктивности обмоток статоров АД;  $\omega_n$  – номинальная скорость вращения поля статора;  $\alpha$  – относительная частота тока статора;  $p_i$  – числа пар полюсов;  $k_{rj}$  – коэффициенты электромагнитной связи роторов;  $\omega_i$  – геометрические скорости вращения роторов АД;  $i(j)=1, \dots, N$ ;  $N$  – количество электродвигателей в приводе.

Для решения общей задачи управления со-

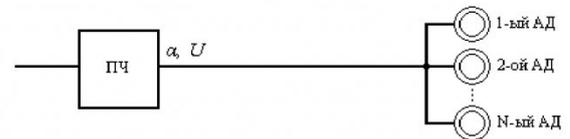


Рис. 1. Схема многодвигательного электропривода

стоянием такого класса электроприводов функционал, количественно оценивающий состояние электропривода и выражающий цель управления, запишем в виде:

$$J = \inf_{\forall \alpha, U \in A} \left( \int_0^t f^0(\{\Psi_{si}, \Psi_{ri}, U, \alpha\}) dt \right), \quad (2)$$

где  $\Psi_{si}, \Psi_{ri}$  – векторы потокосцеплений статоров и роторов АД,  $U$  – вектор выходного напряжения преобразователя частоты,  $A$  – допустимая область изменения  $\alpha$  и  $U$ .

Решая задачу управления объектом (1) при целевом функционале (2) классическими методами вариационного исчисления, можно получить результат – синтезирующую функцию вида:

$$\alpha = \alpha_t + \frac{f^0}{\omega_n \sum_{i=1}^N \frac{L'_{ri}}{k_{si} R_{ri}} \left( \Psi_{rvi} \frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{sui}} - \Psi_{rui} \frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{svi}} \right)}$$

где  $\alpha_t, \alpha$  – текущее и необходимое значения относительной частоты тока статоров АД.

Обратим внимание на отсутствие в правой части функции информации о скоростях вращения роторов АД. Это существенно, поскольку при практической реализации синтезирующей функции отпадает необходимость в использовании датчиков скорости. Необходимо также отметить, что построение синтезирующей функции требует знания параметров магнитной цепи электродвигателя (значений индуктивностей цепи намагничи-

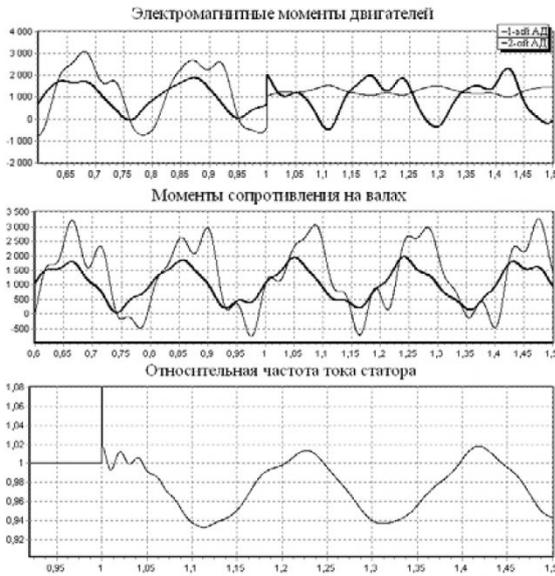


Рис. 2. Управление двумя электродвигателями от одного управляющего устройства

вания и рассеяния статорной обмотки), а также параметров роторной цепи – активного и реактивного сопротивлений.

Конкретизируем цель управления через запись интегранта целевого функционала в виде:

$$f^0 = \sum_{j=1}^N \lambda_j (M_{nj} - M_j)^2,$$

где  $\lambda_j$  – весовые коэффициенты, определяющие “важность” минимизации колебаний электромагнитного момента  $j$ -го электродвигателя,  $M_j$  – текущее значение электромагнитного момента  $j$ -го электродвигателя,  $M_{nj}$  – необходимое значение электромагнитного момента. С учетом этого после дополнительных преобразований запишем:

$$\alpha = \alpha_t + \frac{\sum_{j=1}^N \lambda_j (M_{nj} - M_j)}{\omega_n \sum_{j=1}^N \left( \frac{3}{2} \lambda_j p_j \frac{\Psi_{rj}^2}{R_{rj}} \right)}.$$

При реализации данного способа управления не возникает необходимости в использовании датчиков скорости для определения частоты вращения роторов входящих в систему электродвигателей, что дает возможность использования такого управления в системах, где применение датчиков скорости невозможно либо вызывает трудности при реализации.

На представленных ниже графиках представлены результаты моделирования систем, содержащих два (рис. 2) и три (рис. 3) электродвигателя, питающихся через общий участок кабельной сети при управлении от одного управляющего устройства – преобразователя частоты.

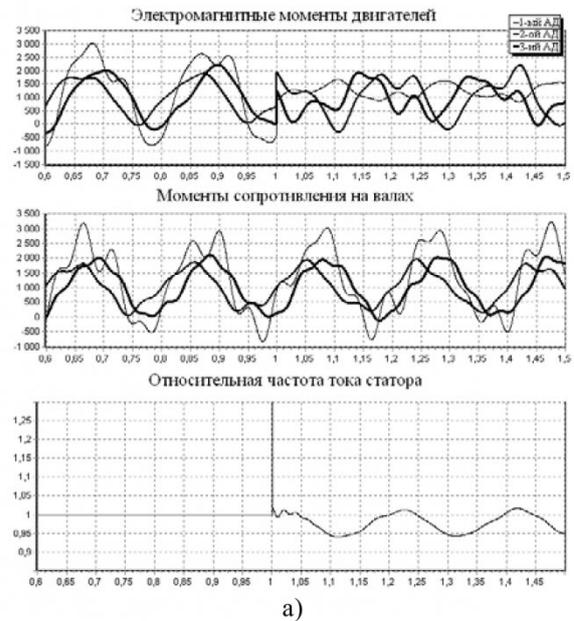
В качестве примера было произведено моделирование систем, содержащих двигатели ЭВР280L4 мощностью 160 кВт. При этом мо-

менты сопротивлений на валах электродвигателей имели различный характер изменения, а управляемый режим начинался через 1 с после запуска двигателей.

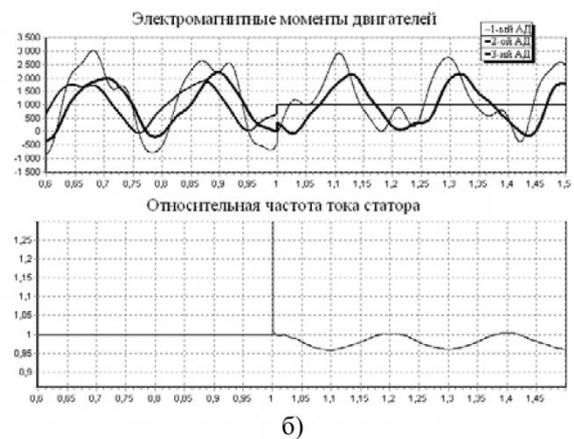
Зависимости на рис. 2 соответствуют управляемому режиму для двухдвигательного электропривода со значениями  $\lambda_1=0,85$ ,  $\lambda_2=0,15$ . Зависимости на рис. 3 соответствуют управляемому режиму для трехдвигательного электропривода со значениями  $\lambda_1=0,7$ ,  $\lambda_2=0,2$ ,  $\lambda_3=0,1$  – (рис. 3, а) и  $\lambda_1=0,005$ ,  $\lambda_2=0,99$ ,  $\lambda_3=0,005$  – (рис. 3, б). Моделирование для всех случаев производилось с учетом влияния общего участка кабельной сети от преобразователя к двигателям протяженностью 100 метров.

Изменение амплитуды питающего напряжения при этом производилось прямопропорционально изменению частоты.

Анализируя полученные в результате моделирования данные, можно сделать вывод, что данный способ частотного управления многодвига-



а)



б)

Рис. 3. Управление тремя электродвигателями от одного управляющего устройства

тельным электроприводом позволяет:

- распределять нагрузку между электродвигателями;
- при работе двигателей с моментами сопротивления, имеющими пульсирующий характер, снизить амплитуды пульсаций электромагнитных

моментов электродвигателей;

- использовать в качестве управляющего устройства один частотный преобразователь;
- исключить из системы управления датчики скоростей вращения роторов электродвигателей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ещин Е. К. Электромеханические системы многодвигательных электроприводов. Моделирование и управление. – Кемерово: Кузбасский гос. техн. ун-т, 2003. – 247 с.
2. Москаленко В. В. Электрический привод. – М.: Мастерство: Высшая школа, 2000. – 368 с.
3. Дочвири Д. Н. Многодвигательный автоматизированный электропривод с упругими связями // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. 2001. №2. С. 114-119.
4. Кунишин П. Н., Егоров С. В. Выравнивание нагрузок в микропроцессорных многодвигательных электроприводах // Проблемы развития автоматизированного электропривода промышленных установок: Труды Всероссийской научно-практической конференции / Под общ. ред. В. Ю. Островляничка, П. Н. Кукинина. - Новокузнецк: СибГИУ, 2002. С. 102-109.
5. MITSUBISHI transistorized inverter FR-E500 instruction manual. Mitsubishi Electric Corporation. Jul. 2001. – 198 p.

□ Автор статьи:

Глазко  
Михаил Александрович  
- аспирант каф. вычислительной техники и информационных технологий

УДК 621.313.33

**В.Г. Каширских, А.В.Нестеровский**

## ОЦЕНКА ИНДУКТИВНОСТИ ЦЕПИ НАМАГНИЧИВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО РАБОТЫ

Как показано в [1], при оценке параметров и состояния асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (АД) величина индуктивности цепи намагничивания мало влияет на точность оценок, при условии ее достаточно большого по сравнению с индуктивностями рассеяния значения.

Это справедливо для переходных процессов, например процесса пуска АД, когда величины намагничивающего тока и потокосцепления цепи намагничивания относительно малы, а также для статических режимов с существенным скольжением. Чем ближе режим работы машины к режиму холостого хода, тем сильнее сказывается влияние индуктивности цепи намагничивания  $L_m$  на точность оценок состояния АД, но, с другой стороны, более точно можно оценить саму величину  $L_m$ .

Для оценки индуктивности цепи намагничивания воспользуемся следующей моделью АД:

$$\begin{aligned} \dot{\Psi}_s &= U_s - I_s \cdot R_s; & (1) \\ \dot{\Psi}_r &= -I_r \cdot R_r + jp \cdot \omega_r \Psi_r; \\ I_r &= \frac{\Psi_r - k_s \cdot \Psi_s}{L'_r}; I_s = \frac{\Psi_s - k_r \cdot \Psi_r}{L'_s}, \end{aligned}$$

где  $\Psi_s, \Psi_r$  - векторы потокосцепления статора и ротора;  $U_s, I_s$  - векторы напряжения и тока статора;  $I_r$  - вектор тока ротора;  $R_s, R_r$  - активные сопротивления статора и ротора;  $p$  - число пар полюсов;  $\omega_r$  - частота вращения ротора;

$$k_s = \frac{L_m}{L_m + L_{sl}}, k_r = \frac{L_m}{L_m + L_{rl}}$$

- коэффициенты электромагнитной связи статора и ротора;

$$L'_s = L_{sl} + k_r \cdot L_{rl}, L'_r = L_{rl} + k_s \cdot L_{sl}$$

- переходные индуктивности статора и ротора;

$L_m$  - индуктивность цепи намагничивания;

$L_{sl}, L_{rl}$  - индуктивности рассеяния статора и ротора. Параметры  $R_s, R_r, L'_s, L'_r$ , а также величины, определяющие состояние АД -  $\Psi_s, \Psi_r, \omega_r$ , определяются согласно [1, 2], при этом знание величины индуктивности цепи намагничивания не требуется.

Определение величины  $L_m$  будем производить следующим образом: для относительно небольшой выборки по времени (порядка 20-60 мс, т.е. 1-3 периода сетевого напряжения) осуществ-