

Порівняння принципів керування п'єзоелектричним двигуном та двигуном постійного струму

С.Ф. Петренко¹, А.В. Омелян¹, В.С. Антонюк², О.Г. Новаковський²

¹ *Мале науково-виробниче підприємство ТОВ "Лілея", вул. Митрополита Андрія Шептицького, 3Г, 02002 Київ, Україна*

² *Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", пр. Перемоги, 37, 03056 Київ, Україна*

(Одержано 07.07.2018, у відредагованій формі – 24.10.2018, опубліковано online 29.10.2018)

В статті проведено порівняння керуванням п'єзоелектричним двигуном та двигуном постійного струму при використанні найбільш доступних та розповсюджених контролерів. Запропонована схема з'єднання драйвера п'єзоелектричного двигуна та контролера Arduino Nano, а також виконано тестування програми для керування п'єзоелектричним двигуном. Виконано дослідження швидкості п'єзоелектричним двигуном в залежності від коефіцієнту заповнення сигналу широтно-імпульсною модуляцією при різних частотах. Показано, що залежність швидкості двигуна від коефіцієнту заповнення сигналу широтно-імпульсною модуляцією має характер близький до лінійного, як і в двигуні постійного струму і може здійснюватися аналогічно керуванню двигуном постійного струму з використанням стандартних програм.

Ключові слова: П'єзоелектричний двигун, Драйвер двигуна постійного струму, Драйвер п'єзоелектричного двигуна.

DOI: 10.21272/jnep.10(5).05032

PACS number: 85.50. – n

1. ВСТУП

Незважаючи на те, що в світі більше десятків компаній (PI, DTI, PiezoMotor, Nanomotion та інші) займаються п'єзоелектричними двигунами і їх кількість зростає з кожним роком, п'єзоелектричний двигун дуже повільно просувається на ринок. Про нього згадують лише тоді, коли виникають спеціальні технічні вимоги, наприклад, двигун повинен крокувати в нанометровому діапазоні, бути немагнітним, або з певним відношенням "момент/вага", або він повинен бути відмінним позиціонером. Все це пояснюється дуже просто, оскільки розробник намагається виконати свою розробку перш за все з використанням двигуна, який він краще знає, і тут звісно ж на першому місці в приладобудуванні – двигун постійного струму, оскільки він найбільш простий як в конструктивному виконанні, так і в керуванні. Він має просту навантажувальну характеристику (залежність швидкості від робочого моменту) і практично лінійну характеристику залежності швидкості від напруги живлення. Такий двигун має велику кількість вже розроблених стандартних контролерів. До того ж такий двигун добре інтегрується з іншими системами, наприклад різними енкодерами і декодерами, тобто трансформується в сервопривід. На такому двигуні достатньо просто побудувати систему керування з вже наявним математичним забезпеченням [1].

Тому в цій статті виконана спроба пояснити, коли п'єзоелектричний двигун є аналогією двигуна постійного струму. Хоча завжди треба пам'ятати, що у п'єзодвигуна є своя конструктивно-експлуатаційна ніша. А саме, пусковий момент або сила прикладається і знімається практично миттєво (10 - 100 мкс) і при знятті пускового моменту (сили) йде автоматичне переключення на момент (силу) самогальмування. Це тиххідний двигун з максимальною швидкіс-

тю порядку 100 об/хв. (200 мм/сек.) і глибиною регулювання за швидкістю 4-6 порядків. У двигуна унікальна роздільна здатність (~ 1 кут.сек., ~ 10 нм), він є ідеальним позиціонером і зберігає позицію при вимкненні живлення. Двигун може виконувати швидкий реверс (0.5-1 мс) за рахунок високих динамічних властивостей.

Мета роботи полягала у макетуванні та дослідженні системи керування п'єзоелектричним двигуном на прикладі PM-1124R DTI [2] з використанням найбільш доступнішого та розповсюдженого контролера Arduino [3] або йому подібних, які використовуються для керування двигуном постійного струму.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Драйвер двигуна постійного струму

Двигун постійного струму має два основних параметра для керування: напрямок та швидкість обертання. Швидкість обертання регулюється шляхом зміни напруги живлення двигуна, а напрямок руху визначається напрямком струму, що протікає через нього.

Системи керування двигуном постійного струму складається з (рис. 1): контролера (наприклад Arduino та йому подібних), який здійснює керування напрямком руху двигуна та його швидкістю; драйвер двигуна, який виконує функцію перетворення команд контролера в рух двигуна; двигун постійного струму.

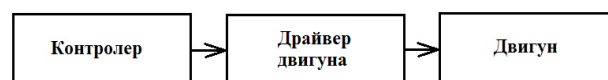


Рис. 1 – Блок-схема системи керування двигуном постійного струму

Типова структурна схема драйвера двигуна постійного струму представлено на рис. 2 (на прикладі мікросхеми TA7291 [4]).

В основі драйвера є Н-міст (рис. 3), який забезпечує не тільки відділення сигналів керування драйвера від силової частини, а й реалізації реверсу руху двигуна. Схема містить два входи (INA та INB), за рахунок яких здійснюється керування напрямком руху двигуна.

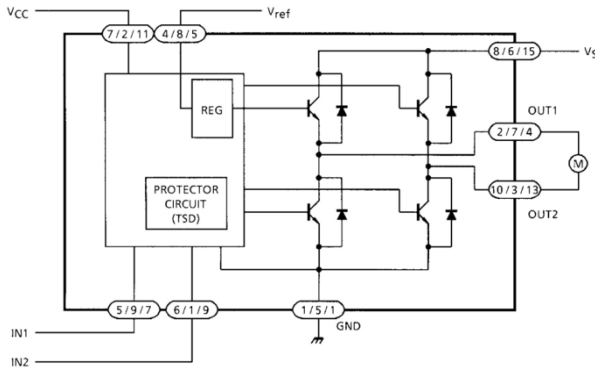


Рис. 2 – Структурна схема драйвера двигуна постійного струму TA7291

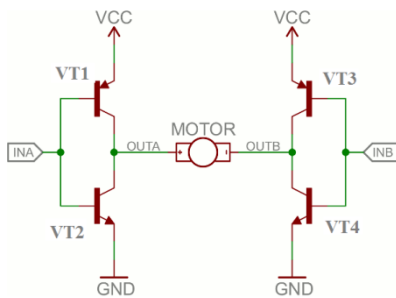


Рис. 3 – Н-міст на біполярних транзисторах [7]

Схему роботи Н-моста на біполярних транзисторах представлено в роботі [5]. В залежності від того, на який з входів надходить позитивний сигнал (логічна одиниця), двигун буде обертатися в одну чи іншу сторону (рис. 4).

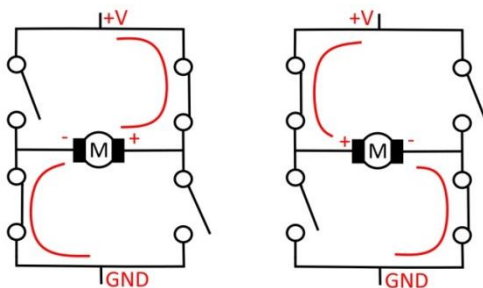


Рис. 4 – Схема роботи Н-моста на біполярних транзисторах: рух за годинниковою стрілкою (а), проти годинникової стрілки (б)

Регулювання швидкості обертання двигуна здійснюється шляхом використання широтно-імпульсної модуляції, яку генерує контролер. Приклад такого сигналу представлено на рис. 5.

В даному режимі регулювання швидкістю відбувається інтегрування імпульсного сигналу, що на-

дходить на двигун. Збільшення коефіцієнта заповнення сигналу D (відношення тривалості імпульсу до періоду сигналу) призводить до зростання середньої напруги \bar{U} , як наслідок, швидкість обертання двигуна зростає. Таким чином, завдання драйвера двигуна постійного струму полягає в комутації виводів двигуна для регулювання напрямку руху двигуна та підсилення сигналів керування широтно-імпульсною модуляцією, які надходять з контролера.

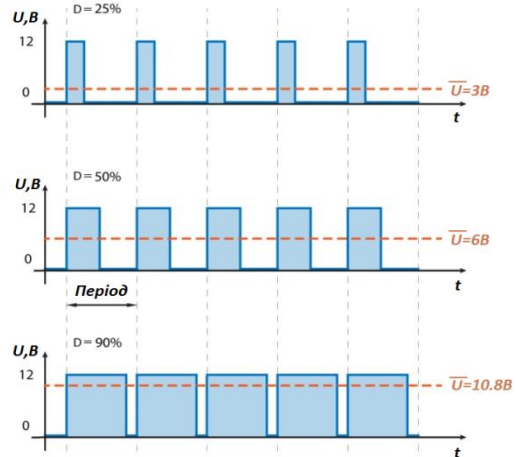


Рис. 5 – Сигнали керування швидкістю двигуном постійного струму в режимі широтно-імпульсної модуляції

2.2 Драйвер п'єзоелектричного двигуна.

Перш ніж розглянути драйвер п'єзоелектричного двигуна слід врахувати специфічні положення, які властиві практично всім п'єзоелектричним двигунам:

- п'єзоелектричний двигун (здебільшого) можна представити як два незалежних однонаправлених двигуна, виконаних в єдиному корпусі, кожен з яких незалежно працює в свою сторону;
- виходячи з цього, управління такими двигунами здійснюється за допомогою двоканального драйвера, кожен канал якого працює на свою сторону руху, адаптованого по резонансній частоті збудження до відповідного типу двигуна. Напруга живлення (наприклад 12 В) надходить на стандартний роз'єм драйвера (P3), а підключення двигуна до драйвера здійснюється через роз'єм (P2) (рис. 6).

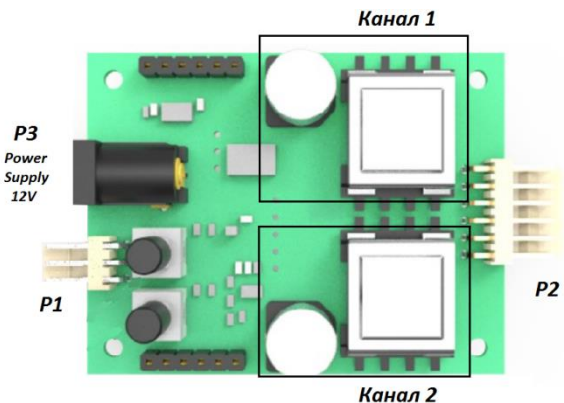


Рис. 6 – Двоканальний драйвер п'єзоелектричного двигуна (DTI) [4]

Зовнішнє керування п'єзоелектричним двигуном (ДТ) здійснюється по двох незалежних лініях (роз'єм P1, 1-й та 2-й контакти), електричним сигналом з рівнем напруги ТТЛ: контакт 1 – обертання проти годинникової стрілкою (ліве обертання); контакт 2 – обертання за годинниковою стрілкою (праве обертання); контакт 3 – “спільний” (рис. 6). На двигун подається напруга живлення, а керування двигуном здійснюється по двом незалежним лініям (шинам) керування. Двигун керується рівнем логічного нуля, тобто щоб ввімкнути двигун необхідно подати логічний нуль на 1-й або 2-й контакт роз'єму P1 (в залежності від бажаного напрямку обертання). Переходячи до керування в режимі двійкового коду, організація обертання буде наступною: “01” – ліве обертання, “10” – праве обертання, “11” – стоп.

У деяких типах п'єзоелектричних двигунів можливий диференційний режим – “00”, але це особливий випадок і ми на ньому зупинятися не будемо. Якщо рівень логічного нуля подається імпульсно – маємо імпульсний (кроковий) режим роботи, якщо безперервно – то маємо безперервне обертання. При цьому відразу слід зауважити, що тривалість імпульсу керування (“строба”) не прив'язана жорстко до кроку двигуна (похибка 5-10%). Для точного позиціонування двигуни додатково можуть оснащуватися енкодерами і спеціальними алгоритмами.

Таким чином, змінюючи тривалість “строба” і частоту його слідування по кожному каналу керування, можливо змінювати швидкість і характер руху в широких межах (принцип широтно-імпульсної модуляції або частотного керування). Такі режими керування дозволяють досягати 4-6 порядків глибини регулювання за швидкістю.

Драйвер складається з п'яти основних блоків: direction control Unit, який включає кнопки та роз'єм, за рахунок яких відбувається керування драйвером; microcontroller виконує обробку вхідних сигналів та генерацію частоти збудження резонатора; current sense виконує вимірювання струму споживання двигуна; driver здійснює підсилення сигналу частоти збудження, містить 2 незалежних канали для кожного з напрямку руху; power Supply відповідає за живлення драйвера.

Для експериментальних досліджень змакетована схема керування п'єзоелектричним двигуном по аналогії зі схемою керування двигуном постійного струму (рис. 1). З'єднання п'єзоелектричного двигуна, драйвера та контролера Arduino для керування швидкістю п'єзоелектричним двигуном представлено на рис. 7. Генерацію широтно-імпульсної модуляції сигналу здійснювала плата Arduino. При натисканні на кнопку L сигнал широтно-імпульсною модуляції з плати Arduino надходив на 1-й контакт (“синій”) роз'єму P1, що призводило до руху двигуна проти годинникової стрілки. Кнопка R відповідала за генерацію сигналу на 2-й контакт (“оранжевий”) роз'єму P1, що призводило до руху двигуна за годинниковою стрілкою.

Регулювання коефіцієнту заповнення сигналу здійснювалось за допомогою потенціометра. Для цього розроблена програма, яка змінювала коефіцієнт заповнення сигналу широтно-імпульсною модуляції в залежності від напруги на потенціометрі.

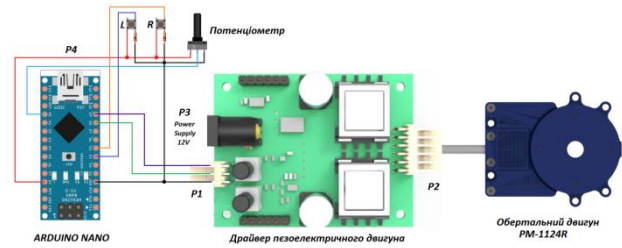


Рис. 7 – Схема з'єднань п'єзоелектричного двигуна, драйвера та контролера Arduino

Мінімальну тривалість сигналу логічного нуля (що відповідала мінімальній швидкості обертання двигуна), яку вдалося досягти за допомогою цієї схеми становила ~ 150 мкс. Ця тривалість повинна була відповідати кутовому кроку двигуна порядку декілька кутових хвилин.

У роботі проведено експериментальні дослідження швидкості п'єзоелектричного двигуна в залежності від параметрів широтно-імпульсної модуляції сигналу (частоти та коефіцієнту заповнення сигналу (D), рис. 8.

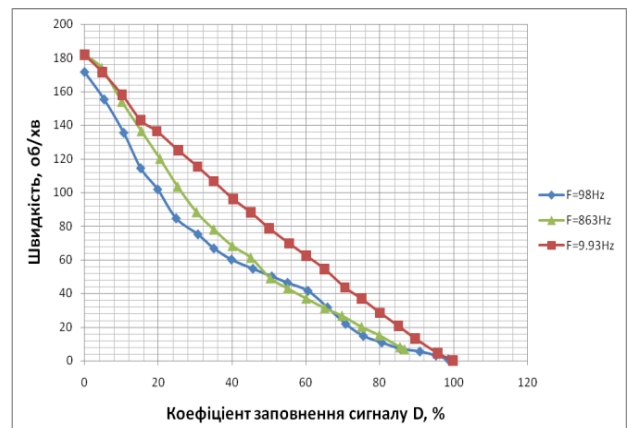


Рис. 8 – Залежність швидкості двигуна від коефіцієнту заповнення та частоти сигналу широтно-імпульсної модуляції

Із результатів експериментальні дослідження видно, що характер швидкості близький до лінійного для різних частот широтно-імпульсної модуляції. При цьому, мінімальна швидкість, яку вдалося отримати для частоти широтно-імпульсної модуляції ~ 1 кГц склала 6,6 об/хв., для ~ 100 Гц склала 0,68 об/хв., для ~ 10 Гц склала 0,06 об/хв., що добре узгоджувалася з фізичним принципом роботи п'єзоелектричного двигуна (кутовий крок для мінімальної тривалості сигналу логічного нуля склав ~ 2 кут.хв).

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто можливість керування п'єзоелектричним двигуном від стандартного контролера по аналогії з двигуном постійного струму.

Запропонована схема з'єднання драйвера п'єзоелектричного двигуна та контролера Arduino Nano, а також виконано тестування програми керування п'єзоелектричним двигуном.

Виконано вимірювання швидкості п'єзоелектричного двигуна в залежності від коефіцієнту заповнен-

ня сигналу широтно-імпульсної модуляції при різних частотах.

Експериментально доведено, що залежність шви-

дкості двигуна від коефіцієнту заповнення сигналу широтно-імпульсної модуляції має характер близький до лінійного, як і у двигуні постійного струму.

Comparison of Piezoelectric and DC Motor Control Principles

S.F. Petrenko¹, A.V. Omelyan¹, V.S. Antonyuk², O.G. Novakovskiy²

¹ *Ukraine Small Research and Production Enterprise LLC "Lileia", 3G, Metropolitan Andriy Sheptytskyi Str., 02002 Kyiv, Ukraine*

² *National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37, Peremoga Ave., 03056 Kyiv, Ukraine*

The article compares the control methods of a piezoelectric motor and a DC motor using the most widely available and widely used controllers. A circuit for connecting the piezoelectric motor driver and Arduino Nano controller is proposed, as well as testing the program for controlling the piezoelectric motor. The study of the velocity of a piezoelectric motor is performed, depending on the coefficient of filling the signal by pulse-width modulation at different frequencies. It is shown that the dependence of the engine's speed on the coefficient of filling the signal by pulse-width modulation has a character close to the linear one, as in the DC motor, and its control can be carried out in the same way as driving a DC motor using standard programs.

Keywords: Piezoelectric motor, DC motor driver, Piezoelectric motor driver.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. И.Б. Битюцкий, И.В. Музылева, *Электрические машины. Двигатель постоянного тока* (ЭБС: Лань: 2018) (I.B. Bityutskiy, I.V. Muzyleva, *Elektricheskiye mashiny. Dvigatel' postoyannogo toka* (EBS: Lan': 2018)) [In Russian].
2. Digital International Technology [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – USA: Digital International Technology, 2017. – Режим доступу: www.dtimotors.com (дата звернення 1.06.2018).
3. Arduino [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Italy: Arduino, 2018. – Режим доступу: www.arduino.cc (дата звернення 1.06.2018).
4. Toshiba [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Japan: Toshiba, 2018. – Режим доступу: toshiba.semicon-storage.com (дата звернення 01.06.2018)
5. DC MOTOR DRIVING USING H BRIDGE [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – USA: Farhek, 2018. – Режим доступу: <http://farhek.com> (дата звернення 1.06.2018).
6. Arduino DC Motor Control Tutorial – L298N | PWM | H-Bridge [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – USA: Howtomechatronics, 2018. – Режим доступу: howtomechatronics.com (дата звернення 1.06.2018).