

Интегративный подход к преподаванию схемотехники аналоговых электронных устройств в программно-аппаратной среде NI ELVIS

Современные дипломированные специалисты нуждаются в навыках работы с электронными устройствами. На лабораторных работах студенты проводят эксперименты по решению практических задач исследования реальных проблем, возникающих в проектировании и эксплуатации электронных устройств. Однако нехватка лабораторного оборудования, его высокая стоимость и недостаток лаборантов для обслуживания и помощи в работе уменьшает качество выполнения лабораторных работ. С другой стороны, современное образование всё больше и больше использует сетевой ресурс. У виртуальных лабораторий есть свои преимущества, но даже при проведении в них физического эксперимента пропадает ощущение реальности происходящего. Эффективные решения эффективности и качества проведения лабораторных занятий могут быть найдены при помощи системы виртуальных приборов, которые могут быть доступны через Интернет или непосредственно в университете.

Цель исследования состоит в том, чтобы на примере одного экспериментального устройства, выполненного на платформе ELVIS компании National Instruments, показать преимущества комбинированного подхода к обучению — удачного сочетания виртуального ресурса и реального физического эксперимента. Описываемый в статье лабораторный макет весьма практичен для изучения радиотехнических устройств, и он идеологически может служить основой для других подобных разработок.

Основу исследования составили макетная плата по изучению основ аналоговой электроники для рабочей станции NI ELVIS, цикл лабораторных работ по общетехнической дисциплине

«Электроника», результаты их защиты и итоги промежуточных контролей студентов. В работе использованы методы: лабораторного эксперимента, моделирования, педагогическое тестирование.

Результаты исследования показывают, что студенты испытывают потребность в большем знании о реальных процессах и системах. Это потребность наиболее очевидна на направлении подготовки бакалавров техники и технологий. Они ожидают от лабораторных работ реальный физический эксперимент, но с удобством компьютерной обработки результатов. Новая парадигма изучения радиоэлектронных устройств на основе физических экспериментов в системе виртуальных приборов дает улучшение качества обучения и позволяет студентам эффективно изучать схемотехнику аналоговых устройств. Идеология виртуальных приборов приводит к большей мотивации студентов, они получают навыки работы с современным измерительным оборудованием и одновременно навыки коммуникации в группе, так как компьютерный ресурс используется как инструмент исследования, а не цель обучения.

Физический эксперимент с использованием виртуальных измерительных приборов, доступность и мобильность лабораторных установок, дополнительная мотивация обучающихся являются главными преимуществами использования в учебном процессе аппаратно-программной платформы NI ELVIS со специализированной макетной платой.

Ключевые слова: виртуальный прибор, методология образования, схемотехника, платформа NI ELVIS, системный подход

Oleg V. Stukach^{1,2}, Arman B. Mirmanov²

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

² S.Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Republic of Kazakhstan

Integrative Approach to Teaching of the Circuit Design of Analog Electron Devices in the NI ELVIS Platform

Modern graduates need to work with electronic devices. On laboratory work, students conduct experiments to solve practical problems of researching real problems that arise in the design and operation of electronic devices. However, the shortage of laboratory equipment and assistants for maintenance and assistance in work, its high cost reduce the quality of laboratory work. On the other hand, modern education is increasingly using a network resource. Virtual laboratories have their advantages, but even when carrying out a physical experiment in them, the sense of the reality of what is happening disappears. Effective solutions to the effectiveness and quality of conducting laboratory exercises can be found using a system of virtual instruments that can be accessed via the Internet or directly at the university.

The aim of the research is to show, by the example of one experimental device made on the National Instruments ELVIS platform, the advantages of a combined approach to learning — a successful combination of a virtual resource and a real physical experiment. The laboratory model described in the article is very practical for studying radio-engineering devices, and it can ideologically serve as a basis for other similar developments.

The research was based on the prototype board for studying the basics of analog electronics for the NI ELVIS workstation, the cycle of laboratory work on the general technical discipline “Electronics”, the results of their protection, and the results of intermediate student controls. In work the following methods are used: laboratory experiment, modeling, pedagogical testing.

The results of the research show that students feel the need for more knowledge about real processes and systems. This need is most evident in the direction of the preparation of bachelors of engineering and technology. They expect from a laboratory work a real physical experiment, but with the convenience of computer-processing results. A new paradigm for studying radio electronic devices, based on physical experiments in a virtual instrument system gives an improvement in the quality of instruction and allows students to study the circuitry of analog devices more effectively. The ideology of virtual instruments leads to more motivation for students; they gain skills to work with modern measuring equipment

and at the same time communication skills in a group, as the computer resource is used as a research tool, not the purpose of learning.

A physical experiment, using virtual measuring instruments, accessibility and mobility of laboratory facilities, additional motivation of students are the main advantages of using the NI ELVIS hardware and software platform with a specialized breadboard model in the educational process.

Keywords: virtual tool, methodology of education, circuit design, NI ELVIS platform, system approach.

Введение

Стратегическое направление деятельности исследовательских университетов как организаций, главная задача которых – проведение научных исследований и обучения студентов на этой основе, влечёт за собой изменение приоритетов в методологии обучения: вовлечение каждого студента в разработки и исследования. Постепенный отказ от полурасовых классических лекций в поточных аудиториях привёл к тому, что основная часть нашей образовательной деятельности имеет место в научных лабораториях. При этом не ставится цель вовлечь в науку всех студентов старших курсов. Обучение – это деятельностный процесс, в котором нужно не просто разобраться в проблеме путём чтения литературных источников, но сделать что-либо своими руками. Это может быть и повторение студентом, то есть переоткрытие уже известного знания или добывание нового. Поэтому нам необходимы различные экспериментальные устройства с высоким дидактическим и мотивационным воздействием, простые в использовании и, если возможно, недорогие. Необходимо также учитывать, что у современного студента ещё со школы сформировано компьютерное мышление, следствием которого является то, что реальный физический эксперимент уже воспринимается как чудо.

Лабораторные эксперименты – основа инженерного образования. Учебные ла-

боратории используются для достижения целого ряда задач обучения, таких как средство оценки результатов обучения, решение технических задач, разработка экспериментов, использование современных технических средств. Не менее важными являются результаты, которые косвенно связаны с проведением эксперимента, например, профессиональная этика, самостоятельная работа, большая ответственность за результат и оборудование.

В последнее время много уделяется внимания дистанционным курсам, где важную роль играет виртуализация. Цифровые технологии доминируют, Интернет стал частью жизни студенческой молодежи, все это приводит к размытию границ границы между физическими и виртуальными видами деятельности. Тем не менее, существует много моментов в учебных программах на базе университета, которые трудно реплицировать в онлайн-среде. Жизнь более реальна, чем учебная виртуальная лаборатория. Особенно это заметно в технических науках, где заменять реальный эксперимент не целесообразно. Однако, использовать стандартный подход к учебным программам, где каждая лаборатория требует вспомогательных инструментов для измерений и анализа, уже не эффективно. В этом аспекте, логичным является использование виртуализации измерительных приборов, применение технологий подобных National Instruments. Организация такой лаборатории имеет преимущество в том, что сту-

денты получают доступ к широкому спектру инструментов и методов измерения, при этом не теряется связь с реальными экспериментами. Обширный набор измерительных виртуальных приборов, реализованных на компьютере, позволяют эффективно использовать ресурсы лабораторий кафедры, делая их универсальными.

На основе обзора методологических основ преподавания дисциплин, связанных с изучением характеристик и принципов работы радиоэлектронных устройств, сделан вывод о необходимости использования новых методологических подходов к преподаванию и поддерживающих их технических платформ, в большей степени основанных на возможностях учебной станции NI ELVIS. Реконфигурация устоявшихся методов преподавания электроники привело к созданию специального цикла лабораторных работ. Основными критериями [1, 2] при разработке которых стало: 1. Уменьшение количества задач в лабораторной работе, и сохранение наиболее важных; 2. Нестандартный формат проведения среза знаний по выполненной лабораторной работе, проявляемый в едином уровне требований для всех обучающихся, минимальном времени и акценте на более важные знания, подчеркнутые при выполнении эксперимента; 3. Разбивка лабораторных работ на двухнедельное выполнение, это способствует тому, что студент концентрируется на одной теме, уделяет больше времени более глубокому

анализу и подготовке, чем при большом количестве различных новых тем.

В этой статье будет описан процесс внедрения макетной платы «Электроника» для универсальной учебной экспериментальной установки NI ELVIS. Основное внимание уделяется исследованию влияния подобных инженерных лабораторий в области электротехники и, в частности, изучение отзывов и результатов успеваемости студентов. Кроме того, представлены рекомендации, которые могут быть использованы как преподавателями, так и разработчиками схожих макетных плат. Мы предлагаем всем заинтересованным сторонам воспользоваться этим опытом и улучшить преподавание соответствующих дисциплин.

1. Интегративный виртуально-реальный подход к обучению

Сильное влияние компьютерных технологий на современное общество, разработка и производство аппаратно-программных средств управления, автоматизации, диагностики и моделирования приводит к виртуализации инженерного образования. К этому добавляется недостаток лабораторного оборудования, его высокая стоимость и нехватка лаборантов для обслуживания. Объективное снижение качества обучения при этом не является очевидным, хотя ряд исследователей уже отмечают это [3–5]. С другой стороны, широкое использование сетевого ресурса на всех стадиях жизненного цикла разработки изделий сокращает время освоения новой техники и выхода продукции на рынок. В силу финансовых ограничений лабораторная и экспериментальная база университетов морально и физически устаревает, а быстрое обновление современной техники требует от университетов

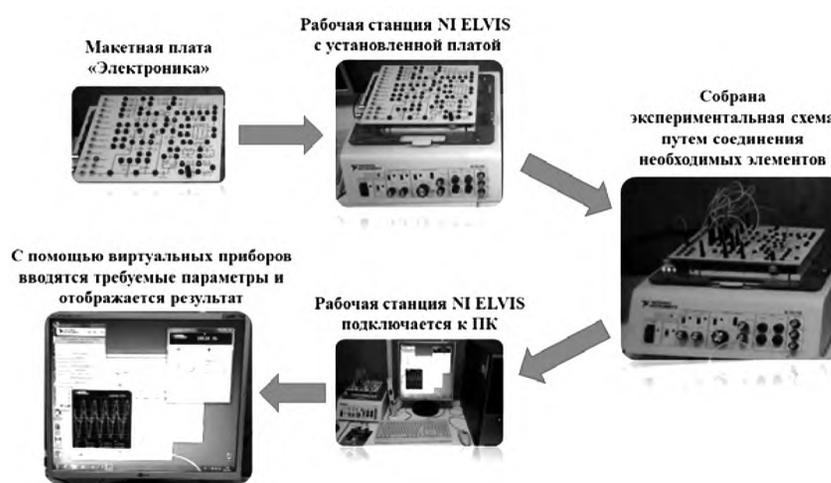


Рис. 1. Рабочая станция NI ELVIS с макетной платой аналоговой радиоэлектроники. Процесс подключения

непрерывно адаптироваться к запросам промышленности. Реальная лабораторная и экспериментальная база не в состоянии поддерживать учебный процесс на должном уровне.

Ряд исследователей в этой связи видят единственный выход из создавшегося положения в переходе к идеологии виртуальных лабораторий. Мировая вузовская практика подтверждает усиливающуюся тенденцию продвижения виртуальных технологий в учебный процесс. В работе [6], например, сетевой ресурс используется для обучения технологии и технике связи. Там же дан хороший обзор сетевых лабораторий. В противоположность этому в [7] пропагандируется современный экспериментальный стенд под управлением LabVIEW. В работе [8] авторы считают, что виртуальная лаборатория не должна быть прямой заменой реальной и должна служить дополнением физическим лабораториям в учебном плане. Поэтому среди ожидаемых результатов обучения студентов важно предусмотреть компетенции, связанные с работой с современными аппаратно-программными средствами, в том числе с использованием технологии виртуальных приборов. В частности, работа в виртуаль-

ной лаборатории предполагает, что структура исследуемой системы определена заранее и не может изменяться абсолютно произвольным образом.

2. Лабораторное оборудование NI ELVIS

Оборудование компании National Instruments, аппаратно поддерживающее технологию виртуальных приборов, и соответствующая программная среда LabVIEW позволили модернизировать учебные лаборатории гибким программно перестраиваемым измерительным оборудованием. Платформа ELVIS обладает функциональными возможностями набора привычных измерительных приборов. Среда графического программирования LabVIEW обеспечивает создание требуемых для эксперимента виртуальных измерительных приборов различного назначения.

Рабочая станция, плата сбора данных и компьютер (рис. 1) оперирует не с виртуальными, а с реальными физически существующими объектами радиоэлектроники и позволяет экспериментировать с реальными сигналами, что выгодно отличает ее от виртуального моделирования.

Исследуемые элементы схем аналоговой радиоэлектроники

размещены на специально разработанной на кафедре плате, которая устанавливается на станции ELVIS. Преимущество данной платы состоит в использовании для студенческих экспериментов проводов с дешёвыми вилками и гнездами, а не оригинальных перемычек от National Instruments и радиоэлементов, что абсолютно невозможно в условиях учебной лаборатории. Наша плата расположена над макетной платой станции ELVIS, на ней изображена принципиальная схема и гнезда подключения перемычек. Имеется два варианта платы для модификаций ELVIS-I и ELVIS-II.

В левой части платы расположены монтажные гнезда, соединённые с входами и выходами всех виртуальных измерительных приборов станции ELVIS. На остальной части платы расположены радиоэлементы. Соединяя их перемычками, можно получать различные схемы аналоговой электроники, как рекомендованные для лабораторных работ, так и выбранные студентом самостоятельно.

Программная среда разработки предоставляет готовые виртуальные приборы и средства для создания и обеспечения виртуальной лаборатории. Но весь цикл работ выполняется на реальном оборудовании, а не моделируется. Тем самым реализуется важный принцип обучения инженера – проведение физического эксперимента и получение действительных характеристик исследуемых элементов и схем.

Разработано методическое обеспечение лабораторного цикла по общетехнической дисциплине «Электроника» [9]. В этом пособии комплексно решён ряд вопросов создания информационной образовательной среды обучения. В частности, студент имеет возможность выбора тематики лабораторной работы из цикла работ и выбора для исследова-

ний набора схем в каждой из работ. Каждый студент имеет персональное рабочее место, что позволило уйти от бригадной технологии проведения работ, написания и защиты отчёта. Пособие опубликовано в университетской интрасети, что позволяет подготовиться к работе, уяснить её цели и задачи, изучить принцип работы принципиальных схем в предполагаемом эксперименте, изучить методики измерения требуемых характеристик и параметров.

Цикл лабораторных работ состоит из следующих основных разделов:

- Ознакомление с работой в программно-аппаратной среде NI ELVIS;
- Диодные схемы;
- Режимы работы биполярного транзистора;
- Линейные усилителей гармонических сигналов и усилители мощности;
- Передача импульсных сигналов в резистивном усилительном каскаде;
- Типовые схемы включения операционных усилителей;
- Функциональное применение операционных усилителей (линейные и нелинейные преобразования сигналов);

– Автогенераторы на операционных усилителях.

3. Технология виртуальных приборов

Виртуальный инструмент (VI) – программно-определённая система, где программное обеспечение, основанное на требованиях пользователя, определяет функциональность универсального измерительного оборудования [10].

Традиционные и виртуальные инструменты используют одни и те же функциональные подсистемы, но отличаются тем, как применяется программное обеспечение (рис. 2). В традиционном производителе определяет правила пользования, за счет прошивки устройства, в отличие от виртуальных, где открытое программное обеспечение позволяет настроить инструмент для различных задач пользователя.

К преимуществам программных виртуальных инструментов можно отнести:

- Универсальность системы за счет перенастройки ПО;
- Адаптация под требуемые задачи пользователя;
- Повышение срока службы инструмента за счет возможности переноса на другой ПК;



Рис. 2. Архитектура традиционных и виртуальных измерительных инструментов [10]

– Экономия за счет повторного использования инструментов;

– Экономия пространства за счет использования нескольких решений на одном ПК;

– Возможность создать собственный измерительный инструмент.

Применение виртуальных измерительных приборов также лежит в основе популярной зарубежной VISIR Laboratory – дистанционной лабораторной системы, которая специфична для проведения онлайн-экспериментов, связанных с аналоговой электроникой [11]. Этот факт подтверждает повышенный интерес к виртуальным лабораториям для инженерного образования. В первую очередь это связано с требованием инженерного образования к лабораторным исследованиям, а не тенденцией развития дистанционного обучения [12]. В организации традиционной реальной физической лаборатории большинство университетов сталкивается с проблемами их обеспечения [13]. Во-первых, лаборатории являются дорогостоящим компонентом образования. Лаборатории требуют отдельного пространства под каждую из инженерных дисциплин, при этом используется не постоянно, а в отдельных случаях, крайне редко и в течении небольшого времени. При этом за большим числом измерительного оборудования необходим контроль, что ведет к увеличению вспомогательного персонала. Также играет роль ограниченность времени работы в определенной лаборатории. Все это заставляет искать варианты для отхода от традиционного понимания измерительной лаборатории к лаборатории, где правильно интегрированы преимущества виртуальной и традиционной измерительных систем. В системы National Instruments для образовательных программ очень хорошо

синтезированы эти преимущества, что делает рабочую станцию NI ELVIS одной из ведущих аппаратно-программных платформ для обучения.

Цифровой интерфейс станции NI ELVIS позволяет почти полностью исключить рутинный набор данных эксперимента и направить студента на элементы учебного исследования схем, уделить большее внимание обработке результатов эксперимента. Кроме того, цифровой интерфейс позволяет вести дистанционное управление на основе сетевых информационных технологий, тем самым эффективно осуществлять дистанционный учебный эксперимент с любой географической точки. Это расширяет образовательное пространство университета. Учебная лаборатория может управляться круглосуточно, причём без преподавателя и лаборанта. Доступ к оборудованию может осуществляться в любое время и не требует личного присутствия экспериментатора в лаборатории, а за происходящим можно наблюдать с помощью Web-камеры.

Обучение в лаборатории становится индивидуальным, каждый студент группы получает своё задание. Появляются новые возможности и для самостоятельной работы студентов: длительность выполнения работы не ограничивается, и студент может распоряжаться учебным временем по своему усмотрению.

4. Результаты применения рабочей станции ELVIS в изучении дисциплины «Электроника»

Существует большой объем литературы, описывающий подобные технологии, но очень ограничен в оценке эффективности системы. Таким образом, чтобы показать влияние лабораторий NI ELVIS нами проанализированы результаты лабораторного эксперимента и

оценка восприятия студентами такой лаборатории, как альтернатива полностью виртуальной или полностью традиционной лабораториям.

В анализе преимуществ, либо недостатков данного метода были использованы результаты тестирований студентов, изучающих электронику одной и той же учебной программы. В одной группе лабораторно-практические занятия проходили с использованием разработанной макетной платы для рабочей станции NI ELVIS, во второй группе применялись методы моделирования в программной среде NI MultiSIM. Оба продукта являются элементами образовательной программы National Instruments, но, если в первом случае получаем смешанное обучение, т.е. физический эксперимент и компьютерное моделирование, то для другого только виртуальный процесс.

Лабораторные работы проходили при консультации одного преподавателя и строго по одним и тем же темам. Перед началом изучения дисциплины был проведен тест вводного контроля, который показал примерное равенство начальных знаний в области электроники у студентов, в дальнейшем лучшие результаты показала группа, обучающаяся с применением аппаратно-программной платформы (рис. 3).

По итогам результатов текущих и промежуточных контролей, проведена оценка эффективности двух различных сценариев в обучении и сделаны следующие выводы:

1) Средняя успеваемость по всем контролям выше в первой группе, чем во второй (см. рис. 3)

2) Заинтересованность в изучении электронике выше в группе, где студенты имели возможность физически собирать схемы

3) Время, потраченное на сборку схем для проведения за-

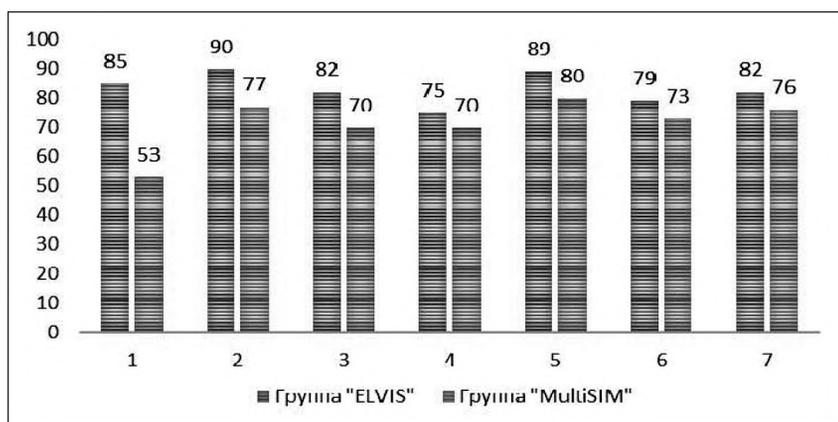


Рис. 3. Результаты защиты лабораторных работ, по группам

ный эксперимент меньше во второй группе

4) Студенты одинаково активно высоко применяли интернет технологии в процессе обучения

5) По итогам цикла, студенты первой группы могли физически реализовать поставленную перед ними задачу по схемотехнике, что не удалось второй группе

6) Студенты второй группы смогли быстрее смоделировать схемотехническое решение в программе, первой группе потребовалось больше времени, так они не были знакомы со средой разработки.

В целом эксперимент показал хорошее педагогическое воздействие совместного использования реального физического эксперимента, дополненного виртуальными приборами.

После окончания курса, был проведен опрос по ряду факторов. Группа «ELVIS» отвечала на большее количество вопросов, чем группа «MultiSIM». Это было связано с необходимостью узнать мнение студентов именно о макетной плате.

Абсолютное большинство студентов обеих групп высказались, что технологию, которую они использовали для изучения электроники, дает им лучшее понимание изучаемой темы, при этом средние результаты у каждой из групп были разные.

На вопрос: в чем преимуще-

ство метода вашего обучения? Из общего числа респондентов первой группы 75% заявили, что это реальность эксперимента, 8% – понятный интерфейс, 8% – возможность самостоятельного проектирования эксперимента, 8% – отсутствие мелких разъемов, таких как на базовой макетной плате NI ELVIS. Из общего числа респондентов второй группы 50% заявили, что возможность делать работу не только в лаборатории университета, 25% – возможность самостоятельного проектирования эксперимента, 17% – набор элементов, 8% – отсутствие беспокойства за неправильно собранную схему.

На вопрос: в чем недостаток метода вашего обучения? Респонденты первой группы разделились на четыре равные части по 25%. Были даны следующие ответы: нет недостатков, нет возможности делать работу вне лаборатории, ограничена элементная база, вероятность выхода из строя элементов схемы. Вторая группа дала следующие ответы: 75% – отсутствие ощущения физического эксперимента, 25% – нет недостатков.

На вопрос сразу ли Вы разобрались с интерфейсом и возможностями технологии вашего обучения, 83% первой группы и 25% второй сказали, что «Да, легко разобрались, почти сразу», остальные 17% и 75%, соответственно, сказали: «Нет, не сразу».

Второй группе, дополнительно, были заданы вопросы о макетной плате и рабочей станции NI ELVIS. Студенты оценивали каждому из вопросов по 5-ти бальной шкале. Данные полученные в результате опроса, отображаются в виде гистограммы (рис. 4).

1. Как вы оцениваете общую производительность рабочей станции NI ELVIS с макетной платой аналоговой радиоэлектроники? (0 – очень плохо, 5 – отлично)

2. Понятный ли пользовательский интерфейс виртуальных приборов NI ELVIS? (0 – совершенно непонятно; 5 – абсолютно понятно)

3. Просто ли запустить макетную плату для выполнения лабораторных работ? (0 – очень сложно; 5 – очень просто)

4. Вам было легко выполнить эксперимент? (0 – очень сложно; 5 – совсем легко)

5. Предоставляла ли информация, содержащаяся в методических указаниях, полную информацию для выполнения эксперимента? (0 – совершенно нет; 5 – да, полностью)

6. Когда вы использовали виртуальные измерительные приборы, вы чувствовали, что используете реальное оборудование? (0 – нет, абсолютно; 5 – однозначно да)

7. Основываясь на своем опыте использования платформы NI ELVIS, предпочитаете ли вы использовать её в будущем? (0 – совершенно нет; 5 – однозначно да)

Можно видеть, что в целом рабочая станция NI ELVIS с макетной платой аналоговой радиоэлектроники получили положительные оценки. Но имеются позиции, которые нужно усилить. К таким можно отнести:

– внешний вид лаборатории должен быть максимально приближен к реальному оборудованию;

– студентам должен быть знаком интерфейс виртуаль-

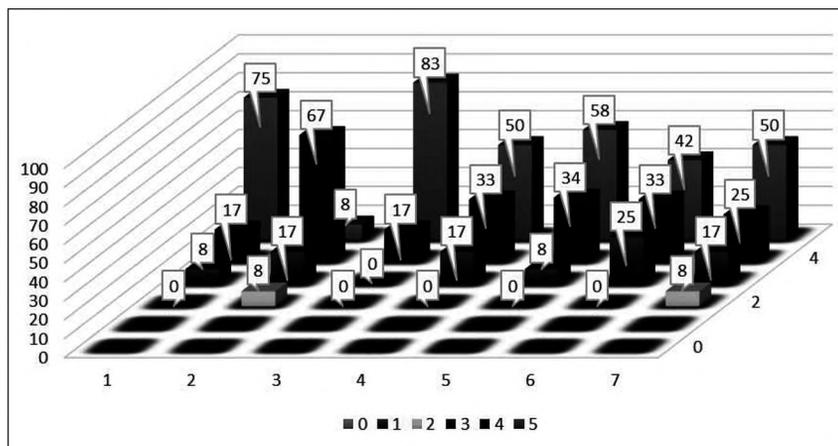


Рис. 4. Результаты опроса

ных инструментов, для этого им нужно выделить время или изучить заранее, этот момент встречается единожды, только при первом опыте работы с платформой NI ELVIS;

– улучшить обратную связь по разработке подобных систем, а также методических указаний к ним.

В целом, авторы согласны с [14] и склоняются к тому, что аппаратно-программная платформа для проведения эксперимента оказало положи-

тельное влияние на обучение студентов.

Заключение

Общемировой прогресс обеспечивается исключительно техническим знанием. Общество требует увеличения числа инженеров, что объективно приводит к постоянному увеличению числа студентов в технических университетах. Разнообразие компетенций, которые должны обрести сту-

денты, также увеличивается. В данной статье описывается подход к преподаванию дисциплин, связанных с радиоэлектроникой и техническая платформа для реализации этой идеи.

Получены хорошие результаты в использовании идеологии виртуальных приборов при проведении физического эксперимента: успеваемость студентов возросла, повысилась эффективность работы и мотивация студентов, сформирован практический опыт схемотехники. Цикл лабораторных работ по электронике [9] активизирует познавательную деятельность студентов и формирует положительную мотивацию на самообразование. Наиболее важным является то, что студенты достигают лучших результатов быстрее, чем с традиционным чтением лекций. Идеология виртуальных приборов используется для бакалавров и магистров, которые выполняют свои выпускные квалификационные работы на платформах ELVIS.

Литература

1. Shavelson R.J., Ruiz-Primo M.A., and Wiley E.W. Windows into the mind. Higher Education. 2005. Vol. 49. No. 4. P. 413–430. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10734-004-9448-9>.
2. Powell H. C., Williams R. D., & DeLong T. Assessment of Comprehension Retention in a Modern Electrical and Computer Engineering Curriculum // 2017 ASEE Annual Conference & Exposition. Columbus: American Society for Engineering Education. Columbus. Ohio June 24–26. 2017.
3. R.Magdalen, A.J. Serrano, J.D. Martnн-Guerrero, A. Rosado, M. Martinez. A Teaching Laboratory in Analog Electronics: Changes to Address the Bologna Requirements // IEEE Transactions on Education. 2008. Vol.51. № 4. P. 456–460. DOI: 10.1109/TE.2007.912553.
4. Автор, 2011.
5. Автор, 2005.
6. A. Gampe, A. Melkonyan, M. Pontual, D. Akopian An Assessment of Remote Laboratory Experiments in Radio Communication // IEEE Transactions on Education. 2014. Vol. 57. № 1. P. 12–19. DOI:10.1109/TE.2013.2262685.

References

1. Shavelson R.J., Ruiz-Primo M.A., and Wiley E.W. Windows into the mind. Higher Education. 2005. Vol. 49. No. 4. P. 413–430. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10734-004-9448-9>.
2. Powell H. C., Williams R. D., & DeLong T. Assessment of Comprehension Retention in a Modern Electrical and Computer Engineering Curriculum. 2017 ASEE Annual Conference & Exposition. Columbus: American Society for Engineering Education. Columbus. Ohio June 24–26. 2017.
3. R.Magdalen, A.J. Serrano, J.D. Martnн-Guerrero, A. Rosado, M. Martinez. A Teaching Laboratory in Analog Electronics: Changes to Address the Bologna Requirements. IEEE Transactions on Education. 2008. Vol.51. No. 4. P. 456–460. DOI: 10.1109/TE.2007.912553.
4. Author, 2011.
5. Author, 2005.
6. A. Gampe, A. Melkonyan, M. Pontual, D. Akopian An Assessment of Remote Laboratory Experiments in Radio Communication. IEEE Transactions on Education. 2014. Vol. 57. No. 1. P. 12–19. DOI:10.1109/TE.2013.2262685

7. W. Zhan, J.R. Porter, J.A. Morgan Experiential Learning of Digital Communication Using LabVIEW // IEEE Transactions on Education. 2014. Vol. 57. № 1. P.34–41. DOI: 10.1109/TE.2013.2264059.

8. M.D. Koretsky, D. Amatore, C. Barnes, S. Kimura Enhancement of Student Learning in Experimental Design Using a Virtual Laboratory // IEEE Transactions on Education. 2008. Vol. 51. № 1. P. 76–85. DOI: 10.1109/TE.2007.906894.

9. Цимбалист Э.И., Силушкин С.В. Исследование аналоговых схем в программно-аппаратной среде NI ELVIS. Учебное пособие по электронике. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 266 с.

10. Creating a Synthetic Instrument with Virtual Instrumentation Technology URL: <http://www.ni.com/white-paper/3183/en/>.

11. I. Gustavsson, G. Alves, R. Costa, K. Nilsson, J. Zackrisson, U. Hernandez-Jayo, and J. Garcia-Zubia. The VISIR Open Lab Platform 5.0-an architecture for a federation of remote laboratories // In Proceedings of the REV 2011 Conference. 2011.

12. T. Wolf Assessing student learning in a virtual laboratory environment // IEEE Transactions on Education. 2010. № 53(2). P.216–222. DOI:10.1109 / TE.2008.2012114

13. A.A. Altalbe, N.W Bergmann The Importance of Student Feedback in Development of Virtual Engineering Laboratories // International Journal of Educational and Pedagogical Sciences. 2017. Vol. 11. No.1. P. 244–251.

14. G.R. Alves, M.A. Marques, C. Viegaset al., Using VISIR in a large undergraduate course: Preliminary assessment results // 2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Amman. 2011. P. 1125–1132.

7. W. Zhan, J.R. Porter, J.A. Morgan Experiential Learning of Digital Communication Using LabVIEW. IEEE Transactions on Education. 2014. Vol. 57. No. 1. P. 34–41. DOI: 10.1109/TE.2013.2264059

8. M.D. Koretsky, D. Amatore, C. Barnes, S. Kimura Enhancement of Student Learning in Experimental Design Using a Virtual Laboratory. IEEE Transactions on Education. 2008. Vol. 51. No. 1. P. 76–85. DOI: 10.1109/TE.2007.906894

9. TSimbalist E.I., Silushkin S.V. Issledovaniye analogovykh skhem v programmno-apparatnoy srede NI ELVIS. Uchebnoye posobiye po elektronike. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2009. 266 p. (In Russ.)

10. Creating a Synthetic Instrument with Virtual Instrumentation Technology URL: <http://www.ni.com/white-paper/3183/en/>.

11. I. Gustavsson, G. Alves, R. Costa, K. Nilsson, J. Zackrisson, U. Hernandez-Jayo and J. Garcia-Zubia. The VISIR Open Lab Platform 5.0-an architecture for a federation of remote laboratories. In Proceedings of the REV 2011 Conference. 2011.

12. T. Wolf Assessing student learning in a virtual laboratory environment. IEEE Transactions on Education. 2010. No. 53(2). P.216–222. DOI:10.1109 / TE.2008.2012114

13. A.A. Altalbe, N.W Bergmann The Importance of Student Feedback in Development of Virtual Engineering Laboratories. International Journal of Educational and Pedagogical Sciences. 2017. Vol. 11. No. 1. P. 244–251.

14. G.R. Alves, M.A. Marques, C. Viegaset al., Using VISIR in a large undergraduate course: Preliminary assessment results. 2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Amman. 2011. P. 1125–1132.

Сведения об авторах

Олег Владимирович Стукач

*Д.т.н., профессор Отделения автоматизации и робототехники Инженерной школы информационных технологий и робототехники Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
Тел.: +7(3822)-701777*2754*

Арман Барлыкович Мирманов

*Старший преподаватель Кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, Астана, Республика Казахстан
Эл. почта: mirmanov.a@mail.ru
Тел.: +7 701 9726282*

Information about the authors

Oleg V. Stukach

*Dr. Sci. (Engineering), Professor, Automation and Robotics Department of the Engineering School of Information Technologies and Robotics National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
Tel.: +7(3822)-701777*2754*

Arman B. Mirmanov

*Senior lecturer, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications S.Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Republic of Kazakhstan
E-mail: mirmanov.a@mail.ru
Tel.: +7 701 9726282*