

## КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ МАЛОГАБАРИТНИХ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ

*Прітченко О.В., асп., Калінов А.П., к.т.н., доц., Мельников В.О., асп., Скрипников О.В., асист.*

*Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського*

*вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна*

*E-mail: [scenter@kdu.edu.ua](mailto:scenter@kdu.edu.ua)*

Обґрунтовано застосування малогабаритних фізичних моделей електропривода в навчальному процесі. Розроблена концепція побудови та приведено приклади реалізації малогабаритних лабораторних стендів.

**Ключові слова:** лабораторний стенд, датчики, сигнали, напівпровідникові перетворювачі.

**Вступ.** Важливу роль у підготовці сучасних фахівців із технічних спеціальностей відіграє лабораторний практикум [1]. Аналіз лабораторної бази університетів України з електротехнічних спеціальностей виявив декілька основних, часто співіснуючих, типів морального та технічного станів лабораторного устаткування. По-перше, типовою є наявність великої кількості застарілого устаткування, яке залишилося ще з часів формування відповідних кафедр і факультетів у часи СРСР. Указане лабораторне устаткування або залишається в незмінному вигляді, або деякою мірою модернізується власними силами кафедр. При цьому слід враховувати природні чинники інерційності процесу модернізації обладнання: недостатнє фінансування, недостатній рівень практичної технічної підготовки викладацького складу кафедри з питань проектування сучасних електронних систем, програмування та комп'ютеризованого керування. Найбільш актуальним це питання є для підготовки фахівців за спеціальностями, пов'язаними з контролем та керуванням електротехнічними об'єктами.

Другий тип стану лабораторного обладнання пов'язаний із рекламною активністю світових фірм-виробників електротехнічного обладнання (Siemens, ABB, Moeller, Shneider electric та інші) або компаній-постачальників такого обладнання. Вони формують на кафедрах ВНЗів сучасні лабораторії на базі обладнання власного виробництва. Як було вказано раніше, основна мета таких акцій – реклама своєї продукції для цільової аудиторії – майбутніх інженерів та керівників підрозділів підприємств. Незважаючи на ряд недоліків таких лабораторій, а саме: закритість технічних рішень та програмного забезпечення, низька адаптація до навчального процесу, низька наочність та відсутність методичного супроводження – використання такого лабораторного обладнання часто є єдиним шансом оновити лабораторії в сучасних умовах.

Третій тип лабораторного обладнання пов'язаний із роботою кафедр за прикладними темами з підприємствами регіону. Так, перед впровадженням розробленого промислового обладнання потрібні лабораторні дослідження на обладнанні, найближчому до промислового зразка. Такий тип лабораторного обладнання є сучасним, зазвичай вузько направленим, але таким, що доволі рідко зустрічається.

**Мета роботи.** Підвищення ефективності використання лабораторного обладнання у

навчальному процесі за рахунок використання концепції побудови малогабаритних лабораторних стендів.

**Матеріали та результати досліджень.** Для вирішення проблеми оновлення лабораторної бази на кафедрі САУЕ КДУ ім. Михайла Остроградського була розроблена, запропонована та впроваджена концепція використання дрібномасштабних комп'ютеризованих лабораторних стендів.

Основні тези вказаної концепції:

1. Безпека. Живлення елементів стендів повинно здійснюватись безпечними рівнями напруг згідно до правил технічної безпеки. Також вимогам безпеки повинні відповідати механічні елементи, що рухаються.

2. Наочність досліджуваних об'єктів і процесів. При використанні безпечних рівнів напруг живлення лабораторні стенди можуть бути максимально відкриті для їх вивчення. Наочність має на увазі як безпосередньо візуальне спостереження, так і наявність сучасного розвиненого інструментарію вимірювальних параметрів досліджуваних процесів, а саме: осцилографів, комп'ютеризованих вимірювально-діагностичних комплексів (ВДК) та інших, за допомогою яких здійснюється дослідження сигналів у контрольних точках системи [2].

3. Малогабаритність. Виконання цього пункту вирішує питання безпеки рухомих механічних частин при використанні мікродвигунів постійного та змінного струмів. Існують деякі особливості таких електричних машин, а саме: підвищені моменти опорів неробочого ходу, невелика переважувальна здатність, низькі значення відносних пускових струмів та інше. Однак, зазвичай, їх основні характеристики та властивості аналогічні характеристикам електричних машин малої та середньої потужності, а постійні часу співвідносні з відповідними постійними часу [3]. Використання цього принципу дозволяє в деякій мірі зменшити витрати матеріальних ресурсів та зробити стенди такими, що легко дублюються. Розміщення малогабаритного лабораторного стенду на робочому столі дослідника дозволяє відмовитись від необхідності спеціалізованих приміщень із силовими мережами живлення.

4. Відповідність сучасним вимогам та максимальна наближеність до промислових варіантів виконання. Цей пункт вимагає наявності всіх запобіжних та захисних засобів, технічних рішень та алгоритмів керування, які

використовуються в повномасштабних промислових зразках. Наприклад, використання цього принципу потребує використання гальванічних розв'язок силових та інформаційних кіл, наявності систем струмових захистів та захистів від перенапружень у стендах, які, за вимогами пункту №1, живляться низькими рівнями напруг і технічно таких заходів не потребують.

До повного викладення наведеної концепції слід додати, що малогабаритні лабораторні стенди не повинні повністю замінити повномасштабне лабораторне устаткування. Вони повинні співіснувати також і з віртуальним лабораторним обладнанням.

Як приклади реалізації запропонованої концепції можна навести розроблені на кафедрі САУЕ КДУ ім. Михайла Остроградського лабораторні стенди для дослідження системи керування електроприводу (ЕП), елементів автоматизованого електроприводу та силової перетворювальної техніки.

1. Лабораторний стенд для дослідження цифрових систем управління (рис. 1).

Стенд містить дві малогабаритні електричні машини і напівпровідникові перетворювачі, датчики для вимірювання та контролю електричних і механічних параметрів, має роз'єм для підключення дискретних систем (ЦАП/АЦП) управління електроприводами та через USB-інтерфейс підключається до ПК [3]. На рис. 2 представлена функціональна схема даного стенду.

Керування та дослідження ЕП лабораторного стенду здійснюється за допомогою програмного пакету LabView.

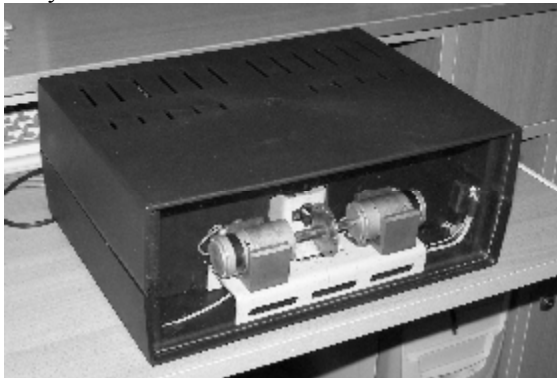


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд стенду для вивчення цифрових систем управління

Функціональні можливості лабораторного стенду дозволяють отримувати експериментальні дані, а також досліджувати різні режими роботи, що використовуються при виконанні таких лабораторних робіт:

- Дослідження принципів побудови перетворюючої, вимірної та керуючої системи ЕП лабораторного стенду.
- Дослідження методів ідентифікації параметрів об'єкту керування з використанням засобів пакету *System Identification Toolbox* програмного пакету Matlab.

- Дослідження оптимальних систем управління з використанням підсистеми *Nonlinear Control Design Blockset*.

- Дослідження систем одноконтурного регулювання частоти обертання двигунів постійного струму (ДПС).

- Дослідження двоконтурних систем підпорядкованого регулювання ЕП.

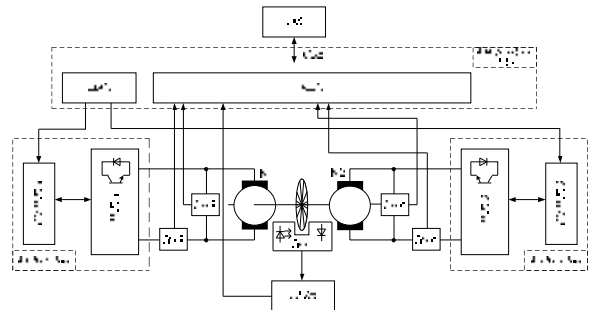


Рисунок 2 – Функціональна схема лабораторного стенду для дослідження цифрових систем управління

2. Лабораторний стенд по дослідженню датчиків частоти обертання (рис. 3).

Найпоширенішими на сьогоднішній день датчиками частоти обертання є тахогенератори та цифрові енкодери. Тому лабораторний стенд складається з регульованого привідного мікродвигуна постійного струму, тахогенератора постійного струму з постійними магнітами, фотоімпульсного датчика (ФІД) швидкості, перетворювача частота-напруга для перетворення імпульсного сигналу з ФІД у аналоговий.

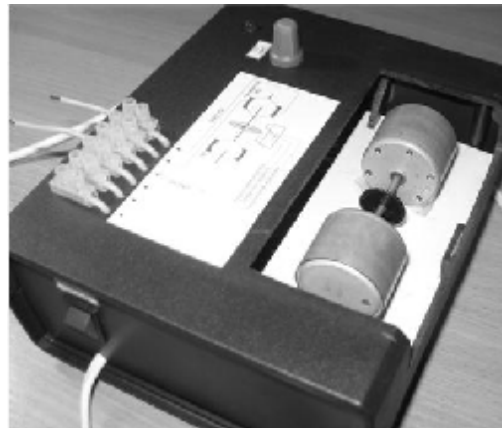


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд стенду по дослідженню датчиків частоти обертання

При виконанні лабораторних робіт студенти ознайомлюються зі схематичними рішеннями, застосованими в лабораторному стенді, визначають коефіцієнт передачі датчиків, розраховують частоту обертання валу за кількістю імпульсів із ФІД за одиницю часу (рис. 6), визначають рівень пульсації сигналу тахогенератора при різних

частотах обертання (рис. 5), порівнюють сигнали з датчиків у динамічних режимах (рис. 7). На лабораторних роботах студенти працюють із цифровим осцилографом та зберігають результати для подальшої самостійної обробки згідно з методичними вказівками.

Функціональна схема стану представлена на рис. 4.

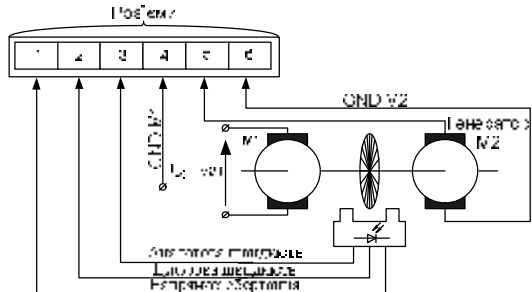


Рисунок 4 – Функціональна схема стану по дослідженню датчиків частоти обертання

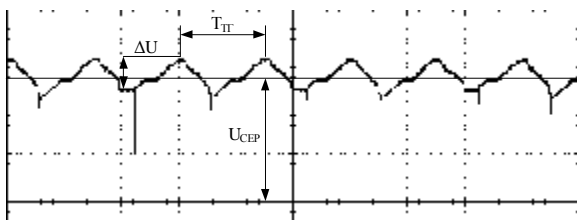


Рисунок 5 – Дослідження сигналу з тахогенератора

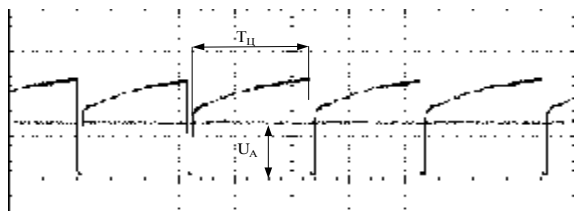


Рисунок 6 – Дослідження сигналу з фотоімпульсного датчика частоти обертання

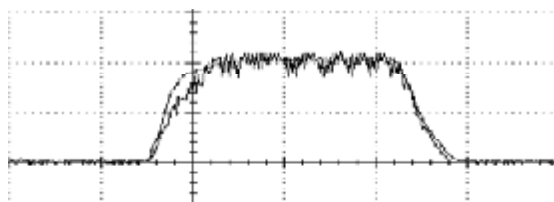


Рисунок 7 – Порівняння сигналів з тахогенератора та з фотоімпульсного датчика у динамічному режимі

3. Лабораторний стенд по дослідженню датчиків струму та напруги (рис. 8).

У стенді для вимірювання сигналів струму (рис. 9) та напруги (рис. 10) застосовані три найпоширеніші типи датчиків: трансформатори, датчики на основі ефекту Хола та резистивні датчики (шунти та дільники напруги) з наступною гальванічною розв'язкою сигналів. В якості датчиків на основі ефекту Хола використані датчики фірми LEM LV-25-p та LA-25-Np.

Гальванічна розв'язка сигналів із резистивних датчиків здійснюється за рахунок використання спеціальних мікросхем підсилювачів із гальванічною розв'язкою. Лабораторний стенд має внутрішнє джерело живлення та навантаження - активно-індуктивний опір. Також у стенді реалізована можливість використання зовнішнього джерела живлення та зовнішнього навантаження.

У ході лабораторної роботи студенти досліджують типи та принципи побудови датчиків. Порівнюють характеристики сигналів струму та напруги (рис. 11) при живленні від джерела синусоїдної напруги та джерела полігармонійної напруги. В якості останнього використовується окремий малогабаритний стенд однофазного тиристорного перетворювача змінної та постійної напруги.

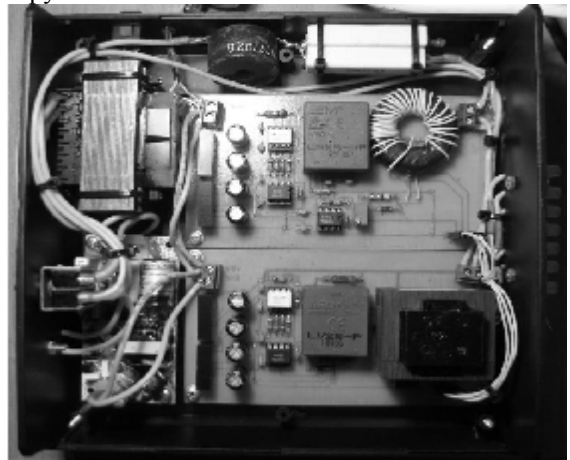


Рисунок 8 – Зовнішній вигляд стану по дослідженню датчиків струму та напруги

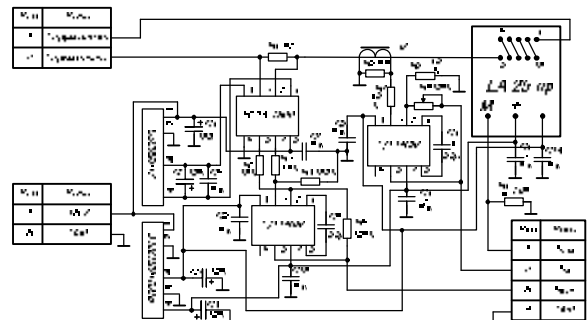


Рисунок 9 – Принципова схема блоку датчиків струму

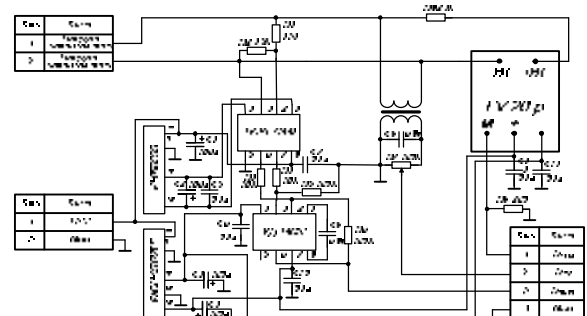


Рисунок 10 – Принципова схема блоку датчиків напруги

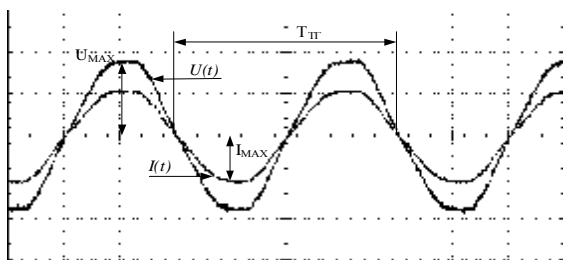


Рисунок 11 – Дослідження параметрів сигналів струму та напруги

4. Лабораторний стенд по дослідженню однофазних тиристорних перетворювачів змінної та постійної напруги (рис. 12).

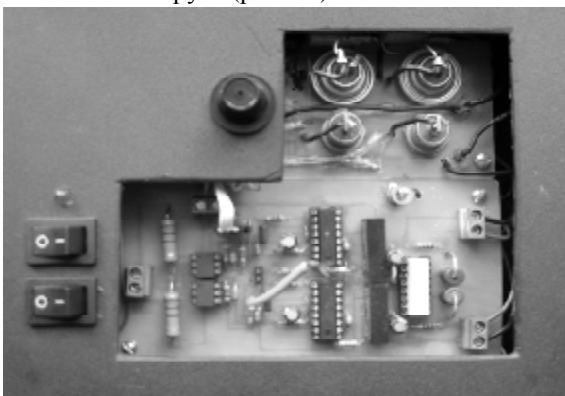


Рисунок 12 – Зовнішній вигляд стенду по дослідженню датчиків струму та напруги

Стенд виконано з однією системою, яка керує тиристорами, що можуть перемикається зі схеми однофазного тиристорного регулювання змінної напруги (рис. 13, а) в схему однофазного двонапівперіодного випрямляча (рис. 13, б).

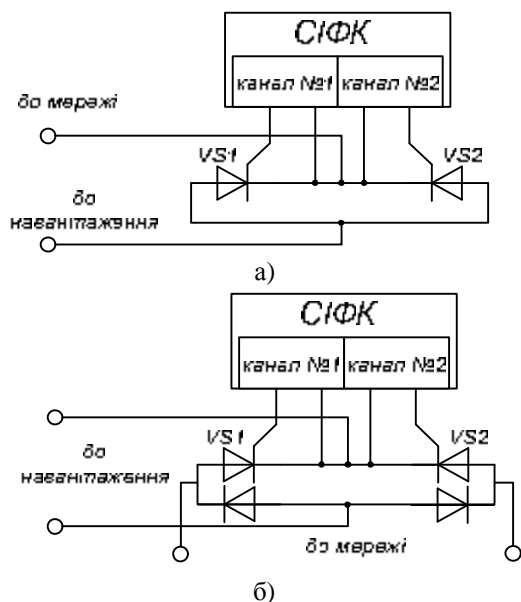


Рисунок 13 – Схема силової частини стенду: а) включення у схему однофазного тиристорного перетворювача змінної напруги; б) включення у схему двонапівперіодного випрямляча

Система керування складена за класичним принципом горизонтального регулювання кута відкриття тиристорів. Блок синхронізації виконано на оптопарі, сигнали з якого керують генератором пилоподібної напруги. Підсилювач імпульсів виконано з використанням силової оптотранзисторної розв'язки з живленням від DC/DC перетворювача. При виконанні лабораторної роботи студенти фіксують сигнали в основних контрольних точках схеми (рис. 14) при різних значеннях напруги завдання, розраховують кут керування тиристорами, будують регульовальну та зовнішню характеристику перетворювача, визначають параметри вихідних сигналів струму та напруги при різних типах навантаження.

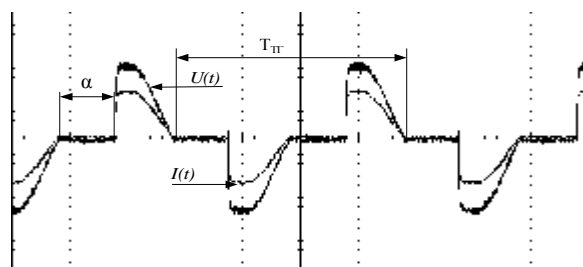


Рисунок 14 – Дослідження сигналів напруги та струму з виходу ТРН

5. Лабораторний стенд по дослідженню нереверсивного широтно-імпульсного перетворювача (ШІП) напруги (рис. 15).



Рисунок 15 - Зовнішній вигляд стенду по дослідженню нереверсивного ШІП

Стенд побудовано на основі транзисторного ШІП. Для спостереження за зміною вихідної напруги використані малогабаритні лампи накаливання та мікродвигун постійного струму. Система керування побудована на мікросхемі генератора ШІМ, вона за сигналами та живленням є гальванічно розв'язаною від силових кіл. Керування силовим транзистором здійснюється за допомогою драйвера. У схемі передбачено плавний заряд ємності кола постійного струму через обмежувач резистор. Для відслідкування процесів роботи стенду студентами розроблено панель для дослідження параметрів нереверсивного ШІП у контрольних точках (рис. 16).

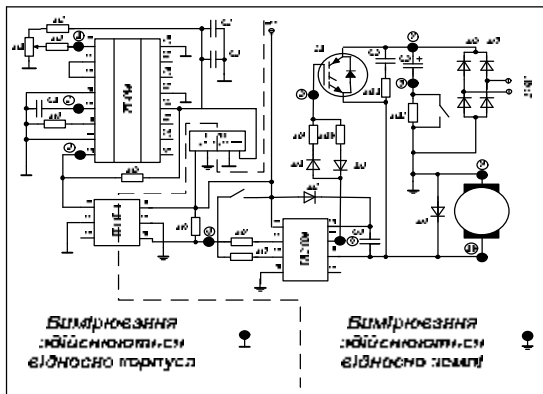


Рисунок 16 – Панель дослідження сигналів у контрольних точках нерверсивного ШПІ

6. Лабораторний стенд по дослідженню реверсивного ШПІ (рис. 17).

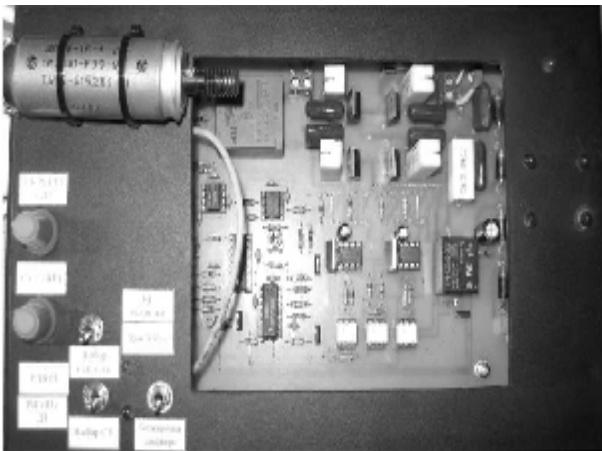


Рисунок 17 – Зовнішній вигляд стенду по дослідженню реверсивного ШПІ

У цьому лабораторному стенді при використанні однієї загальної силової частини є можливість досліджувати два принципи керування. Перший принцип побудований на використанні класичного ШІМ-генератора. При цьому одночасно відкриваються два силових транзистора, розташованих по діагоналі в різних плечах транзисторного мосту. Інші два транзистори працюють у протифазі. Таким чином, на навантаженні формується двополярна ШІМ напруга. Друга система керування побудована без використання ШІМ-генератора за принципом "струмового дзеркала". При цьому порівнюється значення вхідного сигналу завдання із сигналом датчика струму й, на основі цього, перемикаються силові ключі. На панелі (рис. 18) студенти можуть відслідкувати роботу стенду на контрольних точках.

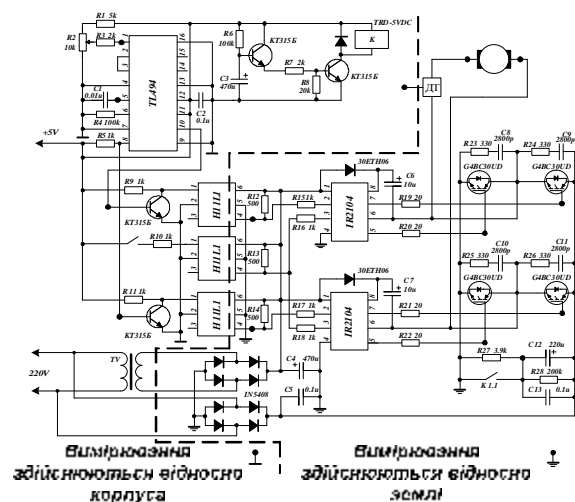


Рисунок 18 – Панель дослідження сигналів у контрольних точках схеми реверсивного ШПІ

7. Лабораторний стенд по дослідженню перетворювача частоти (ПЧ) (рис. 19).

Стенд побудований на основі використання мікросхеми керування із вбудованим трифазним генератором ШІМ напруги, трифазним драйвером мостової схеми, силового інвертора напруги, асинхронного двигуна.

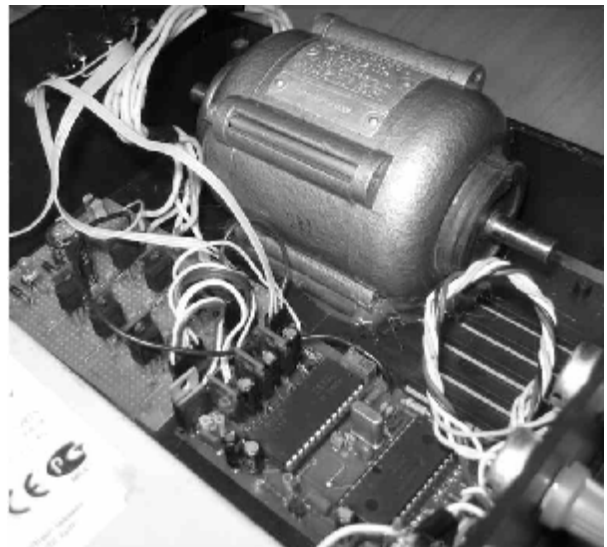
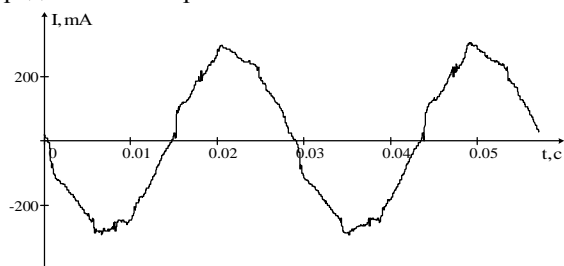


Рисунок 19 - Зовнішній вигляд стенду по дослідженню перетворювача частоти

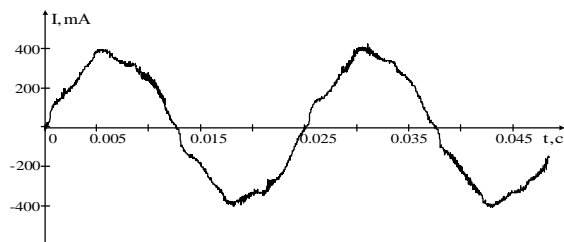
При виконанні лабораторних робіт із дослідження транзисторних перетворювачів студенти досліджують принципи формування синусоїдної ШІМ, розділення імпульсів керування для створення трифазної системи, способи керування силовими транзисторами, способи реалізації струмового захисту та захисту від перенапруги, принципи керування силовими транзисторами, методи їх захисту від перенапружень, методи розрахунку та вимоги до елементів систем керування, сигнали у контрольних точках системи керування, розраховують час ввімкнення та вимкнення

силового транзистора, досліджують параметри вихідних напруг та струму.

Отримані експериментальні характеристики представлено на рис. 20.



а)



б)

Рисунок 20 – Дослідження сигналів струму на виході ПЧ: а) при частоті 35 Гц; б) при частоті 40 Гц

Стенди розміщені у пластикових корпусах із вирізами, що дає змогу вивчати застосовані технічні рішення наочно, разом із дослідженням функціональних та принципових схем. Тобто, для вимірювання та дослідження сигналів у контрольних точках студент може приєднати щупи осцилографа безпосередньо до елементів плати або схеми. Для зручності дослідження цих сигналів вони виведені через роз'єм в окремий корпус, на який нанесено принципову схему з виводом сигналів контрольних точок у вигляді штирів. Слід також зазначити, що всі розроблені лабораторні стенди, які живляться зниженою напругою з метою забезпечення безпеки студентів, можуть працювати від напруг 220 В або 380 В.

**Висновки.** Запропонована концепція побудови малогабаритних лабораторних комплексів є ефективним рішенням при оновленні лабораторної бази для підготовки інженерів електротехнічних спеціальностей згідно з сучасними вимогами.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Лабораторные исследовательские комплексы на базе измерительно-управляющих компьютеризированных систем / [Родькин Д. Й., Бялобржеский А. В., Кривонос С. А. и др.] // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2002. – Вип. 1(12). – С. 412-418.

2. Калинов А. П. Универсальное учебно-исследовательское оборудование для электромеханических лабораторий / А. П. Калинов,

А. И. Гладырь // Щоквартальний науково-виробничий журнал «Електромеханічні і енергозберігаючі системи». – Вип. 1. – Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 14-19.

3. Прітченко О. В. Використання дрібномасштабних фізичних моделей для дослідження систем керування електроприводами / Прітченко О. В., Калинов А. П., Мельников В. О. // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ, 2010. – Вип. 4/2010 (62). – Ч. 1. – С. 184-188.

## КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ

*Притченко А.В., асп., Калинов А.П., к.т.н., доц., Мельников В.А., асп., Скрипников О.В., ассист.*  
*Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского*  
*ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина*  
*E-mail: [scenter@kdu.edu.ua](mailto:scenter@kdu.edu.ua)*

Обосновано применение мелкомасштабных физических моделей электропривода в учебном процессе. Разработана концепция построения и приведены примеры реализации малогабаритных лабораторных стендов.

**Ключевые слова:** лабораторный стенд, датчики, сигналы, полупроводниковые преобразователи.

## THE CONCEPTION OF THE SMALL LABORATORY STANDS CONSTRUCTION

*Pritchenco A.V., post-grad. St., Kalinov A.P., Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,*  
*Melnikov V.A., post-grad. St. Skripnikov O.V., assist.*  
*Krementchuk Mykhailo Ostrogradskiy State University*  
*Pershotravneva St., 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine*  
*E-mail: [scenter@kdu.edu.ua](mailto:scenter@kdu.edu.ua)*

The application of small-scale physical models of electric drive in an educational process is based. The Conception of the small laboratory stands construction is developed and the examples of its realization are resulted.

**Key words:** laboratory stand, sensors, signals, semiconductor transformers.