

Д. І. Родькін
С. М. Пересада
В. М. Пижов
О. І. Райчук

СПОСТЕРІГАЧ МЕХАНІЧНИХ КООРДИНАТ В СИСТЕМІ КООРДИНАТ СТАТОРА ДЛЯ НЕЯВНОПОЛЮСНИХ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Запропоновано спостерігач кутової швидкості та положення для неявнополюсного синхронного двигуна з постійними магнітами. Відповідно до аналізу стійкості з використанням другого методу Ляпунова було доведено, що запропонований спостерігач є локально експоненційно стійким і гарантує експоненційну оцінку невідомих змінних. Наведено результати математичного моделювання при роботі спостерігача в розімкненому та замкненому режимах з системою лінеаризуючого зворотнього зв'язку за швидкістю, які демонструють якість роботи запропонованого спостерігача.

Ключові слова: бездавачеве керування, керування швидкістю, синхронний двигун, постійні магніти

Abstract

Angular speed and position observer for surface mounted permanent magnet synchronous motor is proposed. In accordance with the stability analysis using the second Lyapunov method, it was proved that the proposed observer is locally exponentially stable and guarantees an exponential estimate of the unknown variables. The paper presents simulation results of the observer operation in open-loop and closed-loop mode with feedback linearizing speed control algorithm. Results demonstrate effectiveness of the observer.

Keywords: sensorless control, speed control, synchronous motor, permanent magnets

Вступ

Необхідність встановлення давача швидкості/положення для точної роботи синхронних двигунів з постійними магнітами (СДПМ) є одним з найважливіших недоліків, що не дозволяє використовувати їх у більш широкому спектрі застосувань. Вартість давачів механічних координат порівнянна з вартістю двигунів малої потужності. Також ці давачі чутливі до умов навколишнього середовища, вібрацій, що знижує надійність електроприводів на основі СДПМ. Як наслідок, сьогодні існує велика кількість наукових публікацій по темі бездавачевого керування синхронними двигунами. Базовим принципом реалізації такого типу керування є проектування спостерігача швидкості та положення і використання оцінених значень механічних координат для реалізації алгоритму керування. Стійкість розроблених спостерігачів в статтях не завжди доводиться, що не дозволяє використовувати запропоновані рішення в промислових приводах. Ще один фактор - погана ефективність запропонованих спостерігачів. Тому проблема бездавачевого керування СДПМ залишається не повністю вирішеною.

Більшість існуючих спостерігачів швидкості та положення можна розділити на три групи залежно від підходу, який використовується для їх проектування: спостерігачі стану [1], спостерігачі на основі інжекцій додаткових сигналів [2] та спостерігачі що працюють в ковзному режимі [3]. Авторами в [4] був запропонований спостерігач стану, в якому потокозчеплення оцінювались на основі їх похідних в рівняннях динаміки струмів. Для цього додатково були введені фільтри та оцінювались початкові умови. Таким чином спостерігач складався з семи диференційних рівнянь, що робить запропоноване в [4] рішення складним з точки зору кількості обчислень.

Метою роботи є синтез спостерігача швидкості та положення для неявнополюсного СДПМ в системі координат статора, що потребує меншу кількість обчислювальних ресурсів в порівнянні з рішенням, запропонованим раніше.

Результати досліджень

Запропоновано спостерігач кутової швидкості та кутового положення для неявнополюсного синхронного двигуна з постійними магнітами. В якості базової моделі використано модель в системі координат статора, а саме рівняння динаміки струмів та потокозчеплень. На основі рівнянь спроектовано спостерігач повного порядку. Для аналізу стійкості та проектування оцінювача швидкості був здійснений перехід до динаміки похибок та введено нові змінні стану. Відповідно до аналізу стійкості з використанням другого методу Ляпунова доведено, що запропонований спостерігач є локально асимптотично стійким і гарантує експоненційну оцінку невідомих змінних, а саме кутової швидкості та положення. Під час синтезу спостерігача було введено припущення, що швидкість є постійною, або такою, що повільно змінюється, але спостерігач може бути налаштований таким чином, щоб вплив непостійності швидкості на її оцінку був мінімальний. Положення визначається на основі оцінених значень потокозчеплень. Рівняння спостерігача наведено нижче.

$$\begin{aligned}\dot{\hat{i}}_{\alpha} &= (-Ri_{\alpha} + u_{\alpha} + p_n \hat{\omega} \hat{\psi}_{\beta}) / L + k_i \tilde{i}_{\alpha}, \quad \dot{\hat{i}}_{\beta} = (-Ri_{\beta} + u_{\beta} - p_n \hat{\omega} \hat{\psi}_{\alpha}) / L + k_i \tilde{i}_{\beta}, \\ \dot{\hat{\psi}}_{\alpha} &= -p_n \hat{\omega} \hat{\psi}_{\beta} - L(k_i \tilde{i}_{\alpha} + \gamma_1 p_n \hat{\omega} \tilde{i}_{\beta}), \quad \dot{\hat{\psi}}_{\beta} = p_n \hat{\omega} \hat{\psi}_{\alpha} - L(k_i \tilde{i}_{\beta} - \gamma_1 p_n \hat{\omega} \tilde{i}_{\alpha}), \\ \dot{\hat{\omega}} &= -\gamma_2 (-p_n \hat{\psi}_{\beta} \tilde{i}_{\alpha} + p_n \hat{\psi}_{\alpha} \tilde{i}_{\beta}) / L, \quad \hat{\theta} = p_n^{-1} \arctan(\hat{\psi}_{\beta} / \hat{\psi}_{\alpha})\end{aligned}\quad (1)$$

де $\hat{\theta}$, $\hat{\omega}$ - оцінки положення та швидкості відповідно, $(\hat{i}_{\alpha} \quad \hat{i}_{\beta})^T$ - вектор оцінок струмів i_{α} , i_{β} , $(\hat{\psi}_{\alpha} \quad \hat{\psi}_{\beta})^T$ - вектор оцінок потокозчеплень, $(u_{\alpha} \quad u_{\beta})^T$ - вектор напруг, $\tilde{i}_{\alpha} = i_{\alpha} - \hat{i}_{\alpha}$, $\tilde{i}_{\beta} = i_{\beta} - \hat{i}_{\beta}$ - похибки оцінювання струмів вздовж осей α , β відповідно, R - активний опір, L - індуктивність, $(k_i, \gamma_1, \gamma_2) > 0$ - коефіцієнти налаштування.

Досліджено роботу спостерігача в розімкненому та замкненому режимах. В розімкненому режимі спостерігач не впливає на роботу алгоритму керування. В замкненому режимі роботи спостерігач застосовується для оцінювання механічних координат, які потім використовуються замість вимірних для роботи системи векторного керування та перетворення координат. Перехідні процеси показали, що якість показників керування при бездавачевому керуванні швидкості наближається до випадку коли механічні координати вимірюються.

Висновки

В роботі представлено новий спостерігач швидкості та положення для неявнополюсних СДПМ. Спостерігач гарантує локальну асимптотичну стійкість. Наведено результати моделювання при роботі спостерігача в розімкненому та замкненому режимах роботи. Спостерігач показує високу якість оцінювання невідомих змінних. Тому він може бути використаний для здешевлення електроприводів на базі неявнополюсних синхронних двигунів з постійними магнітами для середньо- або низькодинамічних застосувань, що не потребують роботи на низьких швидкостях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] R. Ortega, L. Praly, A. Astolfi, J. Lee and K. Nam, "Estimation of Rotor Position and Speed of Permanent Magnet Synchronous Motors With Guaranteed Stability," in IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 19, no. 3, pp. 601-614, May 2011
- [2] M. Linke, R. Kennel and J. Holtz, "Sensorless position control of permanent magnet synchronous machines without limitation at zero speed," IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society. IECON 02, 2002, pp. 674-679 vol.1,
- [3] H. Kim, J. Son and J. Lee, "A High-Speed Sliding-Mode Observer for the Sensorless Speed Control of a PMSM," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, no. 9, pp. 4069-4077, Sept. 2011, doi: 10.1109/TIE.2010.2098357.
- [4] Peresada S., Rodkin D. and V. Pyzhov, "Sensorless Speed Control of the Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Motors", 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), pp. 379-384, August 2021.

Родькін Дмитро Ілліч — аспірант кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: rodkin.dmytro1@gmail.com

Пересада Сергій Михайлович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ.

Пижов Володимир Михайлович — к-т техн. наук, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ.

Райчук Олексій Іванович — асистент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ.