

УДК 681.5:62-83

**РОБАСТИФИЦИРОВАННОЕ БЕЗДАТЧИКОВОЕ ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ Пониженного Порядка**

**Пересада С.М.,** докт.техн.наук, **Ковбаса С.Н.,** канд.техн.наук, **Дымко С.С.,**  
**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,**  
**пр. Победы 37, Киев-56, 03056, Украина.**

*Синтезирован новый алгоритм бездатчикового косвенного векторного управления асинхронным двигателем с повышенными свойствами робастности к вариациям активных сопротивлений статора и ротора. Алгоритм базируется на адаптивном наблюдателе угловой скорости пониженного порядка и гарантирует асимптотическую обработку заданных траекторий изменения угловой скорости и модуля вектора потокосцепления при действии неизвестного постоянного момента нагрузки. Представлены результаты математического моделирования и экспериментального тестирования. Библ. 7.*

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, векторное управление, бездатчиковое управление.

**Введение.** Современные асинхронные электроприводы с векторным управлением без измерения механических координат находят широкое распространение в производственных механизмах со средним уровнем требований к диапазону и точности регулирования угловой скорости [1]. Несмотря на то, что проблематике бездатчикового векторного управления асинхронными двигателями (АД) посвящено значительное количество исследований на протяжении последних 20-лет [1–3], в теоретическом отношении проблема является открытой, поскольку существующие решения используют существенно упрощающие допущения, основным из которых является постоянство регулируемой выходной координаты, то есть пренебрежение ее динамикой; используются процедуры разомкнутого интегрирования или дифференцирования, которые не являются надежными операциями при практической реализации; только некоторые из представленных результатов имеют строгое доказательство устойчивости замкнутой системы.

Теоретический результат, представленный в [4], может рассматриваться как один из первых в разработке теории бездатчикового управления АД. Алгоритм [4], синтезированный на основе строго теоретического подхода, гарантирует локально экспоненциально устойчивую обработку модуля вектора потокосцепления и угловой скорости ротора в условиях реалистичных допущений. В этой работе впервые аналитически сформулированы условия персистентности возбуждения, при выполнении которых угловая скорость АД является наблюдаемой.

Дальнейшее развитие общетеоретического результата [4] дано в [5]. В отличие от решения [4] функции регулирования токов статора и оценивания угловой скорости разделены за счет формирования адаптивного наблюдателя угловой скорости пониженного порядка.

**Целью данной работы** является представление результатов синтеза робастифицированного алгоритма бездатчикового векторного управления асинхронными двигателями, который базируется на решении [5].

Следуя процедуре синтеза [6], с использованием бездатчикового непрямого полеориентированного преобразования координат определены взаимосвязанные электромеханическая (регулирования угловой скорости) и электромагнитная (регулирования потокосцепления) подсистемы. За счет конструирования алгоритма управления в электромеханической подсистеме устанавливается разделение процессов во времени так, что динамика оценивания угловой скорости является намного более быстрой, чем динамика реальных механических координат. Такое разделение процессов позволяет для доказательства устойчивости рассматривать систему пониженного порядка, которая формируется при использовании теории сингулярно-вырожденных систем [7]. Авторами сформирована система пониженного порядка, которая состоит из связанных: линейной, асимптотически устойчивой подсистемы обработки механических координат (электромеханической подсистемы пониженного порядка) и нелинейной электромагнитной подсистемы (подсистемы потокосцепления). На основании этой системы с использованием второго метода Ляпунова синтезирована подсистема управления потокосцеплением. Показано, что при выполнении условий персистентности возбуждения синтезированная система пониженного порядка обеспечивает локальную асимптотическую обработку угловой скорости и модуля вектора потокосцепления одновременно с асимптотическим полеориентированием при действии постоянного неизвестного момента нагрузки. Далее, с использованием теории Ляпунова доказано, что решение полного порядка также имеет свойства локальной экспоненциальной устойчивости.

При действии параметрических возмущений, основным из которых является изменение активного сопротивления роторной цепи, асимптотичность обработки координат электромагнитной подсистемы АД нарушается. Концептуальная линия повышения робастности состоит в минимизации нормы вектора ошибок обработки электромагнитной подсистемы  $\|\tilde{x}_e\| = (\tilde{i}_d, \tilde{\psi}_d, \tilde{\psi}_q)^T$ , (где  $\tilde{i}_d = i_d - i_d^*$  – ошибка обработки заданного значения  $i_d^*$  – полевой компоненты тока статора  $i_d$ ,  $\tilde{\psi}_d = \psi_d - \psi^*$ ,  $\tilde{\psi}_q = \psi_q$ ,  $(\psi_d, \psi_q)$  – компоненты вектора потокосцепле-

ния ротора,  $\psi^* > 0$  – заданное потокоцепление), при отличии реального значения активного сопротивления ротора  $R_2$  от его номинального значения  $R_N$ , используемого в алгоритме управления.

Один из путей уменьшения ошибок обработки потокоцепления ( $\tilde{\psi}_d, \tilde{\psi}_q$ ), который состоит в формировании дополнительной корректирующей связи в функции ошибки обработки полевой компоненты тока статора  $\tilde{i}_d$ , рассмотрен при синтезе алгоритма улучшенного косвенного векторного управления [6] и использован в алгоритмах [4,5]. В данном исследовании предлагается достичь эффекта повышения робастности путем формирования корректирующей связи в электромагнитной подсистеме в функции ошибки оценивания полевой компоненты тока статора. Такой подход позволяет использовать ПИ-регуляторы тока статора, что способствует дополнительному уменьшению нормы  $\|\tilde{x}_e\|$  при практической реализации контуров регулирования с учетом неидеальностей инвертора.

Разработанный алгоритм исследован методом математического моделирования и на экспериментальной установке, в результате чего подтверждены высокие показатели качества регулирования угловой скорости и свойства робастности системы бездатчикового управления, построенной на основе представленного решения.

**Выводы.** Разработан и экспериментально исследован новый алгоритм бездатчикового векторного управления асинхронным двигателем, который обеспечивает локальную асимптотическую обработку заданных траекторий угловой скорости и потокоцепления при действии неизвестного постоянного момента нагрузки, а также асимптотическую ориентацию управления по вектору потокоцепления ротора. Экспериментально показано, что синтезированный алгоритм имеет повышенные свойства робастности по отношению к параметрическим возмущениям электрической машины, а также к эффектам немоделируемой динамики, которые связаны с неидеальностями инвертора.

1. *M. Pacas.* Sensorless drives in industrial applications // IEEE Industrial Electronics Magazine. – 2011. – Vol. 5. – № 3. – Pp. 16–23.
2. *Rajashekara K., Kawamura A. and Matsuse K.* Sensorless Control of AC Motor Drives. – New York: IEEE Press, 1996. – 497 p.
3. *Holtz J.* Sensorless control of induction motor drives // Proc. of the IEEE. – 2002. – Vol. 90. – № 8. – Pp. 1359–1394.
4. *Montanary M., Peresada S. and Tilli A.* A speed-sensorless indirect field-oriented control for induction motors based on high gain speed estimation // Automatica. – 2006. – Vol. 42. – Pp. 1637–1650.
5. *S.Peresada, M.Montanari, C.Rossi, A.Tilli* Speed sensorless control of induction motors based on a reduced-order adaptive observer // IEEE Trans. Control Systems Techn. – 2007. – Vol. 15. – № 5. – Pp. 1049–1064.
6. *Peresada S. and Tonielli A.* High-performance robust speed-flux tracking controller for induction motor // Int. Journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 2000. – Vol. 14. – Pp. 177–200.
7. *Khalil H.K.* Nonlinear Systems (2nd edition). – New Jersey, Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. – 735 p.

УДК 681.5:62-83

**РОБАСТИФІКОВАНЕ БЕЗДАТЧИКОВЕ ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ НА ОСНОВІ АДАПТИВНОГО СПОСТЕРІГАЧА ЗНИЖЕНОГО ПОРЯДКУ**

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

*Синтезовано новий алгоритм бездатчикового непрямого векторного керування асинхронним двигуном з підвищеними властивостями робастності до варіацій активних опорів статора та ротора. Алгоритм базується на адаптивному спостерігачі кутової швидкості зниженого порядку і гарантує асимптотичне відпрацювання заданих траєкторій зміни кутової швидкості та модуля вектора потокозчеплення при дії невідомого моменту навантаження. Представлено результати математичного моделювання та експериментального тестування. Бібл. 7.*

**Ключові слова:** асинхронний двигун, векторне керування, бездатчикове керування.

**ROBUST SPEED SENSORLESS VECTOR CONTROL OF INDUCTION MOTOR BASED ON REDUCED ORDER ADAPTIVE OBSERVER**

**Peresada S.M., Kovbasa S.N., Dymko S.S.,**  
**National technical university of Ukraine “Kiev polytechnic institute”,**  
**Peremogy av. 37, Kyiv-56, 03056, Ukraine.**

*A novel speed sensorless indirect field oriented control of induction motor is designed. Algorithm is based on reduced order adaptive speed observer and provides exponential tracking of smooth speed and flux reference signals under assumptions of unknown constant load torque. Proposed solution has improved robustness properties with respect to stator and rotor resistances perturbations. Results of simulations and experimental investigations are also presented. References 7.*

**Key words:** induction motor, vector control, sensorless control.

Надійшла 12.01.2012  
 Received 12.01.2012