

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-

рицы коэффициентов. Подстрочный индекс обозначает момент времени: k – текущий, $k+1$ – последующий.

Для одновременной идентификации переменных величин и параметров фильтр Калмана расширяют, добавляя к вектору состояния x вектор параметров θ . При этом линейные уравнения (1) и (2) становятся нелинейными по параметрам.

Алгоритм работы расширенного фильтра Калмана можно разделить на две повторяющиеся процедуры: сначала производится предсказание состояния системы и предсказание измеряемой величины на основании полученных данных о состоянии, а затем производится корректировка предсказанного состояния с использованием ошибки измерения.

Далее определяются переходные матрицы и,

путем последовательного решения системы матричных уравнений, коэффициента передачи Калмана.

В качестве математической модели состояния ДПТ будем использовать известные уравнения, представленные в виде:

$$\frac{di_B}{dt} = (U_B - i_B \cdot R_B) L_B^{-1};$$

$$\frac{di_A}{dt} = (U_A - i_A \cdot R_A - i_B \omega_{ЭД} L_{12}) L_A^{-1}.$$

После преобразования этих уравнений и расширения вектора состояния, добавляем вектор параметров. В результате получим расширенную дискретную модель состояния обмоток возбуждения и якоря:

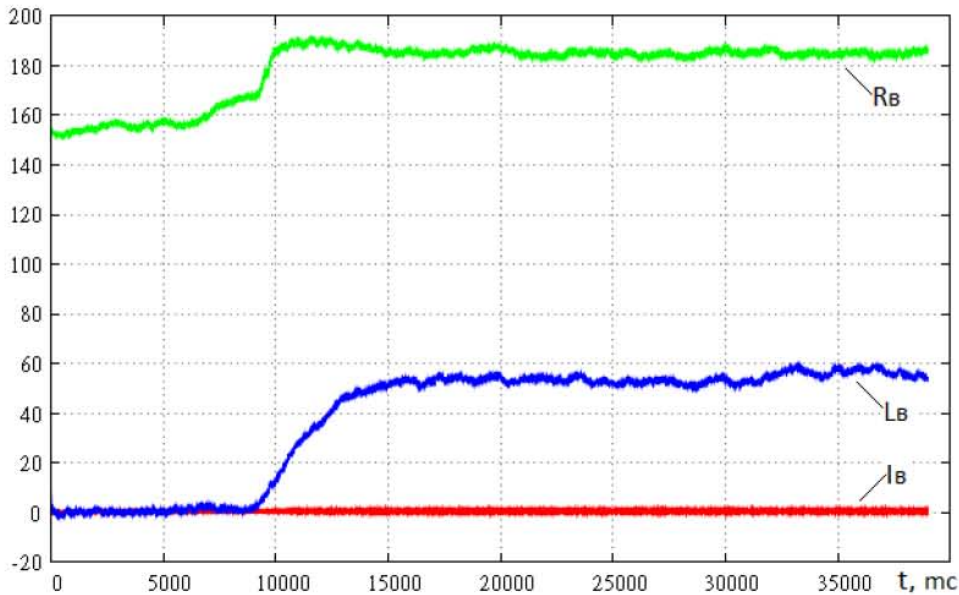


Рис. 1. Процесс оценивания параметров обмотки возбуждения ДПТ с шумом

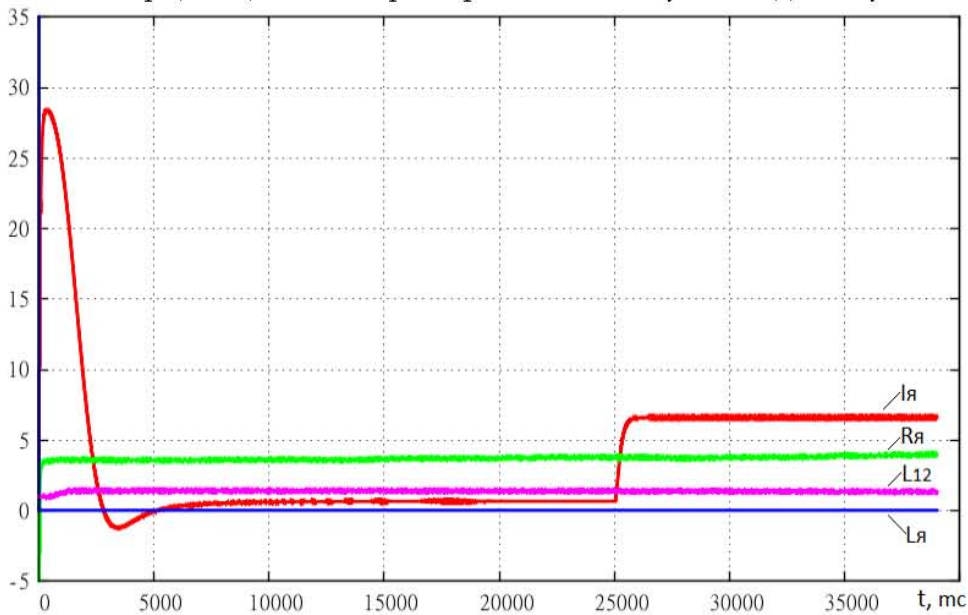


Рис. 2. Процесс оценивания параметров обмотки якоря ДПТ с шумом

$$i_{B[k+1]} = i_{B[k]} + (U_{B[k]} - i_{B[k]} \cdot R_{B[k]}) L_{B[k]}^{-1} T_K;$$

$$R_{B[k+1]} = R_{B[k]}; \quad L_{B[k+1]}^{-1} = L_{B[k]}^{-1};$$

$$i_{Я[k+1]} = i_{Я[k]} + \begin{pmatrix} U_{Я[k]} - i_{Я[k]} \cdot R_{Я[k]} - \\ - \omega_{[k]} \cdot L_{12[k]} \cdot i_{B[k]} \end{pmatrix} L_{Я[k]}^{-1} T_K;$$

$$R_{Я[k+1]} = R_{Я[k]}; \quad L_{Я[k+1]}^{-1} = L_{Я[k]}^{-1}; \quad L_{12[k+1]} = L_{12[k]}.$$

Здесь $U_{Я}, U_B$ - напряжения питания обмоток якоря и возбуждения; $I_{Я}, I_B$ - токи обмотки якоря и обмотки возбуждения; $L_{Я}, L_B$ - индуктивности обмотки якоря и обмотки возбуждения; L_{12} - взаимная индуктивность; p - число пар полюсов; $R_{Я\Sigma}, R_B$ - активные сопротивления обмоток якоря и возбуждения; ω - частота вращения якоря; T_K - период дискретизации.

Предсказание состояния ДПТ для обмотки возбуждения и обмотки якоря будем осуществлять по следующим уравнениям:

$$f(x_{eB}, z) = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_B + (U_B - i_B \cdot R_B) L_B^{-1} T_K \\ R_B \\ L_B^{-1} \end{bmatrix}$$

$$f(x_{eЯ}, z) = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{Я} + \begin{pmatrix} U_{Я} - i_{Я} \cdot R_{Я} - \\ - \omega_{эл} \cdot L_{12} \cdot i_B \end{pmatrix} L_{Я}^{-1} T_K \\ R_{Я} \\ L_{Я}^{-1} \\ L_{12} \end{bmatrix}$$

где $x_{eB} = [i_B \ R_B \ L_B^{-1}]$; $x_{eЯ} = [i_{Я} \ R_{Я} \ L_{Я}^{-1} \ L_{12}]$ - оцениваемые вектора состояния и параметров обмотки возбуждения и якоря. Частные производные, полученные из этих уравнений, позволят найти переходные матрицы состояния ДПТ в виде:

$$F_{e(k)} = \begin{bmatrix} \Lambda_1 & \Lambda_2 & \Lambda_3 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} \Lambda_1 &= 1 - \hat{R}_{B[k]} \hat{L}_{B[k]}^{-1} T_K; \\ \Lambda_2 &= -\hat{i}_{B[k]} \hat{L}_{B[k]}^{-1} T_K; \\ \Lambda_3 &= (U_B - \hat{i}_{B[k]} \cdot \hat{R}_{B[k]}) T_K; \end{aligned}$$

$$F_{e(k)} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 = 1 - \hat{R}_{Я[k]} \hat{L}_{Я[k]}^{-1} T_K;$$

$$\lambda_2 = -\hat{i}_{Я[k]} \cdot \hat{L}_{Я[k]}^{-1} T_K;$$

$$\lambda_3 = (U_{Я} - \hat{i}_{Я[k]} \cdot \hat{R}_{Я[k]} - \omega_{[k]} \cdot \hat{L}_{12[k]} \cdot \hat{i}_{B[k]}) T_K;$$

$$\lambda_4 = -\omega_{[k]} \cdot \hat{L}_{Я[k]}^{-1} \cdot \hat{i}_{B[k]} \cdot T.$$

Математические модели цепи измерения обмоток возбуждения и якоря будут при этом иметь следующий вид:

$$y_{B[k]} = i_{B[k]}; \quad y_{Я[k]} = i_{Я[k]},$$

а матрицы коэффициентов:

$$H_{B[k]} = [1 \ 0 \ 0]; \quad H_{Я[k]} = [1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

Результаты компьютерного моделирования ДПТ типа П-12 и работы алгоритма оценивания параметров приведены в таблице и рис. 1,2.

	Параметры и переменные состояния модели	Оцененные параметры и переменные состояния	Относительная погрешность, %
Ив, А	0.541	0.5398	0.22
Рв, Ом	185	185.72	0.39
Лв, Гн	50	52.66	5.32
Ия, А	6.607	6.608	0.015
Ря, Ом	3.5	3.589	2.54
Ля, Гн	0.02	0.0253	26.5
Л12, Гн	1.4	1.3894	0.76

Анализ полученных результатов показал, что фильтр Калмана позволяет определять параметры и переменные состояния ДПТ в реальном времени с допустимой для практического использования погрешностью (за исключением суммарной индуктивности якорной цепи) и его можно использовать для получения информации, необходимой для системы функциональной диагностики и защиты от аварийных режимов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Эйххофф П.* Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния. - М.: Мир, 1975. - 687 с.
2. *Завьялов В.М.* Управление динамическим состоянием асинхронных электроприводов горных машин [текст]: Диссертация на соискание учен. степени д-ра техн. наук. - Кемерово, 2009.

Авторы статьи

Гаргаев
Андрей Николаевич, аспирант кафедры электропривода и автоматизации КузГТУ.
E-mail: andrei345@yandex.ru

Каширских
Вениамин Георгиевич,
докт. техн. наук, профессор каф. электропривода и автоматизации КузГТУ.
E-mail: kvg@kuzstu.ru