

УДК 004.415.2

АПАРАТНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І ЕЛЕКТРОНІКИ

З. Любунь, І. Мусійчук, В. Рабик

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Ген. Тарнавського, 107, 79017 Львів, Україна
RabykV@ukr.net*

Описано апаратне і програмне забезпечення лабораторного стенда з електротехніки й електроніки. Наведено головні технічні характеристики стенда, опис лабораторних робіт, які виконують за його допомогою. Детально розглянуто режими роботи стенда, функціональне призначення його клавіатури та індикації. Як приклад розглянуто лабораторну роботу з дослідження універсального активного фільтра. Наведено результати моделювання цього фільтра та їхнє порівняння з експериментальними даними.

Ключові слова: лабораторний стенд, електротехніка й електроніка, апаратне та програмне забезпечення, вимірювання сигналів, генерування сигналів.

Ефективне засвоєння студентами основ електротехніки й електроніки значно залежить від матеріального та методичного забезпечення лабораторного практикуму. Матеріальна складова практикуму є визначальною для його вартості. Вона охоплює як лабораторний стенд з електротехніки й електроніки, так і вимірювальне обладнання. Сучасний розвиток мікропроцесорної техніки та нова елементна база дали поштовх до розробки нових лабораторних стендів. У таких стендах на мікроконтролер покладають роль керування, генерування, вимірювання сигналів під час їхньої роботи.

Навчальні лабораторні стенди з вивчення різних дисциплін і, зокрема, основ електротехніки й електроніки, виготовляють багато фірм [1–3]. У праці [1] розглянуто універсальний лабораторний стенд для лабораторної підтримки дисциплін напряму “Комп’ютерні науки”. Такий стенд можна використовувати для виконання лабораторних робіт з дискретної математики, електротехніки з елементами електроніки, схемотехніки ЕОМ, мікропроцесорів ЕОМ та з проектування систем реального часу.

Навчально-лабораторний стенд “OpAmp” [2] призначений для використання в навчальному процесі під час вивчення курсу аналогової електроніки. Він охоплює інструментальний підсилювач, вбудований двоканальний вольтметр, генератор з синусоїдальними, пілкоподібними та прямокутними вихідними імпульсами, двоканальний мультиметр, 2 BNC роз’єднання для приєднання зовнішніх вимірювальних приладів. Крім того, у його складі є низка досліджуваних схем, які змонтовані на одній платі.

Навчальний пристрій, описаний у [3], призначений для виконання лабораторного практикуму з курсу “Електроніка”. Він складається з сервера, приєднаного до мережі Internet. Сервер з’єднаний з модулем USB-6008, який є системою збирання даних, що її випускає фірма National Instruments. Апаратна частина лабораторного комплексу конструктивно виконана у вигляді трьох окремих блоків.

Вимірювальна частина і досліджувані схеми в стендах [1, 2] розміщені на одній платі. Є фіксований набір лабораторних робіт з електротехніки й електроніки, який не можна змінити і доповнити під час експлуатації стендів.

Для розробки лабораторного стенда з електротехніки й електроніки, який розглядаємо, використано низку методичних положень: індивідуалізація виконання лабораторних робіт, що сприяє розвитку в студентів навиків самостійної роботи; фронтальний метод, за якого студенти виконують одну роботу, пов’язану з тематикою курсу і розглянутою на лекціях; введення в лабораторні роботи дослідницьких елементів, детально описаних у методичних рекомендаціях; використання програм схемотехнічного моделювання під час виконання лабораторних робіт. На базі лабораторних стендів і персональних комп’ютерів з програмами схемотехнічного моделювання повністю модернізована лабораторія основ електротехніки й електроніки на 25 робочих місць.

У складі лабораторного стенда є модуль керування, що забезпечує генерування вхідних сигналів різної форми і вимірювання напруг, зсувів фаз у досліджуваній схемі та змінні плати розширення з досліджуваними схемами. Головним завданням у разі реалізації лабораторного стенда була розробка апаратного та програмного забезпечення для модуля керування лабораторного стенда. Це пов’язано передусім з реалізацією принципу автономності лабораторного стенда та вартістю вимірювальних приладів.

Лабораторний стенд призначений для виконання лабораторних робіт з основ електротехніки та електроніки. Конструктивно він виконаний у вигляді двох плат (основної та плати розширення). Основна плата – це керувальний та вимірювальний модуль. Функціональна схема плати керування та вимірювання зображена на рис. 1.

Вона містить два чотирирозрядні семисегментні індикатори, клавіатуру, генератор гармонічних сигналів, вольтметр постійної та змінної напруги, генератор прямокутних та пілкоподібних імпульсів, широтно-імпульсний модулятор, вимірювач зсуву фаз двох сигналів.

Основа цієї плати – мікроконтролер C8051F352, за допомогою якого відбувається керування роботою лабораторного стенда, генерування та вимірювання параметрів сигналів. Реалізована можливість одночасної роботи блоків генерування та вимірювання сигналів, що дає змогу використовувати лабораторний стенд як повністю завершений вимірювальний комплекс. Лівий цифровий індикатор призначений для відображення режимів роботи лабораторного стенда, а правий – для відображення числових значень параметрів заданого режиму. Ліва клавіатура стенда (чотири клавіші з MODE1) дає змогу вибирати необхідний режим роботи, права (чотири клавіші з MODE2) призначена для задання значень параметрів вибраного режиму роботи.

Регулювання амплітуди сигналів на виходах підсилювачів реалізовано за допомогою резистивних дільників, які включаються рядом перемичок. Це дає змогу вносити загасання сигналів на 0, 20, 40, 60 дБ.

Лабораторний стенд живиться постійною напругою 12 В. Для забезпечення необхідних напруг роботи вимірювальної плати та елементів плат розширення лабораторного стенда використовують вбудований блок живлення, який реалізує ряд напруг: 3,3; 5,0 та ± 12 В.

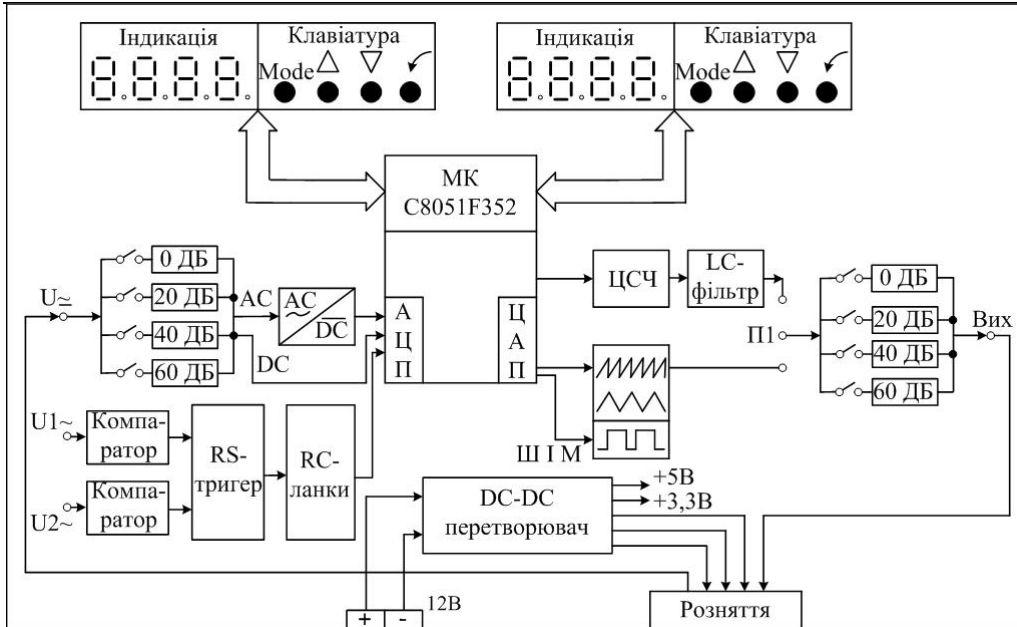


Рис. 1. Функціональна схема плати керування і вимірювання

Вимірювальна частина лабораторного стенда реалізована на основі 16-розрядного аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), що є в складі мікроконтролера, вольтметр постійної напруги – на основі АЦП без додаткових схемних рішень, вольтметр змінної напруги – на основі схеми перетворення змінної напруги в постійну з подальшим її вимірюванням за допомогою АЦП мікроконтролера. Вимірювач зсуву фаз побудовано на двох незалежних компараторах та логічній схемі порівняння двох сигналів. Імпульси різної шпаруватості перетворюються в постійну напругу, яку вимірюють за допомогою АЦП, а мікроконтролер перетворює в зсув фаз.

Генерування гармонічних сигналів реалізоване на мікросхемі цифрового синтезатора частоти AD9832 фірми Analog Devises. До виходу мікросхеми приєднаний LC-фільтр для фільтрування цифрових шумів. Генератори сигналів пілкоподібної, трикутної форми та сигналів з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) реалізовані на основі 8-бітного цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) мікроконтролера зі струмовим виходом. Для забезпечення достатнього рівня потужності генерованих сигналів, до виходу генераторів приєднаний підсилювач потужності.

У разі ввімкнення живлення лабораторного стенда впродовж декількох секунд засвічуються всі сегменти правого та лівого індикаторів, що дає змогу перевірити їхню справність. Після цього лабораторний стенд переходить у режим очікування (рис. 2), для виходу з якого і вибору режиму роботи необхідно натиснути на клавішу MODE 1.



Рис. 2. Вигляд індикації стенда в режимі очікування

Можна задати один з таких режимів роботи стенда:

- вимірювання постійної напруги (рис. 3);

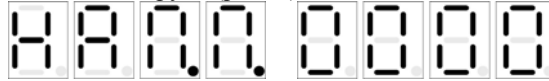


Рис. 3. Вигляд індикації стенда в режимі вимірювання постійної напруги

відразу після входження в режим активізується вимірювання постійної напруги. Результат вимірювання виводиться в вольтах на правий індикатор;

- вимірювання змінної напруги (рис. 4);



Рис. 4. Вигляд індикації стенда в режимі вимірювання змінної напруги

відразу після входження в режим активізується вимірювання змінної напруги. Результат вимірювання виводиться в вольтах на правий індикатор;

- вимірювання зсуву фаз (рис. 5);



Рис. 5. Вигляд індикації стенда в режимі вимірювання зсуву фаз

відразу після входження в режим активізується вимірювання зсуву фаз. Результат вимірювання виводиться в градусах на правий індикатор;

- генерування гармонічних сигналів (рис. 6);



Рис. 6. Вигляд індикації стенда в режимі генерування синусоїдальних сигналів

після входження у режим генерування гармонічних сигналів на правому індикаторі відображається частота. Вмикають генератор натисканням на клавішу \curvearrowright лівої клавіатури.

Для автоматизації зняття амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) електронних кіл у частотному діапазоні реалізовано автоматичний режим вимірювання залежності змінної напруги від частоти. Запуск автоматичного режиму зняття АЧХ активізують натисканням на клавішу MODE 2. Відразу після натискання цієї клавіші на правому індикаторі засвічується нижня межа частоти для вимірювання АЧХ (за замовчуванням 100 Гц). Клавішами \blacktriangle та \blacktriangledown правої клавіатури задають потрібне значення нижньої межі частотного діапазону, а клавішею \curvearrowright правої клавіатури запам'ятовують уведене значення. Після цього виводиться значення верхньої межі частотного діапазону (за замовчуванням 20 кГц). Клавішами \blacktriangle та \blacktriangledown правої клавіатури задають потрібне значення верхньої межі частотного діапазону. Після цього на правий індикатор виводиться крок зміни частоти (за замовчуванням 100 Гц). Після задання потрібного значення та натискання на клавішу \curvearrowright правої клавіатури вмикають автоматичний режим вимірювання АЧХ. Під час автоматичного вимірювання по чергово через 5 с на правий індикатор виводиться значення частоти і значення виміряної для неї змінної напруги.

- генерування пілкоподібних сигналів (рис. 7);



Рис. 7. Вигляд індикації стенда в режимі генерування пілкоподібних сигналів

- генерування сигналів трикутної форми (рис. 8);



Рис. 8. Вигляд індикації стенда в режимі генерування сигналів трикутної форми

- генерування ШІМ сигналів (рис. 9);



Рис. 9. Вигляд індикації стенда при заданні режиму генерування ШІМ сигналів

Число 50 означає заповнення періоду ШІМ сигналів високим рівнем напруги у відсотках (величина, обернена до шпаруватості). За допомогою клавіш ▲ та ▼ правої клавіатури задають коефіцієнт заповнення в межах 1–99 %. У разі натискання на клавішу ↵ лівої клавіатури відбувається перехід у режим задання частоти ШІМ сигналу в герцах, яка відображається на індикаторі. Генерування ШІМ сигналів починається після задання параметрів цих сигналів (натискання на клавішу ↵ правої клавіатури під час задання частоти сигналів).

Зміна коефіцієнта заповнення можлива також, якщо генератор ШІМ сигналів працює. Для цього необхідно натиснути на клавішу MODE 2, генерування ШІМ сигналів припиниться. На правому індикаторі відобразиться попередньо заданий коефіцієнт заповнення ШІМ сигналів, який можна змінити за допомогою клавіш ▲ та ▼ правої клавіатури. Після натискання на клавішу ↵ правої клавіатури знову відновлюється генерування ШІМ сигналів зі зміненим коефіцієнтом заповнення та заданою раніше частотою сигналу.

З метою прискорення задання параметрів вимірювальних приладів стенда та зручності набору для правої клавіатури реалізовано прискорений алгоритм задання параметрів. Наприклад, якщо утримувати в натиснутому стані одну з клавіш – ▲ або ▼, то автоматично виконується збільшення або зменшення параметра на одиницю. Якщо час утримання клавіш ▲ або ▼ в натиснутому стані понад 3 с, то автоматично відбувається збільшення або зменшення параметра на 10, якщо ж час утримання клавіш понад 7 с – на 100.

Для відображення частоти генерування сигналів понад 1 кГц на індикаторі стенда виводиться крапка, яка означає, що частота задана в кілогерцах. На рис. 10, а, б показані приклади задання частот 1 та 10 кГц на індикаторі стенда.

Рис. 10. Приклади відображення частоти генераторів: а) $F=1,0$ кГц, б) $F=10,0$ кГц

Після ввімкнення генератора він працює у фоновому режимі (після виходу з режиму генератора і входження в режими вимірювання). Генератор синусоїдальних коливань

працює незалежно від решти генераторів. За допомогою перемички П1 (див. рис. 1) в коло приєднують генератор синусоїдальних коливань або інші генератори.

Вихід із будь-якого режиму роботи лабораторного стенда виконують натисканням на клавішу MODE 1. Винятком є тільки генератор гармонічних сигналів, який продовжує роботу після хоча б одного попереднього ввімкнення зі збереженням попередньо заданої частоти.

Стенд дає змогу виконувати лабораторні роботи, які умовно можна розбити на два цикли: дослідження лінійних RLC-схем та дослідження елементів радіоелектронних схем. До першого циклу належать роботи, що допомагають досліджувати властивості різноманітних RC- та RL-ланок, резонансні явища в RLC-схемах, властивості лінійних чотириполюсників та ін. У разі подачі на вхід схем негармонічних сигналів можна досліджувати перехідні процеси в цих же схемах та явища інтегрування чи диференціювання сигналів.

У другому циклі реалізовані лабораторні макети дають змогу досліджувати схеми підсилювачів змінної напруги на біполярних та польових транзисторах, генераторів гармонічних та негармонічних сигналів, операційних підсилювачів та схеми на операційних підсилювачах, параметричних стабілізаторів напруги, імпульсних перетворювачів напруги.

Роботу лабораторного стенда розглянемо на прикладі дослідження універсального активного фільтра, схема якого зображена на рис. 11. Мета роботи – вивчення методики синтезу універсальних активних фільтрів, розрахунку параметрів їхніх елементів, дослідження основних характеристик фільтрів, порівняння експериментальних і теоретичних результатів дослідження.

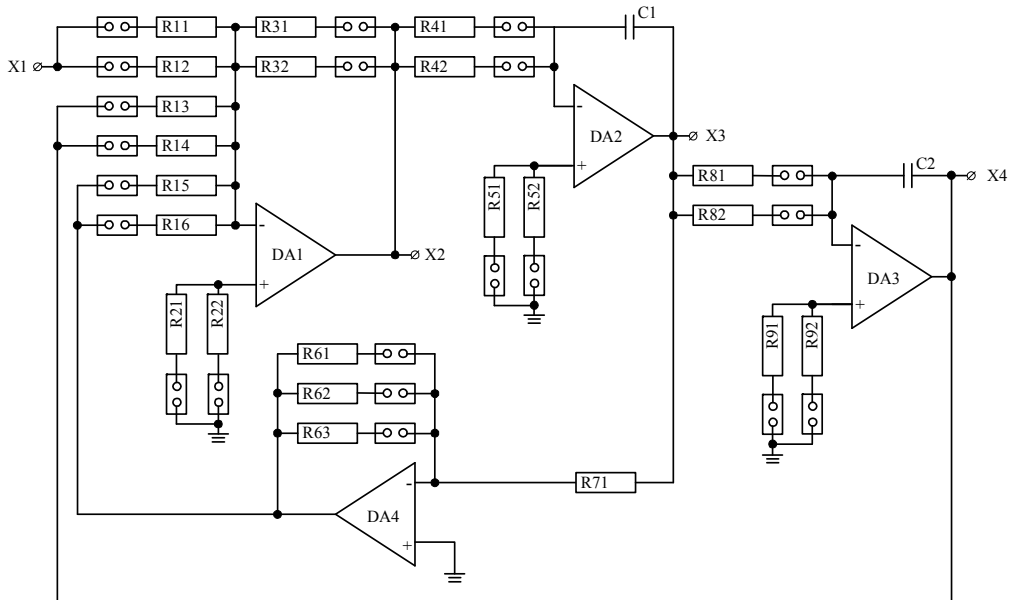


Рис. 11. Принципова схема універсального активного фільтра другого порядку

Схема універсального активного фільтра реалізована так, що її можна досліджувати для декількох наборів параметрів елементів, які задають за допомогою переминок. У макеті передбачено низку точок X_1, X_2, X_3, X_4 , у яких можна досліджувати активний фільтр за допомогою зовнішніх приладів або, закорочуючи відповідні перемички, вимірювати в них напруги, зсув фаз за допомогою вимірювальної плати стенда.

Для заданого активного фільтра $C = C_1 = C_2$; $R = R_{13} = R_{15} = R_{31} = R_{41} = R_{51} = R_{81} = R_{91}$.

На рис. 12, *a*, *б* зображені графіки АЧХ та фазо-частотної характеристики (ФЧХ) фільтра нижніх частот, отримані шляхом вимірювання їх на лабораторному стенді і моделювання за допомогою програми Electronics Workbench. Відповідно, на рис. 13, *a*, *б* і 14, *a*, *б* показані АЧХ і ФЧХ для фільтра верхніх частот і смугового фільтра. З отриманих характеристик фільтрів студенти визначають частоту зрізу фільтра, коефіцієнт підсилення і порівнюють їх з результатами розрахунків.

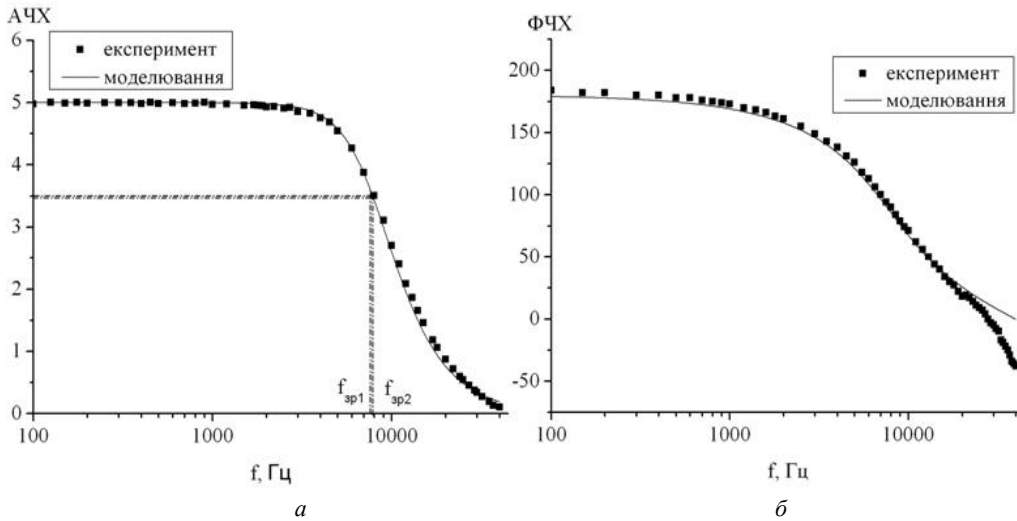


Рис. 12. Фільтр нижніх частот: *a* – АЧХ; *б* – ФЧХ

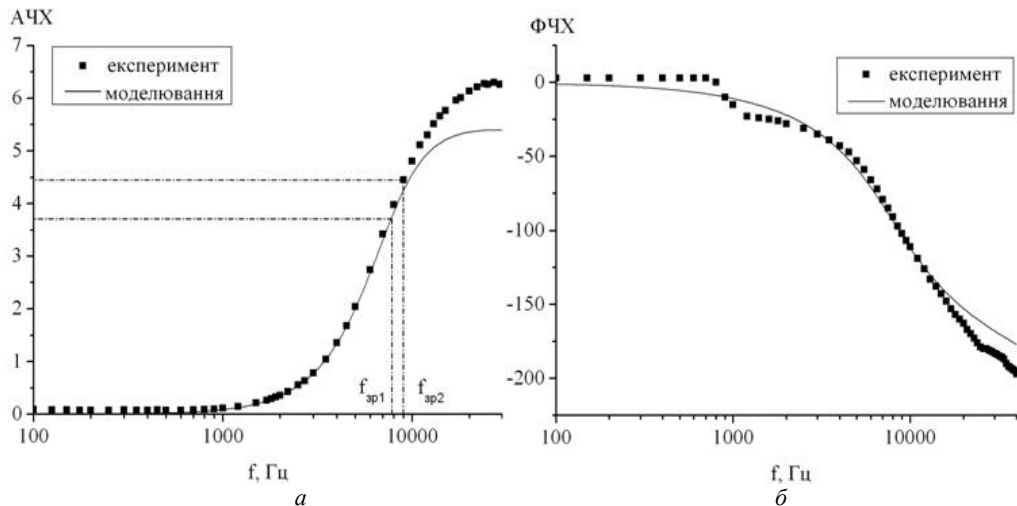


Рис. 13. Фільтр верхніх частот: *a* – АЧХ; *б* – ФЧХ

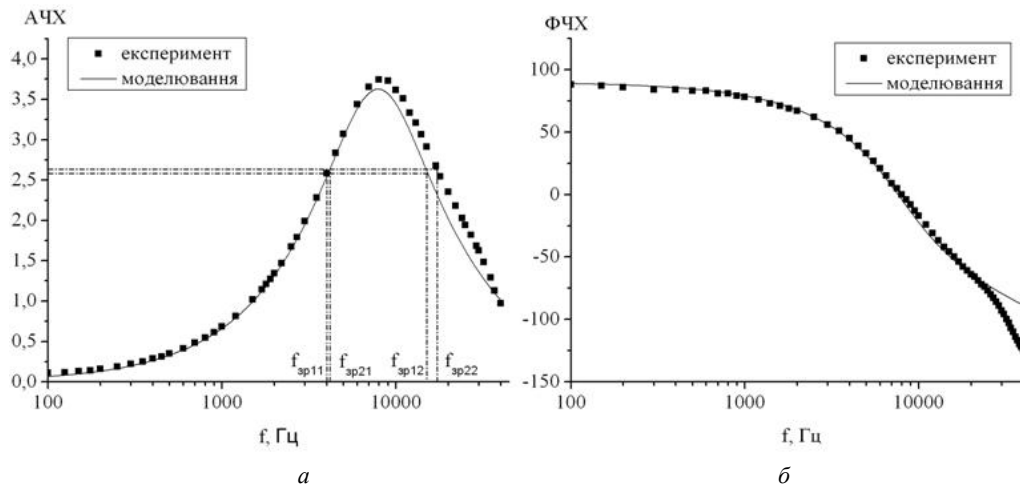


Рис. 14. Смуговий фільтр: а – АЧХ; б – ФЧХ

1. Рябченський В.М., Дубіна А.В., Солобуто Л.В. Універсальний стенд для лабораторної підтримки дисциплін напрямку “Комп’ютерні науки” // Вестник ХТТУ. 2004. Т. 19. № 1.
2. Учебно-лабораторный стенд OpAmp. <http://www.opensys.com.ua>
3. Лаборатория с удаленным доступом “Физические основы электроники”. <http://www.leso.sibsutis.ru>

THE HARDWARE AND SOFTWARE SUPPORT OF LABORATORY WORK ON ELECTROTECHNICS AND ELECTRONICS

Z. Lyubun, I. Musiichuk, V. Rabyk

Ivan Franko National University of L'viv
Tarnavsky Str., 107, UA-79017 Lviv, Ukraine
RabykV@ukr.net

Given work is devoted to description of the hardware and software support of laboratory stand on the electrotechnics and electronics. Basic technical descriptions of stand and laboratory works executed with its help are given. The modes of stand work, functional designation of its keyboard and indications are considered in detail. As an example, a laboratory work devoted to research of universal active filter is examined. The results of modeling of this filter and their comparison with experimental data are given.

Key words: laboratory stand, electrotechnics and electronics, hardware and software support, measuring of signals, generation of signals.

АППАРАТНОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ**З. Любунь, И. Мусийчук, В. Рабик**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франка
ул. Ген. Тарнавского, 107, 79017 Львов, Украина
RabykV@ukr.net*

Описано аппаратное и программное обеспечение лабораторного стенда по электротехнике и электронике. Приведены основные технические характеристики стенда, описание лабораторных работ, выполняемых с его помощью. Детально рассмотрены режимы работы стенда, функциональное назначение его клавиатуры и индикации. В качестве примера рассмотрена лабораторная работа по исследованию универсального активного фильтра. Приведены результаты моделирования этого фильтра и их сравнение с экспериментальными данными.

Ключевые слова: лабораторный стенд, электротехника и электроника, аппаратное и программное обеспечение, измерение сигналов, генерация сигналов.

Стаття надійшла до редколегії 14.04.2009

Прийнята до друку 30.06.2009