

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ПИТАНИЯ

С.М. Пересада, докт. техн. наук, С.Н. Ковбаса, канд. техн. наук, В.О. Благодир, асп., Т.В. Дынник, асп. Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", пр. Победы, 37, Киев-56, 03056, Украина
E-mail: skovbasa@ukr.net

Представлены результаты экспериментального тестирования наблюдателя частоты и мгновенных значений компонент вектора напряжения сети питания для применения в алгоритмах векторного управления, использующих ориентирование по вектору напряжения сети. Экспериментально и методом математического моделирования показано, что наблюдатель гарантирует глобальное асимптотическое оценивание параметров сети и высокое быстродействие. Библ. 5, рис. 4.

Ключевые слова: напряжение сети питания, адаптивный наблюдатель, частота.

Введение. Для большинства систем преобразования энергии необходима синхронизация алгоритма векторного управления с вектором напряжения питания. Типовыми представителями являются системы управления активными силовыми фильтрами [5], управляемыми выпрямителями преобразователей частоты [2], асинхронными машинами двойного питания [4] и другие. Поскольку информация о векторе напряжения питания используется для осуществления преобразований координат, то результаты измерений требуют дополнительной цифровой обработки с целью фильтрации высших гармоник, импульсных помех и других неидеальностей. Типовое решение как промышленный стандарт базируется на использовании систем фазовой синхронизации (PLL – Phase locked loops) [3], которые являются сложными нелинейными фильтрами. В работе [1] разработан новый концептуальный подход к измерению вектора напряжения питающей сети, который основан на использовании теории адаптивных наблюдателей. Цель настоящей статьи – экспериментальное тестирование наблюдателя [1].

Адаптивный наблюдатель. Адаптивный наблюдатель частоты и компонент вектора напряжения сети задается в виде

$$\begin{aligned}\dot{\hat{u}}_{1a} &= -\hat{\omega}_1 u_{1b} + k \cdot \tilde{u}_{1a}; \\ \dot{\hat{u}}_{1b} &= \hat{\omega}_1 u_{1a} + k \cdot \tilde{u}_{1b}; \\ \dot{\hat{\omega}}_1 &= -\gamma (\tilde{u}_{1a} u_{1b} - \tilde{u}_{1b} u_{1a}),\end{aligned}\quad (1)$$

где \hat{u}_{1a} , \hat{u}_{1b} – оцененные значения компонент вектора напряжения сети u_{1a} , u_{1b} в двухфазной системе координат; $\hat{\omega}_1$ – оцененное значение угловой скорости вращения вектора напряжения; $\tilde{u}_{1a} = u_{1a} - \hat{u}_{1a}$ и $\tilde{u}_{1b} = u_{1b} - \hat{u}_{1b}$ – ошибки оценивания компонент вектора напряжения; $k > 0$ и $\gamma > 0$ – настроечные коэффициенты.

Как показано в работе [2], динамика ошибок оценивания описывается уравнениями

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{u}}_{1a} &= -\tilde{\omega}_1 u_{1b} - k \cdot \tilde{u}_{1a}; \\ \dot{\tilde{u}}_{1b} &= \tilde{\omega}_1 u_{1a} - k \cdot \tilde{u}_{1b}; \\ \dot{\tilde{\omega}}_1 &= \gamma (\tilde{u}_{1a} u_{1b} - \tilde{u}_{1b} u_{1a}),\end{aligned}\quad (2)$$

где $\tilde{\omega}_1 = \omega_1 - \hat{\omega}_1$ – ошибка оценивания угловой скорости вращения вектора напряжения.

Система (2) является глобально асимптотически устойчивой. Это свидетельствует о том, что наблюдатель (1) обеспечивает асимптотичность оценивания u_{1a} , u_{1b} и ω_1 , т. е.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{u}_{1a}, \tilde{u}_{1b}, \tilde{\omega}_1) = 0. \quad (3)$$

Результаты экспериментального тестирования. Для тестирования наблюдателя использована часть экспериментальной установки с машиной двойного питания (МДП) пониженного напряжения (номинальное напряжение статора 168 В), которая включает в себя трансформатор Т1, формирующий пониженное напряжение питания статора МДП, два датчика напряжения типа LV-25, работающих на эффекте Холла, унифицированный контроллер на основе цифрового сигнального процессора TMS320LF2406A (16 bit, fixed point), персональный компьютер. Упрощенная функциональная схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

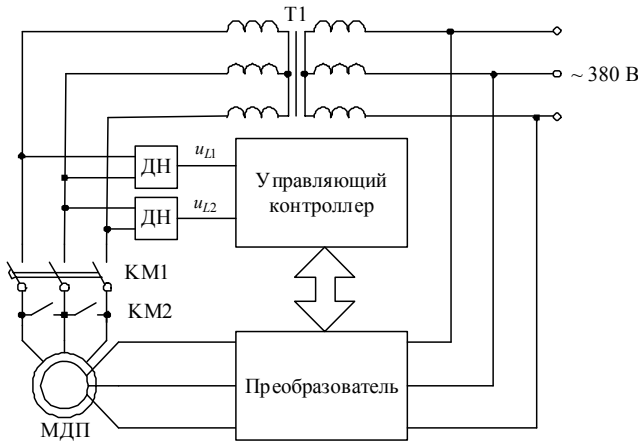


Рис. 1

Начальные условия наблюдателя установлены равными $\hat{u}_{1a}(0) = 0$, $\hat{u}_{1b}(0) = 0$, $\hat{\omega}_1(0) = 0$, а настроечные коэффициенты $\gamma = 1$, $k = 500$. Полученные экспериментальным путем графики переходных процессов показаны на рис. 2. Отработка начальных условий наблюдателем происходит за время, равное 0,03 с, что соизмеримо с периодом напряжения питания.

Графики переходных процессов, полученные методом математического моделирования при выполнении аналогичного теста, показаны на рис. 3. Таким образом, сравнение результатов моделирования и

эксперимента указывает на их высокую степень совпадения, что дополнительно подтверждает достоверность выполненных исследований.

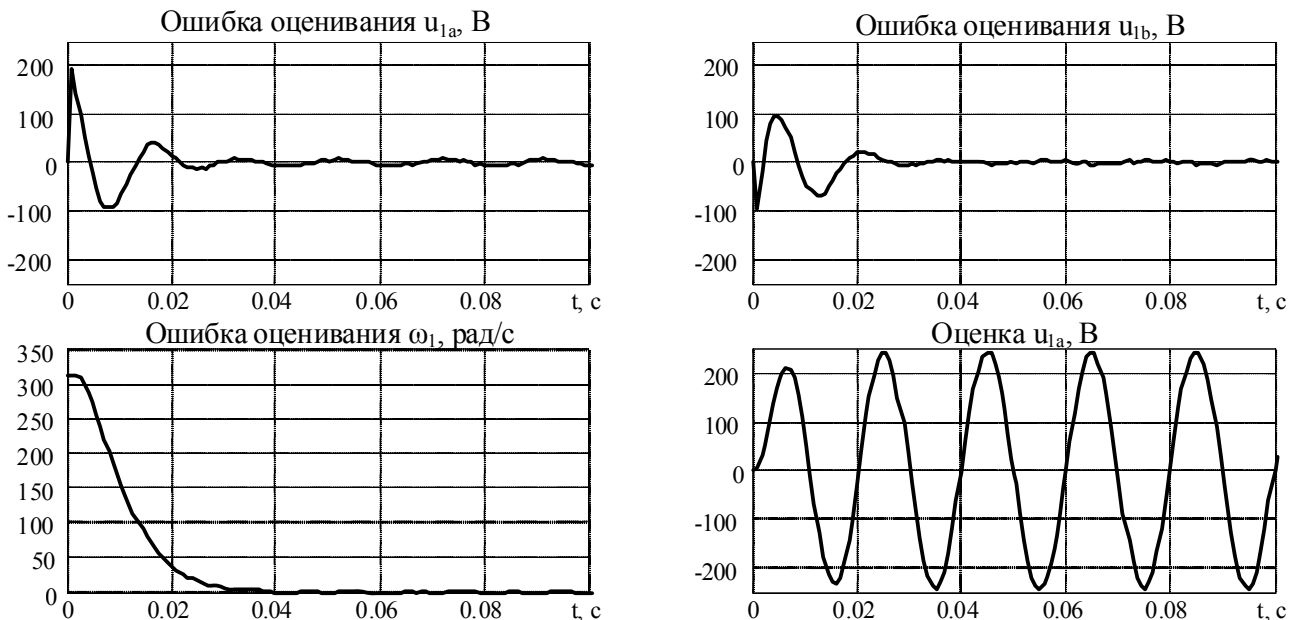


Рис. 2

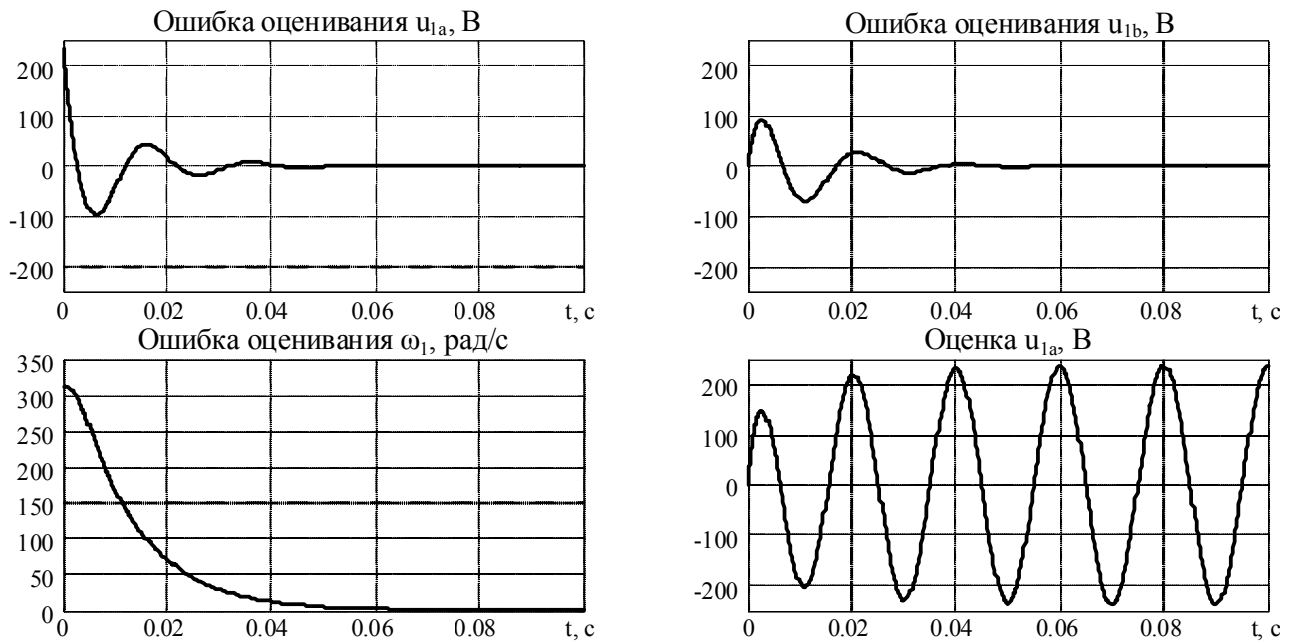


Рис. 3

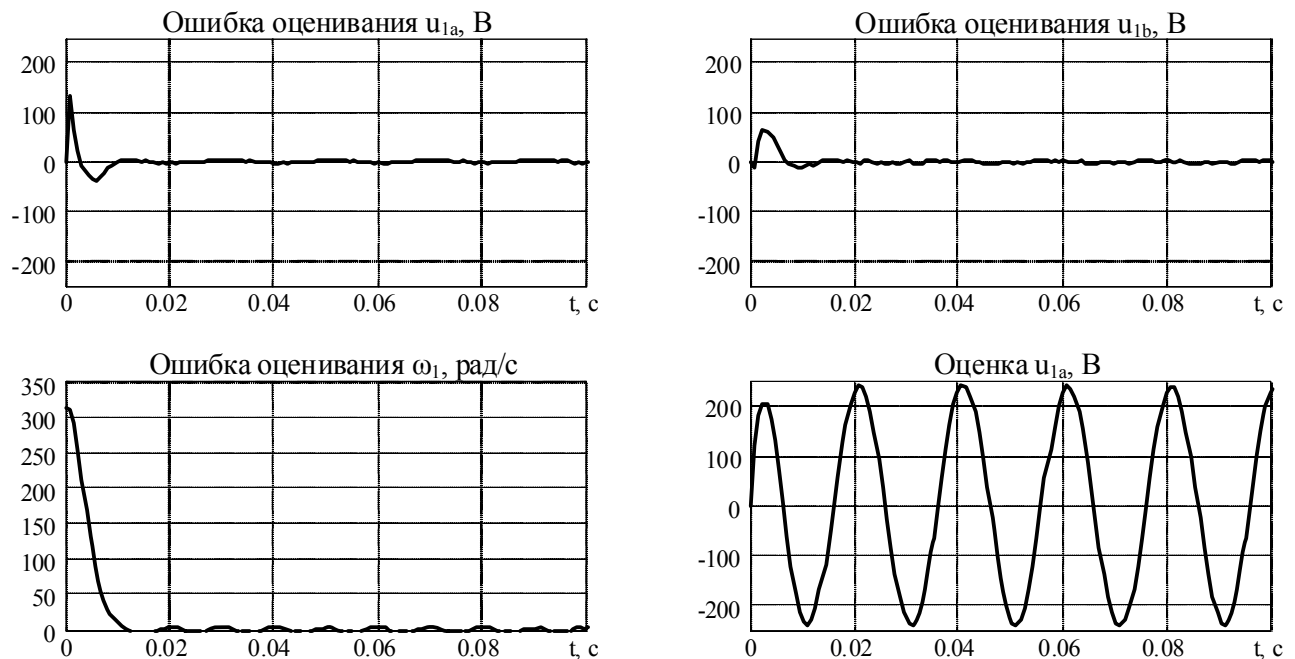


Рис. 4

Следует отметить, что быстродействие и фильтрующие свойства наблюдателя определяются его настроечными параметрами k и γ . На рис. 4 показаны переходные процессы при увеличенных коэффициентах наблюдателя $k = 850$, $\gamma = 4$. Сравнив рис. 4 и 2, устанавливаем, что быстродействие наблюдателя увеличилось примерно вдвое, т. е. время его сходимости уменьшилось до 0,012 с.

Заключение. Представлены результаты экспериментального тестирования адаптивного наблюдателя частоты и компонент вектора напряжения питающей сети. Экспериментально показано, что предложенное решение обеспечивает асимптотическое оценивание параметров питающей сети с достаточным для большинства алгоритмов векторного управления быстродействием. Адаптивный наблюдатель дополнительно обеспечивает фильтрацию оцененных составляющих вектора напряжения относительно измеренных значений. Исполь-

зование предложенного наблюдателя в системах векторного управления вместо стандартной системы измерения напряжений с последующей их фильтрацией позволяет повысить качество систем управления благодаря отсутствию помех и фазового сдвига в измеренных сигналах.

1. *Пересада С.М., Динник Т.В.* Адаптивний спостерігач параметрів мережі живлення // Оптикоелектронні інформаційно-енергетичні технології. – Вінниця: ВНТУ. – 2013. – № 2. – С. 122–125.
2. *Пересада С.М., Король С.В.* Новая концепция управления входным преобразователем: формирование полной энергии преобразования // Техн. электродинамика. Темат. вып. "Силовая электроника та енерго-ефективність". – 2002. – Ч. 1. – С. 66–70.
3. *Hsieh G.-C., Hung J.C.* Phase-locked loop techniques – a survey // IEEE Trans. on Industrial Electronics. – 1996. – Vol. 43, № 6. – P. 609–615.
4. *Peresada S., Tilli A., Tonielli A.* Robust Active-Reactive Control of a Doubly-Fed Induction Machine // Proc. of IEEE - IECON'98, Aachen, Germany, Sept. 1998. – P. 1621–1625.
5. *Singh B., Al-Haddad K. and Chandra A.* A review of active filters for power quality improvement // IEEE Trans. on Industrial Electronics. – Vol. 46, № 5, Oct. 1999. – P. 960–971.

УДК 681.5.075

С.М. Пересада, докт. техн. наук, **С.М. Ковбаса**, канд. техн. наук, **В.О. Благодір**, асп., **Т.В. Динник**, асп.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, Київ-56, 03056, Україна

Експериментальне тестування адаптивного спостерігача параметрів мережі живлення

Представлено результати експериментального тестування спостерігача частоти і миттєвих значень компонент вектора напруги мережі живлення для використання в алгоритмах векторного керування, які використовують орієнтування за вектором напруги мережі. Експериментально і методом математичного моделювання показано, що спостерігач гарантує глобальне експоненціальне оцінювання та високу швидкодію. Бібл. 5, рис. 4.

Ключові слова: напруга мережі живлення, адаптивний спостерігач, частота.

S.M. Peresada, S.M. Kovbasa, V.O. Blagodir, T.V. Dynnik

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Peremohy, 37, 03056, Kyiv, Ukraine

Experimental study of mains supply parameters adaptive observer

The results of experimental investigation of the line voltage and frequency observer are presented. The measured two phase voltages are observer inputs while angular frequency and observed components of the line voltage vector are outputs. Experimentally shown, that proposed observer provides asymptotic estimation of voltage vector components together with frequency of vector rotation. Convergence speed is suitable for use in line grid voltage orientation most vector control algorithms, which uses. Presented experimental results are matched with numerical simulations. References 5, figure 4.

Key words: grid voltage, adaptive observer, frequency.

Надійшла 27.02.2014
Received 27.02.2014