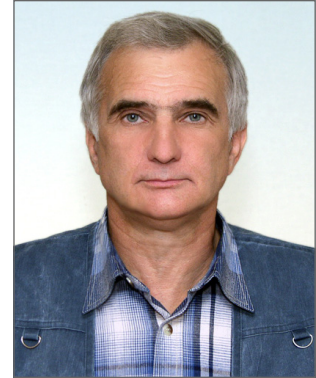


УДК 378.162.33

ВІРТУАЛЬНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ У ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМІ З ТВЕРДОТІЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Воєводін Сергій Вікторович,

старший викладач кафедри мікроелектроніки НТУУ «КПІ»,
vsv1012@mail.ru.



Анотація. У статті описано досвід створення лабораторного практикуму з твердотільної електроніки в середовищі LabVIEW з використанням лабораторної платформи NI ELVIS II. Завдання лабораторного практикуму полягають у вивченні таких напівпровідникових приладів, як діоди, транзистори і тиристри різних типів. На відміну від кола завдань, що вирішуються автоматизованими дослідницькими стендами, розробленими на основі віртуальних приладів, у приладах для навчального процесу передбачається можливість реалізації дидактичних сценаріїв практикуму. Запропоновано варіант дидактичного сценарію практикуму, який містить демонстраційний, дослідницький і аналітичний блоки, які відповідають етапам наукового пізнання — спостереженню, гіпотезі, теорії.

Ключові слова: метод пізнання, імітаційне моделювання, віртуальний вимірювальний прилад, дидактичний сценарій, LabVIEW.

Віртуальні вимірювальні прилади, вибрані для практикуму, мають сприяти формуванню системних знань про об'єкт, що вивчається, забезпечити виконання намічених для цього дидактичних сценаріїв. Попри це, практикум повинен давати навички:

- роботи з типовими вимірювальними приладами;
- обробки отриманих результатів;
- розрахунку похибки експерименту.

Розробка віртуальних приладів, імітаційних моделей і дидактичних сценаріїв практикуму представляє в сукупності масштабну методичну і навчально-педагогічну проблему.

Лабораторний практикум у середовищі NI LabVIEW «Практикум по аналоговій і цифровій електроніці» представлений у роботі [1]. Предметна галузь — напівпровідникові прилади. У цій роботі можна провести побудову вольт амперних характеристик (ВАХ) діода, транзистора (польового і біполярного) і тиристора. Попри це, представлені роботи з операційними підсилювачами. Практикум із цього напрямку до останнього часу є найбільш відомим і затребуваним серед викладачів.

У роботі [2] автори зосередилися на можливостях веб інтерфейсу LabVIEW, що дозволяє виконувати лабораторну роботу дистанційно.

У збірках тез доповідей щорічних конференцій National Instruments, що проводяться російським представництвом цієї корпорації з 2004 року, представлені сотні доповідей, присвячених використанню програмно-апаратного комплексу NI LabVIEW в освіті, дослідженнях і промисловості. У цих роботах повідомляється про широке використання лабораторної станції NI ELVIS у російських навчальних закладах для організації лабораторних і практичних занять з технічних дисциплін.

Багаторічна практика показала високу ефективність її застосування на старших курсах навчання в індивідуальній роботі студентів, особливо на етапі виробничої і переддипломної практики. Основним напрямом розвитку методичного забезпечення прак-

тикуму з аналогової електроніки багато авторів вбачають у комплексному використанні комп'ютерних моделей і фізичних макетів у виконанні лабораторних робіт у середовищі NI Multisim і з використанням лабораторної платформи NI ELVIS [3, 4].

Високо оцінена можливість зацікавлення студентів предметом (починати викладання з формул — породжувати апатію у студентів на початковому етапі освоєння тематики) [5].

Співробітники корпорації National Instruments доводять, що комбінація програми схемотехнічного моделювання NI Multisim і віртуальних приладів NI LabVIEW дозволяє забезпечити розробників раніше недосяжними можливостями для спостереження впливу вхідних параметрів на вихідні, дозволяє ефективно тестувати і випробовувати реальне схемотехнічне рішення і його імітаційну модель, прискорює пошук помилки розробки або виготовлення, а також полегшує налаштування моделі відповідно до реальності [6].

Проте роботи [1–6] переважно присвячені технічній стороні практикуму. Слід зазначити, що в описі практикумів [1–5] не представлені можливості програмного вибору досліджуваних зразків або зручної й оперативної їх заміни. Також відсутня можливість управління температурою зразків і діапазонами вимірювання струму.

Аналіз публікацій показує, що програмно апаратний комплекс LabVIEW має великі перспективи використання в розробці лабораторного практикуму у вишах і школі. У деяких із перерахованих робіт намічені педагогічні перспективи напряму, проте, системному методологічному підходу, якого потребує розробка сучасного лабораторного практикуму, поки ще не приділено достатньої уваги.

Метою статті є:

- обґрунтування вибору складу і функціональності віртуальних вимірювальних приладів для лабораторного практикуму з твердотільної електроніки;

- розробка й аналіз дидактичного сценарію лабораторної роботи «Дослідження діодів»;
- опис практичної реалізації лабораторної роботи «Дослідження діодів»;
- опис забезпечення мультимедійної і мережевої підтримки навчального процесу;
- ознайомлення широкого кола читачів з інструментами сучасного лабораторного практикуму.

Постановка задачі

Дана робота базується на досвіді створення лабораторного практикуму з твердотільної електроніки в середовищі LabVIEW з використанням лабораторної платформи NI ELVIS II. Предметна галузь роботи передбачає вивчення таких напівпровідникових приладів, як діоди, транзистори і тиристори різних типів.

На відміну від кола завдань, що розв'язуються автоматизованими дослідницькими стендами, розробленими на основі віртуальних приладів, у приладах для навчального процесу передбачається можливість реалізації дидактичних сценаріїв практикуму.

Запропонований у цій роботі варіант дидактичного сценарію може бути умовно розділений на три основні структурні блоки (табл. 1).

Така структура навчального процесу є відповідною елементам наукового методу пізнання (спостереження, гіпотеза, експеримент, теорія).

Таблиця 1

Назва блоку	Мета, призначення
Демонстраційний	Зацікавити, показати можливості лабораторного обладнання
Дослідницький	Дати навички самостійної роботи з приладами
Аналітичний	Дати матеріал для осмислення отриманих результатів шляхом надання можливості управління математичними моделями, візуального порівняння вольт-амперних характеристик (різні матеріали, температури, діапазони струмів)

Для розроблюваного нами практикуму, у якому досліджуються фізичні процеси, що відбуваються в *p-n* переході, потрібне спостереження впливу низки фізичних і конструктивних параметрів на вигляд ВАХ. Це вимагає, щоб у практикумі були передбачені можливості:

- зміни і фіксації температури зразка ($-60 + 125^{\circ}\text{C}$, $\pm 1^{\circ}\text{C}$);
- зміни струмового діапазону (мА, мкА, нА);
- демонстрації аналітичних моделей (теоретичних ВАХ);
- вибору типу досліджуваного приладу (програмний вибір з колекції або фізична заміна зразка):
 - ♦ прилад з іншого напівпровідникового матеріалу (Si, Ge, GaAs.);
 - ♦ прилад з іншою площею *p-n* переходу;
 - ♦ прилад іншого типу: випрямний діод, стабілітрон, тунельний діод, світлодіод.

Практична реалізація роботи «Дослідження діодів»

Для розв'язання поставленого завдання використовувалася лабораторна платформа NI ELVIS II, розроблені віртуальні прилади, що діють у середовищі NI LabVIEW, а також спеціально виготовлені термоблок з мікропроцесорним ПД регулятором МикРА 603 і

плата модуля лабораторної роботи з розміщеними елементами схеми і контактними ZIF терміналами (рис. 1).

Вимірювання напруги здійснюється віртуальним вольтметром з високоомним входом, вимірювання струму робиться шляхом вимірювання напруги на резисторі, включеному послідовно з досліджуваним діодом. Відповідні сигнали подаються на фізичні канали платформи NI ELVIS II. Для перемикання струмових діапазонів у схемі вимірів передбачений магазин резисторів з номіналами 100 Ом, 100 КОм, 100 МОм, для швидкої зміни зразків передбачені чотири контактних ZIF термінали.

Перемикання між резисторами і терміналами здійснюється мікрореле шляхом подавання в ланцюг живлення реле логічної одиниці (5 В).

Для початку роботи необхідно вставити модуль лабораторної роботи в роз'єми платформи ELVIS II, включити комп'ютер і запустити віртуальний прилад у середовищі NI LabVIEW. Далі потрібно дотримуватися інструкцій «Практикуму» і системних підказок лицевої панелі приладу (рис. 2).

Перемикання між вкладками «Демо ВАХ», «Ім'я файлу», «Блок вимірювань», «Візуалізація ВАХ», «Контроль нагріву» дозволяє вибирати режими роботи віртуального приладу. Після спостереження ВАХ різних діодів у демоблоці можна приступати до формування імені файлу, у який записуватимуться результати вимірювань (рис. 3). Після заповнення полів конструктора (матеріал, тип приладу, температура, відомості про експериментатора) створюється «мовляче» ім'я файлу, у якому відбиті умови експерименту.

Si P309Ge-6 mA 20 PD1 Лосев.lvm
Si P309Ge-6 nA 20 PD1 Лосев.lvm

Наразі автоматично формується заголовок файлу (рис. 4), що містить повнішу інформацію, включаючи дату і час вимірювань, номер зразка, найменування всіх одиниць вимірювань. Це дозволяє відразу зв'язати результати вимірювань з умовами експерименту.

Переміщуючи курсором миші движок напруги на лицевій панелі приладу, можна спостерігати переміщення курсора поточних вимірювань на віртуальному аналозі характеріографа в координатах струм-напруга. Натиснення кнопки «Вимірювання» фіксує пару значень струм-напруга. Кожна фіксація супроводжується звуковим сигналом і запо-



Рис. 1. Лабораторний стенд для дослідження напівпровідникових приладів

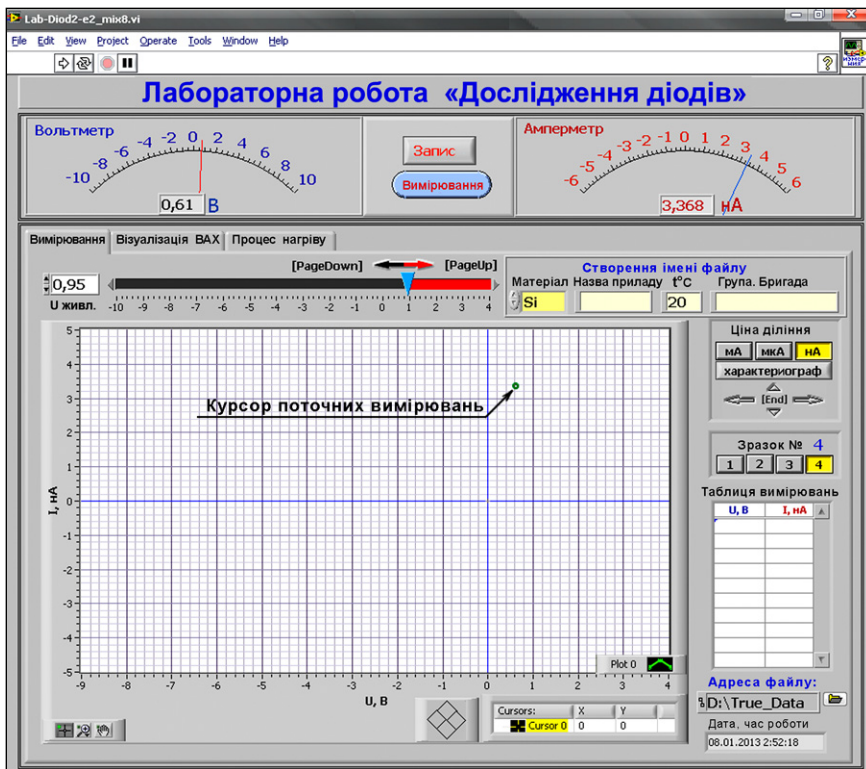


Рис. 2. Лицева панель віртуального приладу для дослідження діодів (режим вимірювань)

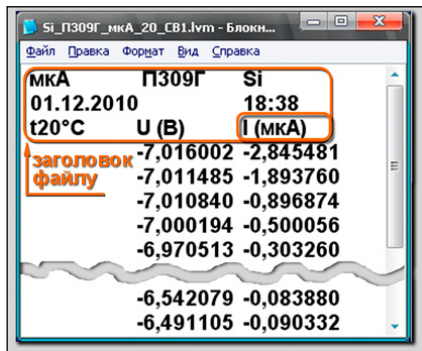


Рис. 3. Фрагмент файлу вимірювань із заголовком

внення рядка в демонстраційній таблиці вимірювань. Закінчення вимірювань натисненням кнопки «Запис» супроводжується іншим звуковим сигналом і завершує формування файлу з результатами вимірювань.

Перемикання струмового діапазону (мА, мкА, нА) і вибір терміналу із зразком, що вивчається, здійснюється кліком миші на кнопках на панелі віртуального приладу. Результат перемикання автоматично відображається в найменуваннях одиниць вимірювань цифрового амперметра й осі струмів на графіку ВАХ, а також в імені і в заголовку файлу з результатами вимірювань. Передбачено підключення досліджуваного приладу до «штатного» двополюсного

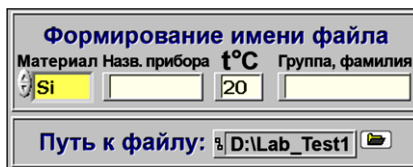


Рис. 4. Формування імені файлу

віртуального характеристики NI ELVIS II (кнопка «характериограф» на лицевій панелі).

Функціональне призначення елементів управління лицеві панелі приладу у вигляді підказки може бути викликане через пункт меню «Help» середовища LabVIEW або гарячими клавішами. Тут же можуть бути дані вказівки з подальшої послідовності дій.

Відносно невеликий час, необхідний для зняття ВАХ, дозволяє збільшити кількість досліджуваних на одному занятті приладів, що дає більший матеріал для аналізу.

Зняті вольт амперні характеристики в наступній частині роботи попарно візуалізуються на віртуальному характеристиографі для порівняння. Вибір відповідної пари файлів полегшується «мовлячими» іменами. Порівняння може бути доповнене накладенням теоретичної ВАХ, виглядом якої можна керувати шляхом зміни значень параметрів моделі.

Аналіз елементів дидактичного сценарію

Кінцевим завданням навчального процесу є «залишкові знання», уявлення про які можна отримати шляхом тестування. Власна мотивація до отримання знань в учня не завжди буває достатньою і може бути посилена контрольними заходами навчального процесу. Заклавши в початковій частині навчального сценарію завдання зацікавити учня, можна збільшити його внутрішню мотивацію до навчання.

У демонстраційному блоці роботи віртуальний прилад надає можливість спостерігати автоматичну побудову ВАХ різних типів діодів. Цей етап роботи покликаний зацікавити учня, допомогти йому адаптуватися до роботи з новими для нього типами вимірювальних приладів, сприяти попередньому знайомству з об'єктами, що вивчаються, дати можливість самостійно перемикаючи струмові діапазони і вибирати зразки досліджуваних приладів.

У вимірювальному блоці перед початком вимірювань пропонується зафіксувати умови експерименту за допомогою конструктора імені файлу. Цей прийом створює передумови для вироблення однієї з важливих якостей дослідника — системного підходу в оформленні результатів роботи.

Під час зняття ВАХ надається можливість ручного управління напругою на p-n переході (двигком на лицевій панелі віртуального приладу або «гарячими клавішами»), що дозволяє сконцентрувати увагу учня на русі поточних координат вимірювань, варіювати їх крок, робити частішу фіксацію точок на ділянках характеристики з різкими змінами. Повторення таких дій сприяє закріпленню навичок роботи з приладом, стійкому запам'ятовуванню предмета дослідження.

Інтерфейс, властивий характеристиографам, реалізований за допомогою віртуального приладу, дозволяє в реальному часі безпосередньо спостерігати рух курсору в координатах струм-напруга за треком ВАХ. Стрілочна і цифрова інтерпретація вимірювальних приладів (вольтметр і амперметр), а також таблична інтерпретація результатів вимірювання збільшують наочність процесу вимірювань і форму-

вання результатів. Крім того, це зв'язує інтерфейс віртуального лабораторного приладу з попередньою методикою, доступною раніше на звичайних стрілочних вимірювальних приладах. Звуковий супровід дій учня (сигнали певного тону в разі натиснення на кнопку «Вимір») із синхронним заповненням рядка демонстраційної таблиці дозволяють відчувати керованість віртуального приладу, отримати додаткові чуттєві враження від виконуваної роботи.

Заміна одного або декількох досліджуваних приладів у ZIF терміналах надає учню можливість переконатися, що все спостережуване на моніторі комп'ютера є відображенням властивостей реальних об'єктів. Це має велике значення для зняття внутрішнього контролю на перевірку істинності або хибності отриманої інформації. Можливість управління температурою зразка є елементом дієвого підходу до роботи, дозволяє отримати важливі для подальшого осмислення результати.

На цьому етапі роботи учень є експериментатором, який одержує дані для подальшого аналізу.

В аналітичному блоці роботи надається можливість засобами віртуального характеристикографа робити порівняння раніше знятих ВАХ. Наразі можна простежити вплив таких чинників, як ширина забороненої зони, температура, площа *p-n* переходу. Визначення впливу температури на напругу відкриття *p-n* переходу представлено на рис. 5. ВАХ Ge і Si *p-n* переходів у різних струмових діапазонах представлені на рис. 6 і 7.

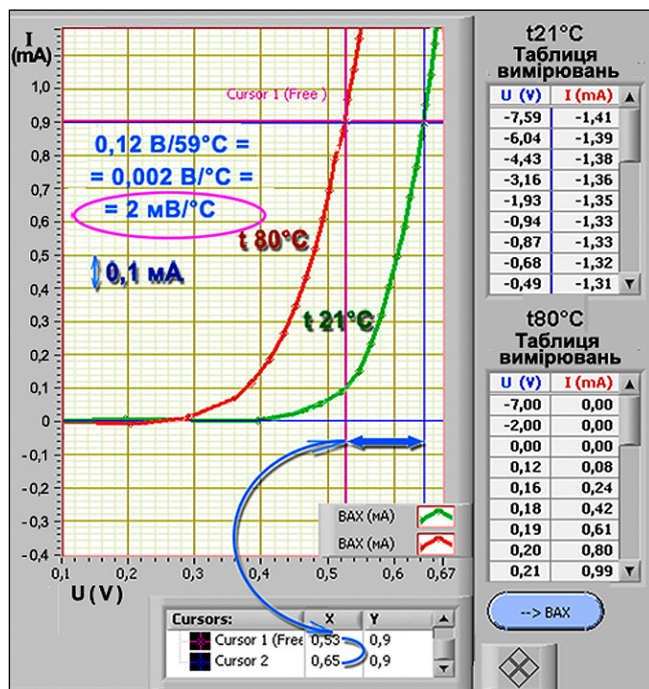


Рис. 5. Вплив температури на напругу відкриття *p-n* переходу

Важливим доповненням до порівнюваних характеристик є можливість представлення теоретичної ВАХ, керованої в динамічному режимі за допомогою зміни параметрів моделі (ширина забороненої зони, площа *p-n* переходу, температура), що відразу ж відбивається на вигляді теоретичної характеристики.

Шляхом керування параметрами модельної ВАХ можна досягти поєднання теоретичної й експериментальної кривих, що може сприяти асоціативному

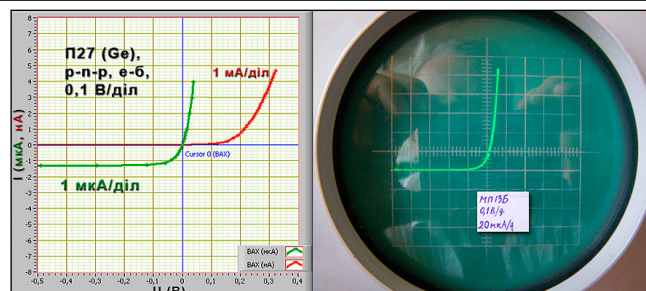


Рис. 6. Порівняння ВАХ Ge діоду в різних струмових діапазонах

зв'язку реального об'єкта з його модельними уявленнями і закласти системну основу знань про предмет.

Робота з різними ВАХ, їх різноманітна інтерпретація: таблична, графічна (експериментальна й аналітична) створюють необхідність численних підходів до осмислення отриманих результатів, що повинно сприяти хорошему запам'ятовуванню матеріалу, що вивчається.

Файли з результатами вимірювань можуть використовуватися також для аналізу в інших програмних середовищах, наприклад, MS Excel, Origin Lab, NI DIAdem.

Розвиток роботи може йти як шляхом удосконалення віртуальних вимірювальних приладів, так і шляхом підвищення ефективності дидактичних сценаріїв.

Мультимедійна і мережева підтримка навчального процесу

Підготовка і проведення заняття із застосуванням комп'ютерів залучає використання засобів мультимедійної і мережевої підтримки курсу до навчального процесу. Поліграфічна версія практикуму може бути доповнена електронною версією. Попри це, покрокові інструкції можуть бути представлені в інших форматах, наприклад, презентації засобами PowerPoint, Prezi, у відеоформаті.

Відеоформат, підготовлений з використанням програм потокового копіювання екранної інформації, у поєднанні з голосовим коментарем може значно прискорити введення учнів у комп'ютерне середовище практикуму. Засоби мультимедійної підтримки можуть бути розміщені на сервері дистанційного навчання, доповнені тестовими завданнями, інформацією про поточні зміни й успішність.

Безпосередньо проведення практикуму в комп'ютерному класі або лабораторії може бути підтримане засобами віддаленого управління (наприклад, VNC — Virtual Network Computing) [7]. За допомогою VNC педагог може в динамічному режимі транслювати екран викладацького комп'ютера на кожен робочий монітор класу. Це дозволяє викладачеві оперативно реагувати на ситуацію в аудиторії, активно управляти введенням учнів у програмне середовище практикуму.

Висновки і перспективи подальшого розвитку

Для реалізації лабораторної роботи «Дослідження діодів» у практикумі з дисципліни «Твердотільна електроніка» були застосовані такі заходи.

1. Розроблені віртуальні вимірювальні прилади як типові (вольтметр, амперметр з програмним перемиканням діапазонами вимірювань 10-3, 10-6, 10-9 А, характеристикограф), так і спеціального призначення.

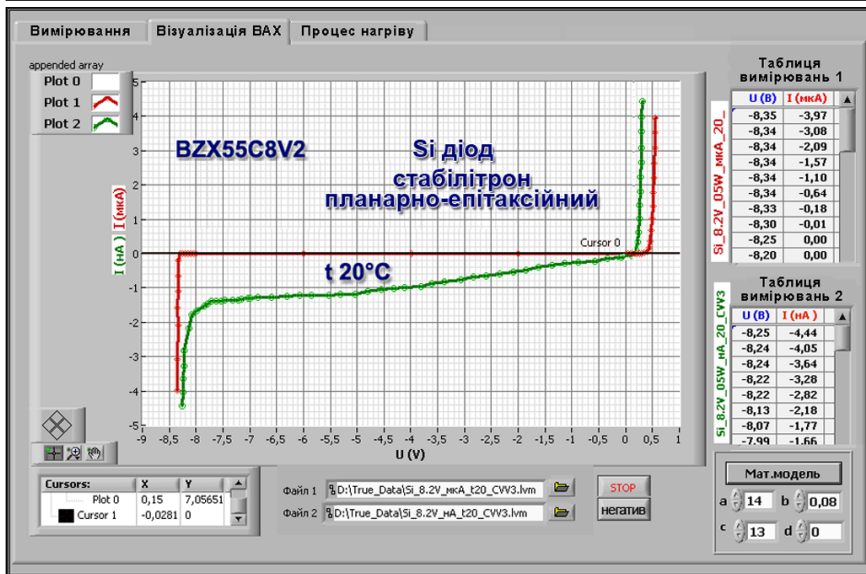


Рис. 7. ВАХ кремнієвого стабілітрона в діапазоні струмів «мкА» і «нА»

2. Розроблений і виготовлений компактний апаратний модуль лабораторної роботи, що дозволяє програмно перемикатися між чотирма досліджуваними зразками, що знаходяться в ZIF-роз'ємах, а також оперативно замінювати будь-який з них.

3. Створений дидактичний сценарій, що складається з трьох блоків: демонстраційного, вимірювального, аналітичного.

4. Використано засоби віддаленого управління (VNC — Virtual Network Computing) з метою підвищення ефективності керування навчальним процесом.

5. Підготовлені покрокові інструкції у форматі PowerPoint з використанням відеодемонстрації необхідних дій щодо підготовки до лабораторної роботи (окрім поліграфічного посібника).

Технічні можливості практикуму дозволяють викладачеві адаптувати хід лабораторної роботи відповідно до підготовленості аудиторії і поточних установок навчального плану. У кожному блоці дидактичний сценарій може бути деталізований з використанням принципів послідовності, повторюваності.

Як перспективи розвитку лабораторного практикуму. в середовищі LabVIEW передбачається розробка нових віртуальних приладів, апаратних модулів, подальше вдосконалення і деталізація дидактичних сценаріїв і подальший аналіз їх ефективності в навчальному процесі.

* * *

Воеводин С. В. Виртуальные измерительные приборы в лабораторном практикуме по твердотельной электронике

Аннотация. В статье описан опыт создания лабораторного практикума по твердотельной электронике в среде LabVIEW с использованием лабораторной платформы NI ELVIS II. Задачи лабораторного практикума состоят в изучение таких полупроводниковых приборов, как диоды, транзисторы и тиристоры различных типов. В отличие от круга задач, решаемых автоматизированными исследовательскими стендами, разработанными на основе виртуальных приборов, в приборах для учебного процесса предусматривается возможность реализации дидактических сценариев практикума. Предложен вариант дидактического сценария практикума, который содержит демонстрационный, исследовательский и аналитический блоки, соответствующие этапам научного познания — наблюдению, гипотезе, теории.

Ключевые слова: метод познания, имитационное моделирование, виртуальный измерительный прибор, дидактический сценарий, LabVIEW.

* * *

Voevodin S.V. Virtual measurement devices in a laboratory workshop on the solid-state electronics

Summary. This article describes the experience of creating the laboratory classes in solid-state electronics with LabVIEW and using a laboratory platform NI ELVIS II. The objectives of the laboratory workshop is to explore different types of semiconductor devices such as diodes, transistors and thyristors. In contrast of the problems solved by automated research stands devel-

oped on the basis of virtual devices, devices for the educational process provides the possibility of implementing the didactic script of training. A variant of the didactic scenario, which includes blocks a demonstration, research and analytical, corresponding of stages of scientific knowledge — observation, hypothesis and theory are proposed.

Keywords: method of cognition, simulation, virtual instruments, didactic scenario, LabVIEW.

Література

1. Батоврин В. К. LabVIEW: практикум по электронике и микропроцессорной технике : учебное пособие для вузов / Батоврин В. К., Бессонов А. С., Мошкин В. В. — М. : ДМК Пресс, 2005. — 182 с.
2. Исследование параметров и характеристик полупроводниковых приборов с применением Интернет-технологий / [Глинченко А. С. Егоров Н. М., Комаров В. А., Сарафанов А. В. — М. : ДМК Пресс, 2008. — 352 с.
3. Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments : сборник трудов конференции. [ЛП.5.Тенденции развития практикумов на платформе NI ELVIS] / Поликарпов И. Л., Бессонов А. С., Мошкин В. В. — М. : Российский университет дружбы народов, 2009. — 443 с.
4. Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments : сборник трудов конференции [ЛП.24. Стенд для обучения работе с цифровой информацией] / Поликарпов И. Л., Поликарпова Т. Н, Храмов Ю. И. — М. : Российский университет дружбы народов, 2009. — 443 с.
5. Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments : сборник трудов конференции [Лабораторный практикум по проектированию аналоговых электронных устройств основе Multisim и NI ELVIS] / Жуков К. Г., Ларистов А. И., Соколов Ю. М. — М. : Российский университет дружбы народов, 2008, — С. 54–56.
6. Closing the Hardware Design Loop with Electronics Multisim and National Instruments LabVIEW [Электронный ресурс] / Shauna L. Rae (Electronics Workbench), Gretchen Edelman, (National Instruments). — Режим доступа : <http://www.electronicworkbench.com/html/suport.html>.
7. Первая Международная конференция «Новые информационные технологии в образовании для всех», тезисы докладов [Використання програми мережевих презентацій на практичних заняттях з комп'ютерних дисциплін] / Воеводин С. В., Трохименко В. С. (КНЭУ), Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем, Кафедра ЮНЕСКО «Новые информационные технологии в образовании» 29–31 мая 2006, Киев, Украина.