

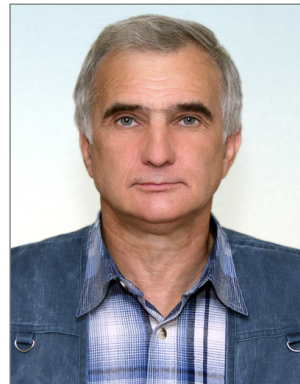
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ У СЕРЕДОВИЩІ NI LABVIEW

Лапінський Віталій Васильович,

завідувач лабораторії навчання інформатики
Інституту педагогіки НАПН України, кандидат
фізико-математичних наук, vit_lap@ua.fm.

Воєводін Сергій Вікторович,

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



Анотація. Викладено досвід розроблення лабораторного практикуму з твердотільної електроніки в середовищі NI LabVIEW. Показано, що віртуальні вимірювальні прилади не лише замінюють звичайні, але й значно розширюють функціональність вимірювального комплексу. З'явилася можливість вбудовувати в дидактичні сценарії алгоритми дій суб'єкта навчання. Використання в цих сценаріях традиційних психодідактичних підходів може збільшити ефективність навчального процесу. Результати аналізу впровадження в навчальний процес практикуму з твердотільної електроніки в середовищі NI LabVIEW підтверджують доцільність створення й впровадження зазначеного практикуму й відповідного апаратно-програмного забезпечення.

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

Сучасні освітні технології шляхом використання імітаційного моделювання, віртуальних вимірювальних приладів, мультимедійних і дистанційних технологій навчання значно розширили можливості практикуму щодо досягнення цілей навчання. Сукупність нових можливостей, забезпечуваних сучасними апаратно-програмними засобами, дозволяє вбудовувати дидактичні сценарії навчання в комп'ютеризований процес навчання. Щоб забезпечити ефективність цього прийому, необхідно проаналізувати можливість використання в цих сценаріях кращих традицій педагогіки і психології, у тому числі можливості планування пізнавальної діяльності з дотриманням принципів послідовності, доступності, наочності, необхідної кількості повторень, а також з урахуванням досягнень теорії пізнання. Для реалізації цих завдань навчальні стенди мають суттєво відрізнятися від автоматизованих вимірювальних комплексів технологічного і наукового призначення. Розроблення навчального процесу з урахуванням вищезгаданих чинників, а також подальший аналіз його ефективності є масштабною методичною і навчально-педагогічною проблемою.

Дослідження можливостей застосування інформаційних технологій у навчанні, зокрема — засобів апаратного забезпечення власне інформаційних технологій, ведуться вже багато років. Автор роботи [8] розвиває теоретичний підхід до використання інформаційних технологій в освіті від засобів традиційної дидактики до нової освітньої парадигми — «зворотного зв'язку» шляхом реалізації активного дидактичного процесу. Інтелектуальне багатоагентне навчальне середовище, яке відстежує дії суб'єкта навчання і адаптується до його рівня оволодіння навчальним матеріалом, поступово ускладнює і деталізує дані щодо об'єкту вивчення, надає можливість виконувати перетворювальну діяльність над ним, має сприяти успішній реалізації сучасних концепцій активного і діяльнісного

навчання. У роботі [9] виокремлено і детально описано основні дидактичні принципи, на яких має базуватися будь-який електронний освітній ресурс, проте в роботі немає опису реалізації хоч би частини зазначених принципів, втілених у конкретному практикумі.

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 намічено педагогічні перспективи напряму, але системному методологічному підходу, якого потребує розроблення сучасного лабораторного практикуму, поки ще не приділено достатньої уваги.

Науковий метод пізнання, покладений в основу всіх досягнень сучасної науки і техніки, може служити ключем до організації свідомої пізнавальної діяльності учнів. Побудова навчального процесу на основі наукового методу пізнання забезпечує необхідний перехід від пасивного методу навчання до активного, від репродуктивного рівня засвоєння навчального матеріалу до творчого і може стати мотиватором стійкого інтересу до навчання, пізнавального інтересу. Важливим елементом формування мотивації пізнавального інтересу завжди вважалась наявність можливості у суб'єкта навчання можливості виконання перетворювальної діяльності над об'єктом вивчення. Така можливість може бути забезпечена або наданням можливості суб'єкту навчання виконувати певні дії з монтування зв'язків у логічних схемах на рівні макрооб'єктів (з паяльником), або виконання зазначених дій з програмними моделями реальних об'єктів. До того ж, з кожним роком розвиток ІТ усе більш випереджає можливість оновлення апаратного складника ІТ засобів.

Актуальною стає проблема заміни застарілої лабораторної техніки, що ставить розробника освітніх технологій перед вибором:

- обладнати навчальну лабораторію дорогими сучасними вимірювальними приладами;
- відмовитися від реального експерименту, замінивши його імітаційним комп'ютерним моделюванням;
- перейти до використання віртуальних вимірювальних приладів, залишаючи реальним об'єкт навчального дослідження.

Останній варіант дозволяє, використовуючи звичайний офісний персональний комп'ютер, за допомогою устаткування введення/виведення (багатоканальний ЦАП/АЦП) і відповідного програмного забезпечення реалізувати інтерфейси як типових вимірювальних приладів, так і унікальних приладів спеціального призначення, забезпечивши натурний експеримент з об'єктом вивчення без надмірних матеріальних витрат. Крім того, згенеровані програмним середовищем сигнали можуть бути перетворені на аналогові і передані на реальні об'єкти. Результати реального експерименту можуть бути зіставлені в одному програмному середовищі з результатами імітаційного моделювання.

Лабораторний практикум у навчальному процесі займає особливе місце, відповідаючи етапам спостереження, експерименту і практичного використання в науковому методі пізнання. Тому навчальний процес, як і процес наукового пізнання, не можна вважати завершеним без практичної перевірки (рис. 1). Лабораторний практикум дає можливість майбутньому інженерові набути необхідні вміння й навички, сприяє створенню фундамента для дослідницької і творчої діяльності майбутнього вченого.

Виконання лабораторних робіт є важливим педагогічним прийомом у викладанні природничо-наукових дисциплін. Маніпулювання матеріальними об'єктами (перетворювальна діяльність над об'єктом вивчення) допомагає розвинути у студента асоціативні зв'язки, необхідні для глибокого розуміння предмету, що вивчається, сприяє зв'язку абстрактного і предметно зорієнтованого мислення, а у майбутніх інженерів ще і формуванню початкових навичок і умінь, необхідних для успішного оволодіння вибраною спеціальністю. Ефективність цього прийому залежить від того, які завдання поставлені перед курсом лабораторних робіт, на якій приладовій базі вони побудовані.

Науково-технічний прогрес останніх десятиліть привів до того, що традиційні, консервативні підходи в організації лабораторного практикуму у вишах і загальноосвітніх навчальних закладах уже не дозволяють підтримувати ефективність навчального процесу на необхідному рівні. Актуальні науково-технічні розробки у тій же мірі зіткнулися з проблемами лабораторного устаткування і методик лабораторних досліджень.

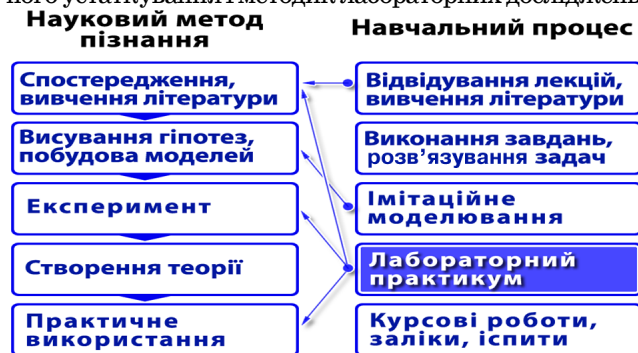


Рис. 1. Місце лабораторного практикуму в навчальному процесі

Значних успіхів у розв'язанні зазначених проблем udało досягти завдяки комп'ютеризації самого процесу вимірювання фізичних величин. Важливою віхою на цьому шляху стала поява нової категорії приладів — віртуальний вимірювальний прилад (ВП).

Еволюція вимірювальних приладів від простого відображення вимірюваної величини до складної обробки результатів, передачі даних через комп'ютерні мережі йшла через появу спочатку виходу на порт, потім на USB шину комп'ютера зі збереженням у приладовій частині первинного перетворювача шкали або цифрового табло. Прилади, для яких відображуюча частина безпосередньо в місці вимірювання не обов'язкова, втратили ці елементи конструкції, зберігши сенсорну частину й аналого-цифровий і цифро-аналоговий перетворювачі (АЦП/ЦАП).

Обробка отриманого сигналу і засобу його відображення перемістилися в комп'ютер. Назва «віртуальний прилад», що закріпилася за такими приладами, а в англійському варіанті «Virtual Instrument» (VI) — передбачає роботу не лише з джерелами реальних сигналів, але і з їх імітацією програмами імітаційного моделювання.

Віртуальні прилади мають велику гнучкість, дозволяючи конструювати і перенастроювати інтерфейс, комбінувати їх з іншими приладами, одночасно з вимірюваннями проводити опрацювання результатів (формування подання у вигляді графіків, діаграм, таблиць, файлів, елементів баз даних). Вимірювання можуть відбуватися в розподілених системах; об'єкти вимірювання і опрацювання і збереження даних можуть бути розподілені в просторі і часі. Створені для професійного використання, віртуальні вимірювальні прилади вдало інтегруються в навчальний процес.

Найбільш вдалого поєднання можливостей імітаційного моделювання, віртуальних вимірювальних приладів і мови їх графічного програмування вдалося досягти компанії National Instruments (NI) у програмно-апаратному комплексі NI LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench).

Мова графічного програмування «G» (джерей), використана в LabVIEW, дозволяє самостійно створювати інтерфейс вимірювальних приладів і розширювати їх функціональні можливості, не вимагаючи від користувача кваліфікації програміста. Наразі компактність кодів програми, автоматично згенерованої на мові «С», погіршується не більше ніж на 5% порівняно з «чистими» кодами ручного програмування. За рахунок вдалої концепції розробки додатків LabVIEW займає більш ніж 70% -ий сегмент ринку в програмуванні для інженерних систем в промисловості, науці й освіті, потіснивши програмування на Visual Basic і ручне програмування на мові «С».

Висока ефективність запропонованих рішень зробила середовище графічного програмування LabVIEW стандартом де-факто в галузі розроблення контрольно-вимірювальних і автоматизованих систем [4]. Доступність віртуальних приладів через комп'ютерні мережі відкриває широкі можливості для моніторингу, збору даних і управління віддаленими об'єктами (у тому числі по локальній мережі підприємства).

NI LabVIEW, разом із професійною спрямованістю, має багаті можливості для використання у навчальному процесі. Лабораторні роботи, що базуються на технологіях National Instruments, дозволяють підвищити якість викладання природничих дисциплін,

при цьому істотно заощаджуючи витрату коштів, у тому числі на використання натурних моделей об'єктів вивчення й експериментування над ними із застосуванням реальних вимірювальних приладів. Суттєве зменшення вартості обладнання зумовлюється, насамперед, тим, що будь-який лабораторний практикум, зокрема з мікроелектроніки, який складається з 10–12 робіт, обов'язково матиме у своєму складі три — чотири високо вартісних приладів, що використовуватимуться лише в одній — двох роботах, тобто коефіцієнт використання обладнання буде недопустимо низьким. Використання ж середовища LabVIEW у лабораторному практикумі дозволяє створювати і використати такі прилади, наприклад, вимірювач частоти і часових інтервалів, характеріограф та інші, що мають порівняно із звичайними підвищену функціональність і набагато меншу одиничну вартість (рис. 2).

Середовище LabVIEW поєднує можливості проведення вимірів на реальних об'єктах з широкими можливостями імітаційного моделювання. У навчальному процесі можуть використовуватися лабораторії, повністю основані на імітаційному моделюванні, їх іноді називають віртуальними лабораторіями.

Програмно апаратний комплекс NI LabVIEW у сполученні з лабораторною платформою NI ELVIS — NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite, або комплект віртуальних вимірювальних приладів для навчальних лабораторій, дозволяє, використовуючи багатофункціональну плату введення/виведення, макетний конектор, віртуальні вимірювальні прилади, робити виміри характеристик реальних електронних компонентів і схем, навчати студентів роботі з приладами різного типу, як звичайних, з управління ручками на лицевій панелі, так і програмно керованими, віртуальними, працюючими у середовищі NI LabVIEW (рис. 3).

У настільній робочій станції NI ELVIS апаратно реалізовані функціональний генератор і регульовані блоки живлення. Спроектвані в LabVIEW лицьові панелі вимірювальних приладів (Soft Front Panel — SFP) об'єднують функціональність DAQ-пристрою (модуля введення-виведення) і робочої станції NI

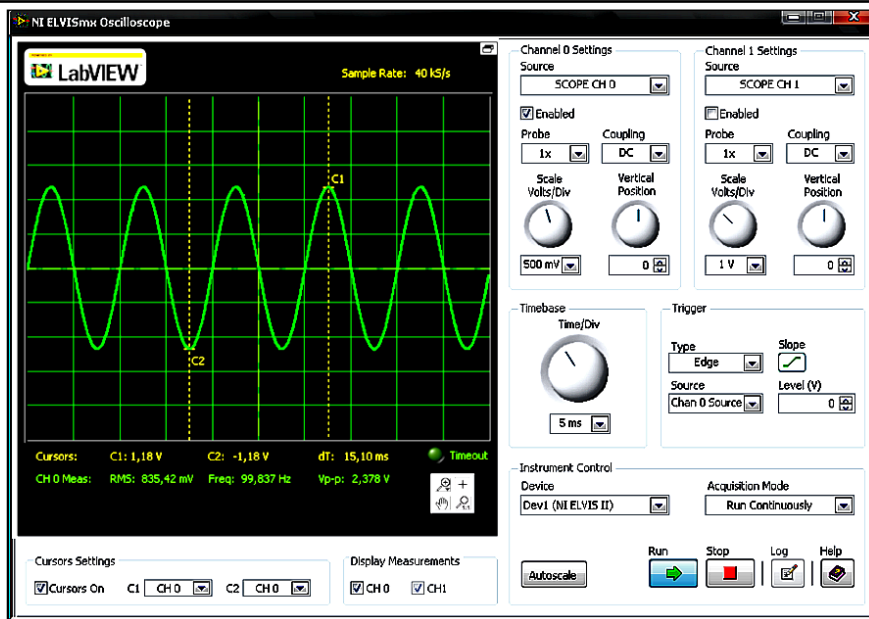


Рис. 2. Віртуальний осцилограф, створений у середовищі LabVIEW

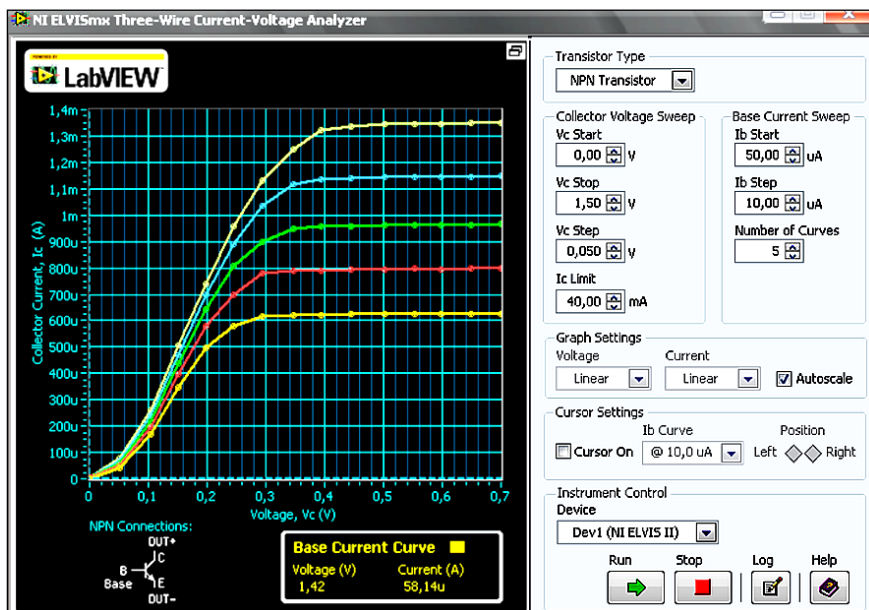


Рис. 3. Віртуальний характеріограф, створений у середовищі LabVIEW

ELVIS, надаючи можливість роботи з таким переліком приладів:

- генератор сигналів довільної форми (Arbitrary Waveform Generator — ARB);
- аналізатор амплітудно- і фазочастотних характеристик (Bode Analyzer);
- обладнання читання з цифрової шини (Digital Bus Reader);
- обладнання запису на цифрову шину (Digital Bus Writer);
- цифровий мультиметр (Digital Multimeter — DMM);
- аналізатор спектру (Dynamic Signal Analyzer — DSA);
- функціональний генератор сигналів (Function Generator — FGEN);

- аналізатор імпедансу (Impedance Analyzer);
- осцилограф (Oscilloscope — Scope);
- аналізатор вольт амперних характеристик двополосників (Two-Wire Current Voltage Analyzer);
- аналізатор вольтамперної характеристики триполосників (Three-Wire Current Voltage Analyzer);
- регульовані джерела живлення (Variable Power Supplies).

Поєднання середовищ LabVIEW (віртуальні прилади), Multisim (імітаційне моделювання), Ultiboard (проекування друкованих плат) в розробці електронних пристроїв дозволяє реалізувати «за-

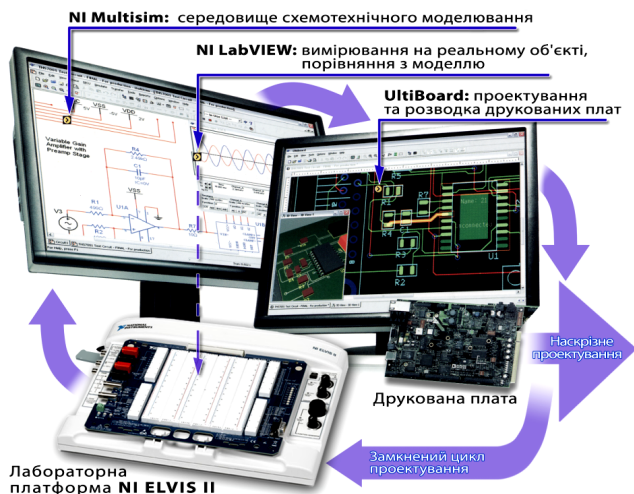


Рис. 4. Замкнений цикл проектування і наскрізне проектування з використанням лабораторної платформи ELVIS II

мкнений цикл проектування» і «наскрізне проектування», що забезпечує доопрацювання проекту в середовищах проектування без виготовлення проміжних зразків.

Реалізація цих принципів у сценаріях навчального процесу дає навички творчої діяльності ще на етапі навчання, сприяючи розвитку компетентнісного підходу в освіті.

Дослідження математичних моделей, як складової частини наукових теорій, є важливим етапом і процесу навчання. Імітаційне моделювання є окремим випадком математичного моделювання і дозволяє досліджувати не саме явище, а його імітаційну модель — логіко-математичний опис об'єкта, який може бути використаний з метою проектування, аналізу та оцінки його функціонування.

Вдале поєднання графічного програмування, зручного введення даних, швидкісних обчислень, анімації і наочного представлення результатів дозволяє створювати переконливу ілюзію спостереження фізичних процесів (іноді в реальному масштабі часу) з точною імітацією поведінки реальних об'єктів. Така сукупність методів і засобів, зазвичай звана «simulation», відповідає сучасному уявленню про імітаційне моделювання.

Авторами розроблено лабораторний практикум з курсу «Комп'ютерна схематехніка», у якому використовується програма імітаційного моделювання NI Multisim. До складу цифрових схем обчислювальної техніки в практикум уведено нові схемо-технічні рішення з використанням багатфункціональних і багаторівневих елементів пам'яті, здатні змінювати конфігурацію станів, які запам'ятовуються, що принципово неможливо здійснити на сучасних тригерах пам'яті [2, 12].

Усе більш широке використання віртуальних комп'ютерних технологій у навчальному процесі — сучасна світова тенденція у вищій освіті. Створення віртуальних вимірювальних приладів поширює цю тенденцію і на лабораторний практикум. Особливо актуально це для інженерних спеціальностей, де лабораторної роботи складають до 40% часу від загальної тривалості аудиторного заняття.

Поглиблене вивчення моделей фізичних явищ, а також постановка лабораторного практикуму на реаль-

них об'єктах з використанням віртуальних вимірювальних приладів готує майбутнього фахівця до безконфліктного входження у світ інформаційних технологій, дозволяє змінити методологію лабораторної роботи, наблизити її до дослідницької. Майбутні інженери набувають навичок використання сучасних вимірювальних приладів і комплексів, проектування в програмних середовищах, які стають основним інструментом розробника. З'являється можливість проведення більш глибокого аналізу отримуваних даних і якісно нового засвоєння методів і законів фізики. Студент за відносно короткий час може творчо перевірити, осмислити і засвоїти важливі для розуміння закономірності, асоціативно зв'язати реальний прилад і його модельні уявлення.

Комп'ютеризація навчального процесу також дозволяє використання середовищ дистанційного навчання, електронних освітніх ресурсів, мережевої взаємодії, ефективних засобів поточного і підсумкового контролю, накопиченню статистики параметрів навчального процесу. Позаяк, як і будь-яка інновація у навчальному процесі, кожен з використаних прийомів потребує адаптації до конкретних умов і оцінювання досягнутої ефективності. Слід також приділити увагу змісту «залишкових знань», які студент може використати поза комп'ютерними середовищами (тієї частини вивченого матеріалу, яка залишається в пам'яті на багато років, має у своїй основі три компоненти: запам'ятовування матеріалу, його розуміння й уміння застосовувати в практичній або науковій діяльності — тобто основним засадам формування предметної компетентності).

Отже, створення лабораторного практикуму, що спирається на віртуальні вимірювальні прилади, середовище візуального програмування, результати імітаційного моделювання, фіксація практикуму в електронному вигляді, припускає створення електронного освітнього ресурсу (ЕОР) [7]. Можливість повторного і регулярного використання ЕОР у навчальному процесі, а також його необмежене тиражування дозволяють підвищувати ефективність навчання, адаптувати процес навчання до рівня підготованості студента. Зазначений підхід характерний для відкритих систем (ВС). ЕОР ВС може бути ефективно використаний і за межами навчального закладу, у якому він був створений. Під час створення таких ЕОР уже не можна не враховувати вимог стандартів, що регламентують життєвий цикл складних комплексів програм й інформаційних систем (ЖЦПС) [10]. Це необхідно для забезпечення надійності функціонування і безпеки застосування, полегшення модернізації і розвитку версій.

Практикум у середовищі LabVIEW може стати одним з компонентів науково освітнього середовища університету, зокрема, «Середовища обслуговування освітньої діяльності і контролю знань» і «Середовища науково-дослідної діяльності». Поєднання програмних середовищ, віртуальних вимірювальних приладів дозволяє вбудовувати дидактичні сценарії в хід навчального процесу у поєднанні з поліпшенням його технічної забезпеченості.

Творчі завдання, реалізовані в дидактичних сценаріях, дозволяють наблизити навчальний процес до втілення принципів, закладених у науковому методі пізнання, підготувати майбутніх фахівців до активного включення в роботу на передньому краї науково-

технічного прогресу. Утілення принципів наукового методу пізнання у навчальний процес, управління пізнавальною діяльністю студентів за допомогою дидактичних сценаріїв, педагогічно доцільне і дидактично обґрунтоване застосування віртуальних приладів й імітаційного моделювання дозволяють поліпшити якість викладання науковоприродничих дисциплін.

Використання програмного середовища і мови об'єктно-орієнтованого графічного програмування NI LabVIEW в навчальному процесі забезпечує для учасників навчального процесу можливість:

- зробити процес конструювання і налаштування віртуальних вимірювальних приладів доступним для широкого кола осіб, які не є професійними програмістами;
- практично одночасно з процесом вимірів проводити обробку результатів, виводячи їх відразу ж у вигляді графіків, діаграм, таблиць, або зберігаючи у вигляді файлу або елемента бази даних за заданого алгоритму;
- реалізувати інтерфейс і функціональні можливості низки вимірювальних приладів, недоступних для придбання в апаратному виконанні і дати навички їх практичного використання;
- відтворити основні етапи сучасних розробок, а саме: моделювання (наприклад, MultiSim, PSPICE в електроніці);
- вимірювання віртуальними приладами параметрів реального об'єкта;
- порівняння даних, отриманих в експерименті над моделлю і над реальним об'єктом;
- отримання даних, необхідних для вдосконалення об'єкта або моделі;
- убудовувати дидактичні сценарії в навчальний процес;
- провести вимірювання на реальному об'єкті (модулі) доступними через мережу або засоби дистанційного навчання;
- підготувати випускників до безконфліктного входження в сучасне інформаційне середовище.

Як перспектива розвитку лабораторного практикуму, у середовищі LabVIEW передбачається розроблення нових віртуальних приладів, подальше вдосконалення і деталізація дидактичних сценаріїв і подальший аналіз їх ефективності в навчальному процесі.

* * *

Лапинский В. В., Воеводин С. В. Лабораторный практикум в среде NI LabVIEW

Аннотация. Изложен опыт разработки лабораторного практикума по твердотельной электронике в среде NI LabVIEW. Показано, что виртуальные измерительные приборы не только заменяют обычные, но и значительно расширяют функциональность измерительного комплекса. Появилась возможность встраивать в дидактические сценарии алгоритмы действий субъекта обучения. Использование в этих сценариях традиционных психодидактических подходов может увеличить эффективность учебного процесса. Результаты анализа внедрения в учебный процесс практикума по твердотельной электронике в среде NI LabVIEW подтверждают целесообразность создания и внедрения указанного практикума и соответствующего аппаратно-программного обеспечения.

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

* * *

Lapinsky Vitaly, Voevodin Sergei. Laboratory workshop environment on the base of NI LabVIEW

Abstract. The experience of the development of laboratory works on solid state electronics in the environment NI LabVIEW. It has been shown that virtual instrumentation not only replaces the conventional, but also significantly extend the functionality of a measuring complex. Now you can build into didactic scenario algorithms actions of the subject of study. Use these scenarios psycho didactical traditional approaches can increase the efficiency of the educational process. The results of the analysis of the implementation in the educational process workshop on solid state electronics in the environment NI LabVIEW confirm the feasibility of the creation and implementation of this workshop and the associated hardware and software.

Keywords: simulation, virtual instruments, didactic scenario, LabVIEW simulation, virtual instruments, didactic scenario, LabVIEW.

ЛІТЕРАТУРА

1. Батоврин В. К. LabVIEW: практикум по электронике и микропроцессорной технике : учебное пособие для вузов / В. К. Батоврин, А. С. Бессонов, В. В. Мошкин. — М. : ДМК Пресс, 2005. — 182 с.
2. Вторая Международная конференция «Новые информационные технологии в образовании для всех: состояние и перспективы», сб. докладов [Имитационное моделирование цифровых логических схем и учебный процесс] / проф., д. т. н. Мараховский Л. Ф., проф., к. т. н., Шарапов А. Д., Воеводин С. В., Михно Н. Л., 21–23 ноября 2007, Киев, Украина, IRTC 2007, стр. 268–275.
3. Глинченко А. С. Исследование параметров и характеристик полупроводниковых приборов с применением Интернет-технологий / А. С. Глинченко, Н. М. Егоров, В. А. Комаров, Сарафанов А. В. — М. : ДМК Пресс, 2008. — 352 с.
4. Джеффри Тревис. LabVIEW для всех. Третье издание / Джеффри Тревис Джим Кринг. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 880 с.
5. Компьютерная схемотехника: практикум для бакалавров специальности «Интеллектуальные системы принятия решений» / Л. Ф. Мараховский, Шарапов О. Д., Воеводин С. В., Михно Н. Л. — К. : КНЕУ, 2009. — 245 с.
6. Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments – сборник трудов конференции. [ЛП.5.Тенденции развития практикумов на платформе NI ELVIS] / Батоврин В. К., Бессонов А. С., Мошкин В. В. — М. : Российский университет дружбы народов, 2009. — 539 с.
7. Российская система открытого образования. Генеральная сетевая конференция [Развитие электронных образовательных ресурсов и технологий.] / В. К. Батоврин. Режим доступа: <http://conf.sssu.ru/phorums/read.php?f=32&i=126&t=8>
8. Управление информационными ресурсами образовательных, научных и производственных организаций, сб. материалов Всероссийской научной школы для молодежи 18–25 октября 2009 г. / под общ. ред. В. П. Семенова, З. М. Уметбаева, Г. Н. Чусавитиной, Л. З. Давлеткиреевой [Использование агентного подхода для разработки обучающей среды как средство обеспечения активного дидактического процесса] / Г. С. Дернов, ГОУ ВПО «Уральский государственный университет». — Магнитогорск : МаГУ, 2009. — 270 с.
9. Управление информационными ресурсами образовательных, научных и производственных организаций : сб. материалов Всероссийской научной школы для молодежи 18–25 октября 2009 г. / под общ. ред. В. П. Семенова, З. М. Уметбаева, Г. Н. Чусавитиной, Л. З. Давлеткиреевой [Реализация дидактических принципов обучения в компьютерных учебных курсах] / Т. М. Шамсутдинова, ФГОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет». — Магнитогорск : МаГУ, 2009. — 270 с.
10. Электронный журнал «Инженерное образование». Институт системного программирования РАН. / [Стандарты, регламентирующие жизненный цикл сложных комплексов программ информационных систем] / Липаев В. В. д. т. н., №8 2005. — Режим доступа: <http://www.techno.edu.ru:16001/db/msg/26890.html>.
11. 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/support.html>.