

УДК 621.313

О.М. СІНЧУК, д-р техн. наук, проф., І.А. КОЗАКЕВИЧ, ст. викл., ШВИДКИЙ Д.О., студ.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПОКРАЩЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗІ СКАЛЯРНИМ КЕРУВАННЯМ

Розглянуто систему скалярного керування частотно-регульованими асинхронними електроприводами, як більш просту альтернативу системам векторного керування. Запропоновано модифіковану систему, що використовує зворотний зв'язок за струмом статора для усунення пульсацій електромагнітного моменту та кутової швидкості двигуна при зміні керуючих величин або моменту на валу двигуна.

Рассмотрено систему скалярного управления частотно-регулируемыми электроприводами, как более простую альтернативу системам векторного управления. Предложено модифицированную систему, которая использует отрицательную обратную связь по току статора для устранения пульсаций электромагнитного момента и угловой скорости двигателя при изменении управляющих величин или момента нагрузки на валу двигателя.

Consider a system of scalar control of variable frequency drive as a simpler alternative to the vector control systems. A modified system that uses negative stator current feedback to remove the torque and angular speed ripples when control variables or load torque change is proposed.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Скалярне керування асинхронними двигунами, хоча і не дозволяє досягти високих динамічних показників якості керування, має свої переваги, які полягають у нижчій собівартості системи керування у порівнянні з системами векторного керування [1], можливістю застосування системи без датчика кутової швидкості на валу або блоків непрямой ідентифікації, а також відсутністю необхідності попереднього визначення параметрів схеми заміщення двигуна. В таких системах робота двигунів супроводжується значними коливаннями кутової швидкості при невеликих навантаженнях, а також при роботі в зоні низьких частот [2].

Аналіз досліджень та публікацій. У [4-6] проведено дослідження систем скалярного керування на стійкість та доведено, що зони нестійкості існують як для рушійного, так і для генераторного режиму роботи двигуна. В той же час причини виникнення цього явища не є до кінця дослідженими, а запропоновані шляхи його усунення вимагають визначення повного набору параметрів схеми заміщення двигуна або використання

прямого виміру кутової швидкості, що суттєво ускладнює реалізацію системи та підвищує її собівартість.

Постановка завдання. Розробка заходів підвищення стійкості системи скалярного керування частотно-регульованим асинхронним електроприводом та дослідження її в пуско-гальмівних режимах.

Викладення матеріалу та результати. Рівняння асинхронного двигуна у системі координат, що обертається синхронно з вектором потокозчеплення ротора має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{\sigma} \frac{di_{sd}}{dt} = u_{sd} - R_s i_{sd} - \frac{d\psi_{rd}}{dt} + L_{\sigma} \omega_s i_{sq} + \omega_s \psi_{rq} ; \\ L_{\sigma} \frac{di_{sq}}{dt} = u_{sq} - R_s i_{sq} - \frac{d\psi_{rq}}{dt} - L_{\sigma} \omega_s i_{sd} - \omega_s \psi_{rd} ; \\ \frac{d\psi_{rd}}{dt} = -R_r \left(\frac{\psi_{rd}}{L_{\mu}} - i_{sd} \right) + \omega_r \psi_{rq} ; \\ \frac{d\psi_{rq}}{dt} = -R_r \left(\frac{\psi_{rq}}{L_{\mu}} - i_{sq} \right) - \omega_r \psi_{rd} ; \\ M_{\delta} = \frac{3}{2} \frac{L_{\mu}}{L_{\mu} + L_{\sigma}} p (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) ; \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (M_{\delta} - M_n) , \end{array} \right.$$

де u_{sd} , u_{sq} , i_{sd} , i_{sq} – складові узагальнюючих векторів напруги та струму статора двигуна; ψ_{rd} , ψ_{rq} – складові вектору потокозчеплення ротора; ω_s – кругова частота напруги живлення двигуна; ω_r – кутова частота ротора; R_s , R_r – активні опори статорної та роторної обмотки; L_{σ} , L_{μ} – індуктивність розсіяння та індуктивність намагнічення двигуна, M_{δ} , M_n – момент двигуна та навантаження, J – момент інерції системи приводу, p – число пар полюсів.

При лінеаризації рівнянь стану двигуна в деякому околі робочої точки та векторі стану $x = [\Delta i_{sd} \ \Delta i_{sq} \ \Delta \psi_{rd} \ \Delta \psi_{rq} \ \Delta \omega_r]^T$, векторі вхідних керуючих параметрів - $u = [\Delta u_{sd} \ \Delta u_{sq} \ \Delta \omega_s]^T$, векторі вихідних параметрів - $y = [\Delta i_{sd} \ \Delta i_{sq}]^T$, векторі збурюючих дій - $z = M_n$ система рівнянь стану асинхронного двигуна може бути записана так:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu + kz;$$

$$y = Cx.$$

На рис. 1 представлені результати моделювання розімкненої системи скалярного керування асинхронним двигуном. З них видно, що пуск супроводжується значними коливаннями електромагнітного моменту та кутової швидкості, що призводить до додаткових втрат енергії та негативно

впливає на механічні вузли технологічного механізму. Аналогічні явища виникають і при зміні величини навантаження на валу двигуна.

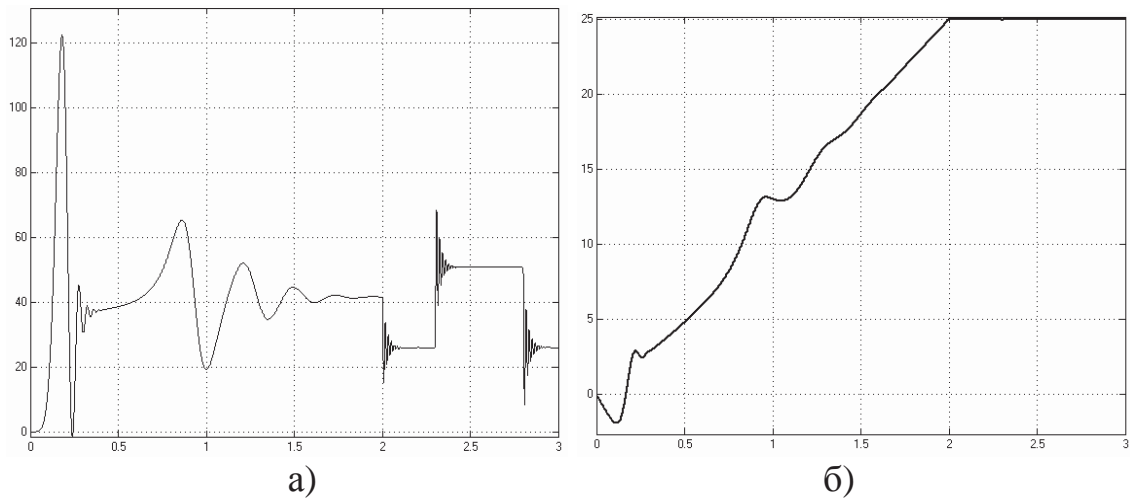


Рис. 1. Графіки перехідних процесів за моментом (а) та кутовою швидкістю (б) асинхронного двигуна при частотному пуску зі скалярною розімкненою системою керування

З метою усунення даних недоліків пропонується використання зворотного зв'язку за струмом. Вплив струмового сигналу здійснюється на величину кутової частоти напруги, що живить двигун, тобто:

$$\omega_{ск} = \omega_s + \omega_{зв.з}.$$

Сигнал зворотного зв'язку за струмом отримується з використанням регулятора, передаточна функція якого має наступний вигляд:

$$\omega_{зв.з} = \frac{KT_p p}{T_p p + 1} i_{sq}.$$

Безпосередній розрахунок параметрів регулятора на основі параметрів схеми заміщення є досить складним через те, що асинхронний двигун, як об'єкт керування, є системою п'ятого порядку. Існують способи спрощення математичної моделі для дослідження стійкості системи, але розроблені таким шляхом системи не придатні для аналізу зворотних зв'язків за струмом, оскільки в цьому випадку струмові величини виключаються з вектору змінних стану, тобто аналіз запропонованої замкненої системи даним шляхом не є можливим. Розглянута лінеаризована модель містить 5 змінних стану, 2 з них (струмові величини) є доступними для безпосереднього виміру. Їх фіксація не вимагає ускладнення системи, оскільки вимір статорних струмів двигуна є необхідним для реалізації комплексу захистів двигуна та перетворювача і виконується існуючими системами керування в обов'язковому порядку.

Результати моделювання запропонованої системи представлені на рис. 2. Як видно з них, використання зворотного зв'язку за струмом дозволяє суттєво зменшити пульсації електромагнітного моменту та підвищити стійкість системи керування, що є важливим позитивним моментом

для електроприводів, де є особлива потреба в якості вищеназваних показників.

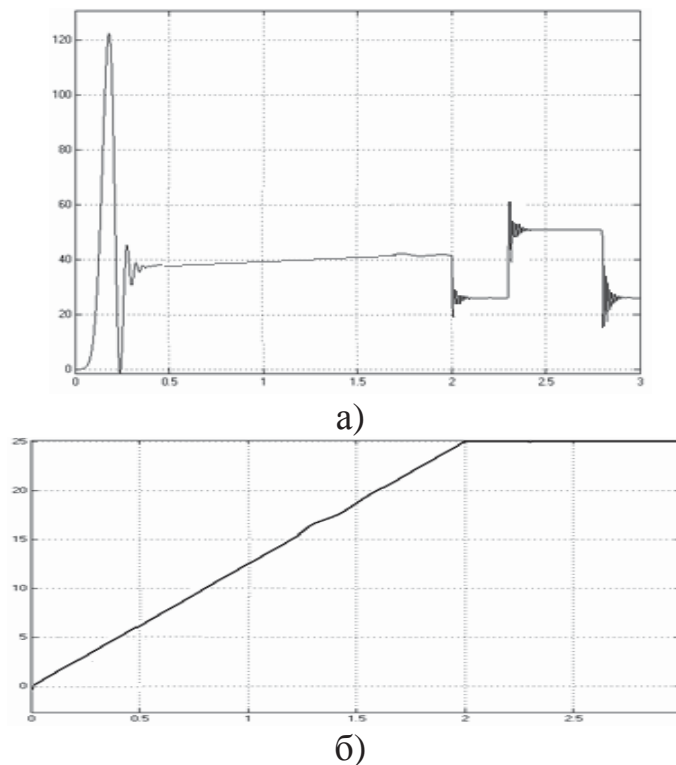


Рис. 2. Графіки перехідних процесів за моментом (а) та кутовою швидкістю (б) асинхронного двигуна при частотному пуску зі скалярною розімкненою системою керування за запропонованою системою керування

Висновки та напрямок подальших досліджень. Було виявлено, що системи скалярного керування частотно-регульованими електроприводами мають переваги, що полягають у простоті структури, відсутності датчика кутової швидкості на валу двигуна. Моделювання відомої системи продемонструвало наявність суттєвих пульсацій кутової швидкості та електромагнітного моменту при зміні завдання або моменту навантаження. Запропонована структура системи керування зі зворотним зв'язком за струмом, що дозволяє підвищити показники якості керування та стійкість системи електроприводу в цілому.

Список літератури

1. Синчук О.Н., Осадчук Ю.Г., Козакевич И.А. Бездатчиковое векторное управление на основе анизотропных свойств машины // Электротехнические и компьютерные системы, К.: «Техника», №15(91), 2014.
2. Синолиций А.Ф., Козакевич И.А. Сравнительный анализ классического векторного и J-M управления // Вестник Криворожского технического университета, Вып. 30, 2012.
3. Осадчук Ю.Г., Козакевич И.А. Исследование адаптивных систем с задающей моделью для бездатчикового векторного управления асинхронным двигателем при работе на низкой скорости // Вестник Криворожского технического университета, Вып. 29, 2011.

4. Suzuki K., Saito S., Kudor T., Tanaka A., Andoh Y. Stability improvement of v/f controlled large capacity voltage-source inverter fed induction motor // Industry Applications Conference, 2006, pp. 90-95.

5. Yang R., Chen W., Yu Y., Xu D. Stability improvement of v/f controlled induction motor driver systems based on reactive current compensation // Electrical Machines and Systems, 2008, pp. 88-90.

6. Jung J.-H., Jeong G.-Y., Kwon B.-H. Stability improvement of V/f-controlled induction motor drive systems by a dynamic current compensator // IEEE Transactions of Industrial Electronics, 2004, pp. 930-933.

7. Zhiwen M., Trillion Z., Fei L. Stability improvement of V/Hz Controlled PWM Inverter-fed induction motors drives // Conference on Industrial Electronics and Applications, 2006.

8. Ben-Brahim L. Improvement of the stability of the V/f controlled induction motor drive systems // 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 1998.

УДК 658.012.011.56

М.Ю. КУЗЬМЕНКО

Национальная Металлургическая Академия Украины

ОПТИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛИТКА В СКВОЗНОЙ СХЕМЕ РАСКРОЯ

У статті наведено аналіз існуючих способів розкрою безперервного злитка при виробництві товарної металопродукції. Наведено результати математичного моделювання методу «наскрізного» розкрою на машинах безперервного лиття заготовок.

В статье приведен анализ существующих способов раскроя непрерывного слитка при производстве товарной металлопродукции. Приведены результаты математического моделирования метода «сквозного» раскроя на машинах непрерывного литья заготовок.

In this article you can see the analysis of existing ways of cutting a continuous ingot in the manufacture of metal products, and also the results of mathematical modeling of the way of cutting on the continuous casting machines.

Основным преимуществом разливки стали на машинах непрерывного литья заготовок по сравнению с разливкой в изложницы является повышенный выход годного металла за счет того, что при непрерывной разливке обрезается только конечная часть слитка в самом конце разливки плавки. Однако эффективность технических процессов получения непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) во многом предопределяется режимом обра-