

УДК 62-523.2

Я.А. Жабура, К.О. Беліков

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Дослідження впливу частоти та коефіцієнту заповнення вхідного ШІМ сигналу на швидкість обертання валу електромотора постійного струму

Завданням дослідження є визначення залежності швидкості обертання валу двигуна від коефіцієнту заповненості модульованого вхідного сигналу при заданій напрузі та частоті сигналу. Отримані дані використовуються для визначення частоти, що дозволяє дискретно керувати швидкістю обертання валу двигуна в автоматичному режимі.

Регулювання швидкості обертання валу двигуна постійного струму з постійними магнітами може бути реалізоване за допомогою аналогових електричних елементів або за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) при постійній напрузі живлення. При широтно-імпульсній модуляції відношення часу, за якого напруга дорівнює заданій, до часу, за якого напруга відсутня, називається коефіцієнтом заповнення. Коефіцієнт заповнення слугує для регулювання швидкості обертання вала двигуна [1].

При регулюванні за допомогою ШІМ сигналу, важливо обрати правильну частоту модуляції. Рух мотору може бути нерівномірним при низькій частоті, при високій - знижується ефективність системи через виділення тепла внаслідок електромагнітних явищ в моторі [2]. Оптимальними вважаються частоти близько 50..500 Гц, хоча в техніці часто використовують частоти близько 20 кГц чи більше, що дозволяють знизити рівень шуму від мотора [3, 4].

Частота керування двигуном залежить від навантаження та характеристик мотора і системи, вона обирається експериментальним шляхом, отримані результати не розповсюджуються очевидним чином на керування іншими системами з іншими характеристиками [5]. В цій роботі досліджується двигун РК-370СС-14230 з редуктором, при напрузі живлення 12.5 В. Редуктор має передаточне відношення 1:140. Швидкість холостого ходу (після врахування редуктора) 60 об/хв, номінальна швидкість 50 об/хв при номінальному моменті 3500 г·см [6].

Частота ШІМ сигналу визначається за формулою [7]

$$f_{\text{ШИМ}} = \frac{f_{\text{таймера}}}{(OCR + 1) \cdot TCCR'}$$

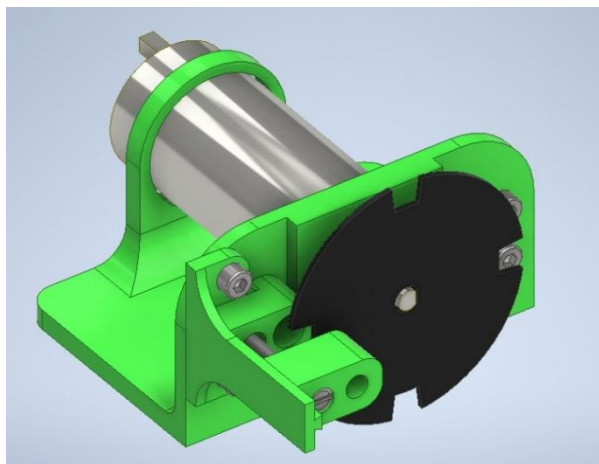
де $f_{\text{ШИМ}}$ - результуюча частота ШІМ сигналу, $f_{\text{таймера}}$ - частота таймера, що використовується для генерації ШІМ сигналу, OCR - значення, на якому скидається таймер, TCCR - дільник таймера.

В схемі керування використовується мікроконтролер ATmega8 з частотою таймера 16 МГц і восьмибітним таймером, що означає, що максимальне значення OCR - (28-1), тобто 255. Доступні дільники таймера в обраному мікроконтролері - 1, 8, 32, 64, 128, 256, 1024 [7].

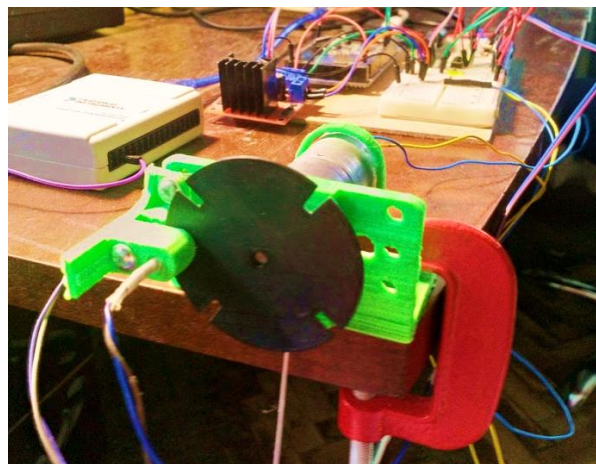
Зменшення значення OCR приводить до збільшення частоти ШІМ сигналу, але і до відповідного зменшення роздільної здатності сигналу (кількості можливих варіантів коефіцієнту заповнення), тому для експериментів було обрано частоти, що отримуються комбінацією доступних дільників з максимальним значенням OCR, тобто 1961, 980, 490, 245 та 61. Крім цього, для уточнення характеру поведінки системи на частотах між 1961 та 980, було досліджено частоту 1534, що отримується при значеннях TCCR та OCR 64 та 163 відповідно.

240

Швидкість обертання валу двигуна визначалась за допомогою оптопари і диску, закріпленого на валу двигуна, що має чотири прорізи - вікна (рис. 1). Кількість положень обиралась достатньо низькою, щоб можна було чітко розрізняти окремі імпульси за максимальної швидкості обертання, що дозволило автоматизувати зняття даних.



а)



б)

Рис. 1. Експериментальна установка. Тривимірна модель (а) і фото (б)

Було проведено ряд вимірювань для вхідного сигналу частотою 61, 245, 490, 980, 1534 та 1961 Гц. В одній серії експериментів знімалися дані про швидкість обертання вала без навантаження при заданій частоті вхідного сигналу та 13 варіантах коефіцієнта заповнення. В другій серії – знімалися дані про швидкість обертання вала з навантажуючим моментом 700 г·см, що складає 20% номінального моменту, при п'яти варіантах коефіцієнту заповнення. При роботі без навантаження максимальна частота обертання складала 60 об/хв, а при навантаженні 700 г·см - 54 об/хв.

За результатами експериментів побудовано графік залежності швидкості обертання вала двигуна від коефіцієнту заповнення вхідного сигналу при різних значеннях його частоти без навантаження (рис. 2а) та з навантаженням (рис. 2б).

З отриманих графіків видно, що з підвищенням частоти сигналу залежність швидкості обертання вала двигуна від коефіцієнту заповненості наближається до лінійної або кусково-лінійної. Найбільш лінійна залежність спостерігається при роботі без навантаження, на частотах 980 Гц і вище. При частотах 1534 Гц та 1961 Гц кут нахилу характеристики до осі абсцис сильно збільшується, що викликає погіршення керованості системи на низьких швидкостях.

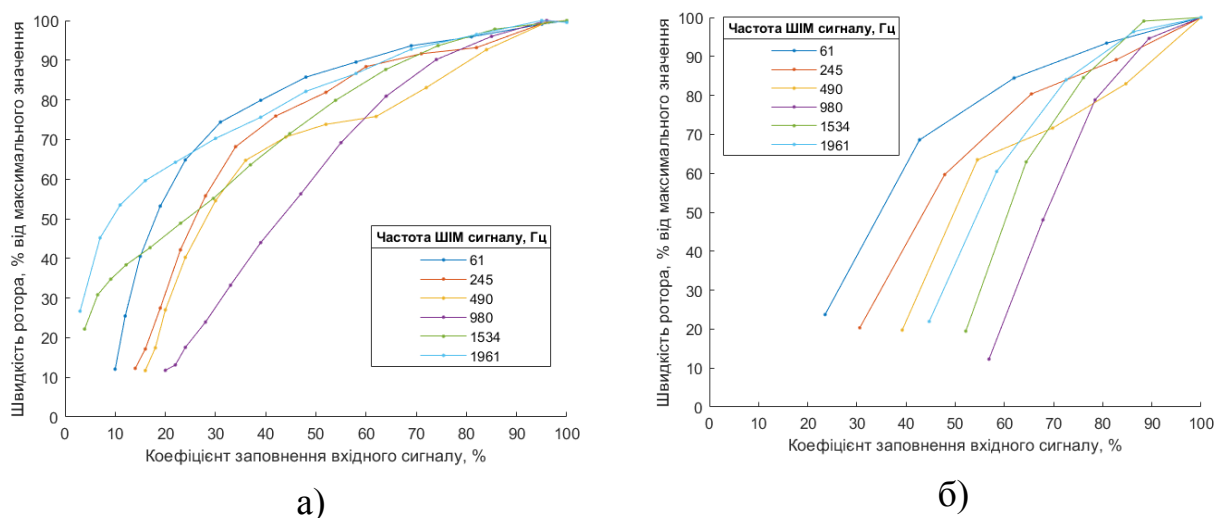


Рис. 2. Залежність швидкості ротора від коефіцієнту заповнення вхідного сигналу при різних значеннях частоти ШІМ сигналу для (а) холостого руху (б) при навантаженні, що складає 20% від номінального

Під навантаженням всі криві (рис. 2.б) зміщуються вправо в порівнянні з положенням відповідних кривих без навантаження.

Також важливою характеристикою є мінімальна швидкість, за якої забезпечується рух, оскільки від неї залежить діапазон регулювання швидкості

обертання вала. Значення мінімальних швидкостей та коефіцієнтів заповнення, що їм відповідають, подано в таблиці 1.

Таблиця 1.

Мінімальні значення коефіцієнту заповнення і швидкості ротора

Частота ШІМ сигналу, Гц	61	245	490	980	1534	1961
Мінімальний коефіцієнт заповнення вхідного сигналу, %, без навантаження	10	14	16	20	4	3
Мінімальний коефіцієнт заповнення вхідного сигналу, %, під навантаженням	24	31	39	57	52	45
Мінімальна швидкість ротора, % від максимального значення, без навантаження	12	12	12	12	22	27
Мінімальна швидкість ротора, % від максимального значення, під навантаженням	24	20	20	12	20	22

242

При холостому ході мінімальна швидкість змінюється не значно, зростає з підвищенням частоти, а коефіцієнт заповнення, що відповідає цій швидкості, спочатку росте з ростом частоти, для сталої швидкості, і сильно зменшується при рості швидкості на високих частотах. Під навантаженням мінімальна швидкість збільшується на низьких частотах, залишаючись стабільною на частоті 980 Гц, а на високих частотах знижується при різкому збільшенні відповідного коефіцієнта заповнення.

При використанні частот 1534 Гц та 1961 Гц, під навантаженням і без навантаження діапазон регулювання сильно зменшується, через суттєву різницю в коефіцієнтах заповнення, що відповідають мінімальній швидкості. Для нижчих частот цей ефект також варто враховувати, проте він менш виражений.

За результатами проведених експериментів та їх аналізом, для даного мотора було обрано частоту ШІМ 980 Гц, що забезпечує достатню лінійність характеристики керування і діапазон зміни швидкості від 12% до 100% при

роботі з навантаженням. Попередньо приймаємо цю частоту як основну при виборі параметрів модуля керування швидкістю двигуна при сталому навантаженні за допомогою дискретних виходів ПЛК.

Список використаних джерел

1. S. Kumar Peddapelli. Pulse Width Modulation : Analysis and Performance in Multilevel Inverters / Satish Kumar Peddapelli., 2017. ISBN: 978311046857.

2. Scarpino M. Motors for Makers: A Guide to Steppers, Servos, and Other Electrical Machines / Matthew Scarpino., 2015. ISBN: 9780134031330.

3. Iovine J. PIC Projects for Non-Programmers / John Iovine., 2011. ISBN: 9780080879376.

4. Williams E. Make: AVR Programming / Elliot Williams., 2014. ISBN: 9781449355784.

5. Rudnicki, T., Sikora, A., Czerwinski, R. and Glinka, T. (2018), "Impact of PWM control frequency on efficiency of drive with 1 kW permanent magnet synchronous motor", COMPEL - The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering, Vol. 37 No. 1, pp. 307-318. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1108/COMPEL-01-2017-0031>.

6. RK-370CC-14230 60RPM Powerful Torque Gear Motor [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://m.microjpm.com/products/ad34333/>.

7. ATmega8(L) - Complete Datasheet [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу:

<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega8#datasheet-toggle>.