

УДК 621.313

І. А. Орловський<sup>1</sup>, В. І. Бондаренко<sup>2</sup>, І. О. Черняєв<sup>3</sup>, В. Ю. Андриенко<sup>4</sup><sup>1</sup>Д-р техн. наук, професор, Запорізького національного технічного університету<sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент Запорізького національного технічного університету<sup>3</sup>Студент Запорізького національного технічного університету<sup>4</sup>Інженер-електронік по обслуговуванню та ремонту лазерних установок, АТ «Мотор-Січ»

## ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД КЕРУВАННЯ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ ВІД SCADA СИСТЕМИ TRACE MODE

*Для вдосконалення навчального процесу у Запорізькому національному технічному університеті розроблено лабораторний стенд комп'ютерного керування кроковим двигуном від SCADA системи TRACE MODE через LPT та USB порти персонального комп'ютера. Розроблена методика проведення лабораторних робіт на стенді. Експериментально отримані часові діаграми струмів крокового двигуна ШД5.*

**Ключові слова:** лабораторний стенд, кроковий двигун, SCADA система, навчальний процес.

### ВСТУП

Замала частина практичної підготовки студентів спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод», що визначена навчальними планами бакалаврів з електромеханіки, особливості матеріальної бази та програмного забезпечення об'єктів автоматизації надають у сучасних умовах лабораторному практикуму з фахових дисциплін статусу одного з головних чинників практичної підготовки спеціалістів вищих навчальних заходів (ВНЗ). Модернізація з участю студентів існуючих лабораторних стендів з названих дисциплін, мотивована прагненням збереження високого науково-технічного рівня підготовки фахівців, з урахуванням новітніх досягнень у галузях електроніки й програмування, при убогих фінансових можливостях ВНЗ. Такий підхід дозволяє, у повній мірі, впоратись з впровадженням сучасної техніки і нових технологій навчання і надає можливості студентові спеціальності більш глибоко опанувати навички монтажу, налагодження, а головне, навчитись кваліфіковано і якісно обслуговувати сучасне обладнання.

При модернізації застарілих лабораторних стендів, а вони ще не всі потрошені й посписувані, власними силами є можливість, при збереженні часом дуже складної механічної частини (приводи верстатів, промислові маніпулятори й таке інше), замінити її «начинку» на сучасну, зокрема, на базі новітніх програмованих контролерів, тощо.

Розробкою власними силами лабораторних стендів напряму підготовки «Електромеханіка» переймається більшість ВНЗ України. Так у Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського [1] запропонована концепція побудови малогабаритних лабораторних комплексів, як ефективного рішення при оновленні лабораторної бази для підготовки інженерів електротехнічних спеціальностей згідно сучасних вимог. У Запорізькому національному технічному університеті на кафедрі електропривода та автоматизації промислових установок [2] разом з ТОВ «ДП СВ Альтера-Запоріжжя» модернізовано з використанням обладнання фірми VIPA лабораторний стенд з маніпулятором M10P. У ході

експериментальної перевірки роботи стенда доведена доцільність виконаної модернізації для покращення якості навчання студентів, та можливість подальшого удосконалення системи керування маніпулятора. У Донбаському державному технічному університеті (м. Алчевськ) [3] «власними руками» розроблено стенд («універсальну експериментальну установку») призначений не тільки для навчального процесу при проведенні практичних і лабораторних робіт з дисциплін «Комплексні електроприводи» та «Системи оптимального і векторного керування електроприводами», а й для наукових досліджень алгоритмів ідентифікації, керування і спостереження різних електромеханічних систем з невизначеними параметрами. Із зазначеного вище, з особистих зустрічей працівників ВНЗ та огляду технічної літератури витікає актуальність проведення такої роботи, зокрема і розробка відсутніх на Україні стендів для керування кроковим двигуном (КД) від SCADA систем.

**Мета розробки** – на базі існуючого стенда створити сучасний лабораторний стенд комп'ютерного керування КД від SCADA системи TRACE MODE.

За базовий узятий, виготовлений у 80-ті роки, стенд СШД-5 з вивчення дискретних електроприводів подач металорізальних верстатів з КД. Цей стенд включає в себе шестифазний КД ШД-5 з реактивним ротором, силові комутатори, блок живлення, панель виміру сигналів, пульт керування та застарілу систему керування на логічних елементах 155 серії. На стенді передбачена можливість (є рознім паралельного підмикання даних) для отримання сигналів керування від зовнішнього пристрою. У цьому сенсі стенд було відновлено на підмикання до персонального комп'ютера (ПК) через LPT і USB порти.

Професійна мотивація створення оновленого стенда була обумовлена не абиякою увагою, в останній час, до дискретного електропривода з силовими КД, засновниками якого у 60–70 роки минулого століття були відомі вітчизняні вчені Москви, Києва, Ленінграда: Івоботенко Б. О., Карпенко Б. К., Ратміров В. А., Чілікін М. Г., Сабінін Ю. О., Соколов М. М. [4–8] та інші.

## ВЛАСТИВОСТІ КД ТА ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРОБКИ СТЕНДА

Кроковий двигун – це різновид синхронного двигуна (без пускових обмоток), на обмотки керування якого у певній послідовності подаються дискретні електричні сигнали. Послідовна комутація цих обмоток викликає дискретні, лінійні або кутові, механічні переміщення ротора. Частота електричних імпульсів визначає швидкість стрибкоподібного переміщення ротора, а послідовність комутації струмів фаз – напрямок переміщення. З розвитком електроніки зростають темпи використання КД, як виконавчих, так і силових.

Історія створення електромеханічних перетворювачів енергії безперервної дії та дискретних мала паралельний розвиток, більш того, одним з перших електричних двигунів, запатентованих ще у тридцяті роки XIX століття, був КД (електромагнітний двигун з храповим колесом Сальвере дель Негро). Натомість цей напрям тривалий історичний час не мав продовження з-за необхідності керування КД від механічного комутатора, який, у свою чергу, вимагав джерела механічного руху. Винаходи чекали на електричний комутатор.

Стрімкий розвиток електроніки дозволив створити високоєфективні системи керування КД у самих різних, в тому числі і швидкодіючих, системах автоматики, де вони цифрову інформацію у вигляді електричних імпульсів перетворюють у відповідне переміщення механізму, причому це переміщення однозначне, тобто кожному керуючому імпульсу відповідає механічне переміщення (крок двигуна). Точність відпрацювання, навіть дуже великої серії імпульсів, не залежить від їх кількості, а визначається лише точністю відпрацювання одного механічного кроку двигуна. Це дозволяє створити доволі точні системи регулювання дискретного типу навіть без зворотних зв'язків (без автокомутації КД), що суттєво зменшує кількість елементів системи при збереженні надійності, здешевлює її.

Притаманні КД деякі унікальні властивості забезпечують їм виключно пріоритетне, а інколи, і незамінне, використання. На відміну від класичних електричних двигунів, основними режимами КД є перехідні режими. Це пуск і зупинка, розгін і гальмування, реверс при широкому діапазоні регулювання швидкості (включаючи й нульову), робота у старт-стопному режимі. Для надання робочому органу ще більш складних динамічних станів – це ще й програмно задане, практично будь-яке, змінювання числа керуючих імпульсів та їх черговості, за необхідністю змінювання поточного алгоритму комутації фаз, формування переднього і заднього фронтів імпульсу, вмикання фаз-антогоністів, програмовані розгін й гальмування та багато іншого.

Отже, виходячи зі сказаного вище, на модернізованому лабораторному стенді є можливість вивчати чи досліджувати властивості, притаманні дискретному електроприводу на базі виконавчих або силових КД та продовжу-

вати удосконалення стенда з метою розширення і поглиблення досліджень властивостей названого привода, їх достоїнств та вад.

Властивості ж власне КД, що визначають їх достоїнства, такі:

- можливість отримання необхідного широкого спектра динамічних станів робочого органу чи іншого рухомого елемента;

- суттєве спрощення механічної частини привода шляхом зменшення, а у багатьох випадках практичного зведення нанівель, кількості механічних передач і механічних перетворювальних ланок;

- для обертових КД у межах одного оберта отримання будь-якої кількості стійких положень ротора з точністю до механічного кроку КД, зокрема, для багатофазних, багатополосних КД з активним ротором є реальним отримання стійкого фіксованого положення ротора у межах одного-двох градусів;

- для лінійних КД аналогічно – тільки для стійких положень лінійного переміщення;

- широкий діапазон регулювання швидкості КД в межах частоти приємності режиму, можливість стійкої роботи практично при будь-яких низьких швидкостях, включаючи й нульову, коли КД долає статичний момент опору в режимі зупинки ротора (робота КД «на упор»);

- можливість реалізації старт-стопного керування рухом у квазістатичному режимі роботи;

- можливість точного позиціонування без втрати кроку виконавчих КД (і силових КД у режимі неробочого ходу або спокійної динаміки при навантаженні) при застосуванні розімкнених систем керування (без використання давачів положення);

- можливість точного позиціонування з заданим прискоренням, або з різко змінним навантаженням, без втрати кроку, для силових КД з автокомутацією (з використанням принаймні локально замкненої, через давач положення, системи керування);

- можливість стрибкоподібних пуску та зупинки (стрибкоподібних змінювань частоти комутації від нуля до робочої чи від робочої до нуля відповідно);

- можливість застосування привода у високоєфективних швидкодіючих системах автоматики з прямим керуванням від персонального комп'ютера або від програмованого контролера за рахунок безпосереднього сприймання цифрової інформації у вигляді електричних імпульсів;

- реалізація точного, навіть прецизійного, позиціонування і повторюваності, за рахунок малої похибки відпрацювання механічного кроку сучасних КД, яка не накопичується від кроку до кроку;

- можливість електричного дроблення кроку;

- наявність фіксованого стану ротора КД з активним ротором при знеструмлюванні;

- висока надійність роботи КД, яка обумовлена простотою його комутації (особливо КД з реактивним ротором) та відсутністю контактів ковзання для струмопідведення і таке інше.

Властивості КД, що обумовлені їх вадами, такі:

- при по заграничному синхронному режимі роботи КД можливі головний і другорядні електромеханічні резонанси, у межах резонансних частот, при яких робота КД утруднена, можливі порушення статичної стійкості двигуна та резонансні збої, стійка робота КД при цьому, головним чином, обумовлюється демпфувальними властивостями КД;

- гірші коефіцієнт використання активних матеріалів та масогаборітні й енергетичні показники силових КД в основних режимах роботи порівняно з класичними силовими електродвигунами;

- відсутні пускові моменти однофазних симетричних КД для усіх випадків комутації та двофазних КД – у випадку однополярної (для КД з реактивним ротором) симетричної комутації, названі вище двигуни чинні тільки у варіантах несиметричних конструкцій магнітної системи, наприклад, КД з дзьобоподібним активним ротором;

- можливість втрати кроку при розімкнених системах керування КД;

- підвищена складність систем керування КД та відносно висока вартість давачів положення, особливо прецизійних;

- відсутність фіксованого стану ротора КД з реактивним ротором при знеструмленні, тому при необхідності потрібні зовнішні фіксуєчі пристрої й таке інше.

Останнім часом найбільш потужним засобом розробки програмного забезпечення є середовища, що мають у своєму складі менеджер проектів, текстовий редактор і симулятор, це є у SCADA системах. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське керування і збір даних) – програмний пакет для збору, обробки, відображення та архівації інформації про об'єкт керування. Це програмне забезпечення встановлюється на промислові комп'ютери і, для зв'язку з об'єктом, найчастіше, вимагає додаткової установки OPC сервера. Програмний код може бути як написаний на мові програмування C++, так і згенерований в середовищі проектування. Перший підхід вимагає високої кваліфікації програміста і значних витрат у часі, другий – характеризується меншими витратами в часі, але вимагає придбання ліцензійного програмного забезпечення, вартість якого у значній мірі варіюється кількістю інформації, що збирається і оброблюється. SCADA системи використовуються для централізованих систем контролю і керування такими процесами як промислове виробництво, генерування, передача то розподіл енергії, керування мікрокліматом, переробка та інше у безперервному, пакетному, періодичному або дискретному режимах.

Для спрощення у лабораторному стенді функції безпосереднього керування КД передані SCADA системі TRACE MODE, розробки Російської Федерації [9], яка широко використовується також і в Україні, а її версії вільно надаються розробниками, наприклад, під час виставок.

Виходячи з мети модернізації та будови існуючого стенда, здійснювалась така послідовність розробки сучасного стенда:

- відновлення окремих блоків існуючого стенда керування КД;

- розробка апаратної частини (гальванічне розв'язання, кабелі) для підмикання стенда з КД до комп'ютера через LPT порт;

- розробка програмних засобів роботи TRACE MODE з LPT портом;

- розробка модуля перетворення інтерфейсів USB порта в паралельний код;

- розробка програмного зв'язку модуля перетворення інтерфейсів з операційною системою та TRACE MODE;

- розробка проекту (алгоритму роботи та програми) керування КД в системі TRACE MODE (використання різних способів комутації фаз, індикація ввімкнених фаз, відпрацювання заданого циклу роботи);

- розробка апаратної частини для підмикання давачів струму у коло фаз КД та до USB порта через модуль вводу-виводу ADA;

- використання програмних засобів LabView для відображення та зберігання результатів;

- розробка методичних вказівок для виконання лабораторних робіт.

- проведення досліджень на лабораторному стенді та аналіз результатів.

При розробці ураховані такі вимоги, як простота схеми, функціональна насиченість, довговічність, допустиме нагрівання компонентів, раціональне енергоспоживання, тощо.

## АПАРАТНА ЧАСТИНА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Структура лабораторного стенда наведена на рис. 1. Оператор ПК програмує SCADA систему і має можливість контролювати і змінювати її роботу у режимі online. Після задавання типу порту, через який SCADA система керує КД, керування передається відповідній програмі. При роботі через USB порт сигнал перетворюється у паралельний код блоком перетворення сигналів USB-LPT. Сигнал у паралельному коді через блок гальванічного розв'язування і силові комутатори формує напругу на обмотках КД. Навантаження КД здійснюється за допомогою шківів, леси та пружин, пружна сила яких може змінюватися, що змінює коефіцієнт тертя леси з шківом. Статичний момент опору КД вимірюється за допомогою двох динамометрів. Сигнали струмів у обмотках КД через давачі і блок ADA відображаються у програмі LabView.

Схема електрична принципова лабораторного стенда наведена на рис. 2, де до двох портів USB, або при наявності до LPT порта комп'ютера, відповідно, підмикаються блок перетворення інтерфейсів USB – паралельний інтерфейс, гальванічне розв'язування – блоки UZI і UZO та модуль вводу-виводу ADA-1406, який підмикається до давачів струмів у обмотках КД. Кнопкою з фіксатором SB1 задають керування КД від комп'ютера чи від

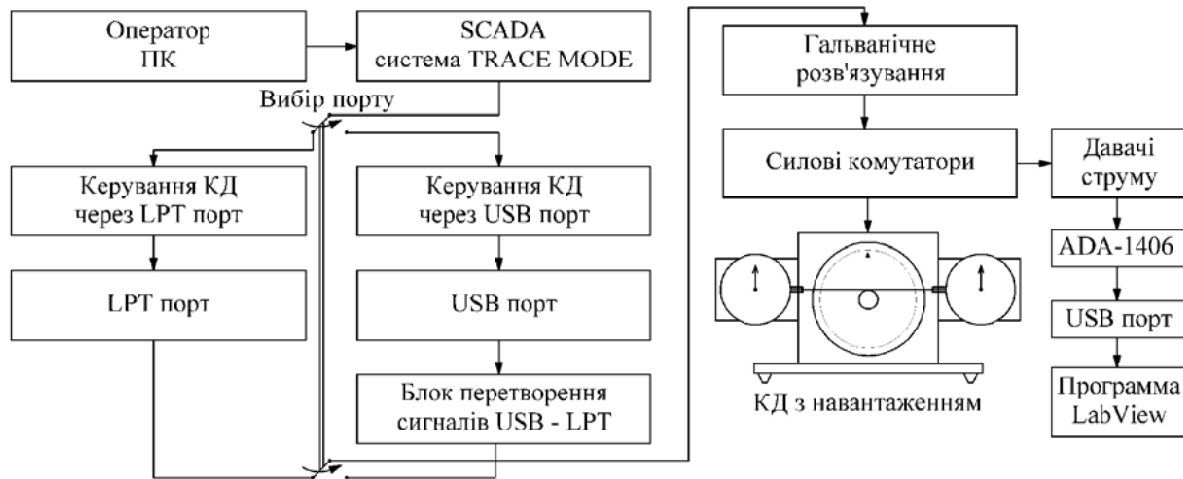


Рис. 1. Структура лабораторного стенда

схеми на логічних елементах, яка є у наявному стенді. Обмотки керування КД отримують живлення від силових комутаторів А2-А7.

У лабораторному стенді використовується багатостаторний (два статора) КД з зі змінним магнітним опором (реактивний ротор зубчастої структури). Кутові положення ротора КД ШД-5 з магнітом'якого матеріалу і епоюра напруг керуючих сигналів при груповій несиметричній комутації наведено на рис. 3.

### ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ РОБОТИ TRACE MODE З LPT ПОРТОМ

Основою програми-драйверу є OpenSource проект програми ручного керування LPT портом під назвою WndLPT. Враховуючи вимоги до програмного забезпечення лабораторного стенда, яке включає обмеження доступу студентів до усіх програм, первинна програма роботи з LPT портом була перекомпільована для скриптової роботи під керуванням програми-оболонки.

При використанні SCADA-системи студенти повинні володіти умінням використовувати такі підсистеми:

- людино-машинний інтерфейс – інструмент, який дозволяє оператору контролювати процес і керувати ним;
- диспетчерська система, яка збирає дані про процес і обробляє їх;
- абонентський перефідійний блок, який приєднується до давачів процесу, перетворює сигнал з давача в цифровий код і відправляє дані в диспетчерську систему;
- програмовний логічний контролер, який використовується як автономний пристрій завдяки економічності, універсальності і гнучкості;
- комунікаційна інфраструктура для реалізації промислової мережі.

Програмне забезпечення при роботі з кожним портом складається з програми-оболонки та програми-драйверів. Програма-оболонка призначена для створення інтерфейсу зручного при використанні людиною, вона

виконана в SCADA системі TRACE MODE [9]. Програма-драйверів призначена для обробки команд, які будуть надходити від програми-оболонки та для видачі команд у LPT та USB порти.

Робота при підмиканні стенда з КД до LPT порту така. Програмі керування LPT порту відсилається код команди оператора, який зв'язується з скриптами. У вибраному скрипті формується послідовність імпульсів, яка відсилається на відпрацювання у LPT порт. Основними командами скриптів, що використовувалися, є *gol* (циклічний зсув вліво), *gog* (циклічний зсув вправо), *sleeps* (затримка виводу команд у LPT порт).

Для керування КД через LPT порт розроблена власна програмна оболонка, меню якої включає 4 готові проекти, з них три (робочі) для корегування студентами та один демонстраційний. Перший проект – для знайомства з роботою КД (рис. 4). Він дозволяє запускати двигун з різними алгоритмами комутації фаз з фіксованою кутовою швидкістю, здійснювати гальмування і знеструмлення обмоток та ручне керування їх комутацією. Перехід до меню, або іншого проекту відбувається навігаційними кнопками у нижньому лівому куту екрана.

Другий проект – для вивчення характеристик двигуна на різних швидкостях та при гальмуванні. Третій проект призначений для перевірки самостійної роботи студентів, у якій вирішуються п'ять різних завдань.

Демонстраційний проект включає в себе 4 демонстраційних режими (рис. 5). Реалізована можливість ручного керування комутацією фаз КД та робота його за різними алгоритмами комутації. Перша демонстраційна програма відпрацьовує розгін, рух з постійною швидкістю та зупинку. Друга – відпрацьовує цикл роботи КД, що включає почергове завдання різних швидкостей з різним перемиканням фаз, реверс та паузи. Третя та четверта програми ідентичні за циклом, але третя відпрацьовує цикл відразу, а четверта – починає відпрацьовувати цикл у заданий програмою системний час. Це може бути використано у проектах з синхронізацією циклу.

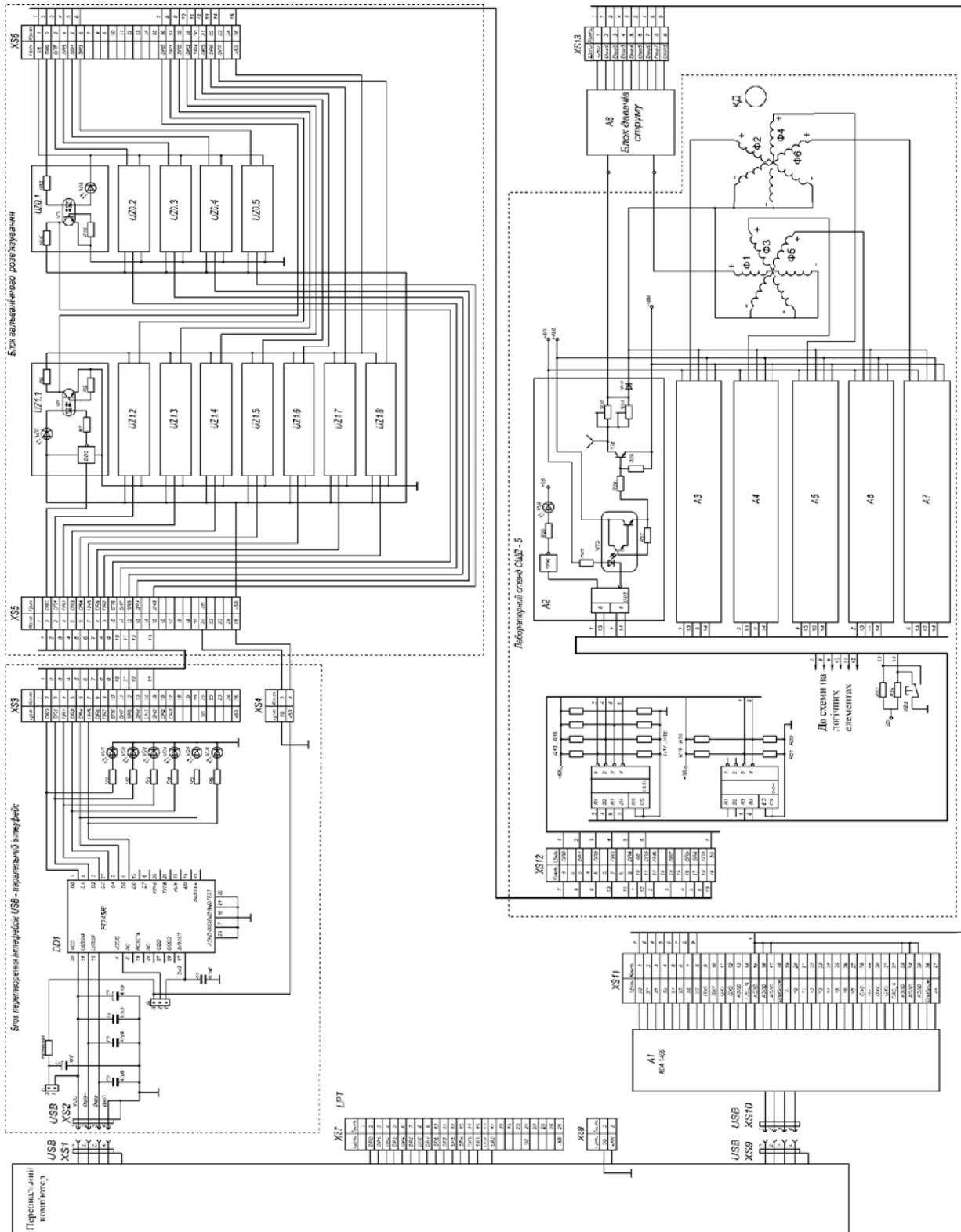


Рис. 2. Схема лабораторного стенда електрична принципова

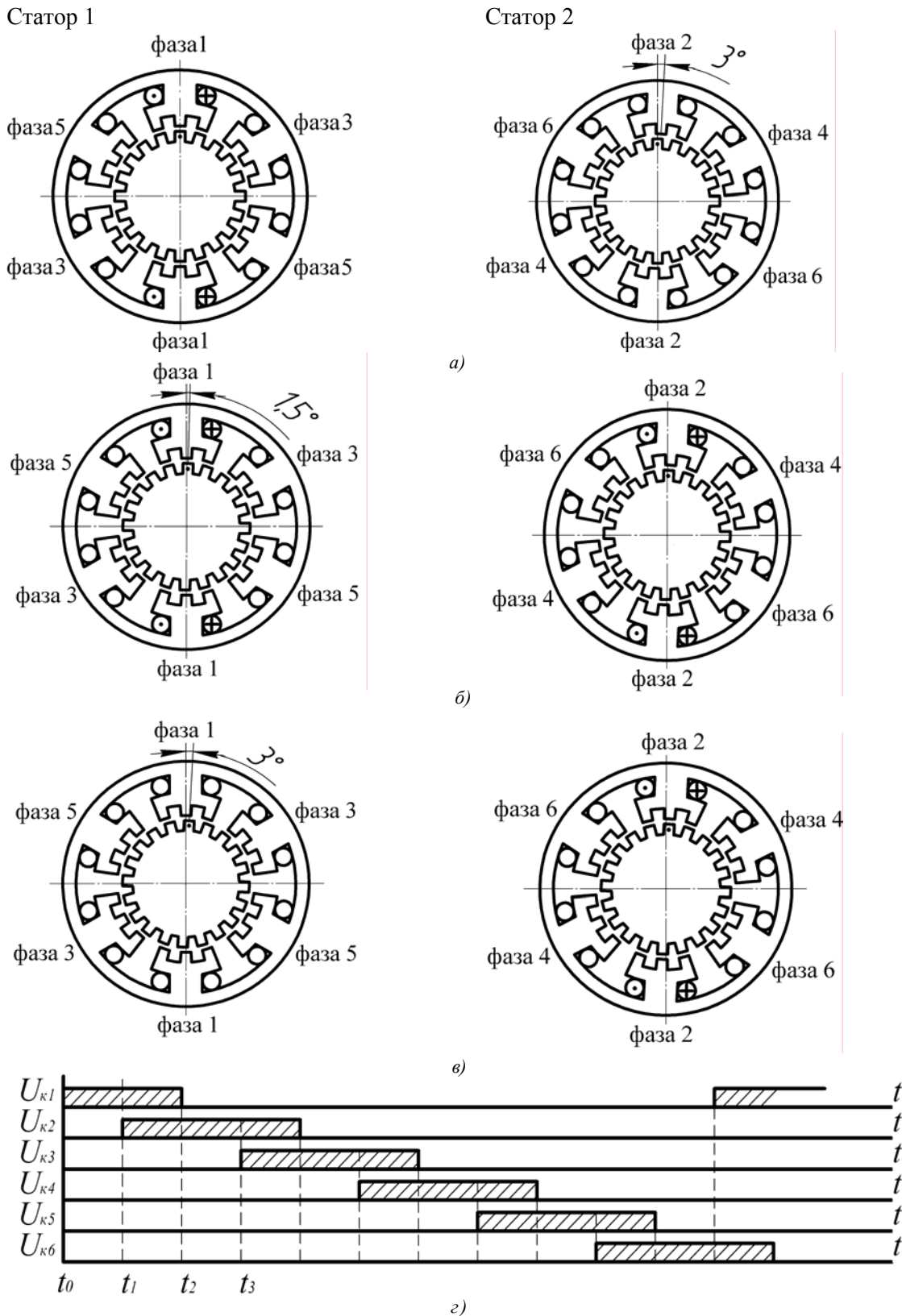


Рис. 3. Струми в обмотках статорів і кутові положення ротора при відпрацюванні кроків з груповою несиметричною комутацією 1-1,2-2-2,3...:

а) – кутові положення ротора при струмі в обмотках фази 1; б) – кутові положення ротора при струмах в обмотках фаз 1 і 2; в) – кутові положення ротора при струмі в обмотках фази 2; г) – діаграма струмів в обмотках статорів;

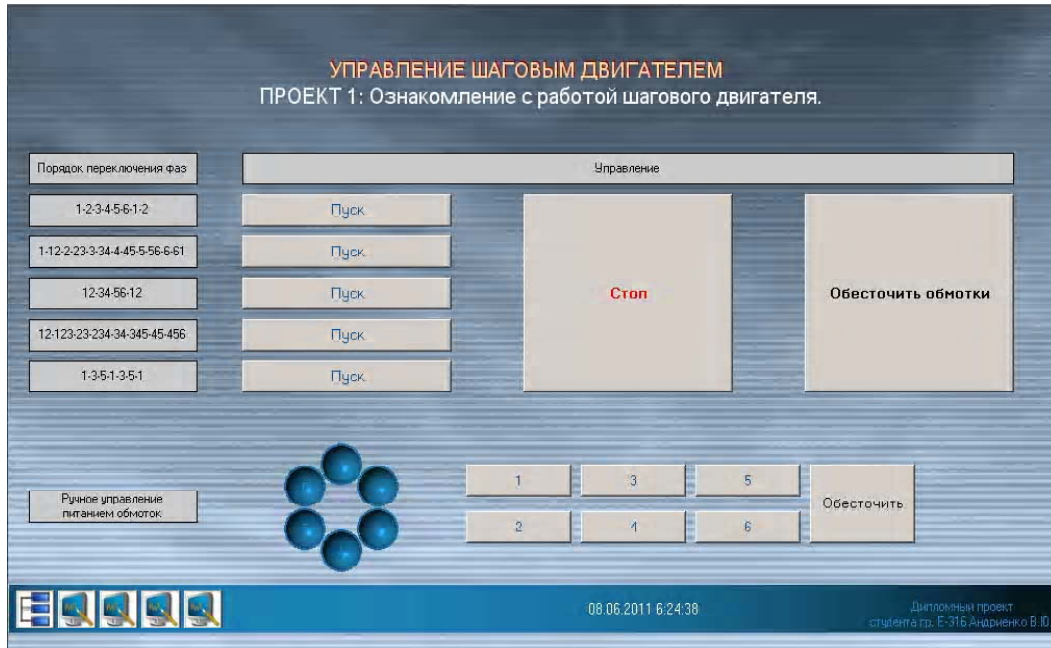


Рис. 4. Зображення екрана для проекту знайомства з роботою КД, підімкненого через LPT порт

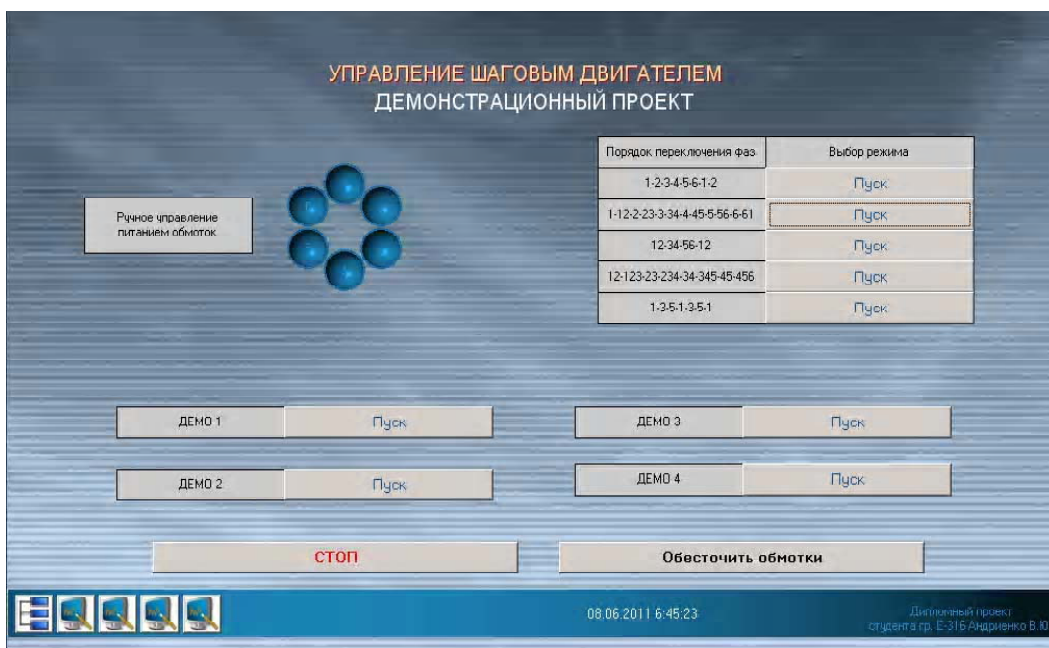


Рис. 5. Зображення екрана для демонстраційного проекту

### МОДУЛЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНТЕР-ФЕЙСІВ USB ПОРТУ У ПАРАЛЕЛЬНИЙ КОД

Для сучасного персонального комп'ютера основним портом вводу-виводу є USB порт, тому важливо навчити студентів під'єднанню обладнання через цей порт. Для підмикання КД до комп'ютера через USB порт використаний перетворювач інтерфейсів – «USB – паралельний код», а саме модуль UM245R USB-Parallel FIFO, фірми FTDI. В основу модуля покладено мікросхему FT245RL (рис. 2), яка складається з буферу FIFO, кварцового гене-

ратора, енергонезалежної пам'яті EEPROM для збереження налаштувань. Для зв'язку з зовнішніми пристроями є 8 ліній вводу-виводу (I/O), 6 з яких використані для формування сигналів керування у відповідності до числа фаз КД. Мікросхема має декілька режимів роботи: організація паралельного FIFO-інтерфейсу, режим Asynchronous Bit Bang та режим Synchronous Bit Bang. Режими Bit Bang дозволяють використовувати частку ліній I/O як вхідні, а інші – як вихідні. У цьому режимі вихідні лінії зберігають свій стан до того часу, доки в пристрій не адресується нове повідомлення даних. Мікросхема дозволяє задавати напругу живлення 5 В або 3,3 В, вона може

живитися і від зовнішнього (не USB) джерела. Розроблений пристрій складається з модуля UM245R, індикаторів-світлодіодів та розніму для підмикання блока гальванічного розв'язування.

**ПРОГРАМНИЙ ЗВ'ЯЗОК МОДУЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНТЕРФЕЙСІВ З ОПЕРАЦІЙНИМИ ТА TRACE MODE СИСТЕМАМИ**

Для організації взаємодії модуля UM245R з програмами користувача можна використати два типи драйверів: VCP (VIRTUAL COM PORT), який дозволяє працювати з пристроєм як з віртуальним COM портом; D2XX (USB Drivers+DLL S/W Interface) – USB драйвер та файл ftd2xx.dll. DLL (з англ. dynamic-link library) – динамічно приєднувана бібліотека. Файл ftd2xx.dll містить набір функцій, які експортуються, і використовується для написання програм практично на будь-якій мові програмування. У програмних пакетах LabView і Trace Mode можливе використання названих функцій, для цього до проекту підімкнено файл ftd2xx.dll та вказані функції, що необхідно застосувати. Використання USB драйверу та файлу ftd2xx.dll є більш доцільним бо дозволяє одержати максимальну швидкодію комп'ютера та пристрою.

Для керування КД потрібно виводити на 6 ліній вводу/виводу логічну одиницю (+5В) чи логічний нуль (0 В), запис до яких здійснюється функцією FT\_Write(). Для утримання деякий проміжок часу однієї чи декількох ліній у ввімкненому стані необхідно скористатися режимом Asynchronous Bit Bang, для активації та налаштування якого використовується функція FT\_SetBitMode. Для взаємодії TRACE MODE та модуля перетворення сигналів необхідно встановити файл ftd2xx.dll в системну директорію та драйвери. У проекті використовуються такі функції ftd2xx.dll: одержання списку під'єднаних пристроїв; відкриття каналу зв'язку з пристроєм; установлення швидкості передачі; активація режимів Bit Bang; запис у

пристрій; закриття раніш відкритого каналу. Усі функції повертають число 0 при успішному виконанні операції.

Після запуску програма відкриває пристрій і встановлює задані його налаштування, далі виконується послідовність дій записаних в програмі, зокрема відпрацювання циклу розгін – робота – гальмування; постійне обертання з реверсом з різними алгоритмами комутації та швидкістю, подання напруг у будь-яку фазу. На екрані відображається фаза, що живиться. Задана частота імпульсів перемикавання фаз досягається пропуском циклів при виконанні програми.

Програма керування в середовищі TRACE MODE реалізована на мові програмування ST, яка є схожою з мовою програмування Паскаль, але більш простіша. Для більшої швидкодії програмний код розділений на дві частини: одна відкриває пристрій, записує в нього налаштування, закриває пристрій, друга – відпрацьовує власне керування КД.

Для зручності виконання досліджень на стенді розроблено графічний інтерфейс програми керування через USB порт. Цей інтерфейс складається з екранів. Перший екран має кнопки (рис. 6): вибору порядку прямування фаз при реверсі, вмикання одної з шести фаз, «Стоп», «Обесточить обмотки» (програма передбачає використання російської мови), «Частота вращения», «Закрыть», «Экран №2» – для переходу на другий екран. Елементи індикації (однакові в екранах 1 і 2): текстові вікна для виводу помилки, шість графічних об'єктів «Еллипс» (індикатори ввімкнених фаз).

На другому екрані кнопки дозволяють вводити час розгону, час роботи, час гальмування, вибирати напрямки обертання, вибирати перший екран. Зв'язок екранів та програм здійснюється через канали, які з'єднують аргументи програм та екранів між собою. Кнопки, текстові поля та інші графічні елементи прив'язуються до відповідного аргументу.

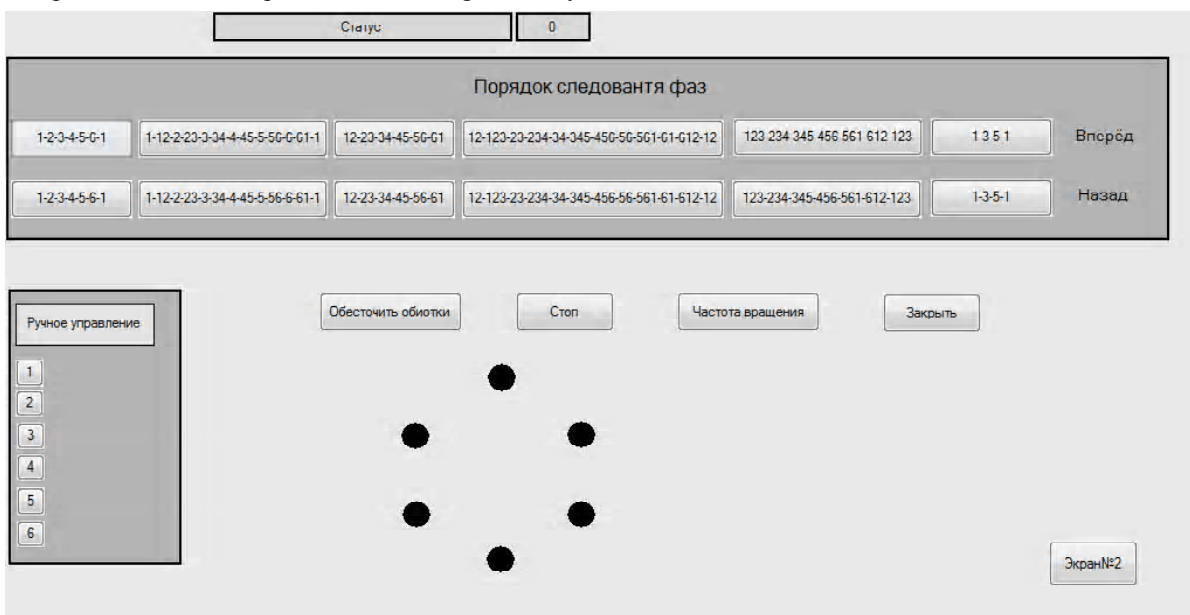


Рис. 6. Экран №1 при работе КД, підімкненого через USB порт



## ЗМІСТ МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ НА СТЕНДІ ТА ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У методичних вказівках до лабораторних робіт розкриті теоретичні відомості щодо КД; висвітлено їх основні достоїнства та вади, окреслені шляхи вдосконалення різноманітних системи за допомогою використання КД; надані теоретичні відомості щодо SCADA системи; описано підмикання КД через LPT порт і керування ним з використанням скриптів, описані модуль перетворення інтерфейсів для підмикання стенда до комп'ютера через USB інтерфейс, а також використання модуля вводу-виводу ADA-1406 і програми LabView для відображення й зберігання результатів, наведені програма керування КД в TRACE MODE та програма досліджень для отримання діаграм струмів у обмотках керування КД.

При виборі типу системи керування студенти враховують такі її основні характеристики: швидкодія; набір команд і способів адресації; вимоги до джерела живлення і величина потужності споживання у різних режимах; можливості розширення пам'яті програм і даних; наявність та властивості периферійних пристроїв, включаючи засоби підтримки роботи в реальному часі (таймери, процесори подій тощо); наявність і надійність засобів захисту внутрішньої інформації; наявність і доступність ефективних засобів програмування й налагодження та інші. Самостійно студенти реалізують у TRACE MODE алгоритми відпрацювання циклу роботи КД та досліджують властивості дискретного привода.

Для реєстрації перехідних процесів струму в одній із фаз КД використаний блок давачів струму, розроблений у Кременчуцькому національному університеті [1]. На виході давача формується сигнал з напругою в діапазоні від 0 до 5 В, який надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача модуля вводу-виводу ADA-1406 (рис. 2). Модуль ADA-1406 включає в себе багатоканальний чотирнадцятирозрядний аналого-цифровий перетворювач; порт вводу-виводу дискретних сигналів; двоканальний цифро-аналоговий перетворювач. У модулі є буфер даних, який забезпечує безперервний цикл збору даних при короткочасному припиненні прийому даних операційною системою. Відображення графіків та запис даних здійснюється за допомогою програми Pi-Graph.

Нижче наведено фрагменти результатів, які отримують студенти на лабораторному стенді. Часові діаграми струмів в обмотці КД при груповій несиметричній комутації фаз при частотах обертання двигуна 25 об/хв та 50 об/хв. наведено на (рис. 7). Є можливість досліджувати часові діаграми струмів у випадку втрати кроку двигуном. Отримані залежності частоти приємності КД від навантаження для поодинокі «1-2-3-4-5-6-1-...» (рис. 8, а) та групової несиметричної «1-1,2-2-2,3-...» комутації фаз у режимі пуску (рис. 8, б). Ці графіки надають можливість студентів простежувати ефект зменшення частота приємності зі збільшенням навантаження.

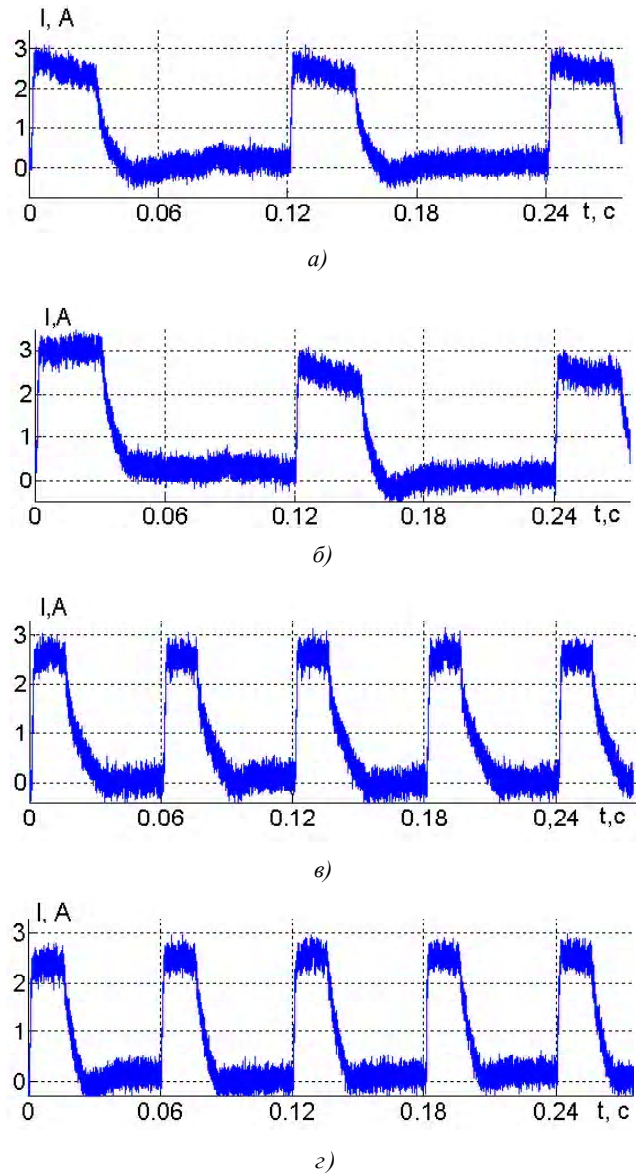


Рис. 7. Графіки струмів в обмотці КД при груповій несиметричній комутації фаз:

- а) – частота обертання ротора 25 об / хв, без втрати кроків;  
 б) – частота обертання магнітного поля 25 об / хв, з втратою кроків;  
 в) – частота обертання ротора 50 об / хв, без втрати кроків;  
 г) – частота обертання магнітного поля 50 об / хв, з втратою кроків

## ВИСНОВКИ

Розроблений лабораторний стенд комп'ютерного керування КД від системи TRACE MODE дозволяє керувати КД від ПК через LPT та USB порти з різними алгоритмами комутації фаз. Використання давачів струму, блока гальванічного розв'язування, блока вводу-виводу ADA, програми LabView дозволяє на екрані монітора спостерігати у реальному часі часові діаграми струмів КД. Проведення лабораторних робіт на стенді за розробленою методикою дозволяє вдосконалити навчальний процес вивчення студентами, як SCADA систем керування, так і властивостей КД.

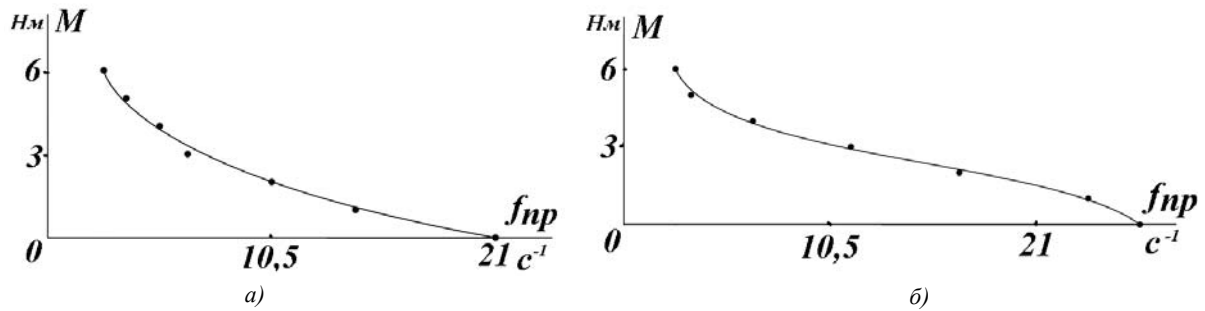


Рис. 8. Залежності частоти приємності КД від навантаження у режимі пуску:

а) – поодинокі комутація фаз; б) – групова несиметрична комутація фаз

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *Калінов, А. П.* Комп’ютерний лабораторний комплекс для вивчення цифрових систем керування з функцією імітації технологічного навантаження / Калінов А. П., Прітченко О. В., Мамчур Д. Г. // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – Вип. 3/2009 (56), Частина 1. – С. 8–12.
2. Модернізація обладнання фірми VIPA лабораторного стенда з маніпулятором M10П / І. А. Орловський, О. І. Крат, Т. С. Храпаль, М. В. Сердюк // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск. «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» науково-виробничого журналу. – Кременчук. – КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (19). – С. 597–599.
3. Исследовательский стенд для апробации алгоритмов управления сложными электромеханическими системами. / [Полилов Е. В., Батрак А. М., Руднев Е. С., Скорик С. П., Горелов П. В.] // Електротехнічні та комп’ютерні системи. – 2011. – № 3. – С. 481–487.
4. *Ратмиров, Б. К.* Шаговые двигатели для систем автоматического управления / Б. К. Ратмиров, Б. А. Ивоботенко. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1962. – 128 с.
5. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / [Ивоботенко Б. А., Рубцов В. П., Садовский Л. А. и др.]; под ред. М. Г. Чиликина. – М. : Энергия, 1971. – 624 с.
6. *Карпенко, Б. К.* Шаговые электродвигатели. / Карпенко Б. К., Ларченко В. И., Прокофьев Ю. А. – К. : Техніка, 1972. – 216 с.
7. *Сабинин, Ю. А.* Автономные дискретные электроприводы с силовыми шаговыми двигателями. / Сабинин Ю. А., Кулешов В. И., Шмырева М. М. – Л. : Энергия, 1980. – 160 с.
8. *Соколов, М. М.* Дискретный электропривод электротермических установок. / М. М. Соколов, В. П. Рубцов. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 120 с.
9. Авторизованные учебные центры TRACE MODE и T-Factory [Электронный ресурс] : сайт содержит сведения о разработке новых технологий управления производством компании AdAstra Research Group, Ltd. – М., 2012 – Режим доступа: <http://www.adastra.ru/edu/>, свободный. – Загл. с экрана.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2012.

**И. А. Орловский, В. И. Бондаренко, И. А. Черняев, В. Ю. Андриенко**

**Лабораторный стенд управления шаговым двигателем от SCADA системы TRACE MODE**

Для совершенствования учебного процесса в Запорожском национальном техническом университете разработан лабораторный стенд компьютерного управления шаговым двигателем от SCADA системы TRACE MODE через LPT и USB порты персонального компьютера. Разработана методика проведения лабораторных работ на стенде. Экспериментально получены временные диаграммы токов шагового двигателя ШД5.

**Ключевые слова:** лабораторный стенд, шаговый двигатель, SCADA система, учебный процесс.

**I. A. Orlovskiy, V. I. Bondarenko, I. A. Chernyaev, V. U. Andrienko**

**Laboratory bench of stepper motor control of SCADA system TRACE MODE**

To improve the educational process in Zaporizhzhya National Technical University the laboratory bench of computer stepper motor control of SCADA TRACE MODE system through LPT or USB port of a personal computer is developed. The technique of laboratory work at the bench is done. The waveforms of current stepper motor are experimentally obtained.

**Key words:** laboratory bench, stepper motor, SCADA system, the earning process.