

¹Канд. техн. наук, асистент кафедри електромеханіки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, E-mail: kovalenko_ma@i.ua

²Студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна

АВТОНОМНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ УНІПОЛЯРНОГО КРОКОВОГО ДВИГУНА НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

Для вдосконалення, оновлення матеріально-технічного бази та лабораторного обладнання кафедри електромеханіки НТУУ «КПІ» розроблено автономний стенд для дослідження характеристик уніполярного крокового двигуна на базі мікроконтролера. Функціональні можливості стенду дозволяють реалізовувати три режими керування кроковим двигуном, дев'ять фіксованих швидкостей, можливість реверсу. Розроблено методичні рекомендації для проведення лабораторних робіт студентами. Отримано часові діаграми розподілу струму та напруги в обмотках, знято та побудовано механічну характеристику досліджуваного двигуна.

Ключові слова: уніполярний кроковий двигун, лабораторний стенд, мікроконтролер, режими керування.

ВСТУП

Кроковий двигун (КД) з'явився як недорога альтернатива позиційному приводу. При цьому, найбільш суттєвою відмінністю КД стала простота в управлінні позицією валу. Все що потрібно – це подати імпульси на обмотки двигуна у правильній послідовності, для забезпечення обертання валу. На сьогоднішній день КД успішно застосовуються в найрізноманітніших пристроях: побутовій техніці, оргтехніці, комп'ютерній, автомобільній техніці і т.ін. та обладнанні спеціального призначення. Основна функція КД – перетворення вхідного електричного сигналу у механічне переміщення ротора.

Матеріально-технічна база кафедри електромеханіки, в умовах фактичної відсутності фінансування з боку держави і з врахуванням важкого економічного становища, застаріває. Більшість із наявних стендів для дослідження характеристик мікромашин та безконтактних машин морально застаріла і потребує оновлення. Поруч з тим, більшість обладнання відпрацювало термін безвідмовної роботи і працює понад норму. Це приводить до раптового виходу обладнання стендів з ладу та зриву навчального процесу.

Модернізація лабораторної бази вищих навчальних технічних закладів електромеханічного спрямування за участю студентів необхідна розвитку та підтримки високого науково-технічного рівня підготовки майбутніх фахівців, а також підтримки у належному стані обладнання для практичних та лабораторних занять. Залучення студентів ВУЗів до практичної роботи по розробці та модернізації обладнання підвищує загальний рівень підготовки студентів-електромеханіків, дозволяє опанувати навички підбору, монтажу, налагодження та обслуговування сучасного обладнання.

Розробка стендів для електричних машин малої потужності потребує менших матеріальних витрат, такі стенди є енергоефективними, оскільки споживають невелику кількість електричної енергії. Тому оновлення лабораторного обладнання доцільно розпочинати із стендів

для електричних машин малої потужності. Основою таких стендів повинні бути сучасні технології: цифрові пристрої та перетворювачі, що виконують функції регулятора, комутації та захисту.

Метою роботи є розробка автономного експериментального стенду для дослідження характеристик уніполярного крокового двигуна типу ПБМГ – 200 на базі мікроконтролера з метою оновлення та модернізації матеріально-технічної бази лабораторій на базі доступних засобів та систем. А також оновлення навчально-методичного забезпечення для навчання студентів напрямку «Електромеханіка».

Розробці автономних схем керування КД присвячено велика кількість робіт як вітчизняних [1–3] так і закордонних вчених [4, 5]. В основному, сучасні схеми керування КД побудовані на використанні мікропроцесорної техніки у сукупності із ПЕОМ. Такі стенди мають ряд суттєвих недоліків пов'язаних із: великою вартістю; прив'язка до певного типу КД; недовикористання мікропроцесору.

Актуальним напрямком є оновлення матеріально-технічної бази лабораторій мікромашин (також загальної лабораторії електричних машин) та розробка нових компактних, недорогих, надійних та простих у користуванні лабораторних стендів.

Розробка стенду неможлива без аналізів основних переваг та недоліків КД. До переваг КД відносяться:

- немає необхідності у зворотному зв'язку, що значно спрощує систему драйвера;
- точність позиціонування і повторюваність, помилка не накопичується від кроку до кроку;
- швидкий старт, реверс;
- можливість отримання низьких швидкостей;
- висока надійність;
- наявність фіксуемого моменту.

Недоліками КД є:

- споживають номінальну потужність, навіть без навантаження;

- можливий пропуск кроку;
- притаманне явище резонансу;
- складності керування на високих швидкостях.

Конструктивно КД діляться на три типи [2]: 1) Реактивні; 2) КД із постійними магнітами; 3) Гібридні КД.

Головною умовою створення ственду для КД є висока вартість як окремих його елементів (системи керування, КД, силової частини). В якості об'єкту керування взято уніполярний чотирьохфазний КД типу ПБМГ – 200, що використовувався для приводу гнучких магнітних накопичувачів 5,253 . Даний двигун дорожчий ніж реактивні КД та КД із постійними магнітами, але забезпечує меншу величину кроку, більший момент і вищу швидкість. Типова кількість кроків для гібридних двигунів складає 100 – 400 кроків на один оберт (кут кроку 3,6 – 0,9 градусів). Даний двигун конструктивно відноситься до гібридного типу КД. Конструкція досліджуваного двигуна приведена на рис. 1.

На рис. 1 показано: 1 – постійний магніт; 2 – магнітне осердя ротора; 3 – обмотки статора КД; 4 – магнітне осердя статора; 5 – підшипники; 6 – підшипникові щити.

В табл. 1 наведено деякі номінальні параметри КД типу ПБМГ – 200.

Схема розташування (маркування) обмоток досліджуваного КД приведена на рис. 2.

Параметри та характеристики КД визначаються способом комутації обмоток. Розрізняють чотири способи комутації обмоток КД:

- Повнокроковий режим без перекриття фаз;

Таблиця 1 – параметри КД ПБМГ – 200

№	Параметр	Величина
1	Кут повороту на один крок	1,8 ⁰
2	Кількість кроків за повний оберт валу	200
3	Напруга живлення	12...24 В
4	Опір обмоток	70 Ом
5	Споживаний струм	0,17 А
6	Частота приємистості	52 кГц

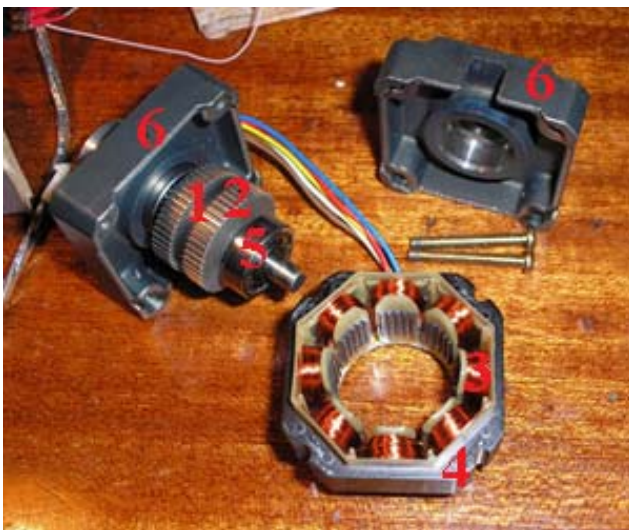


Рисунок 1 – Конструкція гібридного уніполярного КД

- Повнокроковий режим з перекриттям фаз;
- Напівкроковий режим;
- Мікрокроковий режим.

При повнокроковому режимі без перекриття фаз в один момент часу живиться одна фаза двигуна. Характерною рисою повнокрокового режиму з перекриттям фаз є те, що одночасно живляться дві суміжні фази і ротор зупиняється не навпроти полюсів, а в проміжному положенні між ними. Напівкроковий режим є комбінацією двох вищезазначених, тобто ротор зупиняється як навпроти полюсів, так і в проміжному положенні між ними. В мікрокроковому режимі можна досягти будь-якого положення ротора між сусідніми полюсами.

Миттєві значення напруги живлення в кожній фазі при повнокроковому режимі з перекриттям фаз показано на рис. 3.

Будь яка схема керування КД складається з двох частин: системи керування та силової частини. Існує чотири принципових схеми керування КД, які базуються на:

1. Логічних елементах;
2. Мікроконтролерах;
3. Мікропроцесорах;
4. Комп'ютерному керуванні.

Будь-який варіант виконання системи керування КД має свої переваги та недоліки. Першочерговим завдан-

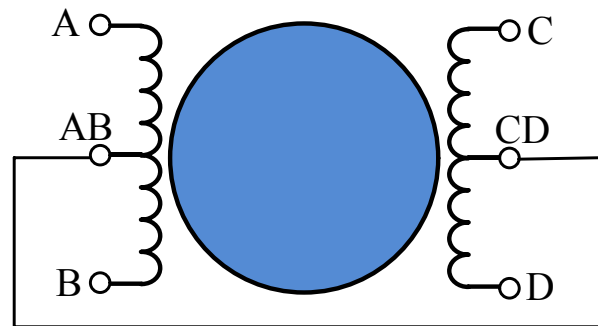


Рисунок 2 – З'єднання обмоток уніполярного КД

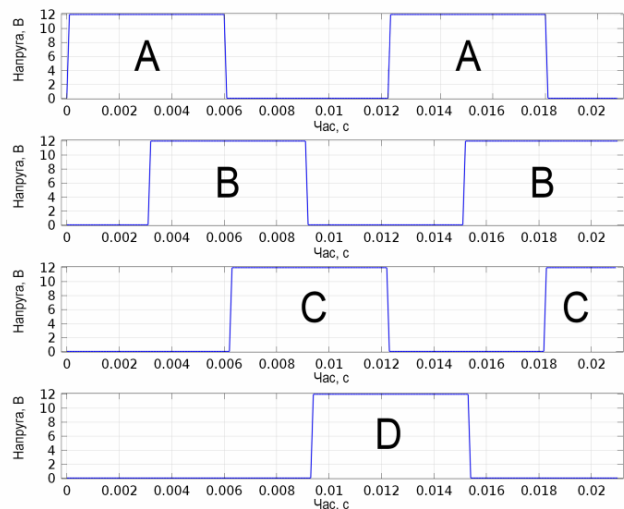


Рисунок 3 – Миттєві значення напруги живлення обмоток в повнокроковому режимі з перекриттям фаз

ням є обґрунтування вибору схеми керування КД. Вибір схеми проводиться методами лінійного програмування, а саме методом багатокритеріального вибору [6]. Визначимо критерії вибору:

1. R_1 – кінцева вартість схеми;
2. R_2 – гнучкість схеми (варіативність параметрів, режимів, можливість реалізації зворотних зв'язків, керування різними типами та габаритами КД і т.ін.);
3. R_3 – простота реалізації (доступність елементів, простота схеми та монтажу).

Для реалізації алгоритму багатокритеріального вибору необхідно задати ваговими коефіцієнтами кожного критерію на основі експертної оцінки: $W_1 = 0,5$ – вартість схеми; $W_2 = 0,2$ – гнучкість схеми; $W_3 = 0,3$ – простота

схеми. Для спрощення подачі матеріалу методика розрахунку не приводиться. Оптимальною схемою є схема на мікроконтролері.

Принципова електрична схема системи керування та силової частини (драйвера) приведена на рис. 4.

Структурно схема складається із двох частин: системи керування КД та драйвера.

Основою системи керування є доступний мікроконтролер компанії Atmel ATtiny2313. Основою драйвера КД (силової частини) є кремнієві транзистори КТ972а (закордонний прототип BD876). Номінальний струм колектора транзистора складає Н'2 А, що забезпечує необхідний запас по струму і дозволяє випробовувати більшість серійних уніполярних КД.

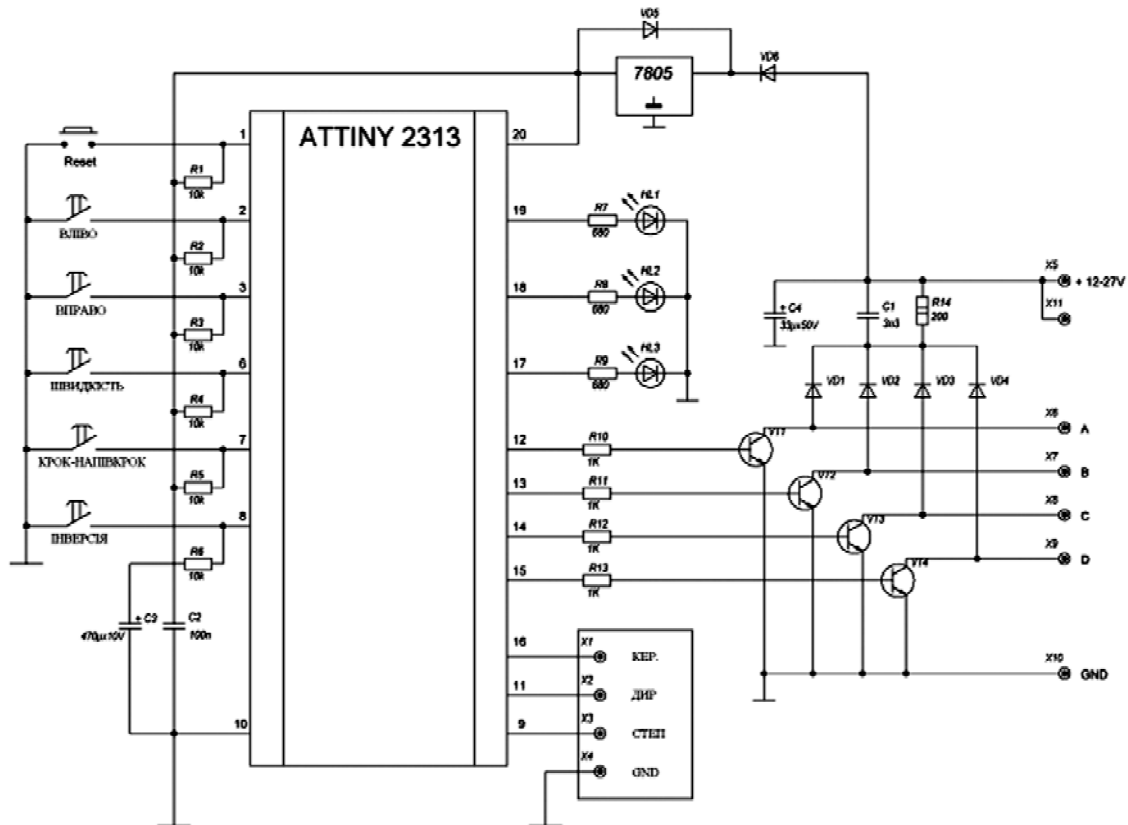


Рисунок 4 – Схема електрична принципова

Таблиця 2 – специфікація елементів схеми

№	Назва елементу	Кількість, шт.
1	Мікроконтролер АТТІNY 2313	1
2	Мікрокнопка тактова 6x6x2.5мм	5
3	Конденсатор 100 нФ	1
4	Конденсатор 470 пФ	1
5	Конденсатор 33 пФ	1
6	Конденсатор 3 нФ	1
7	Резистор 10 кОм	1
8	Резистор 660 Ом	3
9	Резистор 1 кОм	4
10	Резистор 200 Ом	1
11	Діод 1n4006	6
12	Стабілізатор напруги 7805	1
13	Транзистор КТ972а	4
14	Кемники	2

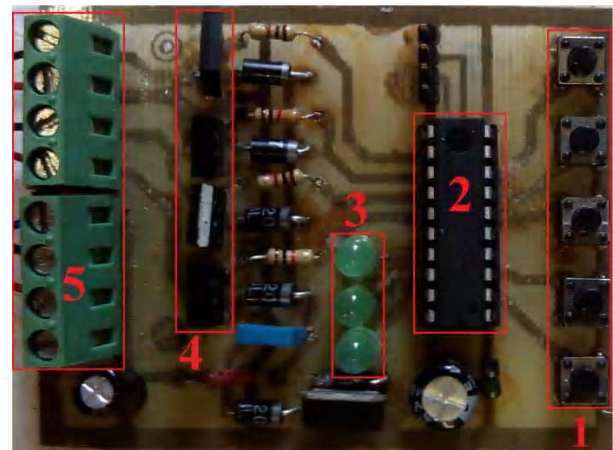


Рисунок 5 – Змонтована схема

Представлена на рис. 4 схема контролера дозволяє керувати будь-якими уніполярними (5–6 проводів) КД в різних режимах швидкостей і кроку. Перевагою контролера є його автономність, не потрібно забезпечувати інтерфейс із комп'ютером, дана схема працює повністю автономно.

Специфікація елементів схеми приведено в табл. 2.

На рис 5: 1 – кнопки для керування КД та режимами; 2 – мікроконтролер ATtiny2313; 3 – індикатори режиму роботи; 4 – драйвера, транзистори типу КТ972а; 5 – підключення живлення та обмоток КД.

Схема дозволяє реалізувати три режими керування КД: повнокроковий режим без перекриття фаз; повнокроковий режим з перекриттям фаз; напівкроковий режим. Про роботу кожного з них сигналізує відповідний світловий індикатор 3 (рис. 5).

Кнопки для керування передбачають (зверху до низу, рис. 5, 1): обертання за годинниковою та проти годинникової стрілки; дев'ять фіксованих швидкостей; вибір одного із трьох режимів керування; мікрокроковий режим.

Всі характеристики КД отримані на експериментальному макеті стенду, побудованого на основі змонтованої схеми. Загальний вигляд макету експериментального стенду для дослідження уніполярного КД показано на рис. 6.

На рис. 6: 1 – імпульсний блок живлення для драйверу та системи керування КД; 2 – схема керування та драйвер КД; 3 – уніполярний КД ПБМГ – 200; 4 – навантажувальний генератор постійного струму із постійними магнітами (низько швидкісний); 5 – навантажувальний реостат генератора постійного струму.

Швидкість обертання КД вимірювалась стробоскопічним методом і для спрощення на рис. 6 не показана. В подальшому, планується забезпечити стенд цифровим давачем швидкості обертання із індикатором.

На рис. 7 показано осцилограми струмів в обмотці КД при швидкості обертання КД 45 об/хв. Та повнокроковому режиму керування без перекриття фаз.

Піки струму 1 (рис. 7) відповідають сигналам керування і подачі напруги на обмотку. Середнє значення струму складає $\approx 0,163$ А. Сплески струмів 2 на осцилограмі відповідають зворотнім струмам, що протікають в момент коли тиристор закритий. Ці струми компенсуються зворотними вентилями VD1–VD4 (рис. 4).

При збільшенні швидкості обертання амплітуда імпульсів струму знижується, але збільшується їх частота (рис. 8.)

Осцилограма на рис. 8 отримана для повнокрокового режиму керування без перекриття фаз.

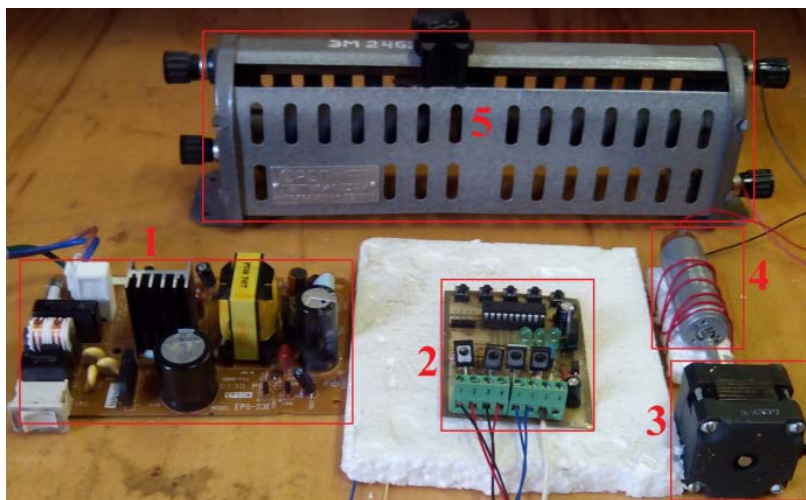


Рисунок 6 – Макет експериментального стенду

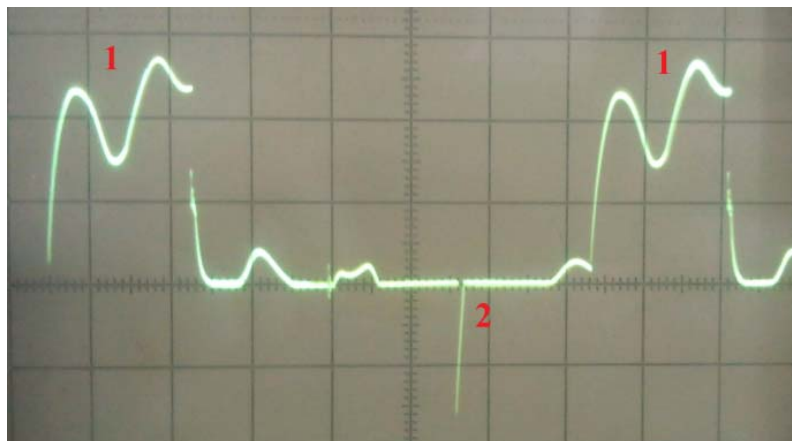


Рисунок 7 – Осцилограма струму в обмотці при швидкості 45 об/хв

На рис. 9 показано осцилограми струмів у фазі «А» та «В» при повнокроковому режимі із перекриттям фаз на 0,5Т при швидкості 45 об/хв.

Однією із причин спотворення осцилограм струмів при навантаженні є те, що джерелом живлення для досліджуваного КД є імпульсний блок живлення. При застосуванні в якості джерела живлення акумуляторної батареї, генератора постійного струму чи напівпровідникового випрямляча із фільтром форма напруг та струмів стає більш «чистою».

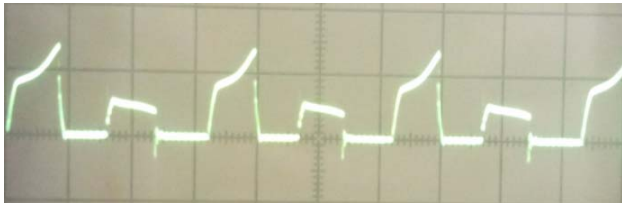


Рисунок 8 – Осцилограма струму в обмотці КД при швидкості 160 об/хв.

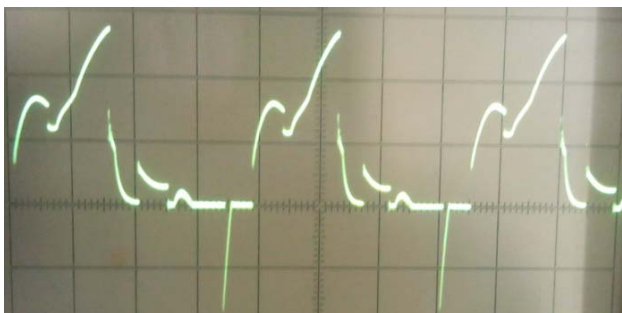
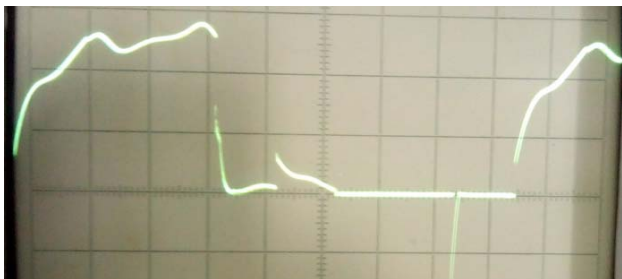


Рисунок 9 – Осцилограми струмів при повнокроковому режимі із перекриттям фаз

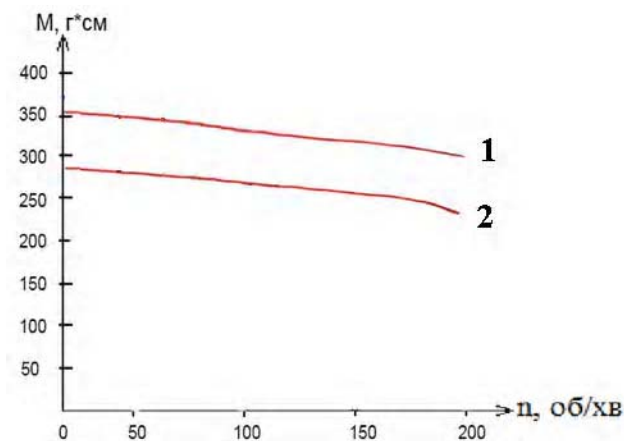


Рисунок 10 – Механічна характеристика КД

За допомогою навантажувального генератора отримано механічні характеристики КД для двох режимів керування: повнокрокового без перекриття фаз та повнокрокового із перекриттям фаз. Результат показано на рис. 10.

На рис. 10: 1 – механічна характеристика при повнокроковому режимі із перекриттям фаз; 2 – механічна характеристика при повнокроковому режимі із без перекриття фаз.

Із результатів видно, що при комутації обмоток КД із перекриттям імпульсів напруги, забезпечується більша величина механічного моменту $\approx 1,4$ рази, що корелюється із відповідними теоретичними відомостями.

ВИСНОВКИ

Розроблено експериментальний стенд для дослідження характеристик уніполярного КД на базі мікроконтролера. Перевагами стенду є його простота, надійність, невисока вартість та можливість розширення функціональних можливостей при невисоких затратах. Розроблений стенд дозволяє випробовувати КД будь-якої потужності при різних режимах керування. Використання стенду дозволяє модернізувати лабораторне обладнання учбового закладу та підвищити якість підготовки фахівців напряму «Електромеханіка».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ситников А. В. Стенд для управления шаговым двигателем / Ситников А. В. Ажгиревич И. Л., Пушин А. В. // Инженерный вестник. – 2014. – №5. – С. 501 – 509.
2. Емельянов А. В. Шаговые двигатели: учеб. пособие / А. В. Емельянов, А. Н. Шилин // ВолгГТУ. – Волгоград, 2005. – 48 с.
3. Douglas W. Jones Control of Stepping Motors / W. H. Yeadon and A. W. Yeadon // A Tutorial. – McGraw-Hill, 2001. – 256 p.
4. Осадчий В. В. Лабораторный стенд для исследования алгоритмов микропроцессорных систем управления шаговыми двигателями / Осадчий В. В., Назарова Е. С., тоболкин С. Ю. // Електромеханічні системи та автоматизація. – 2014. – №1. – С. 159 – 161.
5. H. Yeadon and Alan W. Yeadon. Handbook of Small Electric Motors William / McGraw-Hill, 2001. – 187 p.
6. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій: підручник / Ю. П. Зайченко. – 7-ме вид., перероб. та доп. – Київ : Слово, 2006. – 816 с.

Стаття надійшла до редакції 29.10.2015

Коваленко М. А.¹, Мацюк Д. С.²

¹К.т.н., ассистент кафедры электромеханики, Национальный технический университет «Киевский политехнический институт», Украина

²Магистр кафедры электромеханики, Национальный технический университет «Киевский политехнический институт», Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УНИПОЛЯРНОГО ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Для усовершенствования и обновления материально-технической базы, а также лабораторного оборудования кафедры электромеханики НТУУ «КПИ» разработан автономный стенд для исследования характеристик униполярного шагового двигателя на базе микроконтроллера. Функциональные возможности стенда позволяют реализовывать три режима управления шаговым двигателем, девять фиксированных скоростей, возможность реверса. Разработаны методические рекомендации для проведения лабораторных работ студентами. Получены временные диаграммы распределения тока и напряжения в обмотках, снята и построена механическая характеристика исследуемого двигателя.

Ключевые слова: униполярный шаговый двигатель, лабораторный стенд, микроконтроллер, режимы управления.

Kovalenko M. A.¹, Matsjyk D. S.²

¹PhD in Technical Sciences, assistant, electromechanics department of National Technical University «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

²Magister, electromechanics department of National Technical University «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

EXPERIMENTAL TEST BENCH FOR STUDIES OF UNIPOLAR STEPPING MOTOR BASED ON MICROCONTROLLER

For updating the material, technical base and laboratory equipment of the department of NTUU «KPI» the autonomous test bench for unipolar stepping motor characteristics studies which based on microcontroller is designed. Functional capabilities of the bench allow to realize three control modes of stepping motor, nine fixed functional speeds and reverse ability. The methodological recommendations for carrying students laboratory research are developed. The time-dependent diagrams for current and voltage distribution in step motor windings are given and the speed-torque characteristic of unipolar step motor is shown and obtained.

Keywords: unipolar step motor, test bench, microcontroller, control modes.

REFERENCES

1. Sitnikov A. V., Azhgirevich I. L., Pushhin A. V. Stend dlj upravlenija shagovym dvigatelem, *Inzhenernyj vestnik*, 2014, No 5, pp. 501–509.
2. Emel'janov A. V., Shilin A. N. Shagovye dvigateli: ucheb. Posobie. Emel'janov, VolgGTU, Volgograd, 2005, 48 s.
3. Douglas W., Yeadon A. W. Jones Control of Stepping Motors. A Tutorial, McGraw-Hill, 2001, 256 s.
4. Osadchij V. V., Nazarova E. S., Tobolkin S. Ju. Laboratornyj stend dlja issledovanija algoritmov mikroprocesornyh sistem upravlenij ashagovymi dvigateljami. *Elektromehanichni sistemi ta avtomatizacija*. 2014, No 1, pp. 159–161.
5. H. Yeadon and Alan W. Yeadon. Handbook of Small Electric Motors William. McGraw-Hill, 2001, 187 s.
6. Zajchenko Ju. P. Doslidzhennja operacij: pidruchnik 7-me vid., pererob. Tadop, Kiiv :Slovo, 2006, 816 s.