УДК 62.505

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

К. Соколенко, група АК-23
І. Березюк, кандидат технічних наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет

Стрімкий розвиток автоматизованих електромеханічних систем зумовлює постійне зростання потреби у високоточних та енергоефективних електроприводах. Одними з найбільш поширених виконавчих елементів у системах промислової автоматики, роботизованих комплексах, електротранспорті та прецизійних механізмах є двигуни постійного струму. Їх популярність пояснюється простотою конструкції, високими пусковими характеристиками, широким діапазоном регулювання швидкості та можливістю реалізації точного керування. Забезпечення стабільної частоти обертання та необхідного моменту двигуна є важливою умовою надійної роботи автоматизованих установок. Особливої актуальності набуває застосування сучасних програмних засобів моделювання, які дозволяють досліджувати поведінку системи ще до створення фізичного макета, зменшуючи витрати часу на розроблення та підвищуючи ефективність налагодження обладнання.

Основною метою даної роботи є створення та аналіз системи автоматичного регулювання двигуна постійного струму із використанням мікроконтролерної платформи Arduino та програмного середовища Proteus. У роботі досліджуються принципи побудови замкнених систем керування, особливості реалізації алгоритму регулювання швидкості та оцінка динамічних характеристик електропривода під час зміни режимів роботи.

Для зміни швидкості обертання двигунів постійного струму застосовується декілька методів керування, серед яких найбільш поширеними є регулювання напруги живлення, зміна магнітного потоку та широтно-імпульсна модуляція. Серед зазначених способів саме ШІМ-регулювання є одним із найефективніших, оскільки забезпечує плавне керування швидкістю обертання при мінімальних енергетичних втратах. Принцип дії даного методу полягає у зміні тривалості імпульсів керуючого сигналу, внаслідок чого змінюється середнє значення напруги, прикладеної до якоря двигуна. Завдяки цьому забезпечується висока точність регулювання та покращується енергетична ефективність системи.

Для підвищення точності функціонування електроприводів широко застосовуються системи автоматичного керування із замкненим контуром. У таких системах реалізується зворотний зв’язок за швидкістю або положенням виконавчого механізму. Інформація про поточний стан двигуна надходить від спеціальних вимірювальних пристроїв, серед яких використовуються енкодери, тахогенератори, оптичні сенсори та датчики Холла. Отримані сигнали дають змогу автоматично компенсувати вплив зовнішніх збурень і підтримувати необхідні параметри роботи електропривода.

У сучасних системах керування найбільш поширеним алгоритмом є ПІД-регулювання. Пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор дозволяє забезпечити необхідну швидкодію, стійкість та точність системи. Пропорційна складова формує реакцію на поточне значення похибки, інтегральна забезпечує усунення сталої похибки, а диференційна враховує швидкість зміни сигналу помилки, що сприяє зменшенню коливань та перерегулювання під час перехідних процесів. Використання такого регулятора забезпечує стабільну роботу електропривода навіть за умов змінного навантаження.

Для реалізації та дослідження системи було використано середовище Proteus Design Suite, яке поєднує можливості схемотехнічного проєктування та імітаційного моделювання. Програмний комплекс підтримує SPICE-аналіз електронних схем і дозволяє моделювати

роботу мікроконтролерних систем завдяки технології Virtual System Modelling. Значна бібліотека електронних компонентів дає можливість створювати як цифрові, так і аналогові схеми різного рівня складності в межах одного програмного середовища.

Під час моделювання системи керування електродвигуном було використано мікроконтролер Arduino Uno, драйвер керування двигуном L298N, модель двигуна постійного струму, оптичний датчик швидкості, джерело живлення та віртуальний осцилограф для аналізу сигналів і перехідних характеристик. Драйвер L298N забезпечує узгодження між мікроконтролером та силовою частиною системи, дозволяючи змінювати швидкість і напрямок обертання двигуна.

Розроблена система функціонує за принципом замкненого автоматичного регулювання. Мікроконтролер отримує інформацію від датчика швидкості, визначає величину похибки між заданим та фактичним значенням швидкості обертання, після чого формує керуючий ШІМ-сигнал для драйвера двигуна. Реалізація ПІД-алгоритму здійснювалася програмними засобами Arduino IDE, а сформований програмний код завантажувався до моделі мікроконтролера в середовищі Proteus.

Налаштування параметрів ПІД-регулятора виконувалося поступово методом послідовного коригування коефіцієнтів. Спочатку визначалося значення пропорційної складової для забезпечення необхідної швидкодії системи. Після цього додавалася інтегральна складова для усунення статичної похибки регулювання. Завершальним етапом було введення диференційної складової, яка дозволила зменшити коливальні процеси та величину перерегулювання. Оцінювання якості роботи системи здійснювалося за допомогою вбудованих інструментів візуалізації Proteus.

Отримані результати моделювання підтвердили працездатність та ефективність розробленої системи керування. Під час відпрацювання ступінчастого задавального впливу система демонструвала швидке встановлення заданої швидкості з незначним перерегулюванням та відсутністю статичної похибки. У разі прикладання додаткового навантаження на вал двигуна контур регулювання забезпечував швидке відновлення заданого режиму роботи, що свідчить про достатній рівень стійкості та ефективність обраного алгоритму керування.

Використання програмного комплексу Proteus дозволило ще на стадії проєктування виявити окремі недоліки системи та скоригувати параметри керування без необхідності проведення великої кількості натурних експериментів. Зокрема, було встановлено вплив частоти ШІМ-сигналу на стабільність роботи електропривода, а також визначено оптимальні значення коефіцієнтів ПІД-регулятора для забезпечення необхідних показників якості перехідних процесів.

У результаті виконаної роботи було створено та досліджено систему автоматичного керування двигуном постійного струму на базі Arduino із використанням ПІД-регулятора та засобів імітаційного моделювання Proteus. Проведене дослідження підтвердило ефективність використання програмного моделювання для аналізу та налагодження систем автоматичного керування електроприводами. Подальший розвиток роботи може бути пов’язаний із впровадженням адаптивних методів регулювання, використанням інтелектуальних алгоритмів керування та дослідженням безколекторних електродвигунів у робототехнічних системах.

Список літератури

1. Чорний А. П., Дорошенко В. О., Родькін Д. Й. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. посіб. Кременчук : КДПУ, 2017. 448 с.
2. Proteus Design Suite: User Manual. Labcenter Electronics Ltd. Version 8.15. URL: https://www.labcenter.com/documentation/ (дата звернення: 10.03.2025).
3. Arduino Reference Documentation. URL: https://www.arduino.cc/reference/en/ (дата звернення: 15.03.2025).
4. Зіньківський Ю. Ф., Масловська Н. М. Моделювання електронних схем у Proteus : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 184 с.