

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 622:621.313-83

Е. К. Ещин

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МОМЕНТАМИ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ОДНОГО УДАЛЕННОГО ИНВЕРТОРА

Решению задачи управления параллельно соединенными асинхронными электродвигателями, получающих питание от одного инвертора посвящено значительное число работ, например, [1-5,9].

Как отмечено в [1], задача в такой постановке не нова и изучается уже более двадцати лет в связи с ее актуальностью применительно к электроприводам транспортных систем.

При этом рассматриваются различные варианты объединения электродвигателей – по два [1,2,4,9], три [5], произвольного числа – [3].

Описываются различные расчетные схемы для построения математических моделей исследуемых структур, в т.ч., с использованием усредняющих моделей (using the averaging model of the parallel-connected motors) [3].

Особенностью таких вариантов электроприводов является возможность исключения из рассмотрения параметров кабельных отрезков, соединяющих инвертор и двигатели из-за малости их длин. Вместе с тем, в некоторых случаях, например, при управлении группой асинхронных электродвигателей, расположенных на значительном расстоянии от инвертора, учет параметров кабельной сети необходим.

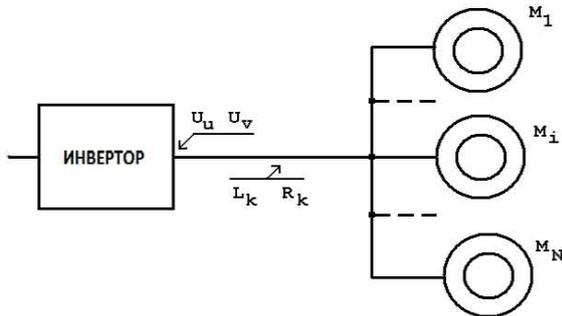


Рис. 1 Расчетная схема параллельно работающих АД при питании от одного инвертора

Рассмотрим вариант, соответствующий рис.1.

Состояние этой структуры, с учетом параметров возможного кабеля, соединяющего инвертор и электродвигатели, может быть описано по [6]:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi_{s\alpha i}}{dt} + L_k \sum_{j=1}^N \frac{1}{L'_{sj}} \cdot \frac{d\Psi_{s\alpha j}}{dt} = \\ = U_\alpha + item_i N\alpha, \\ \frac{d\Psi_{s\beta i}}{dt} + L_k \sum_{j=1}^N \frac{1}{L'_{sj}} \cdot \frac{d\Psi_{s\beta j}}{dt} = \\ = U_\beta + item_i N\beta, \\ \frac{d}{dt} \Psi_{r\alpha i} = -R_{ri} i_{r\alpha i} - p \omega_i \Psi_{r\beta i} = f_i^3, \\ \frac{d}{dt} \Psi_{r\beta i} = -R_{ri} i_{r\beta i} + p \omega_i \Psi_{r\alpha i} = f_i^4. \end{cases}$$

$$i_{r\alpha j} = \frac{\Psi_{r\alpha j}}{L'_{rj}} - \frac{k_{sj}}{L'_{rj}} \Psi_{s\alpha j}, \quad i_{r\beta j} = \frac{\Psi_{r\beta j}}{L'_{rj}} - \frac{k_{sj}}{L'_{rj}} \Psi_{s\beta j},$$

$$i_{s\alpha j} = \frac{\Psi_{s\alpha j}}{L'_{sj}} - \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} \Psi_{r\alpha j}, \quad i_{s\beta j} = \frac{\Psi_{s\beta j}}{L'_{sj}} - \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} \Psi_{r\beta j},$$

$$item_i N\alpha = L_k \sum_{j=1}^N \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} f_j^3 - R_k \sum_{j=1}^N i_{s\alpha j} - R_{si} i_{s\alpha i},$$

$$item_i N\beta = L_k \sum_{j=1}^N \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} f_j^4 - R_k \sum_{j=1}^N i_{s\beta j} - R_{si} i_{s\beta i}.$$

где $\Psi_{s\alpha}, \Psi_{s\beta}, \Psi_{r\alpha}, \Psi_{r\beta}$, имеющие индексы i или j , составляющие потокосцеплений статоров и роторов АД по осям неподвижной системы координат α, β (фазовые координаты); R_k, L_k - активное сопротивление и индуктивность общего участка кабельной сети; R_{si}, R_{ri} - активные сопротивления статоров и роторов АД; ω_n - синхронная угловая частота вращения поля статора АД; ω_i - геометрические частоты вращения роторов АД; p_i - числа пар полюсов; k_{rj} - коэффициенты электромагнитной связи роторов; L_{sj} - переходные индуктивности статоров; U_α, U_β - составляющие напряжения питания по осям α, β (управляющие воздействия) на выходе преобразователя частоты; $\alpha -$

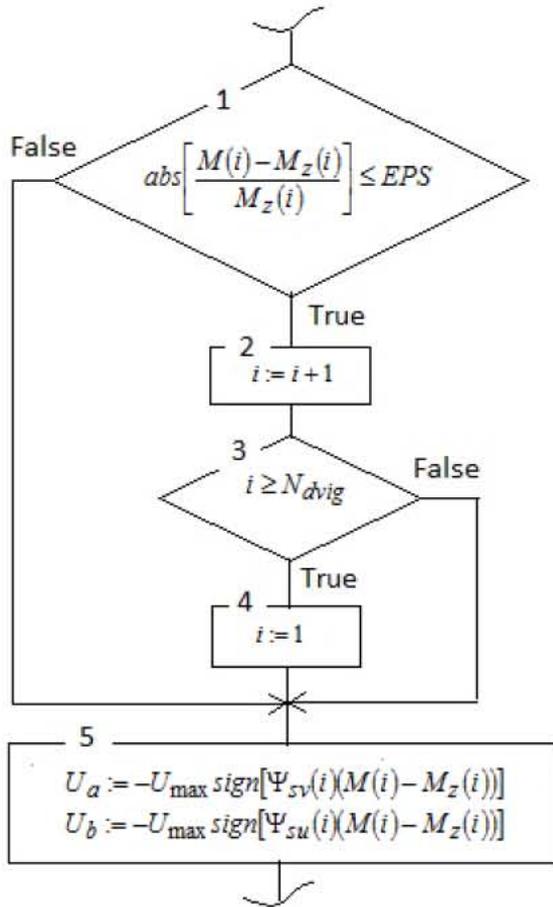


Рис. 2 Алгоритм последовательной передачи управления электродвигателями (i – номер двигателя, на который ориентировано управление, $M(i)$, $M_z(i)$ – текущее и задаваемое значения электромагнитного момента двигателя, N_{dvig} – количество двигателей, EPS – относительная погрешность)

относительная частота тока статоров АД.

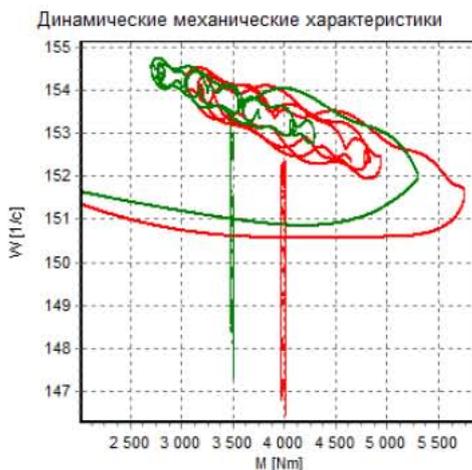
Задача управления АД может рассматриваться как задача минимизации функционала, записанного в интегральной форме и выражающего цель управления для каждого АД по рис.1,

$$J = \int_0^t (M_{zi} - M_i)^2 dt,$$

где M_{zi} , M_i – необходимые и мгновенные значения электромагнитного момента i -го АД. Решение этой задачи для одного электродвигателя известно [7] - блок 5 на рис. 2.

Результаты применения этого алгоритма в алгоритме последовательной передачи управления значениями электромагнитных моментов (рис.2) асинхронных электродвигателей ЭВР280L4

а)



б)

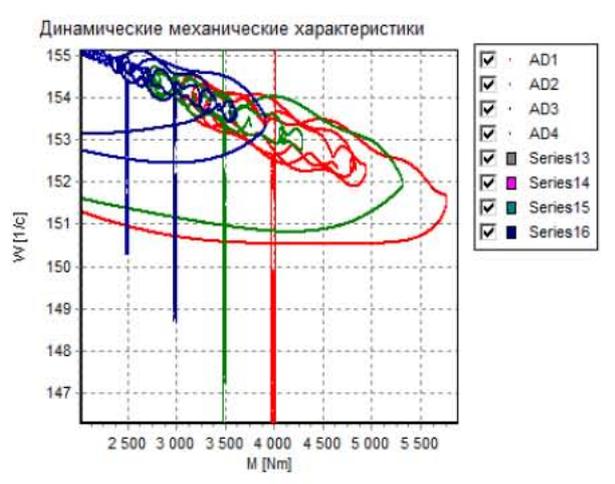


Рис. 3 Динамические механические характеристики при управлении 2-мя (а) и 4-мя (б) электродвигателями с величиной относительной погрешности $EPS=0.005$

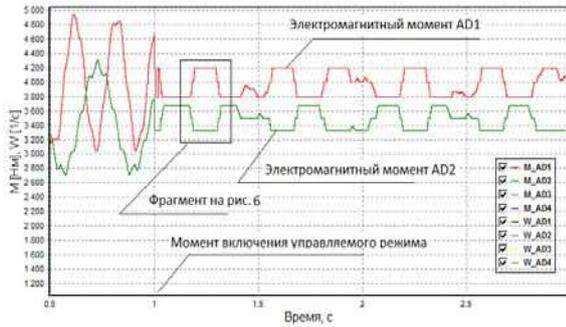


Рис. 9 Характер изменения электромагнитных моментов AD1, AD2 при задании 5% погрешности регулирования электромагнитных моментов (Задаваемое значение для AD1 – 4000 Нм, AD2 – 3500 Нм)

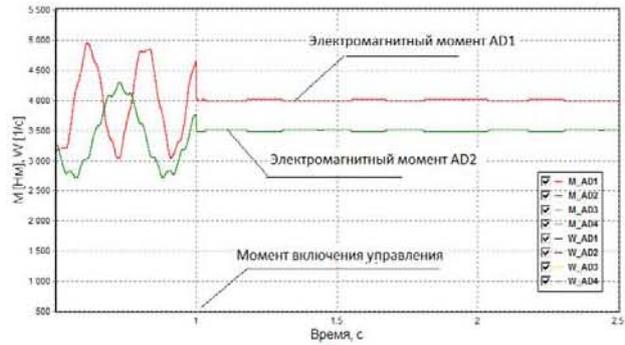


Рис. 9 Характер изменения электромагнитных моментов AD1, AD2 при задании 0.5% погрешности регулирования электромагнитных моментов (Задаваемое значение для AD1 – 4000 Нм, AD2 – 3500 Нм)

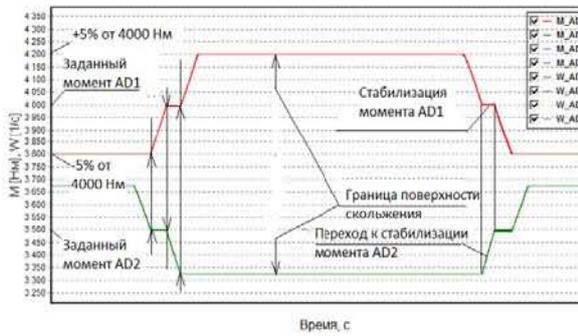


Рис. 9 Форма изменения электромагнитных моментов АД для алгоритма поочередного управления величиной электромагнитных моментов при 5% погрешности и движении по границам поверхностей скольжения (два двигателя)

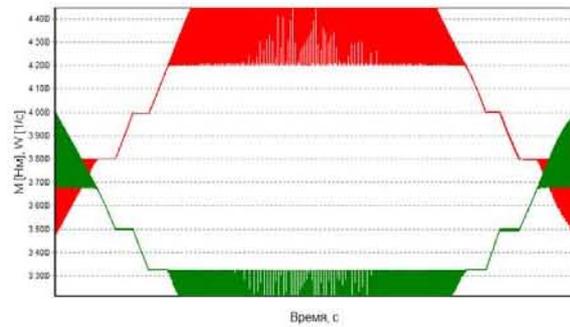


Рис. 9 Изменения электромагнитных моментов АД для алгоритма поочередного управления величиной электромагнитных моментов при 5% погрешности и движении по поверхностям скольжения (два двигателя)

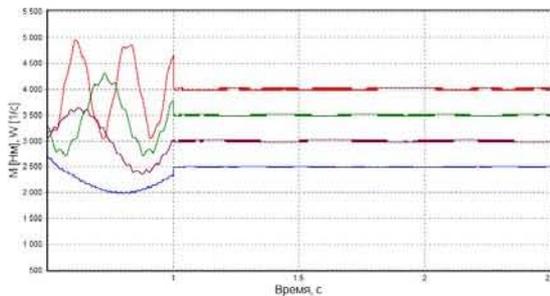


Рис. 9 Форма изменения электромагнитных моментов АД для алгоритма поочередного управления величиной электромагнитных моментов при 5% погрешности и движении по границам поверхностей скольжения (четыре двигателя)

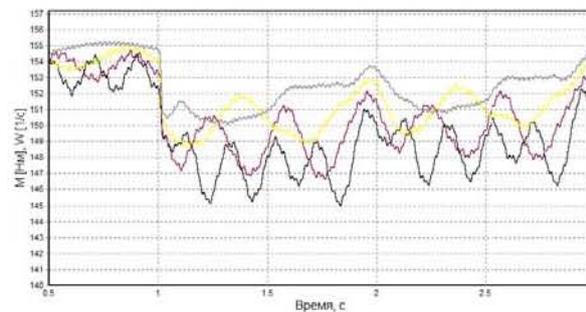


Рис. 9 Форма изменения угловых скоростей вращения АД для алгоритма поочередного управления величиной электромагнитных моментов при 5% погрешности и движении по границам поверхностей скольжения (четыре двигателя)

(160кВт), работающих с различными моментами сопротивления приведены на рис. 4-9.

Применение алгоритма последовательной передачи управления по рис.2 обеспечивает характерную последовательность движения по траекториям изменения электромагнитных моментов асинхронных электродвигателей (рис.6).

На этом рисунке прослеживаются этапы перехода от границ поверхностей скольжения к задаваемым значениям электромагнитных моментов

Видно, что в промежутках времени, соответствующих задаваемым значениям электромагнитного момента одного двигателя происходит переход другого двигателя к его задаваемому значению момента или к границе поверхности скольжения. Полученные результаты моделирования позволяют сделать вывод о возможности построения эффективной системы управления группой АД, получающих питание от одного удаленного инвертора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Francisco J. Pérez-Pinall, Ciro Núñez, Ricardo Álvarez*. A novel Speed Control Approach in Parallel-Connected Induction motor by using a single inverter and Electronic Virtual Line-Shafting // Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05. IEEE 36th 2005 Page(s):1339 - 1345
2. *Hirotooshi Kawai, Yusuke Kouno, Kouki Matsuse*. Characteristics of Speed Sensorless Vector Control of Parallel Connected Dual Induction Motor Fed by A Single Inverter // Power Conversion Conference, 2002. PCC Osaka 2002. Proceedings of the Volume 2, 2-5 April 2002 Page(s):522 - 527 vol.2
3. *Jiangbo Wang, Yue Wang, Zhaoan Wang, Jun Yang, Yunqing Pei, Qiang Dong*. Comparative Study of Vector Control Schemes For Parallel-Connected Induction Motors // Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05. IEEE 36th 2005 Page(s):1264 - 1270
4. *Itaru Ando, Motoki Sate, Masaki Sazawa, Kiyoshi Ohishi*. High Efficient Parallel-Connected Induction Motor Speed Control with Unbalanced Load Condition using One Inverter // Industrial Electronics Society, 2003. IECON '03. The 29th Annual Conference of the IEEE Volume 1, 2-6 Nov. 2003 Page(s):162 - 167 vol.1
5. *Yusuke KONO, Taketo FUSHIMI and Kouki MATSUSE*. Speed Sensorless Vector Control of Parallel Connected Induction Motors // Power Electronics and Motion Control Conference, 2000. Proceedings. IPEMC 2000. The Third International Volume 1, 15-18 Aug. 2000 Page(s):278 - 283 vol.1
6. *Ещин Е.К.* Электромеханические системы многодвигательных электроприводов. Моделирование и управление. - Кемерово: Кузбасский гос. техн. ун-т, 2003. -247 с.
7. *Ещин Е.К.* Задача управления электромагнитным моментом асинхронного электродвигателя – прямое управление моментом // Вестник КузГТУ, 2006. №6.2. С.61-63.
8. *Ещин Е.К.* Управление электромагнитными моментами параллельно работающих асинхронных электродвигателей от одного инвертора // Вестник КузГТУ, 2007. №5. С.49-50.
9. *R. Gunabalan and V. Subbiah*. Speed -Sensorless Vector Control of Parallel Connected Induction Motor Drive Fed by a Single Inverter using Natural Observer // International Journal of Electrical and Computer Engineering 5:5 2010 Page(s):316 - 321.

□ Автор статьи:

Ещин

Евгений Константинович,
докт. техн.наук, профессор
каф. прикладных информаци-
онных технологий КузГТУ.
Email: eke@kuzstu.ru

УДК 622.313.33

А.Н. Гаргаев, В.Г. Каширских

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для повышения надежности и эффективности работы двигателей постоянного тока (ДПТ) необходимо использовать систему функциональной диагностики и защиты от аварийных режимов работы. Информация для этой системы может быть получена в реальном времени с помощью динамической идентификации ДПТ.

Одним из эффективных методов для этих целей является фильтр Калмана [1], который позволяет оценивать вектор состояния и параметров исследуемой системы при известной структуре ее динамической модели, с использованием ряда неполных и зашумленных измерений. В данной статье приведены результаты проверки возможности использования фильтра Калмана для динамической идентификации ДПТ.

Для применения фильтра Калмана математическая модель системы разделяется на две части [2]:

1) модель, описывающая состояние системы:

$$x_{[k+1]} = F_{[k+1|k]}x_{[k]} + B_{[k+1|k]}u_{[k]} + w_{[k]}, \quad (1)$$

где x – вектор состояния системы; u – вектор входных воздействий; w – вектор возмущающих воздействий; F – переходная матрица состояния; B – переходная матрица управления;

2) модель, описывающая цепь измерения системы:

$$y_{[k]} = H_{[k]}x_{[k]} + G_{[k]}u_{[k]} + v_{[k]}, \quad (2)$$

где y – вектор измеряемых переменных; v – вектор шумов измерительной системы; H , G – мат-