

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СИНХРОННИМ
ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ДВООСНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА МЕТОДОМ
ВИСОКОЧАСТОТНОЇ ІНЖЕКЦІЇ**

Двоосні типи електровозів, що використовуються на гірничих підприємствах, критично залежні від ефективності системи керування в контексті питання оптимізації використання енергії та загальної продуктивності. Використання новітніх методів оцінки положення валу тягових двигунів електровозів належить до основних складових концепції сучасного підходу до модернізації систем електроприводу промислового електротранспорту. Методи побудовані на традиційних стратегіях керування спираються на датчики положення, які можуть бути дорогими, схильними до відмов і збільшувати складність, особливо в суворих умовах, таких як умови шахт і рудників. Бездатчикові методи керування натомість пропонують перспективну альтернативу, оцінюючи положення ротора без фізичних датчиків, потенційно зменшуючи складність системи, підвищуючи надійність і знижуючи витрати [2]. Одним з таких методів є метод високочастотної інжекції.

Високочастотна інжекція передбачає додавання високочастотного сигналу напруги для оцінки положення ротора, що є важливим для керування на низьких швидкостях, де традиційні методи не справляються. Це може знизити експлуатаційні витрати та підвищити надійність, особливо для частих операцій у обмеженому просторі та при маневруванні. Однак ключовим фактором успішного функціонування системи з використанням даного методу є правильно проведений аналіз результуючого струму після інжекції для визначення положення ротора. Точне вилучення цієї інформації є складним завданням через шум та гармонічні перешкоди, що вимагає вдосконалених методів обробки сигналів. У результаті був розроблений вдосконалений метод інжекції, який включає алгоритм фільтрації єдиної синхронної обертової системи координат у поєднанні з фазовим автопідлаштуванням частоти (ФАПЧ, англ. PPL). Такий підхід дає змогу підвищити точність оцінки положення ротора, ефективно фільтруючи небажані високочастотні компоненти та зменшуючи помилки оцінки. Метод фільтрації, детально описаний у дослідженнях науковців Пекінського транспортного університету, оптимізує виявлення, вирішуючи проблеми зі звичайними смуговими фільтрами, які часто залишають «паразитний» високочастотний вміст, що призводить до великих помилок [1].

Нещодавні дослідження показують, що керування за методом високочастотної інжекції може призвести до економії енергії до 60%. Точна оцінка положення, що забезпечується вдосконаленим методом інжекції, дозволяє максимально оптимізувати керування двигуном, особливо в електровозах, оснащених системами рекуперативного гальмування, де точна оцінка положення ротора має вирішальне значення для максимізації енергії, що рекуперується під час гальмування і забезпечення ефективної роботи двигуна як генератора, підвищуючи загальну енергоефективність. Зменшення механічного зносу завдяки більш плавній роботі може подовжити термін служби компонентів, що ще більше зменшить витрати на життєвий цикл, як це спостерігається в застосуваннях, де простої є дорогими, наприклад, у гірничодобувних роботах [2].

Незважаючи на поточні досягнення у розвитку методу високочастотної інжекції залишаються такі проблеми як забезпечення надійності фільтрації за різних умов експлуатації та масштабування системи для різних конфігурацій локомотивів. Подальші дослідження можуть дослідити адаптивні механізми налаштування, інтеграцію технологій IoT та штучного інтелекту з метою покращення роботи методу і аналізу сигналів.

Список літератури

1. Meng, D., Wu, Q., & Zhang, J. (2024). An Improved Current Signal-Extraction-Based High-Frequency Pulsating Square-Wave Voltage Injection Method for Interior Permanent-Magnet Synchronous Motor Position-Sensorless Control. *Electronics*, 13(11), p. 2227, Jun. 2024. <https://doi.org/10.3390/electronics13112227>
2. Li, Y., Zhang Y., & Zhang T. (2014). Simulation and Experimental Studies of Speed Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Motors for Mine Electric Locomotive Drive, *Int. J. Control Automat.*, 7(1), pp. 55–68, Jan. 2014 <https://doi.org/10.14257/ijca.2014.7.1.05>