

Дослідження властивостей робастності адаптивного спостерігача потокозчеплення асинхронного двигуна відносно варіацій активного опору статора

Пересада С.М., проф.; Малько М.П., магістрант, Коноплінський М.А.
магістрант

кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Одним з недоліків адаптивних систем являється їх чутливість до змін тих параметрів, які не адаптуються. Це призводить до порушення асимптотичності регулювання (оцінювання) координат (параметрів), а при значних варіаціях неадаптуємих параметрів навіть до втрати стійкості системи.

При розгляді задач спостереження вектора потокозчеплення ротора [1] основним параметричним збуренням являється активний опір ротора R_2 . Вперше задача асимптотичної ідентифікації цього параметра була теоретично розв'язана в [2], [3]. У цих же роботах експериментально показано, що при зміні активного опору статора R_1 асимптотичність оцінювання R_2 порушується: зменшення R_1 на 20% по відношенню до номінального значення призводить до помилки оцінювання R_2 приблизно на 10%. Такий результат можна вважати задовільним, оскільки в ряді літературних джерел наводяться дані, коли чутливість алгоритмів ідентифікації в 2-3 рази вища.

В [4] запропонована нова структура адаптивного до варіацій R_2 спостерігача вектора потокозчеплення ротора, який простіший відносно [2], [3]. Результати експериментального тестування, наведені в [5] підтвердили високу ефективність спостерігача [4], однак властивості робастності до варіацій R_1 не досліджувались, що і являється метою даної статті.

1. Математична модель адаптивного спостерігача

Математична модель адаптивного спостерігача має вигляд [4]

$$\begin{aligned}\dot{\hat{i}}_{1a} &= -k_1 \tilde{i}_{1a} - \left(\frac{\hat{R}_1}{\sigma} + \hat{\alpha} L_m \beta \right) i_{1a} + \hat{\alpha} \beta \hat{\psi}_{2a} + \beta \omega \hat{\psi}_{2b} + \frac{1}{\sigma} u_{1a} \\ \dot{\hat{i}}_{1b} &= -k_1 \tilde{i}_{1b} - \left(\frac{\hat{R}_1}{\sigma} + \hat{\alpha} L_m \beta \right) i_{1b} + \hat{\alpha} \beta \hat{\psi}_{2b} - \beta \omega \hat{\psi}_{2a} + \frac{1}{\sigma} u_{1b} \\ \dot{\hat{\psi}}_{2a} &= -\hat{\alpha} \hat{\psi}_{2a} - \omega \hat{\psi}_{2b} + \hat{\alpha} L_m i_{1a} - (k_1 - \hat{\alpha}) \tilde{i}_{1a} - \omega \tilde{i}_{1b} \\ \dot{\hat{\psi}}_{2b} &= -\hat{\alpha} \hat{\psi}_{2b} + \omega \hat{\psi}_{2a} + \hat{\alpha} L_m i_{1b} - (k_1 - \hat{\alpha}) \tilde{i}_{1b} + \omega \tilde{i}_{1a} \\ \dot{\hat{\alpha}} &= \gamma_1 \beta [\tilde{i}_{1a} f_a + \tilde{i}_{1b} f_b]\end{aligned}\tag{1}$$

де (u_{1a}, u_{1b}) , (i_{1a}, i_{1b}) – компоненти векторів напруги статора і струму статора; $(\hat{i}_{1a}, \hat{i}_{1b})$, $(\hat{\psi}_{2a}, \hat{\psi}_{2b})$ – оцінені значення компонент струму статора і потокозчеплення ротора, $\hat{\alpha}$ – оцінене значення параметра $\alpha = \frac{R_2}{L_2}$, $\hat{R}_1 = \text{const}$ оцінка значення

активного опору статора; $\tilde{i}_{1a} = i_{1a} - \hat{i}_{1a}$, $\tilde{i}_{1b} = i_{1b} - \hat{i}_{1b}$ – похибки спостереження; L_1, L_2, L_m – індуктивності статора, ротора і намагнічуючого контуру, ω – кутова

швидкість. Додатні константи в (1), пов'язані з електричними параметрами АД наступним чином: $\sigma = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2}$, $\beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}$, $\gamma_1 > 0$, $k_1 > 0$ - корегуючі коефіцієнти спостерігача; $f_a = (\hat{\psi}_{2a} - L_m i_{1a})$, $f_b = (\hat{\psi}_{2b} - L_m i_{1b})$; Без втрати загальності в (1) прийнята одна пара полюсів.

Рівняння динаміки похибок спостереження та оцінювання при використанні спостерігача (1) мають вигляд

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{i}}_{1a} &= -\frac{\Delta R_1}{\sigma} \tilde{i}_{1a} + \alpha \beta \tilde{\psi}_{2a} + \beta \omega \tilde{\psi}_{2b} + e_\alpha \beta f_a - k_1 \tilde{i}_{1a}, \\ \dot{\tilde{i}}_{1b} &= -\frac{\Delta R_1}{\sigma} \tilde{i}_{1b} + \alpha \beta \tilde{\psi}_{2b} - \beta \omega \tilde{\psi}_{2a} + e_\alpha \beta f_b - k_1 \tilde{i}_{1b}, \\ \dot{\tilde{\psi}}_{2a} &= -\alpha \tilde{\psi}_{2a} - \omega \tilde{\psi}_{2b} + \frac{(k_1 - \hat{\alpha}) \tilde{i}_{1a}}{\beta} + \frac{\omega \tilde{i}_{1b}}{\beta} - e_\alpha f_a, \\ \dot{\tilde{\psi}}_{2b} &= -\alpha \tilde{\psi}_{2b} + \omega \tilde{\psi}_{2a} + \frac{(k_1 - \hat{\alpha}) \tilde{i}_{1b}}{\beta} - \frac{\omega \tilde{i}_{1a}}{\beta} - e_\alpha f_b, \\ \dot{e}_\alpha &= -\gamma_1 \beta [\tilde{i}_{1a} f_a + \tilde{i}_{1b} f_b],\end{aligned}\tag{2}$$

де $\tilde{\psi}_{2a} = \psi_{2a} - \hat{\psi}_{2a}$, $\tilde{\psi}_{2b} = \psi_{2b} - \hat{\psi}_{2b}$ - похибки оцінювання компонент вектора потокозчеплення ротора; $e_\alpha = \alpha - \hat{\alpha}$ - похибка оцінювання α , $\Delta R_1 = R_1 - \hat{R}_1$.

2.Методика дослідження робастності

Під час дослідження моделюванням використовувався робастний алгоритм векторного керування [6] АД, з послідовністю операцій керування, що, описана в [5] (номінальна потужність 0.75кВт, номінальний момент 2.5Нм, $R_1=11\Omega$, $R_2=5.51\Omega$, $L_1=L_2=0.95\text{Гн}$, $L_m=0.91\text{Гн}$, $J=0.005\text{кг}\cdot\text{м}^2$). Дослідження здійснювалось в автономному режимі, тобто оцінені значення змінних, що спостерігаються, використовувались для визначення показників точності і не вводились в алгоритм керування АД..

3.Результати моделювання

В [4] доведено, що при $\Delta R_1=0$ спостерігач (1) гарантує асимптотичне спостереження компонент вектора потокозчеплення ротора, а при виконанні умов персистентності збудження також і асимптотичне оцінювання параметра α . При $\Delta R_1 \neq 0$ асимптотичність спостерігача порушується, тобто $\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{\psi}_{2a}, \tilde{\psi}_{2b}, e_\alpha) \neq 0$.

Задані траєкторії потоку Ψ^* та швидкості ω представлені на Рис.1 суцільними лініями, а пунктирною показаний профіль моменту навантаження M_c . При $k_1=50$, $\gamma_1=0.75$ у випадку номінальних активних опорів ротора і статора і ненульових початкових значеннях $\hat{\alpha}(0)=0.5\alpha_H$ і $\hat{\alpha}(0)=2\alpha_H$ графіки перехідних процесів похибок $\tilde{\Psi} = \sqrt{(\tilde{\Psi}_a^2 + \tilde{\Psi}_b^2)} / \Psi_H$ і $\tilde{\alpha} = \dot{e}_\alpha / \alpha_H$, де Ψ_H , α_H - відповідні номінальні значення, наведені на Рис.2 а) і б).

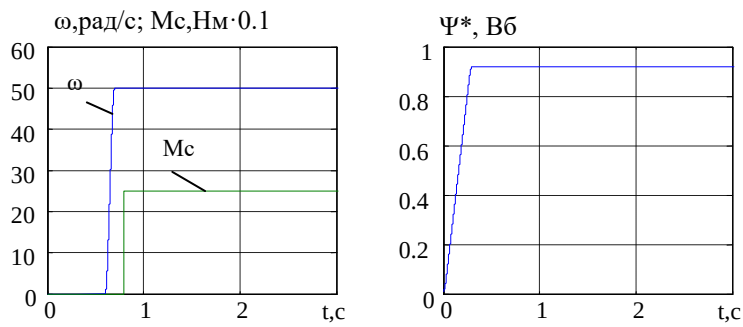


Рис. 1. Задані траєкторії кутової швидкості, поточкозчеплення, профіль моменту навантаження

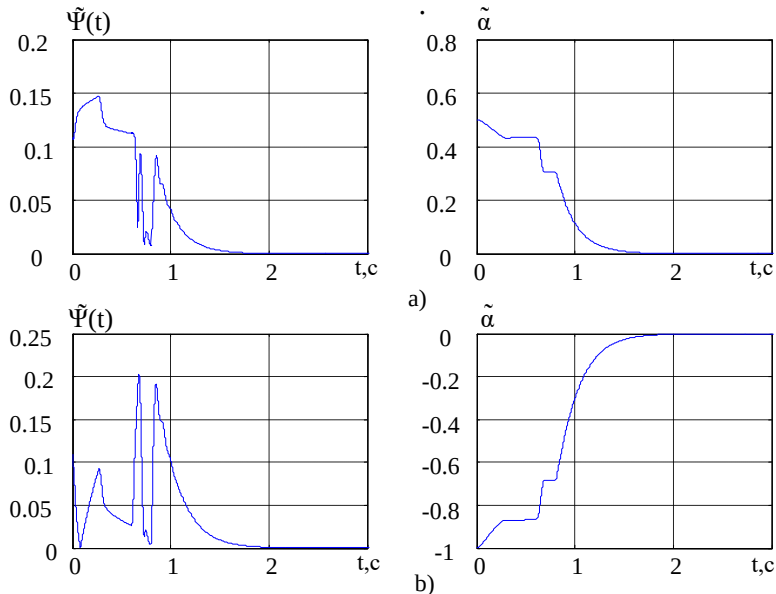


Рис. 2 Графіки перехідних процесів похибок поточкозчеплення та параметра α

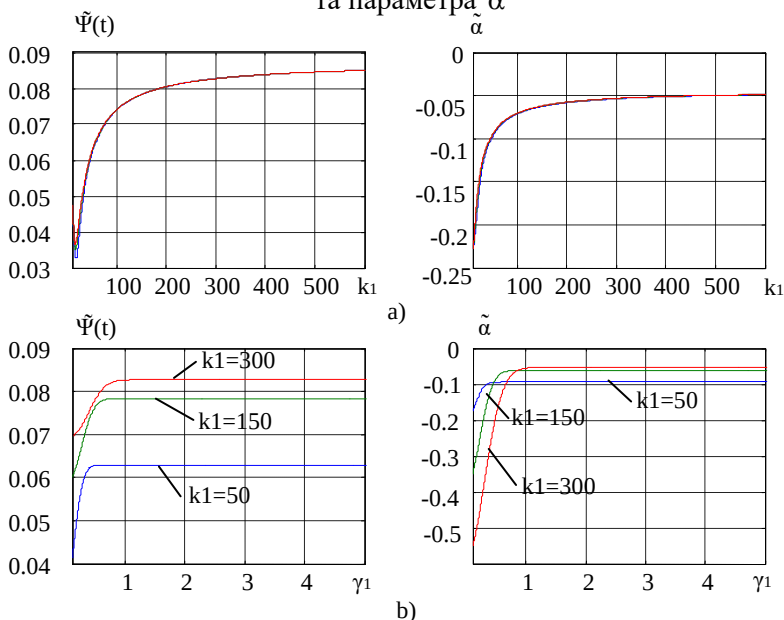


Рис. 3 Графіки статичних похибок поточкозчеплення і параметра α

Для визначення значень корегуючих параметрів k_1 і γ_1 , при яких система буде найбільш грубою відносно варіацій R_1 проводились наступні дослідження.

Для трьох сталих значень γ_1 : [0.75, 1.5, 3] в одному випадку і для трьох сталих значень k_1 : [50, 150, 300] в другому випадку отримано залежності $\tilde{\Psi}$ і $\tilde{\alpha}$ від k_1 і γ_1 , показані на Рис.3. З Рис.3 видно, що:

а) для трьох різних сталих значень γ_1 залежності $\tilde{\Psi}$ і $\tilde{\alpha}$ від k_1 практично не відрізняються

б) при різних сталих k_1 маємо різні залежності $\tilde{\Psi}$ і $\tilde{\alpha}$ від γ_1 , при чому збільшення k_1 призводить до зменшення похибки для α і збільшення для Ψ .

З отриманих графіків можна зробити висновок, що неможливо одночасно покращити точність оцінювання α і спостереження Ψ при варіаціях R_1 . З урахуванням того, що параметри γ_1 і k_1 необхідно обирати так, щоб уникнути затягнутих перехідних процесів при малих значеннях і надмірної коливальності при великих.

На основі аналізу графіків можна дати наступні рекомендації:

а) γ_1 і k_1 варто обирати на інтервалах (1-100) і (30-150) відповідно, поза цими інтервалами динаміка погіршується;

б) коли пріоритетність має оцінювання α , k_1 варто обирати на інтервалі (50-150), у випадку пріоритетності спостереження – (30-50); γ_1 на

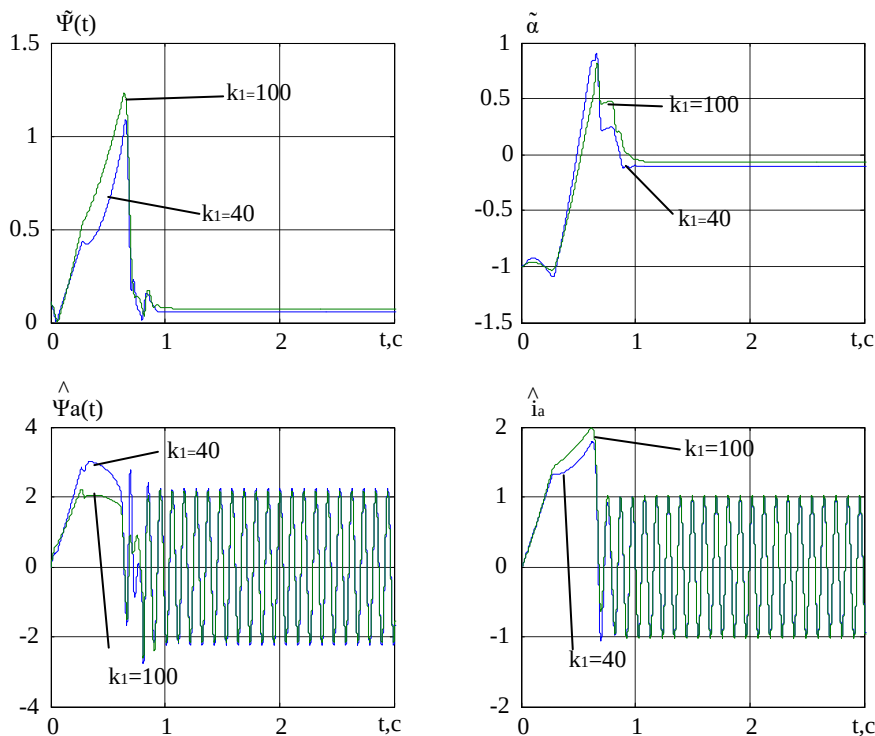


Рис. 4 Графіки перехідних процесів спостерігача

похибки $\tilde{\alpha}=0.07\%$ для $k_1=100$ і $\tilde{\alpha}=11\%$ для $k_1=40$.

Висновки. Розроблено методику пошуку значень коефіцієнтів корегуючих зв'язків спостерігача, для забезпечення задовільної робастності адаптивного спостерігача до варіацій активного опору статора при прийнятних динамічних показниках.

Література

- [1]. G. C. Verghese and S. R. Sanders Observers for flux estimation in induction machines // IEEE Trans. on Industrial Electronics. –1988. –Vol. 35. – P. 85–94.
- [2]. R. Marino, S. Peresada, P. Tomei, on-line rotor resistance estimation for induction motors, in Proc. IECON-94, Bologna, Italy, Sept. 1994, pp 2137-2141
- [3]. R. Marino, S. Peresada and P. Tomei. Output feedback control of current-fed induction motors with unknown rotor resistance // IEEE Trans. on Control Systems Technology. –1996. –Vol. 4, No. 4. –P. 336–347.
- [4]. С.М. Пересада, В.С. Бовкунович, С.Н. Ковбаса. Адаптивный наблюдатель магнитного потока: новый синтез, гарантирующий асимптотичность оценивания вектора потокосцепления и активного сопротивления ротора асинхронного двигателя // Технічна електродинаміка, в редакції.
- [5]. С.М. Пересада, В.С. Бовкунович, С.Н. Ковбаса. Экспериментальное тестирование адаптивного к вариациям активного сопротивления роторной цепи наблюдателя потокосцепления асинхронного двигателя // Технічна електродинаміка, в редакції.
- [6]. С.М. Пересада, С.Н. Ковбаса, В.С. Бовкунович. Грубое векторное управление моментом и потоком асинхронного двигателя // Технічна електродинаміка, в редакції.

рекомендованому інтервалі не впливає на точність.

Представлено графіки перехідних процесів $\tilde{\Psi}$, $\tilde{\alpha}$, $\tilde{\Psi}_a$ та $\tilde{i}_{1a}$ а при $\gamma_1=3$, $\hat{\alpha}(0)=1.2\alpha_n$ і $R_1=1.2R_{1H}$ для двох значень $k_1=40$ і $k_1=100$ на Рис.4, з яких видно, що обрані значення параметрів забезпечують задовільну точність оцінювання α в одному випадку і більш високу точність спостереження потокозчеплення в іншому. Отримано