

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБАСТНОСТІ АЛГОРИТМУ ПРЯМОГО ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ КООРДИНАТ

Сопіга М.В., магістрант, Ковбаса С.М., к.т.н., доц.

НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Системи векторного керування асинхронними двигунами (АД) без вимірювання механічних координат (бездавачеве) серійно виробляються більшістю ведучих виробників починаючи з середини 1990-х. Завдяки цьому вони отримали широке застосування в електромеханічних системах технологічних застосувань з середнім рівнем вимог до статичної і динамічної точності регулювання кутової швидкості. Разом з тим, аналіз публікацій свідчить про те (див. оглядові публікації [1] – [3]), що певного загально теоретичного рішення проблеми бездавачевого керування координатами АД до теперішнього часу не знайдено. Однією з невирішених проблем є чутливість алгоритмів бездавачевого керування до параметричних збурень.

Мета роботи – дослідження робастності алгоритму прямого бездавачевого векторного керування [4] до варіацій опорів статора та ротора АД.

Матеріали дослідження. Рівняння синтезованого алгоритму прямого бездавачевого векторного керування задаються [4]:

- спостерігачем вектора потокозчеплення ротора

$$\begin{aligned} \dot{\hat{\psi}} &= -\alpha\hat{\psi} + \alpha L_m \hat{i}_d, \\ \dot{\hat{\omega}}_0 &= \omega_0 = \hat{\omega} + \alpha L_m i_q^* / \hat{\psi} + v_\varepsilon / \hat{\psi}; \\ \dot{\hat{i}}_d &= -\gamma \hat{i}_d + \omega_0 i_q + \alpha \beta \hat{\psi} + \sigma^{-1} u_d + k_{od} \tilde{\hat{i}}_d \end{aligned} \quad (9)$$

- регулятором модуля вектора потокозчеплення ротора

$$i_d^* = (\alpha \psi^* + \dot{\psi}^* - k_\psi e_\psi - x_\psi) / \alpha L_m, \dot{x}_\psi = k_{\psi i} e_\psi; \quad (10)$$

- регулятором кутової швидкості

$$i_q^* = (\dot{\omega}^* - k_\omega e_\omega + \dot{M}_c) / \mu \hat{\psi}, \dot{M}_c = -k_{oi} e_\omega; \quad (11)$$

- нелінійними пропорційно-інтегральними регуляторами струмів

$$u_d = \sigma (\gamma i_d^* - \omega_0 i_d^* - \alpha \beta \hat{\psi} + \dot{i}_d^* - k_{id} \tilde{i}_d + x_d), \dot{x}_d = -k_{ii} \tilde{i}_d, \quad (12)$$

$$u_q = \sigma (\gamma i_q^* + \omega_0 i_q^* + \beta \hat{\omega} \hat{\psi} + \dot{i}_q^* - k_{iq} \tilde{i}_q + x_q - \alpha \tilde{i}_q + \hat{\omega} (\tilde{i}_d + \tilde{i}_q)), \dot{x}_q = -k_{ii} \tilde{i}_q; \quad (13)$$

- спостерігачем кутової швидкості

$$\begin{aligned} \dot{\hat{i}}_q &= -\gamma \hat{i}_q - \omega_0 i_d - \beta \hat{\psi} \hat{\omega} + \sigma^{-1} u_q + k_{oq} \tilde{\hat{i}}_q, \\ \dot{e}_\omega &= -k_{oi} \tilde{i}_q / \beta \hat{\psi}, \hat{\omega} = \omega^* + e_\omega, \end{aligned} \quad (14)$$

де i_d^*, i_q^* – задані значення для струмів i_d, i_q ; $\tilde{i}_d = i_d - i_d^*, \tilde{i}_q = i_q - i_q^*$ – похибки відпрацювання струмів; \hat{i}_d, \hat{i}_q – оцінені значення струмів; $\tilde{\hat{i}}_d = i_d - \hat{i}_d, \tilde{\hat{i}}_q = i_q - \hat{i}_q$ –

похибки оцінювання струмів i_d, i_q ; \hat{M}_c – оцінене значення константи M_c/J ; x_d, x_q – інтегральні складові регуляторів струму; $\hat{\psi}$ – оцінене значення модуля вектора потокозчеплення ротора; $e_\psi = \hat{\psi} - \psi^*$ – похибка відпрацювання оціненого потокозчеплення, x_ψ – інтегральна компонента регулятора потоку; $((k_{id}, k_{iq}), k_{ii}) > 0, (k_\psi, k_{\psi i}) > 0, (k_\omega, k_{\omega i}) > 0$ – коефіцієнти пропорційних та інтегральних складових регуляторів струму, потоку та кутової швидкості відповідно; $(k_{\omega q}, k_{\omega i}) > 0, k_{\omega d} > 0$ – налаштувальні коефіцієнти спостерігача кутової швидкості і польової компоненти струму статора; v_ε – корегуючий зворотний зв'язок, що синтезується з використанням метода Ляпунова [4]; $\gamma_1 > 0$ – налаштувальний коефіцієнт; L_m – індуктивність намагнічуючого контуру $\alpha = R_2/L_2$; $\sigma = L_1 - L_m^2/L_2$; $\beta = L_m/\sigma L_2$; $\gamma = R_1/\sigma + \alpha\beta L_m$, $\mu = (3L_m)/(2JL_2)$, e_ω – оцінена похибка відпрацювання кутової швидкості.

Дослідження робастності алгоритму векторного керування заданого рівняннями (1) – (6) виконано методом математичного моделювання для АД з наступними параметрами $P_n = 5.5$ кВт, $M_n = 35$ Нм, $R_1 = 0.94$ Ом, $R_2 = 0.65$ Ом, $L_1 = L_2 = 0.1228$ Г, $L_m = 0.117$ Гн, число пар полюсів $p = 2$, $J = 0.17$ кг·м². Налаштування алгоритму керування встановлені наступними: $k_\omega = 30$, $k_{\omega i} = 450$, $k_i = 700$, $k_{ii} = 122500$, $\gamma_1 = 0.0122$, $k_{\omega d} = 300$, $k_{\omega q} = 600$, $k_{\omega i} = 1780$, $k_\psi = 100$, $k_{\psi i} = 5000$. Послідовність операцій керування включає наступні етапи: під час початкового інтервалу часу $0 \div 0.25$ с машина збуджується, траєкторія заданого потокозчеплення починається з $\psi^* = 0.02$ Вб і досягає значення 0.9 Вб; починаючи з $t = 0.5$ с двигун без навантаження розганяється по заданій траєкторії швидкості, яка має нульове початкове значення і досягає в першому випадку значення 20 рад/с (13% від номінальної), а в другому випадку – 100 рад/с (65%); в момент часу $t = 1.5$ с до вала двигуна прикладається, а при 2.5 с знімається постійний момент навантаження, рівний номінальному значенню. Задана траєкторія кутової швидкості сформована таким чином, щоб динамічний момент при розгоні двигуна відповідав номінальному значенню. При відпрацюванні постійного моменту навантаження фіксувалися похибки відпрацювання кутової швидкості та потокозчеплення.

На рис. 1 зображено графік залежності статичної похибки потокозчеплення від варіації активного опору статора. З даного графіку можна зробити висновок, що похибка відпрацювання заданої траєкторії потокозчеплення має додатне значення у випадку збільшення R_1 та від'ємне у випадку його зменшення. Графік залежності має лінійний характер, кут нахилу якого обернено залежить від кутової швидкості машини. На рис. 2 показано графіки залежності статичних похибок кутової швидкості від варіації параметрів R_1 та R_2 . Залежності також мають лінійний характер, але з від'ємним кутом нахилу. При варіації опору ротора значення кутової швидкості, на якій працює двигун, практично не впливає на величину її похибки. Крім цього в обох випадках похибка відпрацювання кутової швидкості прямо пропорційна варіації R_1 . При варіації активного опору ротора статична похибка потокозчеплення при накиданні моменту дорівнює нулю.

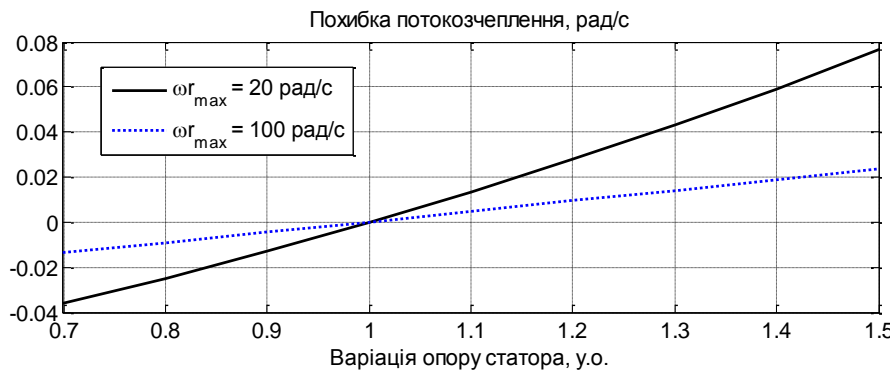


Рисунок 1 – Залежність похибки потокозчеплення від варіації R_1

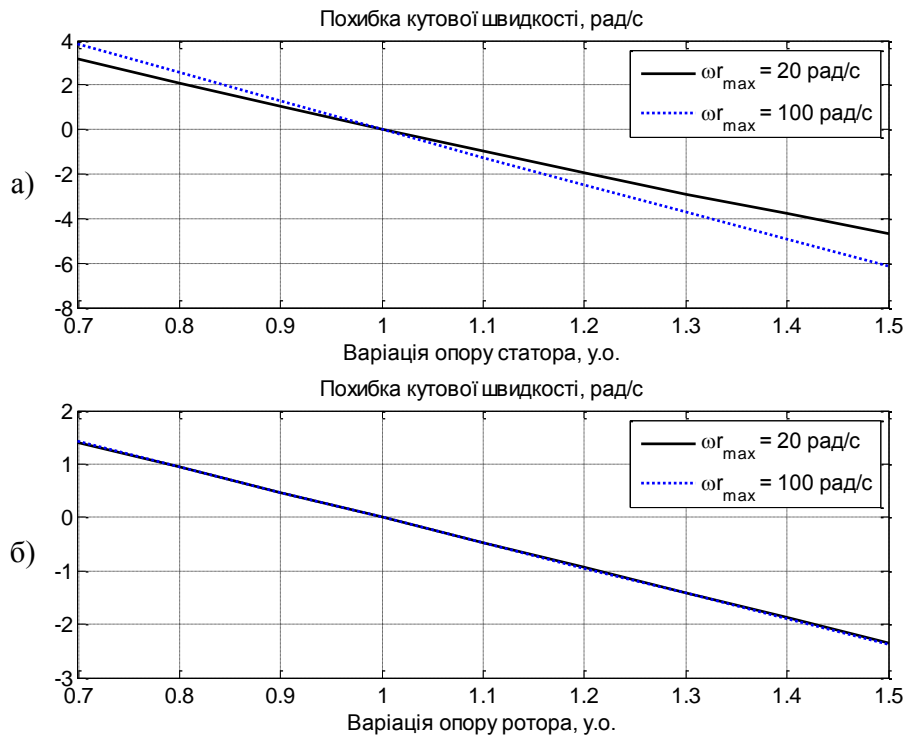


Рисунок 2 – Залежність похибки кутової швидкості від варіацій опорів: а) R_1 ; б) R_2

Висновки. Досліджено робастність алгоритму прямого бездавачевого векторного керування до варіацій опорів статора та ротора АД. З аналізу графіків залежностей похибок потокозчеплення та кутової швидкості від варіації активних опорів статора і ротора встановлено, що система є більш чутливою до варіацій активного опору статора на низьких швидкостях, в той час як вплив варіацій активного опору ротора на процеси керування є незалежним від кутової швидкості.

Перелік посилань

1. *Holtz J.* Perspectives of sensorless AC drives technology from the state of the art to future trends // Proc. PCIM Europe, Nurnberg, Germany, –June 2005, –P. 80 – 87.
2. *Pacas. M.* Sensorless drives in industrial applications // IEEE Industrial Electronics Magazine. –June 2011. –Vol. 5. –No. 3. –P. 16 – 23.
3. *Rajashékara K., Kawamura A. and Matsuse K.* Sensorless Control of AC Motor Drives. New York: IEEE Press, 1996. –497p.
4. Пересада С. М., Ковбаса С. Н. Общетеоретическое решение задачи векторного управления асинхронными двигателями без измерения механических координат // Технічна електродинаміка. В редакції.