

## ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АКТИВНИХ ОПОРІВ СТАТОРА І РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА РІЗНИХ ТЕСТОВИХ СИГНАЛІВ

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

*Розроблено модифікацію алгоритму, що забезпечує експоненційну ідентифікацію активних опорів статора і ротора асинхронного двигуна на основі інформації про струм та напругу однієї фази статора за умови нерухомого ротора. Подані результати дослідження швидкості ідентифікації активних опорів в залежності від форми тестового сигналу, отримані методом математичного моделювання.*

**Ключові слова:** асинхронний двигун, ідентифікація активних опорів, швидкість ідентифікації, тестовий сигнал.

### Вступ

Одним із основних факторів, що впливають на показники якості систем векторного керування асинхронним двигуном (АД) є точність інформації про активні опори статора і ротора. Відомо, що під час роботи машини внаслідок нагріву активний опір ротора змінюється в ширшому діапазоні (до 100 %) ніж активний опір статора (до 30 %). Варіації активного опору ротора порушують точність полеорієнтування [1], що призводить до погіршення показників якості регулювання механічних координат, зниження енергетичної ефективності процесу електромеханічного перетворення енергії, та в деяких випадках навіть до втрати стійкості системи. Якщо в технологічному процесі передбачені паузи з повною зупинкою двигуна без створення моменту, наприклад, як в транспортних засобах, то активні опори статора і ротора можуть бути ідентифіковані з використанням алгоритмів [2, 3], прийнявши в них значення кутової швидкості рівним нулю. Важливою проблемою, пов'язаною з ідентифікацією параметрів, у разі як нерухомого, так і рухомого ротора є відсутність загальної методики вибору тестових сигналів, які, як відомо, мають значний вплив на швидкість процесів ідентифікації параметрів. *Метою роботи є дослідження швидкодії алгоритму одночасної ідентифікації активних опорів статора і ротора АД за різних форм напруги збудження.*

### Матеріали досліджень

Модель двигуна за умови, що кутова швидкість ротора дорівнює нулю, за рахунок однофазного живлення, має вигляд

$$\begin{aligned} \dot{i}_a &= -\alpha_1 i_a + \beta \alpha_2 \psi_{2a} - \beta L_m \alpha_2 i_a + \sigma^{-1} u_a; \\ \dot{\psi}_{2a} &= -\alpha_2 \psi_{2a} + L_m \alpha_2 i_a, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $u_a$ ,  $i_a$ ,  $\psi_{2a}$  — компоненти векторів напруги статора, струму статора та потокозчеплення ротора;  $L_m$  — індуктивність намагнічувального контуру. Додатні константи пов'язані з електричними

параметрами таким чином:  $\alpha_1 = \frac{R_1}{\sigma}$ ,  $\alpha_2 = \frac{R_2}{L_2}$ ,  $\beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}$ ,  $\sigma = L_1 \left( 1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right)$ ;  $L_1$ ,  $L_2$  — індуктивності

статора та ротора, відповідно;  $R_1$ ,  $R_2$  — активні опори статора і ротора, відповідно.

Згідно з процедурою, представленою в [3], та за умов стандартних припущень для випадку нульової кутової швидкості за рахунок однофазного живлення отримано алгоритм ідентифікації активних опорів статора і ротора

$$\begin{aligned}
\dot{\hat{i}}_a &= ci_{a1} + \sigma^{-1}u_{a1} - \hat{\alpha}_1 i_{a1} + \left[ \sigma^{-1}u_{a0} - (L_m\beta + 1)i_{a1} \right] \hat{\alpha}_2 - \hat{\alpha}_1 \hat{\alpha}_2 i_{a0} + k(i_a - \hat{i}_a); \\
\dot{\hat{\alpha}}_1 &= \gamma_1 (-i_{a1} - \hat{\alpha}_2 i_{a0})(i_a - \hat{i}_a); \\
\dot{\hat{\alpha}}_2 &= \gamma_2 \left( \sigma^{-1}u_{a0} - (L_m\beta + 1)i_{a1} - \hat{\alpha}_1 i_{a0} \right) (i_a - \hat{i}_a); \\
\dot{i}_{a0} &= i_a - ci_{a0}; \\
\dot{u}_{a0} &= u_a - cu_{a0}; \\
i_{a1} &= i_a - ci_{a0}; \\
u_{a1} &= u_a - cu_{a0},
\end{aligned} \tag{2}$$

де  $\hat{i}_a$  — оцінене значення струму  $i_a$ ,  $\hat{\alpha}_1$  і  $\hat{\alpha}_2$  — оцінені значення для параметрів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  відповідно,  $c > 0$ ,  $k > 0$ ,  $\gamma_1 > 0$  та  $\gamma_2 > 0$  — параметри налаштування.

Алгоритм ідентифікації (2) володіє властивостями глобальної експоненційної стійкості, містить чотири додатних параметри налаштування:  $c$ ,  $k$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ , його входами є  $u_a$  та  $i_a$ , а виходами — оцінені значення  $\hat{\alpha}_1$  і  $\hat{\alpha}_2$  параметрів пропорційних активним опорам статора і ротора відповідно.

Дослідження динамічних процесів ідентифікації активних опорів статора і ротора за допомогою алгоритму (2) проведено методом математичного моделювання за умови його автономної роботи та наявності початкових похибок ідентифікації параметрів.

Вхідний сигнал компоненти напруги статора по осі  $b$   $u_b(t)$  дорівнює нулю, що забезпечує кутову швидкість ротора  $\omega = 0$ . Як відомо, форма вхідного сигналу  $u_a(t)$  має значний вплив на швидкості процесів ідентифікації активних опорів статора та ротора, до того ж загального підходу до вибору форми вхідного сигналу на сьогоднішній день не існує. Тому доцільним є дослідження роботи алгоритму (2) за трьох різних форм вхідного сигналу з амплітудою  $U_m = 40$  В та частотою  $\omega_1 = 30$  рад/с: синусоїдному пилкоподібному та прямокутному.

Під час моделювання використовувався АД потужністю 0,75 кВт з номінальними параметрами:  $R_{1N} = 11$  Ом,  $R_{2N} = 5,5$  Ом,  $L_1 = 0,95$  Гн,  $L_2 = 0,95$  Гн,  $L_m = 0,91$  Гн; при цьому параметри налаштування алгоритму ідентифікації (2):  $c = 20$ ,  $k = 100$ ,  $\gamma_1 = 20000$ ,  $\gamma_2 = 100$ ; початкові умови для алгоритму ідентифікації:  $\hat{\alpha}_1(0) = 1,2\alpha_{1N}$ ,  $\hat{\alpha}_2(0) = 2\alpha_{2N}$ . Результати дослідження алгоритму за початкових умов  $\hat{\alpha}_1(0) = 0,8\alpha_{1N}$ ,  $\hat{\alpha}_2(0) = 0,5\alpha_{2N}$  мають аналогічний характер, тому не подані, зважаючи на обмежений обсяг статті.

Результати моделювання, отримані для різних форм напруги, показано на рис. 1—3. На них зображено напругу статора, похибку оцінки струму статора та промасштабовані похибки ідентифікації параметрів  $\tilde{\alpha}_1/\alpha_{1N} = (\alpha_1 - \hat{\alpha}_1)/\alpha_{1N}$ ,  $\tilde{\alpha}_2/\alpha_{2N} = (\alpha_2 - \hat{\alpha}_2)/\alpha_{2N}$ .

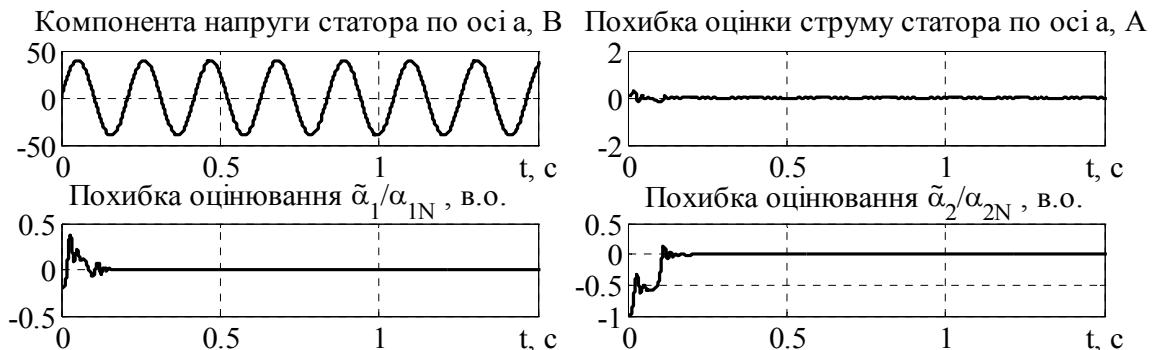


Рис. 1. Динамічні процеси ідентифікації при синусоїдному збудженні



Рис. 2. Динамічні процеси ідентифікації при пилкоподібному збудженні

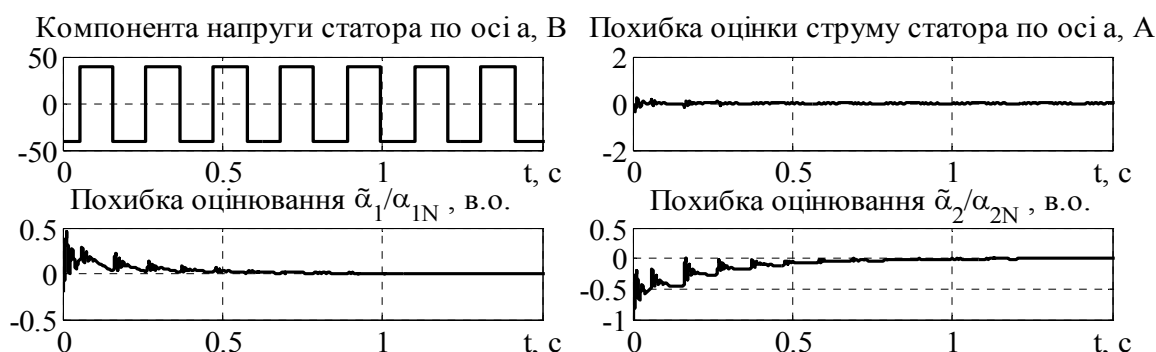


Рис. 3. Динамічні процеси ідентифікації при прямокутному збудженні

В усіх трьох випадках оцінки параметрів пропорційних активним опорам статора і ротора асимптотично затухають в нуль, хоча швидкість затухання при різних формах сигналу збудження різна. Найменший час збіжності (0,2 с) алгоритм ідентифікації забезпечив за синусоїдного сигналу напруги збудження (рис. 1). Дещо більший час збіжності (0,25 с) у разі пилкоподібної форми сигналу напруги збудження (рис. 2). Найбільший час збіжності (0,9 с) алгоритм ідентифікації показав у разі напруги збудження прямокутної форми (рис. 3).

### Висновки

Результати математичного моделювання підтверджують, що за різних форм напруги збудження ідентифіковані значення активних опорів статора та ротора експоненційно прямують до своїх дійсних значень. Швидкість процесів ідентифікації за допомогою розглянутого алгоритму одночасної ідентифікації активних опорів статора та ротора має значну залежність від форми сигналу напруги збудження. Серед досліджуваних сигналів найменший час збіжності забезпечив синусоїдний сигнал напруги збудження. Алгоритм може бути використаний для ідентифікації активних опорів статора і ротора під час зупинок АД, передбачених технологічним циклом та в процедурах самоналаштування систем векторного керування під час їх ініціалізації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Krishnan R. Study of parameter sensitivity in high performance inverter-fed induction motor drive systems / R. Krishnan, F. Doran // IEEE Trans. Ind. Applicat. — 1987. — Vol. 23. — P. 623—635.
2. Пересада С. М. Ідентифікація активних опорів асинхронного двигуна за допомогою адаптивного спостерігача поточозчеплення / С. М. Пересада, М. А. Коноплінський // Технічна електродинаміка. — 2013. — № 1. — С. 40—48.
3. Peresada S. Identification of stator and rotor resistances of induction motors / S. Peresada, S. Lyshevsky, S. Kovbasa, M. Konoplinsky // Электротехнические и компьютерные системы. — Одесса, 2013. — № 09 (85). — С. 7—15.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 29.01.2014

**Коноплінський Максим Анатолійович** — аспірант кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, e-mail: konoplinskyi@mail.ru.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

**М. А. Konoplinskyi<sup>1</sup>**

## **THE RESEARCH OF INDUCTION MOTOR STATOR AND ROTOR RESISTANCE IDENTIFICATION ALGORITHM AT DIFFERENT TEST SIGNALS**

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

*The modification of identification algorithm is presented. The algorithm provides exponential estimation of stator and rotor resistances of induction motor using information about current and voltage of one stator phase and assuming that rotor is stationary. The dynamical properties of parameters identification are presented. The different test signals are used for simulation.*

**Keywords:** induction motor, identification of resistance, speed of identification, test signal.

**Konoplinskyi Maksym A.** — Post-Graduate Student of the Chair of Automation of Electromechanics Systems and Electric Drive, e-mail: konoplinskyi@mail.ru

**М. А. Коноплинский<sup>1</sup>**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ СТАТОРА И РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛАХ**

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

*Разработана модификация алгоритма, обеспечивающая экспоненциальную идентификацию активных сопротивлений статора и ротора асинхронного двигателя на основе информации о токе и напряжении одной фазы статора при условии неподвижного ротора. Представлены результаты исследования скорости идентификации активных сопротивлений в зависимости от формы тестового сигнала, полученные методом математического моделирования.*

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, идентификация активных сопротивлений, скорость идентификации, тестовый сигнал.

**Коноплинський Максим Анатольевич** — аспірант кафедри автоматизації електромеханічних систем і електропривода, e-mail: konoplinskyi@mail.ru