

КОНТРОЛЕР КЕРУВАННЯ КРОКОВИМИ ДВИГУНАМИ

© Бачинський Р.В., 2013

Представлено універсальний контролер крокових двигунів, побудований на основі програмованої системи на кристалі, з мінімальним використанням зовнішніх компонент. Це дає змогу будувати дешеві контролери крокових двигунів для різного застосування.

Ключові слова: кроковий двигун, програмований мікроконтролер, контролер.

The proposed article demonstrates how to use the PSoC microcontroller to build the universal stepping motor controller with minimal number of external components. It allows build cost effective solution for many applications.

Key words: step motor, programmable system on chip, microcontroller.

Вступ

Крокові двигуни постійного струму є безколекторними двигунами, які характеризуються високою надійністю і тривалим терміном експлуатації. Проте, на відміну від звичайних щіткових електродвигунів постійного струму, такі двигуни потребують складних пристроїв керування, які забезпечують необхідні фазові комутації. Значний ріст продуктивності сучасних мікроконтролерів уможливив використовувати їх для побудови систем керування кроковими двигунами.

Крокові двигуни використовуються, за необхідності, у точному позиціонуванні і керуванні швидкістю обертання у системах, де швидкість і момент крокового двигуна є достатніми. Порівняно із звичайними колекторними двигунами, в яких момент зростає із зростанням швидкості обертання, в крокових двигунах момент є вищим за малих швидкостей обертання і зменшується за зростання швидкості. Крім того, максимальна швидкість обертання крокових двигунів є меншою, ніж колекторних, що зменшує максимальне значення коефіцієнта редуктора та збільшує момент під час його використання.

Огляд літературних джерел

Сучасні контролери крокових двигунів містять різні компоненти для забезпечення керування та зворотного зв'язку контролера та двигуна [1]. Деякі реалізації є гнучкішими [2] та використовують мікроконтролери з великими функціональними можливостями для зменшення кількості зовнішніх компонент. Проте вони не забезпечують повністю необхідні можливості з керування двигунами, такі як: розгін та сповільнення ротора, швидке та повільне затухання магнітного поля статора тощо. Тому виникла необхідність у створенні нового контролера крокових двигунів з розширеною функціональністю.

Постановка задачі

Для забезпечення необхідної функціональності та гнучкості контролер керування кроковим двигуном має відповідати таким параметрам:

Напруга живлення для H-подібного моста	20 V
Інтерфейс з ПК	RS232
Можливість позиціонування ротора	+
Можливість встановлення прискорення ротора	+
Можливість встановлення сповільнення ротора	+
Можливість встановлення швидкості обертання ротора	+
Підтримка повно-, пів-, мікрокрокового режимів	+

Описання принципів керування кроковими двигунами

Крокові двигуни є синхронними електричними двигунами. Це означає, що збалансована позиція ротора визначається магнітним полем статора. Коли статор змінює магнітне поле, ротор намагається зайняти відповідну збалансовану позицію. Це означає, що необхідно сформувати правильний напрямок

і співвідношення струмів у котушках статора для забезпечення необхідного магнітного поля. Існує кілька режимів функціонування крокових двигунів: повнокроковий, півкроковий та мікрокроковий. У повнокроковому режимі застосовуються два підходи до керування ротором. Під час використання першого підходу тільки одна фаза (одна котушка) увімкнена у певний момент часу (ротор займає позиції напроти котушок статора), що не дає можливості досягнути максимального моменту. За другого підходу одночасно використовуються обидві котушки статора, що забезпечує на 40 % більший обертальний момент, ніж у попередньому випадку (ротор займає позиції між полюсами статора). Півкроковий режим – це комбінація двох підходів повнокрокового режиму, що забезпечує у 2 рази більшу кількість кроків, ніж у повнокроковому режимі. Півкроковий режим не забезпечує максимальний обертальний момент. У мікрокроковому режимі струм у котушках статора змінюється малими кроками, що забезпечує поділ великих кроків на дрібніші. Коли включені дві фази статора і струм в різних котушках є різним, позиція ротора визначається співвідношенням струмів. Зміна співвідношення струмів у різних котушках дає змогу отримати певну кількість мікрокроків в одному повному кроці ротора. Цей режим вимагає використання складних схем керування.

Вибір способу керування струмом у котушках статора

Оскільки для забезпечення високої швидкості обертання ротора та високого обертового моменту при цьому контролер повинен забезпечити високу швидкість наростання струму у котушках статора, було обрано імпульсний режим керування Н-подібним мостом, який використовується для подання та переключення напрямку струму у котушках. Використання імпульсного регулятора забезпечує швидке наростання струму у котушках статора за невеликих апаратних затрат на реалізацію схеми регулювання. Крім того, такий підхід забезпечує постійний момент незалежно від коливань напруги живлення. Це дає змогу використовувати дешеві, нестабілізовані джерела живлення. Для підвищення швидкості наростання струму використовуються джерела живлення, які забезпечують напругу, у кілька разів вищу від номінальної робочої напруги на котушках. Середня напруга та струм підтримуються керуванням шпаристості керуючих імпульсів. Для забезпечення зворотного зв'язку до кола котушок статора включаються резистори, напруга на яких пропорційна до струму у котушках. Це значення порівнюється за допомогою компаратора з бажаним значенням, яке задається за допомогою ЦАП, і за результатами порівняння котушка або підключається, або відключається від джерела живлення. Це забезпечує бажаний струм у котушках статора і відповідно бажане магнітне поле.

Швидке та повільне зменшення індукovanого струму

Крім забезпечення швидкого наростання струму у котушках статора, необхідно забезпечувати швидкий спад струму після відключення котушок від джерела живлення, оскільки протікання струму через котушку не може припинитись миттєво після відключення джерела через виникнення ЕРС-самоіндукції. Використовуючи транзистори як перемикачі, необхідно увімкнути дві пари шунтуючих діодів в Н-подібний міст для забезпечення провідності в обох напрямках. Одна пара використовується для розсіяння індукovanого енергії під час протікання струму через котушку в одному напрямку, а інша пара – протіканні струму у зворотному напрямку. На рис. 1, *a* зображено приклад увімкнення перемикачів та напрямком протікання струму за підключення котушки статора до джерела живлення (фаза наростання струму). На рис. 1, *b* зображено напрямком індукovanого струму за відключення котушки від джерела та за замикання ключа SW1. Струм протікає через SW1 та діод VD3, при цьому на котушці буде низький рівень напруги, який дорівнює сумі напруг на діоді та на ключі. Оскільки напруга на котушці мала, то й швидкість зміни індукovanого струму також буде малою і, як результат, спад магнітного поля буде також відбуватись повільно. Це означає, що статор створює небажане магнітне поле, яке сповільнює ротор. Цей ефект заважає нормальному функціонуванню двигуна на високих швидкостях. На рис. 1, *c* зображено протікання індукovanого струму за відключення котушки від джерела та за розмикання усіх ключів. Струм протікає через діоди VD2 та VD3 до джерела живлення. При цьому напруга на котушці дорівнюватиме сумі напруг джерела живлення та напруг зміщення на двох діодах, що забезпечує швидкий спад струму та магнітного поля. Проте такий підхід може індукувати значні коливання струму у навантаженні. Тому виправданим є застосування комбінованого підходу, який поєднує переваги вищеописаних методів зменшення індукovanого струму. Під час використання комбінованого методу період відключення котушки від джерела розбивається на дві частини: в першій використовується швидкий метод зменшення індукovanого струму, а в другій – повільний.

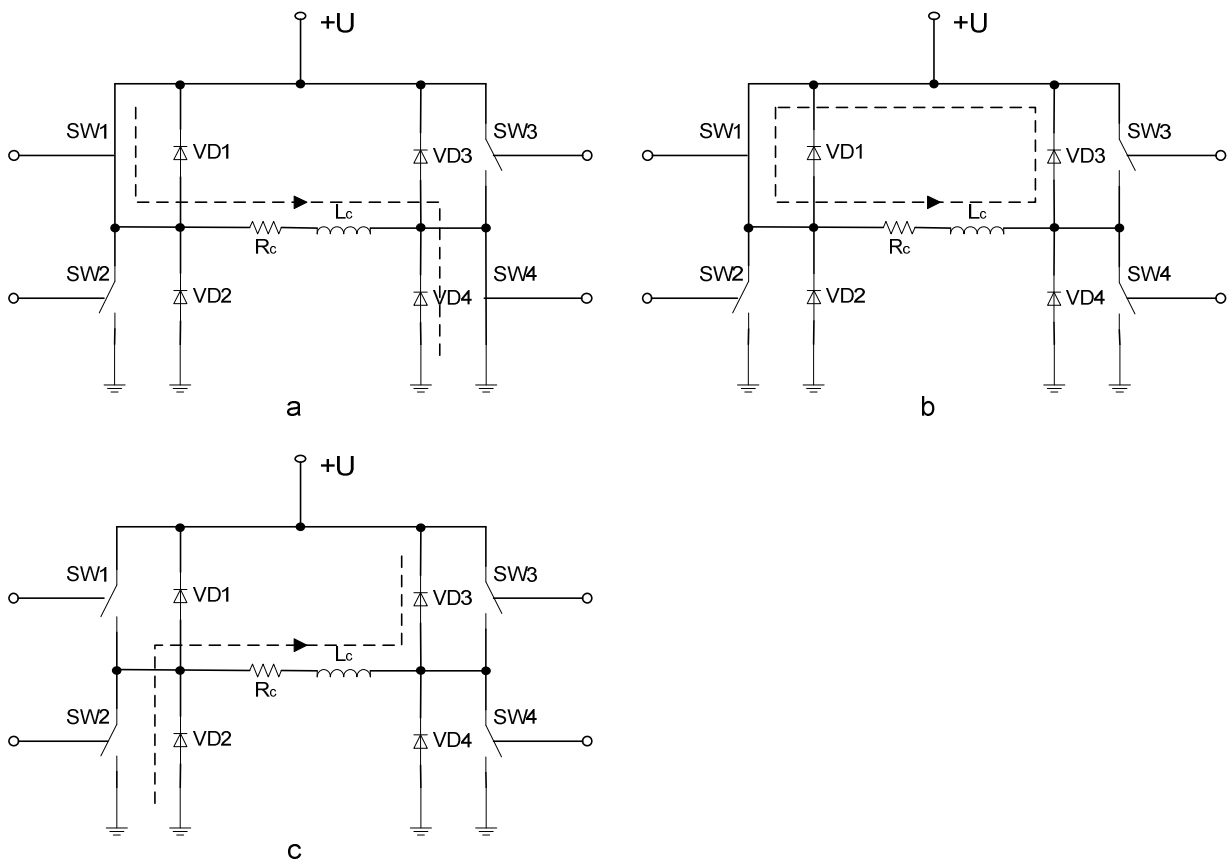


Рис. 1. Протікання струму через котушку статора за підключення до джерела живлення (а); за повільного спаду індукovanого струму (b); за швидкого спаду індукovanого струму (c)

На рис. 2 зображено діаграму зміни струму під час використання комбінованого методу зменшення індукovanого струму.

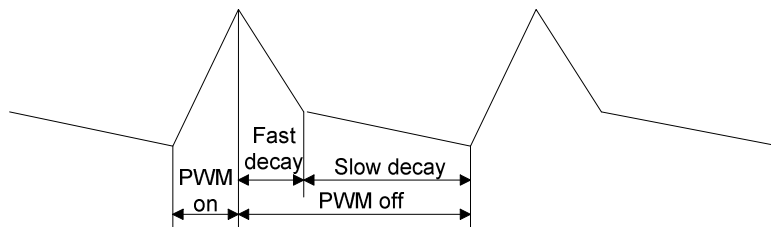


Рис. 2. Зміна струму під час використання комбінованого методу зменшення індукovanого струму

Програма керування для мікроконтролера

Програмне забезпечення мікроконтролера складається з таких частин:

- підпрограми зв'язку з ПК;
- аналізатора команд від ПК;
- підпрограми керування швидкістю обертання;
- підпрограми позиціонування ротора.

Підпрограма зв'язку з ПК забезпечує отримання даних та буферизацію даних від ПК і являє собою обробник переривань від комунікаційного блока RS232.

Аналізатор команд від ПК аналізує отримані від ПК дані, перетворює їх на команди та передає їх в підпрограму керування двигуном.

Підпрограма керування швидкістю обертання забезпечує коректне прискорення та гальмування ротора двигуна.

Підпрограма позиціонування ротора забезпечує обертання ротора або в безперервному режимі, або на визначену кількість кроків.

На рис. 3, *a* зображено блок-схему алгоритму керування швидкістю обертання ротора.

На рис. 3, *b* зображено блок-схему обробника переривань, який забезпечує зміну позиції ротора. Цей обробник перевіряє значення змінної 'Skip', яка використовується для зменшення мінімальної частоти функціонування, і якщо це значення не дорівнює нулю, воно зменшується, а ротор залишається на місці. Якщо це значення дорівнює нулю, ротор змінює свою позицію на один крок, а змінна 'Skip' ініціалізується певним значенням. Позиція ротора змінюється зміною значень ЦАП, які задають струм (і магнітне поле відповідно) через котушки статора. Це робиться процедурами 'Update phase switching' та 'Load new DAC value'. При цьому збільшується змінна, яка містить кількість зроблених кроків. Якщо ротор зробив необхідну кількість кроків, обробник ініціалізує необхідні змінні та відключає невикористовувані у стані спокою модулі.

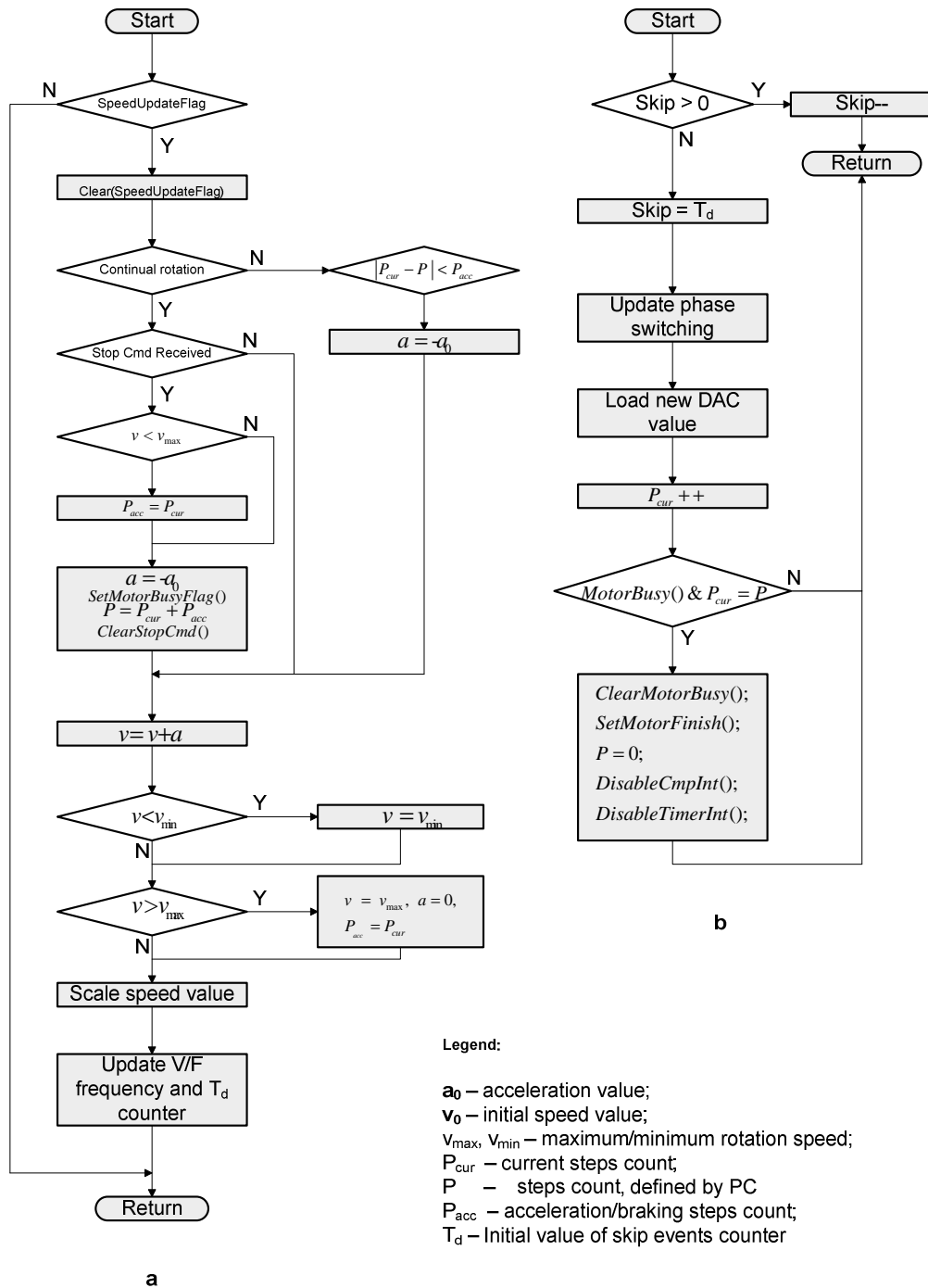


Рис. 3. Алгоритм зміни швидкості обертання (а); алгоритм керування у мікрокроковому режимі (b)

Програма керування та налаштування контролера крокових двигунів

Для передачі команд контролеру крокових двигунів була створена спеціальна програма для ПК, яка працює у середовищі ОС Windows. Програма дає змогу передавати команди на початок обертання вправо, вліво та зупиняти обертання ротора. Крім того, можна встановлювати такі параметри обертання ротора, як: режим роботи (повно-, пів-, мікрокроковий режими), кількість кроків (0 – для безперервного обертання, n – для обертання ротора на n-кроків), прискорення для виходу на задану швидкість обертання, максимальну швидкість обертання та тривалість сповільнення ротора. Програма дає можливість вибрати COM-порт на ПК, до якого підключений контролер крокових двигунів. Зовнішній вигляд програми зображено на рис. 4.

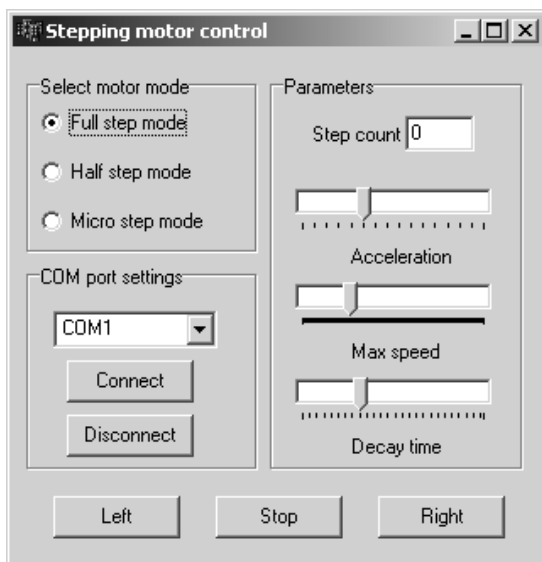


Рис. 4. Програма керування контролером крокового двигуна

Висновки

Подано контролер крокових двигунів, що ґрунтується на використанні програмованого мікроконтролера, який містить на кристалі цифрові та аналогові блоки, що дає змогу виконувати частину функцій керування двигуном без втручання процесора. Розроблений контролер реалізує повнокроковий, півкроковий та мікрокроковий режими функціонування двигуна, а також уможливорює встановлення ротора у визначену позицію, задання швидкості обертання ротора, а також його прискорення та сповільнення. Розроблений контролер може бути використаний для керування різними кроковими двигунами та застосовуватись для виконання різних завдань.

1. William H. Yeadon, Alan W. Yeadon *Handbook of Small Electric Motors* // McGraw-Hill, 2001.
2. Victor Kremin *Stepper Motor Driver for Smart Gauges* // <http://www.cypress.com/?rID=2638> (AN2197).