

УДК 621.5:62-83

Пересада С. М., Коноплінський М. А.

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ АКТИВНИХ ОПОРІВ СТАТОРА І РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Одним з основних факторів, що впливають на показники якості систем векторного керування асинхронним двигуном (АД) є точність визначення його параметрів. В першу чергу це стосується активного опору роторного кола, який недоступний для вимірювань у випадку АД з короткозамкненим ротором, а також може змінюватись в процесі експлуатації внаслідок нагріву.

При варіаціях активного опору ротора властивості асимптотичності керування вектором потокозчеплення ротора порушуються [1], що призводить до погіршення показників якості регулювання механічних координат, зниження енергетичної ефективності процесу електромеханічного перетворення енергії, та в деяких випадках навіть може призводити до втрати стійкості системи.

Ця проблема вирішується за рахунок адаптивних алгоритмів векторного керування АД [2]. Недоліком відомих адаптивних по відношенню до активного опору ротора алгоритмів векторного керування є їх чутливість до невизначеності тих параметрів, які не адаптуються, наприклад, активного опору статора. Відзначимо, що одночасна ідентифікація опору статора і ротора являє собою складне завдання [3].

Даній проблемі присвячено достатньо велика кількість досліджень. Разом з тим, певного, теоретично обґрунтованого рішення до сих пір не знайдено. Це пояснюється тим, що АД представляє собою складний нелінійний багатовимірний об'єкт, вектор стану якого недоступний для вимірювання лише частково.

Вперше загальнотеоретична задача одночасної ідентифікації активних опорів статора і ротора асинхронного двигуна була розв'язана в [3]. Алгоритми [3] гарантують експоненційне оцінювання активних опорів статора і ротора, за умови, що АД працює в режимах, коли виконуються умови персистентності збудження.

Метою роботи є синтез нового алгоритму одночасної ідентифікації активних опорів статора і ротора АД, що гарантує локальну експоненційну стійкість при виконанні умов персистентності збудження та може бути використаним для активної попередньої ідентифікації (self-commissioning) за умови, що індуктивності статора, ротора та намагнічуючого контуру відомі або попередньо визначені іншими методами.

Для стандартної моделі АД необхідно синтезувати алгоритм одночасної ідентифікації активних опорів статора і ротора за умови, що кутова швидкість ротора  $\omega$  дорівнює нулю.

Модель двигуна при  $\omega = 0$  та однофазному живленні має вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{i}_a &= -\frac{R_{1N} + \Delta R_1}{\sigma} i_a + (R_{2N} + \Delta R_2) \frac{\beta}{L_2} \psi_{2a} - (R_{2N} + \Delta R_2) \frac{\beta L_m}{L_2} i_a + \frac{1}{\sigma} u_a \\ \dot{\psi}_{2a} &= -(R_{2N} + \Delta R_2) \frac{1}{L_2} \psi_{2a} + (R_{2N} + \Delta R_2) \frac{L_m}{L_2} i_a, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $u_a$ ,  $i_a$ ,  $\psi_{2a}$  – компоненти векторів напруги статора, струмів статора та потокозчеплення ротора;

$L_1, L_2, L_m$  – індуктивності статора, ротора та намагнічуючого контуру;

$R_1 = R_{1N} + \Delta R_1$  – активний опір статорного кола, що містить:  $R_{1N}$  – номінальне значення;

$\Delta R_1$  – зміна опору,  $R_2 = R_{2N} + \Delta R_2$  – активний опір роторного кола, що містить:

$R_{2N}$  – номінальне значення;

$\Delta R_2$  – зміна опору.

Додатні константи, пов'язані з електричними параметрами двигуна визначено наступним чином:  $\beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}$ ,  $\sigma = L_1(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2})$ .

Нехай виконуються наступні припущення:

А.1. АД працює в таких умовах, що  $i_a(t)$ ,  $\int_0^t i_a(\tau) d\tau$ ,  $\psi_{2a}(t)$ ,  $u_a(t)$ , обмежені для всіх  $t \geq 0$ .

А.2. Струми та напруги статора вимірюються.

А.3. Всі параметри АД окрім активних опорів статора та ротора відомі та сталі.

А.4. Активні опори статора і ротора невідомі, додатні та сталі.

В умовах цих припущень необхідно синтезувати алгоритм ідентифікації, який гарантує досягнення наступних цілей керування:

СО1. Асимптотичність ідентифікації невідомих параметрів  $\Delta R_1$  та  $\Delta R_2$ , тобто:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\Delta R_1 - \hat{\Delta R}_1) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} (\Delta R_2 - \hat{\Delta R}_2) = 0, \quad (2)$$

де  $\hat{\Delta R}_1$ ,  $\hat{\Delta R}_2$  – оцінені значення змінних  $\Delta R_1$ ,  $\Delta R_2$  відповідно.

СО2. Асимптотичність спостереження струмів статора та потокозчеплень ротора:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (i_a - \hat{i}_a) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} (\psi_{2a} - \hat{\psi}_{2a}) = 0, \quad (3)$$

де  $\hat{i}_a$ ,  $\hat{\psi}_{2a}$  – оцінені значення змінних  $i_a$ ,  $\psi_{2a}$  відповідно.

СО3. Обмеженість всіх внутрішніх сигналів.

*Синтез алгоритму одночасної ідентифікації*

На основі рівнянь (1) сформуємо адаптивний спостерігач:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{i}}_a &= -\left(\frac{R_{1N}}{\sigma} + R_{2N}\beta \frac{L_m}{L_2}\right) \hat{i}_a + \frac{R_{2N}\beta}{L_2} \eta_a + k_1 \tilde{i}_a + \Delta \hat{R}_2 \frac{\beta}{L_2} (\eta_a - L_m \hat{i}_a) + \frac{1}{\sigma} u_a + v_a \\ \dot{\eta}_a &= -\frac{R_{2N}}{L_2} \eta_a + R_{2N} \frac{L_m}{L_2} \hat{i}_a - \frac{1}{\beta} v_a - \frac{k_2}{\beta} \tilde{i}_a - \frac{\Delta \hat{R}_2}{L_2} (\eta_a - L_m \hat{i}_a), \end{aligned} \quad (4)$$

де  $v_a$  додатковий сигнал, що буде спроектований пізніше,  $\eta_a$  додаткова змінна,  $k_1 > 0$ ,  $k_2 > 0$ .

На основі визначення похибок оцінювання  $\tilde{i}_a = i_a - \hat{i}_a$ ,  $\tilde{\eta}_a = \psi_{2a} - \eta_a$ ,  $\Delta \tilde{R}_2 = \Delta R_2 - \Delta \hat{R}_2$  перепишемо (4) в формі похибок:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{i}}_a &= -k_1 \tilde{i}_a + \alpha \beta \tilde{\eta}_a + \Delta \tilde{R}_2 \frac{\beta}{L_2} (\eta_a - L_m \hat{i}_a) - \frac{\Delta R_1}{\sigma} \hat{i}_a - v_a \\ \dot{\tilde{\eta}}_a &= -\alpha \tilde{\eta}_a + \frac{k_2}{\beta} \tilde{i}_a - \frac{\Delta \tilde{R}_2}{L_2} (\eta_a - L_m \hat{i}_a) + \frac{1}{\beta} v_a, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $\alpha = \frac{R_2}{L_2}$ .

Ідея побудови алгоритму ідентифікації для системи (5) полягає в тому, щоб спроектувати додатковий сигнал  $v_a$ , а також динамічну поведінку оцінок  $\hat{\Delta R}_1$  і  $\hat{\Delta R}_2$  таким чином, що  $\tilde{i}_a$ , асимптотично збігається в нуль. Для досягнення цієї мети введемо динамічне перетворення координат:

$$z_a = \tilde{i}_a + \beta \tilde{\eta}_a + \frac{\Delta R_1}{\sigma} \xi_a, \quad (6)$$

де

$$\xi_a = \int_0^t i_a(\tau) d\tau. \quad (7)$$

Відмітимо, що динамічне перетворення координат залежить від невідомої константи  $\Delta R_1$ , а змінна  $\xi_a$  у відповідності до припущення А.1 передбачається обмеженою.

В нових змінних система (5) буде:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{i}}_a &= -(k_1 + \alpha) \tilde{i}_a + \alpha z_a + \Delta \tilde{R}_2 \frac{\beta}{L_2} (\eta_a - L_m i_a) - \frac{\Delta R_1}{\sigma} i_a - \frac{\alpha}{\sigma} \Delta R_1 \xi_a - v_a \\ \dot{z}_a &= -(k_1 - k_2) \tilde{i}_a. \end{aligned} \quad (8)$$

В (8) динаміка змінної  $z_a$  відома, але невідома її початкова умова.

Наступним кроком сформуємо додатковий сигнал  $v_a$  з тим, щоб здійснити часткову компенсацію правої частини першого рівняння в (8).

Нехай  $v_a$  буде:

$$v_a = -\frac{\Delta \hat{R}_1}{\sigma} i_a - \frac{\alpha}{\sigma} \Delta \hat{R}_1 \xi_a - \frac{1}{L_2 \sigma} \Delta \hat{R}_1 \Delta \hat{R}_2 \xi_a. \quad (9)$$

Визначивши похибку оцінювання  $\Delta \tilde{R}_1 = \Delta R_1 - \Delta \hat{R}_1$ , рівняння (8), з врахуванням (9), перепишуться у вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{i}}_a &= -(k_1 + \alpha) \tilde{i}_a + \alpha z_a - \frac{\Delta \tilde{R}_1}{\sigma} \left( i_a + \frac{R_{2N} + \Delta \tilde{R}_2}{L_2} \xi_a \right) + \Delta \tilde{R}_2 \left( \frac{\beta}{L_2} (\eta_a - L_m i_a) - \frac{1}{L_2 \sigma} \Delta \hat{R}_1 \xi_a \right) - \Delta \tilde{R}_1 \Delta \tilde{R}_2 \frac{1}{L_2 \sigma} \xi_a \\ \dot{z}_a &= -(k_1 - k_2) \tilde{i}_a. \end{aligned} \quad (10)$$

При розгляді лінійної апроксимації (10) квадратичною компонентою  $\Delta \tilde{R}_1 \Delta \tilde{R}_2 \frac{1}{L_2 \sigma} \xi_a$  можна знехтувати.

Для визначення законів ідентифікації  $\Delta \hat{R}_1, \Delta \hat{R}_2$ , розглянемо наступну додатньо-визначену функцію ( $\gamma_i > 0, i = 1, 2, 3, \gamma_1 = k_1 - k_2 > 0, \gamma_2 > 0, \gamma_3 > 0$ ):

$$V = \frac{1}{2} \left[ \tilde{i}_a^2 + \frac{\alpha}{\gamma_1} z_a^2 + \frac{1}{\gamma_2} \Delta \tilde{R}_1^2 + \frac{1}{\gamma_3} \Delta \tilde{R}_2^2 \right]. \quad (11)$$

Похідна  $V$  в силу рівнянь (10) має вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= -(k_1 + \alpha) \tilde{i}_a^2 - \frac{\Delta \tilde{R}_1}{\sigma} \tilde{i}_a \left( i_a + \frac{1}{L_2} (R_{2N} + \Delta \hat{R}_2) \xi_a \right) + \\ &+ \Delta \tilde{R}_2 \frac{\beta}{L_2} \tilde{i}_a \left( \eta_a - L_m i_a - \frac{L_2}{L_m} \Delta \hat{R}_1 \xi_a \right) + \frac{1}{\gamma_2} \Delta \tilde{R}_1 \dot{\Delta \tilde{R}}_1 + \frac{1}{\gamma_3} \Delta \tilde{R}_2 \dot{\Delta \tilde{R}}_2. \end{aligned} \quad (12)$$

Визначивши в (12):

$$\begin{aligned} \Delta \dot{\hat{R}}_1 &= -\Delta \hat{R}_1 = \frac{\gamma_2}{\sigma} \tilde{i}_a \left( i_a + \frac{1}{L_2} (R_{2N} + \Delta \hat{R}_2) \xi_a \right) \\ \Delta \dot{\hat{R}}_2 &= -\Delta \hat{R}_2 = -\gamma_3 \frac{\beta}{L_2} \tilde{i}_a \left( \eta_a - L_m i_a - \frac{L_2}{L_m} \Delta \hat{R}_1 \xi_a \right), \end{aligned} \quad (13)$$

отримаємо:

$$\dot{V} = -(k_1 + \alpha) \tilde{i}_a^2. \quad (14)$$

Повні рівняння алгоритму ідентифікації активних опорів статора і ротора задаються (4), (9) та (13), вони описують нелінійну динамічну систему п'ятого порядку в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{i}_a &= -\left( \frac{R_{1N}}{\sigma} + R_{2N} \beta \frac{L_m}{L_2} \right) i_a + \beta \frac{R_{2N}}{L_2} \eta_a + \frac{1}{\sigma} u_a + k_1 \tilde{i}_a + \Delta \hat{R}_2 \frac{\beta}{L_2} (\psi_a - L_m i_a) + v_a \\ \dot{\eta}_a &= -\frac{R_{2N}}{L_2} \eta_a + R_{2N} \frac{L_m}{L_2} i_a - \frac{k_2}{\beta} \tilde{i}_a - \frac{\Delta \hat{R}_2}{L_2} (\eta_a - L_m i_a) - \frac{1}{\beta} v_a \\ \dot{\xi}_a &= i_a \\ \Delta \dot{\hat{R}}_1 &= -\frac{\gamma_3}{\sigma} \left[ \tilde{i}_a \left( i_a + \frac{1}{L_2} (R_{2N} + \Delta \hat{R}_2) \xi_a \right) + \tilde{i}_b \left( i_b + \frac{1}{L_2} (R_{2N} + \Delta \hat{R}_2) \xi_b \right) \right] \\ \Delta \dot{\hat{R}}_2 &= \gamma_4 \frac{\beta}{L_2} \left[ \tilde{i}_a \left( \eta_a - L_m i_a - \frac{L_2}{L_m} \Delta \hat{R}_1 \xi_a \right) + \tilde{i}_b \left( \eta_b - L_m i_b - \frac{L_2}{L_m} \Delta \hat{R}_1 \xi_b \right) \right] \\ v_a &= -\frac{\Delta \hat{R}_1}{\sigma} i_a - \frac{R_{2N}}{L_2 \sigma} \Delta \hat{R}_1 \xi_a - \frac{1}{L_2 \sigma} \Delta \hat{R}_1 \Delta \hat{R}_2 \xi_a. \end{aligned} \quad (15)$$

Алгоритм ідентифікації (15) містить чотири додатних параметрів налаштування:  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $\gamma_1 = k_1 - k_2$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma_3$ , його входами є  $u_a$ ,  $i_a$ , виходами оцінені значення  $\Delta \hat{R}_1$  і  $\Delta \hat{R}_2$  для активних опорів статора і ротора.

Умови глобальної експоненційної стійкості положення рівноваги  $(\tilde{i}_a, z_a, \Delta \tilde{R}_1, \Delta \tilde{R}_2) = 0$  лінеаризованої системи (10), (з урахуванням нехтування складовою, яка пропорційна  $\Delta \tilde{R}_1 \Delta \tilde{R}_2$ ) та (13), визначеної спостерігачем (15), доводяться наступним чином.

З (11) та (14) слідує, що  $\tilde{i}_a$ ,  $z_a$ ,  $\Delta \tilde{R}_1$ ,  $\Delta \tilde{R}_2$  є обмеженими. Оскільки в силу припущення А.1  $\psi_{2a}$ ,  $\xi_a$  обмежені, то з (6) слідує, що  $\tilde{\eta}_a$ , а, отже  $\eta_a$ , також обмежені. Рівняння динаміки похибок оцінювання з (10) і (13) можуть бути представлені в наступній стандартній формі [4]:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{\mathbf{i}}} &= \mathbf{A}(t) \tilde{\mathbf{i}} + \mathbf{W}(t) \tilde{\mathbf{p}} \\ \dot{\tilde{\mathbf{p}}} &= -\Lambda \mathbf{W}^T(t) \tilde{\mathbf{i}}, \end{aligned} \quad (16)$$

де

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= [-(k_1 + \alpha)], \quad \mathbf{W}^T(t) = \left( \alpha \left( -\frac{1}{\sigma} i_a - \frac{R_{2N} + \Delta \hat{R}_2}{L_2 \sigma} \xi_a \right) \left( \frac{\beta}{L_2} (\eta_a - L_m i_a) - \frac{1}{L_2 \sigma} \Delta \hat{R}_1 \xi_a \right) \right), \\ \tilde{\mathbf{i}} &= (\tilde{i}_a), \quad \tilde{\mathbf{p}} = (z_a, \Delta R_1, \Delta R_2)^T, \quad \Lambda = \text{diag}(\gamma_1 \alpha, \gamma_2, \gamma_3), \quad \gamma_1 = k_1 - k_2 > 0. \end{aligned}$$

Оскільки  $\tilde{\mathbf{p}}$  обмежений,  $\mathbf{W}(t)$  також обмежена, то з (15) слідує, що  $\dot{\tilde{\mathbf{i}}}$  буде обмеженим. З іншого боку з (14) маємо:

$$\int_0^t \dot{V}(\tau) d\tau = -(k_1 + \alpha) \int_0^t \tilde{i}_a^2(\tau) d\tau = V(t) - V(0), \quad (17)$$

тому  $\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t \tilde{i}_a^2(\tau) d\tau < \infty$ , оскільки  $V(t)$  обмежена. Пряме використання леми Барбалат [4] дає:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{i}_a) = 0. \quad (18)$$

Остання умова дозволяє з (16) встановити, що:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{W}^T(\mathbf{t})\tilde{\mathbf{p}} = 0. \quad (19)$$

Додатково, якщо матриця:

$$\int_t^{t+T} \mathbf{W}(\tau)\mathbf{W}^T(\tau) d\tau \geq c\mathbf{I} > 0, \quad (20)$$

для деякого  $T > 0$ ,  $c > 0$  і всіх  $t \geq 0$ , то умова персистентності збудження для системи (16) виконуються і вектори  $\tilde{\mathbf{i}}$ ,  $\tilde{\mathbf{p}}$  експоненційно затухають в нуль [4].

Таким чином, положення рівноваги  $\tilde{\mathbf{i}} = 0$ ,  $\tilde{\mathbf{p}} = 0$  лінеаризованої системи (10), (13) ( $\Delta\tilde{R}_1\Delta\tilde{R}_2 \frac{1}{L_2\sigma} \xi_a = 0$ ) є глобально експоненційно стійким, тому положення рівноваги системи (10), (13) з урахуванням цієї компоненти буде локально експоненційно стійким.

*Зауваження 1.* Якщо змінні  $z_a$ ,  $\tilde{i}_a$  експоненційно затухають в нуль, то з (6) ми маємо  $\lim_{t \rightarrow \infty} \left( \beta \tilde{\eta}_a(t) + \frac{\Delta R_1}{\sigma} \xi_a(t) \right) = 0$ , і, тому, похибка оцінювання потоку може не затухати в нуль, оскільки змінна  $\xi_a(t)$  в нуль не затухає. Однак в цьому випадку реальне поточозчеплення можна встановити з наступних умов:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left( \beta(\psi_{2a}(t) - \eta_a(t)) + \frac{\Delta \hat{R}_1}{\sigma} \xi_a(t) \right) = 0, \quad (21)$$

використовуючи оцінені значення  $\eta_a$ ,  $\Delta \hat{R}_1$ , а також відому змінну  $\xi_a$ .

З умови (21) в усталеному режимі знаходимо розрахункове значення поточозчеплення ротора у вигляді:

$$\hat{\psi}_{2a} = \eta_a - \frac{\Delta \hat{R}_1}{\beta\sigma} \xi_a. \quad (22)$$

*Зауваження 2.* Оскільки компонента вектора поточозчеплення ротора  $\psi_{2a}$  може бути розрахована з використанням (22), то допустимо вважати що ідентифікатор (15) являється також і адаптивним до зміни активних опорів статора і ротора спостерігачем поточозчеплення ротора при  $\omega = 0$ .

*Дослідження динамічних процесів ідентифікації активних опорів статора і ротора*

Дослідження динамічних процесів ідентифікації активних опорів статора і ротора за допомогою алгоритму (15) методом математичного моделювання проведено при його автономній роботі та наявності початкових похибок ідентифікації параметрів.

Вхідний сигнал компоненти напруги статора по осі b дорівнює нулю, що забезпечує кутову швидкість ротора  $\omega = 0$ . Вхідний сигнал компоненти напруги статора  $u_a(t)$  є синусоїдою з амплітудою  $u_m = 30$  В та частотою  $\omega_1 = 10$  рад/с, компоненту струму статора  $i_a(t)$ , потокозчеплення ротора  $\psi_{2a}(t)$  та інтеграл від струму статора за часом  $\xi_a(t)$  зображено на рис. 1. Як бачимо з рис 1, потокозчеплення ротора не потрапляє в зону насичення та інтеграл від струму статора за часом є обмеженим. Похибка оцінювання струму статора  $\tilde{i}_a(t)$ , похибка оцінювання потокозчеплення ротора  $\tilde{\psi}_{2a}(t)$ , та оцінені значення активних опорів статора  $\hat{R}_1(t)$  та ротора  $\hat{R}_2(t)$  зображено на рис. 2 та рис. 3 для початкових умов алгоритму ідентифікації  $\hat{R}_1(0) = 0.5 \cdot R_{1N}$ ,  $\hat{R}_2(0) = 0.5 \cdot R_{2N}$  та  $\hat{R}_1(0) = 2 \cdot R_{1N}$ ,  $\hat{R}_2(0) = 2 \cdot R_{2N}$  відповідно. При дослідженні початкові умови для оцінок струму статора  $\hat{i}_a(0) = 0$  та змінної  $\eta_a(0) = 0$ , що з виразу (6) еквівалентно потокозчеплення ротора  $\hat{\psi}_{2a}(0) = 0$ . В обох випадках оцінки активних опорів досягають коректних значень приблизно за 4 с.

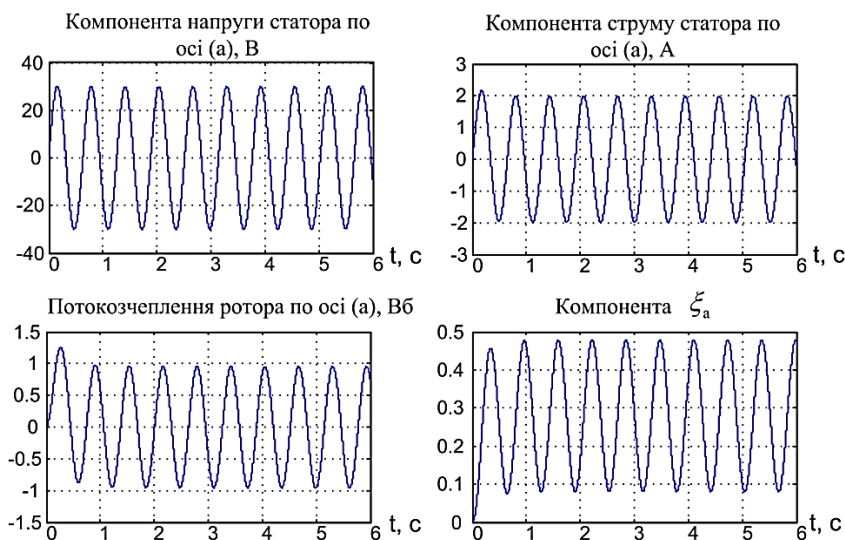


Рис. 1. Умови тесту

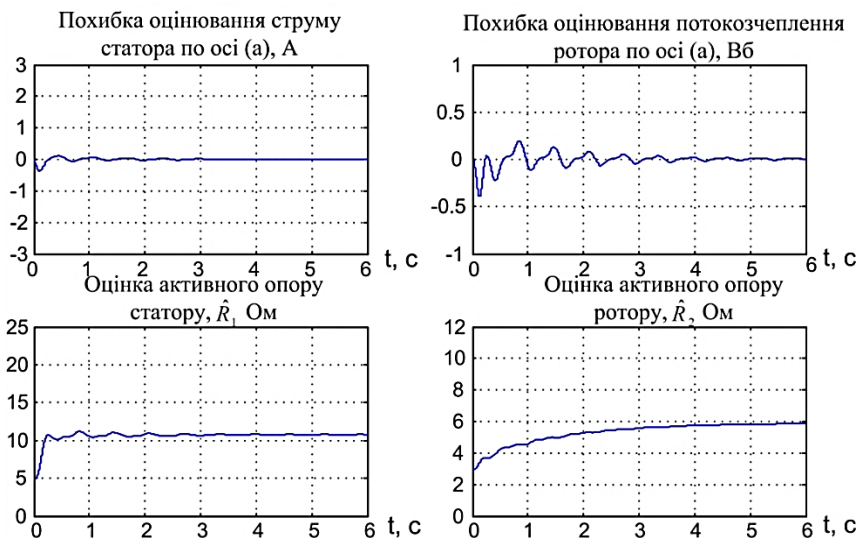


Рис. 2. Динамічні процеси ідентифікації при початкових умовах алгоритму ідентифікації  $\hat{R}_1(0) = 0.5 \cdot R_{1N}$ ,  $\hat{R}_2(0) = 0.5 \cdot R_{2N}$

При дослідженні використовувалися номінальні параметри асинхронного двигуна потужністю 0,75 кВт:  $R_{1N}=10.9$  Ом,  $R_{2N}=5.9$  Ом,  $L_1=0.95$  Гн,  $L_2=0.95$  Гн,  $L_m=0.91$  Гн.

Алгоритм ідентифікації (15) активних опорів статора і ротора досліджувався при наступних значеннях параметрів налаштування  $k_1=400$ ,  $k_2=380$ ,  $\gamma_2=4$ ,  $\gamma_3=19$ .

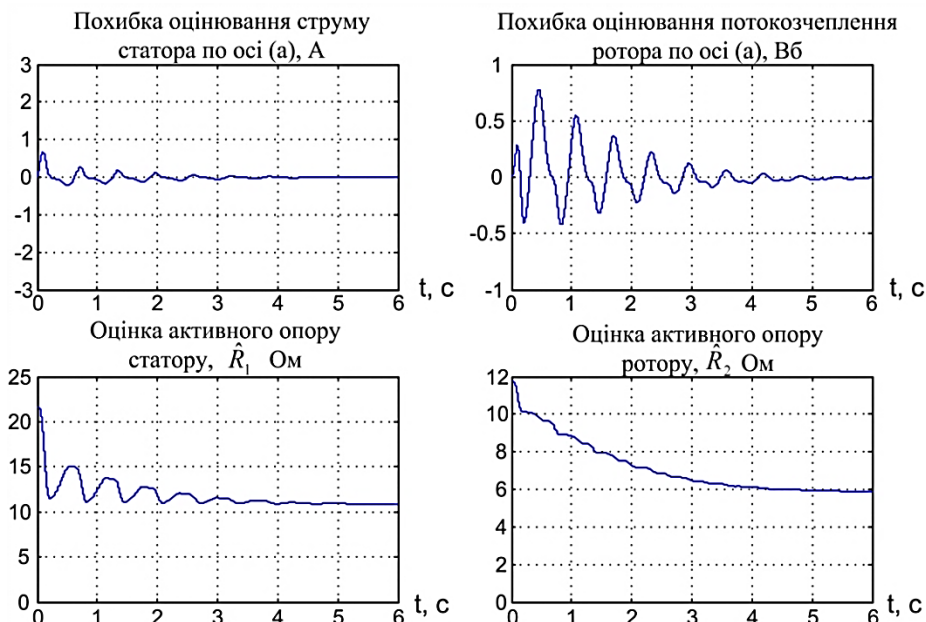


Рис. 3. Динамічні процеси ідентифікації при початкових умовах алгоритму ідентифікації  $\hat{R}_1(0) = 2 \cdot R_{1N}$ ,  $\hat{R}_2(0) = 2 \cdot R_{2N}$

Оцінки активних опорів прямують до коректних значень, похибки струмів не затухають в нуль, що викликано вимірювальними шумами, ефектами квантування та дискретизації, неточностями у значеннях індуктивностей та неідеальностями інвертора.

Графіки експериментальних перехідних процесів ідентифікації активних опорів статора і ротора в умовах тесту моделювання представлено на рис. 4, рис. 5.

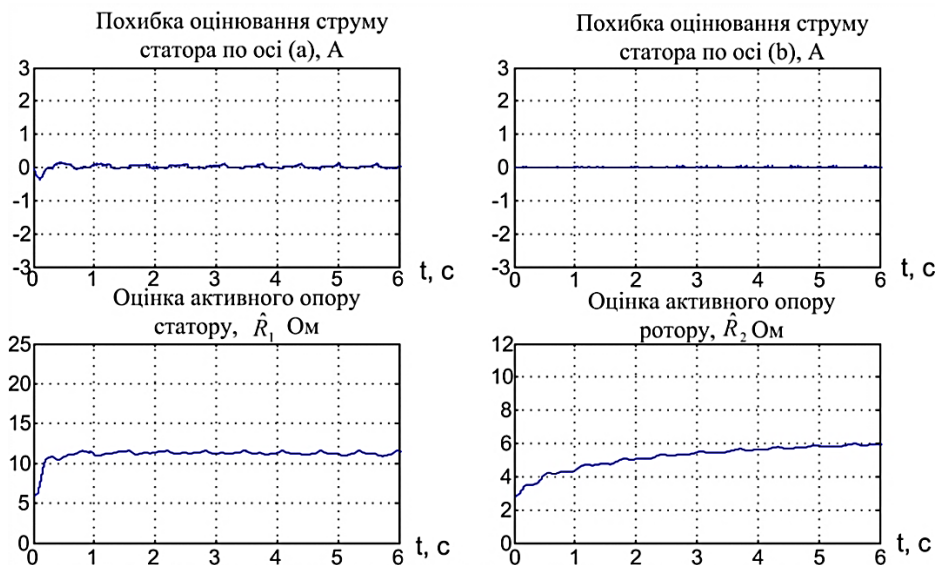


Рис. 4. Динамічні процеси ідентифікації при експерименті на нульовій швидкості та початкових умовах  $\hat{R}_1(0) = 0.5 \cdot R_{1N}$ ,  $\hat{R}_2(0) = 0.5 \cdot R_{2N}$

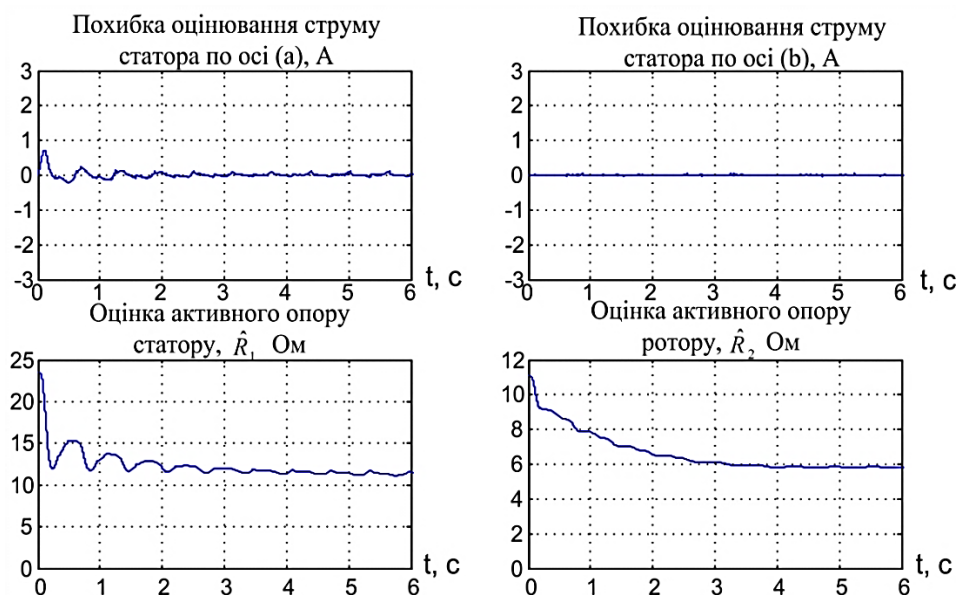


Рис. 5. Динамічні процеси ідентифікації при експерименті на нульовій швидкості та початкових умовах  $\hat{R}_1(0) = 2 \cdot R_{1N}$ ,  $\hat{R}_2(0) = 2 \cdot R_{2N}$

Послідовність команд керування така сама як і при дослідженні шляхом моделювання при нульовій кутовій швидкості.

При дослідженні використовувався асинхронний двигун потужністю 0,75 кВт параметри якого наведені раніше. Коефіцієнти налаштування алгоритму ідентифікації (15) при експерименті взяті ті ж самі, що й при моделюванні. Як слідує з рис. 2 – 5, результати експериментів з високим ступенем точності співпадають з результатами моделювання.

## ВИСНОВКИ

Синтезовано новий алгоритм ідентифікації активних опорів статора і ротора на основі інформації про компоненти струму та напруги статорної обмотки при нульовій кутовій швидкості ротора. Показано, що при виконанні умов персистентності збудження ідентифіковані значення активних опорів статора та ротора експоненційно прямують до своїх дійсних значень, що підтверджено також результатами експериментальних досліджень. Алгоритм ідентифікації може використовуватись в системах початкової ідентифікації параметрів асинхронного двигуна.

Додатково синтезований алгоритм ідентифікації також є спостерігачем потокозчеплення ротора, адаптивним до змін активних опорів статора і ротора, він простіший за існуючі теоретично обґрунтовані рішення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Krishnan R. Study of parameter sensitivity in high performance inverter-fed induction motor drive systems / R. Krishnan, F. C. Doran // *IEEE Trans. Ind. Applicat.* – 1987. – Vol. 23. – P. 623–635.
2. Marino R. Global adaptive output feedback control of induction motors with uncertain rotor resistance / R. Marino, S. Peresada, P. Tomei // *IEEE Trans. on Automatic Control.* – 1999. – Vol. 44, No. 5. – P. 967–983.
3. Marino R. On-line stator and rotor resistance identification in induction motor / R. Marino, S. Peresada, P. Tomei // *IEEE Trans. Control Sys Tech.* – 2000. – Vol. 8, No. 3. – P. 570–578.
4. Marino R. *Nonlinear Control Design—Geometric, Adaptive and Robust* / R. Marino, P. Tomei. – Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1995.