

УДК 62.83

О. Н. Синчук, д-р техн. наук,
Ю. Г. Осадчук, канд. техн. наук,
И. А. Козакевич

БЕЗДАТЧИКОВОЕ ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ МАШИНЫ

***Аннотация.** Представлена система бездатчикового векторного управления асинхронными двигателями на низких частотах вращения без введения высокочастотного тестового сигнала, что позволяет устранить нежелательные потери энергии и искажения формы статорных токов машины. Применение предложенного в системе способа оценивания величины частоты вращения без использования параметров схемы замещения позволило сделать систему более устойчивой при работе в области низких частот, поскольку точность предварительной оценки параметров, а также их изменение, связанное с нагревом машины, не влияет на точность определения неизмеряемых переменных состояния.*

***Ключевые слова:** асинхронный двигатель, анизотропные свойства, векторное управление, гармонические составляющие, широтно-импульсная модуляция*

O. Sinchuk, Sc.D.,
Y. Osadchuk, Ph.D.,
I. Kozakevich

SENSORLESS VECTOR CONTROL BASED ON THE ANISOTROPIC PROPERTIES OF MACHINE

***Abstract.** The sensorless vector control system of induction motors at low speed without high-frequency test injection was presented in article. It allows eliminating unwanted energy loss and distortion of the stator currents of machine. Application of the proposed method for estimation the values of the machine speed without using equivalent circuit parameters allows to make the system more robust when operating at low frequencies, since the accuracy of the preliminary parameter estimation and their changing due to the machine heating does not effect on the accuracy of the unmeasured state variables.*

***Keywords:** induction motor, the anisotropic properties of vector control, harmonic components, pulse-width modulation*

О. Н. Синчук, д-р техн. наук,
Ю. Г. Осадчук, канд. техн. наук,
И. А. Козакевич

БЕЗДАТЧИКОВЕ ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ АНИЗОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАШИНИ

***Анотація.** Представлена система бездатчикового векторного керування асинхронними двигунами без введення високочастотного тестового сигналу, що дозволяє усунути небажані втрати енергії та викривлення форми статорних струмів машини. Застосування запропонованого у системі способу оцінювання величини частоти обертання без використання параметрів схеми заміщення дозволило зробити систему більш стійкою при роботі в області низьких частот, оскільки точність попередньої оцінки параметрів, а також їх зміни, що пов'язані з нагрівом машини, не впливають на точність визначення невимірюваних змінних стану.*

***Ключові слова:** асинхронний двигун, анизотропні властивості, векторне керування, гармонійні складові, широтно-імпульсна модуляція*

Введение. Реализация бездатчикового векторного управления асинхронными двигателями предусматривает отсутствие каких-либо датчиков для измерения частоты вращения или магнитного поля, при этом оценивание величины соответствующих неизмеряемых переменных состояния производится на основе математической модели машины. При этом большинство существующих способов базируются на использовании идеализированной модели двигателя.

Козакевич И.А., 2014

Это создает существенные проблемы при работе на низких частотах вращения. Именно из-за этого для синтеза систем с широким диапазоном управления следует использовать оценивание, которое базируется на основе анизотропных свойств двигателя.

Постановка задачи. Расширение диапазона управления частотой вращения бездатчиковых приводов возможно лишь за счет улучшения характеристик способов оценивания потоко-сцепления и частоты вращения ротора двигателя при работе на низкой частоте. Модель

идеализированного асинхронного двигателя не способна удовлетворить этим требованиям. Способы бездатчиковой идентификации, которые базируются на анизотропных свойствах машины, предусматривают введение высокочастотного напряжения или тестовых векторов в основное питающее напряжение двигателя. При этом анализируется токовый отклик на введенное тестовое напряжение и определяется положение оси анизотропии. Поскольку у двигателей, обмотки которых соединены в треугольник, наличие анизотропий приводит к появлению тока нулевой последовательности, то необходимо исследовать возможность использования этого сигнала для бездатчиковой оценки неизмеряемых переменных состояния.

Математическое описание анизотропных свойств. Неоднородность асинхронной машины, которая вызвана наличием насыщения стали или наличием дискретных роторных стержней, приводит к изменению индуктивностей рассеяния в зависимости от положения оси соответствующей анизотропии. Сделав допущение относительно синусоидального характера модуляции индуктивности, которая создается анизотропией, можем записать:

$$L = \begin{bmatrix} l_a(t) & 0 & 0 \\ 0 & l_b(t) & 0 \\ 0 & 0 & l_c(t) \end{bmatrix}; \quad (1)$$

$$l_a(t) = l_0 + l_{ан} \cos 2\theta_{ан}; \quad (2)$$

$$l_b(t) = l_0 + l_{ан} \cos \left(2\theta_{ан} - \frac{2\pi}{3} \right); \quad (3)$$

$$l_c(t) = l_0 + l_{ан} \cos \left(2\theta_{ан} + \frac{2\pi}{3} \right); \quad (4)$$

где L – матрица собственных индуктивностей машины, l_0 , $l_{ан}$ – постоянная составляющая и составляющая индуктивности обмоток, которая модулируется наличием анизотропии машины, $\theta_{ан}$ – положения оси анизотропии относительно оси обмотки А двигателя.

Использование анизотропных свойств для бездатчикового управления. С целью определения положения оси анизотропии используется введение высокочастотного сигнала или использование тестовых векторов. Это приводит к возникновению дополнительных потерь энергии, искажению формы кривой тока, а также создает сложности в разделении влияния анизотропий разного характера. Поэтому в предложенной системе для оценки частоты вращения двигателя используется анализ тока нулевой последовательности, при условии, что обмотки двигателя соединены в

треугольник. Результаты моделирования работы привода представлены на рис. 1 и рис.2.

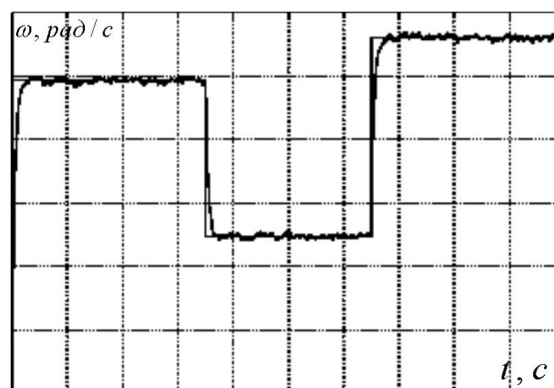


Рис. 1. График сигнала задания частоты вращения и оценка частоты вращения, полученная с помощью исследуемого способа

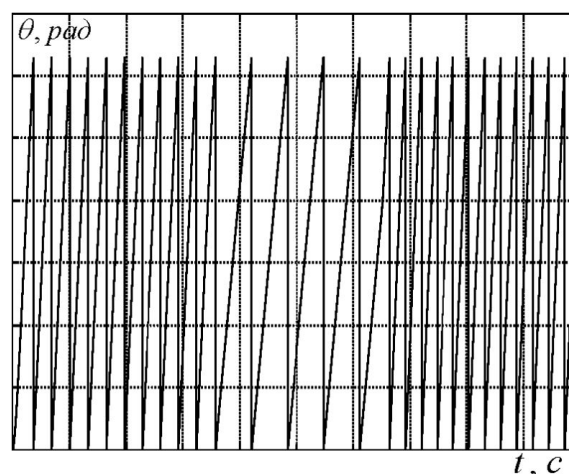


Рис. 2. График угла поворота ротора двигателя, полученного исследуемым способом

Выводы. Проведенное исследование подтвердило возможность использования сигнала тока нулевой последовательности для оценки частоты вращения в системах бездатчикового векторного управления при работе на низких частотах.

Список использованной литературы

1. Vas P., (1998), *Sensorless Vector and Direct Torque Control*. – Oxford: *Oxford University Press*, 356 p.
2. Gyftakis K.N., and Kappatou J.C., (2014), The Zero-Sequence Current as a Generalized Diagnostic Mean in Δ -connected Three-Phase Induction Motors, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 29, No. 1.
3. Briz F., Degner M.W., Fernandez P.G., and Diez A.B., (2006), Rotor and Flux Position Estimation in Delta-connected AC Machines using the Zero-Sequence Carrier-signal Current, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 42, No. 2, pp. 495 – 503.
4. Caruana C., Asher G.M., and Clare J.C., (2005), Sensorless Flux Position Estimation at Low and Zero Frequency by Measuring Zero-Sequence Current in Delta-connected cage Induction Machines, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 41, No. 2, pp. 609 – 617.

5. Staines C.S., Asher G.M., and Sumner M., (2006), Rotor-Position Estimation for Induction Machines at Zero and Low Frequency Utilizing Zero-Sequence Currents, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 42, No. 1, pp. 105 – 112.

6. Пересада С. М. Прямое векторное управление моментом асинхронных двигателей с максимизацией соотношения момент-ток / С. М. Пересада, С. С. Дымко // *Электромеханические и энергосберегающие системы*. – Кременчук : КрНУ, 2011. – Вып. 3/2011 (15). – С. 16 – 20.

7. Пересада С. М. Экспериментальное тестирование адаптивного к вариациям активного сопротивления роторной цепи наблюдателя потокоцепления асинхронного двигателя / С. М. Пересада, С. Н. Ковбаса, В. С. Бовкунович // *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. – 2010. – № 25. – С. 68 – 71.

8. Пересада С. М. Повышение эффективности векторно-управляемых электроприводов за счет робастификации и адаптации к вариациям активного сопротивления ротора / С. М. Пересада, С. Н. Ковбаса, В. А. Глушенко, В. С. Бовкунович // *Промелектро*. – К. : – 2010. – № 5. – С. 49 – 55.

9. Пересада С. М. Робастный алгоритм идентификации параметров асинхронного двигателя при неподвижном роторе / С. М. Пересада, С. Н. Ковбаса, М. П. Малько // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені М. Остроградського*. – 2010. – № 1. – С. 121 – 125.

10. Сінолиций А. П. Дослідження спостерігача Льюенбергера для бездатчикового векторного керування при роботі на низькій швидкості / А. П. Сінолиций, Ю. Г. Осадчук, І. А. Козакевич // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2011. – № 3. – С. 38 – 39.

Получено 02.07.2014

References

1. Vas P., (1998), *Sensorless Vector and Direct Torque Control*, Oxford: *Oxford University Press*, 356 p. [In English].

2. Gyftakis K.N., and Kappatou J.C., (2014), The Zero-Sequence Current as a Generalized Diagnostic Mean in Δ -Connected Three-Phase Induction Motors, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 29, No. 1 [In English].

3. Briz F., Degner M.W., Fernandez P.G., and Diez A.B., (2006), Rotor and Flux Position Estimation in Delta-connected AC Machines using the Zero-Sequence Carrier-signal Current, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 42, No. 2, pp. 495 – 503 [In English].

4. Caruana C., Asher G.M., and Clare J.C., (2005), Sensorless Flux Position Estimation at Low and Zero Frequency by Measuring Zero-Sequence Current in Delta-connected Cage Induction Machines, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 41, No. 2, pp. 609 – 617 [In English].

5. Staines C.S., Asher G.M., and Sumner M., (2006), Rotor-Position Estimation for Induction Machines at Zero and Low Frequency Utilizing Zero-Sequence Currents, *IEEE*

Transactions on Industry Applications, Vol. 42/1, pp. 105 – 112 [In English].

6. Peresada S.M., and Dymko S.S. Direct vector torque control of induction motors with maximizing the torque-current ratio, [Electromechanical and Energy Saving Systems], (2011), *Elektromechanicheskie and Energosberigashchie Sistemu*, Vol. 3, pp. 16 – 20 [In Russian].

7. Peresada S.M., Kovbasa, S.N., and Bovkunovich, V.S. Experimentalnoe testirovanie adaptivnogo k variatsiyam aktivnogo soprotivleniya rotornoy tsepi nabludatelya potokostsepleniya asinchronnogo dvigatelya [Experimental Testing of Adaptive to Rotor Resistance Change Flux Observer of Induction Motor], (2010), *Pratsi Institute Elektrodynamiki NAN Ukrainy*, Vol. 25, pp. 68 – 71 [In Russian].

8. Peresada S.M., Kovbasa S.N., Glushenkov V.A., and Bovkunovich V.S. Povyshenie effektivnosti vektornopravlyаемih elektroprivodov za cshet robastificatsii k variatsiyam aktivnogo soprotivleniya [Improving the Efficiency of Vector-Controlled Drives due to Robustification and Adaptation to the Variations of the Rotor Resistance], (2010), *Promelectro*, Vol. 5, pp. 49 – 55 [In Russian].

9. Peresada S.M., Kovbasa S. Kovbasa S.N., and Malko M.P. Robastnyi algorithm identifikatsii parametrov asinchronnogo dvigatelya pri nepodvizhnom rotore [Robust Algorithm for Parameter Identification of Induction Motor when the Rotor is Stationary], (2010), *Vysnyk Kremenchuzkogo Derzhavnogo Universytetu imeni M. Ostrogradskogo*, Vol. 1, pp. 121 – 125 [In Russian].

10. Sinolytsiy A.P., Osadchuk Y.G., and Kozakevich I.A. Doslidzhenya sposterigacha Luenbergera dlya bezdatchkovogo vektornogo keruvannya pry roboti na nuzkiy shvydkosti [Research of Luenberger Observer for Sensorless Vector Control at Low Speed], (2011), *Elektrotechnicheskie i Komputernie Systemy*, Vol. 3, pp. 172 – 177.



Синчук Олег Николаевич, д-р техн. наук, проф., зав. каф. автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте Криворожского нац. ун-та, тел. (056) 409-17-30.

E-mail: aems.knu@gmail.com



Осадчук Юрий Григорьевич, канд. техн. наук, доц., декан электротехнического факультета Криворожского нац. ун-та, тел. (056) 409-17-30.

E-mail: aems.knu@gmail.com



Козакевич Игорь Аркадьевич, ассистент каф. втоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте Криворожского нац. ун-та, тел. (098) 588-33-86.

E-mail: aepigor@gmail.com