

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСТЕРІГАЧА ЛЮЕНБЕРГЕРА ДЛЯ БЕЗДАТЧИКОВОГО ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ ПРИ РОБОТІ НА НИЗЬКІЙ ШВИДКОСТІ

Проаналізовано роботу спостерігача Люенбергера для оцінки невимірюваних змінних стану асинхронного двигуна – швидкості та потокозчеплення ротора. Приведено результати моделювання, вказано можливі шляхи підвищення стійкості системи при роботі на низькій швидкості.

Проанализирована работа наблюдателя Люенбергера для оценки неизмеряемых переменных состояния асинхронного двигателя – скорости и потокозчепления ротора. Приведены результаты моделирования, указаны возможные пути повышения устойчивости системы при работе на низкой скорости.

A Luenberger observer performance was analyzed for estimation of non-measurable variables of the induction motor state: the rotor speed and the flux linkage. Modeling results were given, possible ways of the system stability increasing during low speed performance were described.

Асинхронні двигуни широко використовуються у промисловості завдяки своїй надійності, дешевизні, низьким експлуатаційним затратам та ремонтпридатності. Зацікавленість до бездатчикового векторного керування асинхронним приводом має досить давню історію та підтримується на постійно високому рівні в науковій сфері. Перевагою такого способу керування є високі статичні та динамічні показники якості керування (завдяки роздільному керуванню потокозчепленням та електромагнітним моментом машини), висока надійність, низька вартість та краща шумозахищеність (завдяки виключенню датчика швидкості, вартість якого в приводах невеликої потужності може перевищувати сумарну вартість двигуна та перетворювача). Суттєвим недоліком бездатчикового векторного керування є невеликий діапазон регулювання швидкості, що викликано значними ускладненнями при роботі на низькій швидкості. Це пов'язано зі складнощами ідентифікації складових вектору потокозчеплення та швидкості обертання ротора. Науковцями було запропоновано багато методів для бездатчикового визначення невимірюваних змінних стану асинхронного двигуна, таких як: адаптивні системи з задаючою моделлю, фільтри Калмана та ін. Метою даної роботи є аналіз роботи спостерігача Люенбергера при роботі на низькій швидкості в умовах дрейфу параметрів асинхронного двигуна.

Спостерігач Люенбергера складається з двох рівнянь: рівняння стану та виходу.

Рівняння стану можна записати так:

$$\frac{d\hat{x}(t)}{dt} = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - C\hat{x}(t)), \quad (1)$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – матриці рівнянь стану асинхронного двигуна;  $L$  – матриця Люенбергера.

Структура спостерігача Люенбергера представлена на рис. 1.

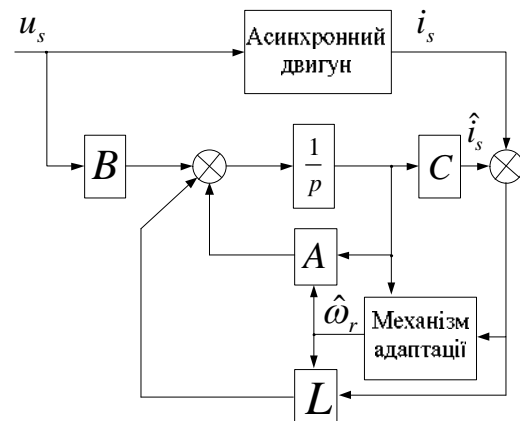


Рис.1. Структура спостерігача Люенбергера

Математична модель асинхронного двигуна може бути записана так:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t), \quad (2)$$

$$y(t) = Cx(t), \quad (3)$$

де

$$A = \begin{bmatrix} \frac{R_s}{\sigma L_s} - \frac{L_m^2 R_r}{\sigma L_s L_r^2} & 0 & \frac{L_m R_r}{\sigma L_s L_r^2} & \frac{L_m \omega}{\sigma L_s L_r} \\ 0 & -\frac{R_s}{\sigma L_s} - \frac{L_m^2 R_r}{\sigma L_s L_r^2} & \frac{L_m \omega}{\sigma L_s L_r} & \frac{L_m R_r}{\sigma L_s L_r^2} \\ \frac{L_m R_r}{L_r} & 0 & -\frac{R_r}{L_r} & -\omega \\ 0 & \frac{L_m R_r}{L_r} & \omega & -\frac{R_r}{L_r} \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \Psi_{r\alpha} \\ \Psi_{r\beta} \end{bmatrix},$$

$$u = \begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix},$$

$u_{s\alpha}, u_{s\beta}, i_{s\alpha}, i_{s\beta}$  – складові вектору статорної напруги та струму в осях нерухомої відносно статора системи координат  $\alpha$ - $\beta$ ;  $\psi_{r\alpha}, \psi_{r\beta}$  – складові вектору потокозчеплення ротора в осях нерухомої відносно статора системи координат  $\alpha$ - $\beta$ ;  $R_s, R_r$  – активні опори статора й ротора;  $L_s, L_r, L_m$  – власні та взаємна індуктивності статора і ротора;  $\omega$  – швидкість обертання ротора;  $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$  – коефіцієнт розсіяння.

В якості алгоритму адаптації при цьому використовується, як правило, ПІ-алгоритм:

$$\omega = K_{np} \left( (i_{s\alpha} - \hat{i}_{s\alpha}) \hat{\psi}_{r\beta} - (i_{s\beta} - \hat{i}_{s\beta}) \hat{\psi}_{r\alpha} \right) + K_i \int \left( (i_{s\alpha} - \hat{i}_{s\alpha}) \hat{\psi}_{r\beta} - (i_{s\beta} - \hat{i}_{s\beta}) \hat{\psi}_{r\alpha} \right) dt. \quad (4)$$

Дослідження роботи спостерігача Люенбергера проводилося шляхом математичного моделювання в середовищі Matlab/Simulink. Результати моделювання представлені на рис. 2.

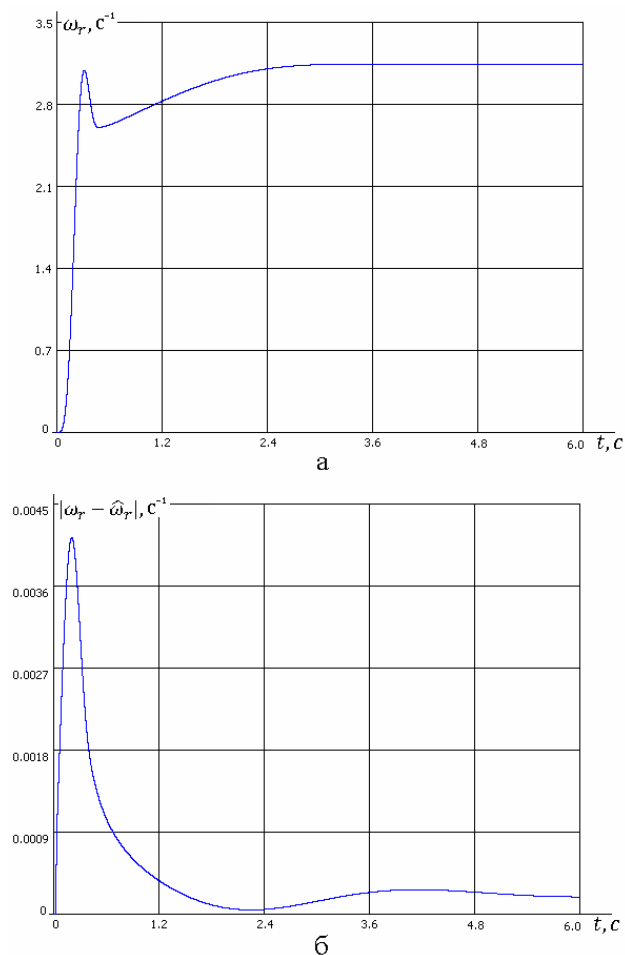


Рис.2. Реальна швидкість обертання ротора (а) та помилка у визначенні швидкості за допомогою спостерігача Люенбергера (б)

## Висновки

У роботі розглянуто алгоритм бездатчикового векторного керування асинхронним двигуном зі спостерігачем Люенбергера. Шляхом математичного моделювання і фізичного експерименту досліджена стійкість роботи системи при низькій швидкості та в умовах зміни параметрів.

## Список використаної літератури

1. Півняк Г.Г. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією: Монографія / Г.Г. Півняк, О.В. Волков. – Дніпропетровськ: Нац. гірничий ун-т, 2006. – 470 с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г Соколовский – М.:Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.
3. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев Г.Г.Соколовский – Спб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
4. Optimization of fuzzy-like Luenberger observer for high speed sensorless induction motor drives using genetic algorithms / G. Griva, F. Profumo, L. Rosell, R. Bojoi // Industry Applications Conference. – 2000. – P. 1268-1274.
5. Pana T.C. Design of an extended Luenberger observer for sensorless vector control of induction machines under regenerating mode / T.C Pana, O. Stoicuta // Optimization of Electrical and Electronic Equipment. – 2010. – P. 469-478.
6. Pana T.C, Stoicuta O. Small speed asymptotic stability study of an induction motor sensorless speed control system with extended Luenberger estimator / T.C Pana, O.Stoicuta // Optimization of Electrical and Electronic Equipment. – 2008. – P. 175-180.

Отримано 05.07.2011



Сінолиций  
Анатолій Пилипович,  
д.т.н., проф., каф. автоматизованого  
ел.приводу Криворізького техніч. ун-ту



Осадчук  
Юрій Григорович,  
к.т.н., доц., каф. автоматизованого  
ел.приводу Криворізького техніч. ун-ту



Козакевич  
Ігор Аркадійович,  
асистент каф. автоматизованого  
ел.приводу Криворізького техніч. ун-ту  
kozakevich@ktu.edu.ua