

Н. В. АНИЩЕНКО, к.т.н., проф. НТУ «ХПИ»;
А. В. ТИМОЩЕНКО, ст. преп. НТУ «ХПИ»;
А. А. ТКАЧЕНКО, к.т.н., ст. преп. НТУ «ХПИ».

СОЗДАНИЕ НА КАФЕДРЕ «АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ» НТУ «ХПИ» УДАЛЕННОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Современное развитие информационных технологий позволяет внедрить в учебный процесс концепцию удаленного управления оборудованием реальных лабораторий, в том числе в системе дистанционного образования. Организация удаленной лаборатории является одним из современных методов обучения при подготовке специалистов в области технических наук. Создание удаленных лабораторий особенно актуально для инженерного образования при подготовке специалистов-практиков.

Эффективность и польза удаленных лабораторий признана в США, Германии, Австрии, Испании, Великобритании, Швеции, Австралии и многих других государствах.

Лаборатории с удалённым доступом позволяют выполнять реальные эксперименты из любой точки земного шара, обеспечивая возможность работы нескольких студентов за одним лабораторным стендом одновременно. Основные возможности лабораторий с удаленным доступом [1,2]:

- организация непрерывного доступа к оборудованию в автоматическом режиме;
- экономия средств на дублирование одинаковых лабораторных установок;
- повышение эффективности обучения студентов при помощи коллективного удаленного доступа (многопользовательский интерфейс);
- упрощение и удешевление проведения научных экспериментов.

Цель данной статьи ознакомить с методической основой и возможностями разработанной на кафедре лаборатории с удаленным управлением.

Кафедра автоматизированные электромеханические системы НТУ «ХПИ» принимает участие в проекте 530278-TEMPUS-1-DE-TEMPUS-JPHES «iCo-op: – Промышленная кооперация и креативная инженерия на основе удаленной инженерии и виртуального инструментария».

В проекте TEMPUS «iCo-op» были предложены удаленные лаборатории трех университетов Европейского союза.

1. Удаленная лаборатория GOLDI (Grid of Online Lab Devices Ilmenau), которая была разработана на кафедре интегрированных коммуникационных систем технологического университета Ильменау, Германия.

2. Удаленная лаборатория WEBLab-Deusto, которая была разработана на машиностроительном факультете университета Deusto, Испания.

3. Креативная лаборатория университета Трансильвания, Брашов, Румыния. В лаборатории применяется оборудование компании National Instruments.

Лаборатории позволяют решать следующие задачи:

- разработка и отладка физической модели алгоритма управления реальных устройств (трехкоординатный стол, конвейер, программируемый мобильный робот, двигатели, датчики и т.д.);
- разработка алгоритмов и программного обеспечения для управляющих микроконтроллеров;
- отладка программного обеспечения для программируемых логических интегральных схем, таких как FPGA;
- тестирование, измерение и сбор данных;
- изучение промышленных интерфейсов.

В рамках проекта для реализации удаленной лаборатории кафедра приобрела оборудование компании National Instruments (NI) на сумму более 20000€. National Instruments – лидер в области разработки и производства аппаратных и программных средств автоматизированного измерения, диагностики, контроля и моделирования. Оборудование компании NI обладает следующими преимуществами:

- использование многофункциональной лабораторной станции NI ELVIS II+, которая является базовым решением для применения в практических обучающих курсах по различным дисциплинам;
- возможность добавления практических курсов по новым дисциплинам за счет приобретения новых плат;
- возможность разработки и моделирования интегральных схем и печатных плат;
- интеграция с САПР MultiSim.

Платформа проектирования и прототипирования ELVIS II+ (National Instruments Electronic Laboratory Virtual Instrumentation Suite system) используется для реализации образовательных задач по системам управления, мехатронике, схемотехнике, телекоммуникации и встроенным микроконтроллерам.

Образовательная платформа NI ELVIS II+ реализована на основе графической среды NI LabVIEW, Multisim. В комплект станции входит программное обеспечение Labview Academic Standard Suite и Circuit Design Suite.

© Н.В. Анищенко, А.В. Тимощенко, А.А. Ткаченко, 2015

Она содержит 12 встроенных инструментов для интерактивного и практического обучения: регулируемый блок питания, осциллограф, цифровой мультиметр, анализатор ток/ напряжение, генератор стандартных функций, анализатор Боде, генератор произвольных сигналов, анализатор динамических сигналов. Лабораторная станция имеет аналоговые и цифровые входы/выходы; пользовательские таймеры-счетчики; ЦАП и АЦП. Интерфейс подключения к компьютеру – USB 2.0 [3].

NI ELVIS II + имеет открытую архитектуру, что существенно упрощает использование оборудования ведущих поставщиков технических средств обучения.

На основе обзора оборудования компании National Instruments с учетом задач кафедры был сделан выбор для реализации двух лабораторий.

Лаборатория 1: лаборатория систем автоматического управления и электропривода:

1. Образовательная платформа NI ELVIS II+.

2. Плата «Система управления двигателем постоянного тока» – Quanser QNET DC Motor Control Board.

3. Плата «Микроприводы» – Micromotors and Automatic Motor Control.

Лаборатория 2: лаборатория мехатроники и электроники:

1. Образовательная платформа NI ELVIS II+.

2. Плата датчиков мехатроники – Quanser QNET Mechatronics Sensors.

3. Плата проектирования цифровых устройств и программирования ПЛИС – NI Digital Electronics FPGA Board.

4. Мобильный робот на платформе для преподавания и исследования в робототехнике – NI LabVIEW Robotics sbRIO Academic Kit.

Оборудование позволяет выполнять лабораторные работы по 7 дисциплинам. Рассмотрим подробнее возможности каждой платы с точки зрения постановки лабораторных работ по различным курсам специальностей кафедры.

Лаборатория 1: лаборатория систем автоматического управления и электропривода

Плата «Система управления двигателем постоянного тока» – Quanser QNET DC Motor Control Board

Оборудование платы позволяет студентам изучать и самостоятельно разрабатывать системы автоматического управления и регулирования. В процессе работы студенты получают практические навыки создания, тестирования и отладки систем с реальными объектами управления.

Лабораторные работы посвящены основным темам теории управления, в том числе статическим и динамическим свойствам систем регулирования, передаточным функциям и частотным характеристикам, основам синтеза систем управления [4]. На плате могут выполняться лабораторные работы по курсам: «Теория автоматического управления», «Моделирование электромеханических систем», «Теория электропривода».

Плата «Микроприводы» – Micromotors and Automatic Motor Control Board

Все лабораторные работы проводятся на плате с установленными на ней микродвигателями постоянного тока. Студенты имеют возможность изучать механические, статические и динамические характеристики электродвигателей в открытой системе с программно-управляемым блоком питания [5]. На плате могут выполняться лабораторные работы по курсам: «Теория электропривода», «Системы управления электроприводами», «Основы электробытовой техники».

Лаборатория 2: лаборатория мехатроники и электроники

Плата датчиков мехатроники – Quanser QNET Mechatronics Sensors Board

Лабораторный практикум охватывает изучение принципов калибровки датчиков, обработки и анализа полученных с датчиков сигналов. Плата комплектуется различными датчиками для проведения лабораторных работ: потенциометр, пленочный пьезодатчик, тензодатчик, термистор, энкодер, оптический датчик, инфракрасный датчик расстояния, ультразвуковой датчик, магнитный датчик, датчик давления [6]. На плате могут выполняться лабораторные работы по курсу: «Основы мехатроники».

Плата проектирования цифровых устройств и программирования ПЛИС – NI Digital Electronics FPGA Board

Плата предназначена для изучения процесса проектирования цифровых устройств. Пользователи могут создавать цифровые блоки в Multisim, а затем воплощать их на макетной плате. Плата имеет микросхему ПЛИС Xilinx Spartan-3E. Имеется возможность создавать приложения для запуска на аппаратной платформе ПЛИС, а также подключать к ее линиям ввода/вывода периферийные устройства: линейки светодиодов, DIP-переключатели, кнопки включения, семисегментные индикаторы, дисплеи, энкодеры и т. д.

Практикум включает лабораторные работы по изучению функционирования и программированию ПЛИС. Программирование ПЛИС может осуществляться как стандартными средствами Xilinx (Xilinx ISE Tools) с помощью языков программирования, таких как Verilog или VHDL, так и на «верхнем уровне» в среде графического программирования LabVIEW [7]. На плате могут выполняться лабораторные работы по курсу «Основы схемотехники».

Мобильный робот на платформе для преподавания и исследования в робототехнике – Robotics Starter Kit (DaNI) for Education (A Mobile Robot Platform for Robotics Teaching and Research)

NI LabVIEW Robotics Starter Kit, известный как DaNI, является промышленным изделием, роботизирован-

ной платформой, предназначенной для изучения концепций робототехники и мехатроники или для создания прототипов роботизированных систем. Робот программируется с использованием графической среды разработки LabVIEW [8]. Робот может использоваться для выполнения лабораторных работ по курсу «Основы мехатроники».

Состав установки:

- мобильный робот в сборе;
- встроенный контроллер NI sbRIO-9632 для управления;
- ультразвуковой датчик, энкодеры, двигатели, аккумулятор и зарядное устройство;
- программное обеспечение для программирования роботов, включая обход препятствий;
- возможность программирования с использованием программных модулей LabVIEW Real-Time и LabVIEW Robotics.

Удалённая лаборатория это учебное подразделение, оснащённое реальным учебно-исследовательским оборудованием с дистанционным доступом к нему по телекоммуникационным каналам. В состав удаленной лаборатории, как правило, входят: мощные сервер данных и веб-сервер, реальная экспериментальная установка, система управления и система сбора данных, а также лицензионное программное обеспечение.

Главным звеном системы является экспериментальная установка. Информация о протекающем процессе при помощи набора датчиков поступает в микропроцессорную систему сбора и обработки данных. Далее информация через интерфейс поступает в компьютер. Дальнейшую обработку данных производит программное обеспечение компьютера-сервера. Затем посредством протокола TCP/IP данные передаются на компьютер-клиент для отображения на экране в виде показаний и графиков на виртуальных приборах [2].

Изучение возможностей приобретенного оборудования с точки зрения реализации удаленной лаборатории показало, что не все платы позволяют решить эту проблему. В связи с этим, с учетом задач кафедры по подготовке специалистов в области автоматизированного электропривода, мехатроники и электробытовой техники было принято решение для реализации удаленной лаборатории использовать плату «Система управления двигателем постоянного тока» – Quanser QNET DC Motor Control Board. Структурная схема удаленной лаборатории [9] выглядит следующим образом (рис. 1).

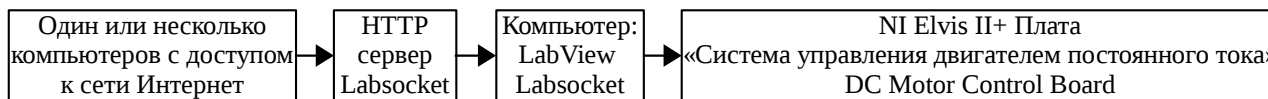


Рисунок 1 – Структурная схема удаленной лаборатории

В рамках выполнения проекта TEMPUS «iCo-op» на кафедре создано три учебных модуля для обучения студентов и повышения квалификации представителей промышленных предприятий и научных учреждений:

- теория автоматического управления;
- моделирование электромеханических систем;
- теория электропривода.

Каждый модуль для последипломного инженерного образования имеет общий объем курса – 20 часов: лекции – 10 часов, лабораторные работы – 5 часов, индивидуальное задание – 5 часов. Курс состоит из 5 лекций, 2 лабораторных работ и индивидуального задания.

Для организации обучения создан сайт проекта, на котором размещена вся необходимая информация (<http://skillslab.kharkiv.edu/?lang=ua>). Кроме того на сайте приведено описание лаборатории кафедры на оборудовании NI и перечень лабораторных работ, которые можно выполнить на каждой плате (http://skillslab.kharkiv.edu/?page_id=737)

Рассмотрим подробнее реализацию лабораторного практикума с использованием платы «Система управления двигателем постоянного тока» – Quanser QNET DC Motor Control Board.

Система состоит из двигателя с энкодером и инерционным колесом на валу двигателя (рис. 2). Двигатель приводится в движение с помощью усилителя мощности сигналов с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Управляющий параметр – напряжение, подаваемое на усилитель драйвера системы, а на выходе системы или скорость вращения колеса, или угол его поворота. Возмущающее воздействие можно ввести вручную, манипулируя колесом, или цифровым способом с помощью LabVIEW.

Процедуры выполнения лабораторных работ представляют собой коллекцию небольших экспериментов, которые используются для преподавания моделирования, теории электропривода и систем управления с помощью виртуальных приборов (ВП) LabView. На плате DC Motor реализовано четыре процедуры: моделирование, управление скоростью, робастность и управление положением. Перед началом выполнения любой процедуры эксперимента необходимо запустить соответствующий ВП.

Для выполнения лабораторных работ в режиме удаленного управления используется расширение для LabVIEW Labsocket-Basic, которое позволяет получить доступ к ВП LabView через веб-интерфейс. Для этого нужно иметь браузер и доступ к компьютеру с программным обеспечением (ПО) Labsocket, через локальную сеть или интернет. Взаимосвязь функциональных компонентов с Labsocket-Basic показана на рис. 3. С полным перечнем

возможностей Labsocket-Basic можно ознакомиться в руководстве, размещенном на сайте разработчика [10]. Labsocket-Basic состоит из двух компонентов:

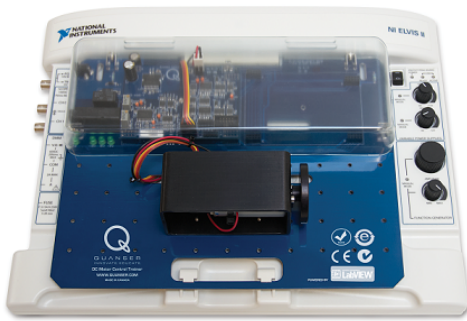


Рисунок 2 – Плата «Система управления двигателем постоянного тока»

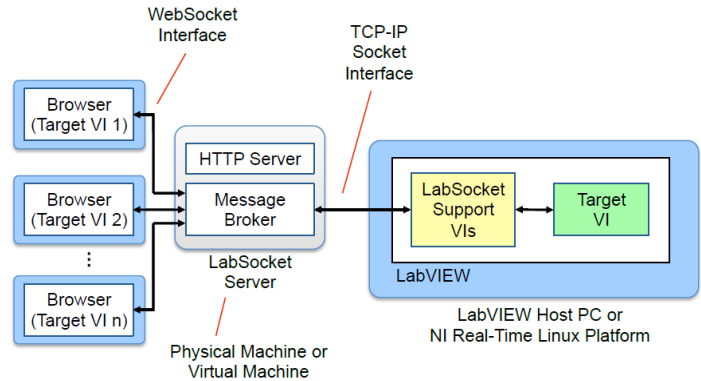


Рисунок 3 – Структура организации работы LabSocket-Basic

- расширение для LabVIEW, которое добавляет элементы в палитру инструментов (рис. 4);
- ПО, реализующее функции сервера, для осуществления коммуникации между моделью LabVIEW и сервером, а также между пользователем и сервером.

После установки расширения для LabVIEW, для его использования необходимо добавить к блок-диаграмме модели элемент labSocketStart.vi и передать параметры, сгруппированные в кластеры (рис. 5), после чего необходимо настроить параметры сети сервера. После запуска модели, для удаленного управления формируется ссылка, по которой осуществляется доступ к PHP-скрипту. PHP-скрипт создается автоматически из модели LabVIEW и реализует вид ВП в окне браузера.

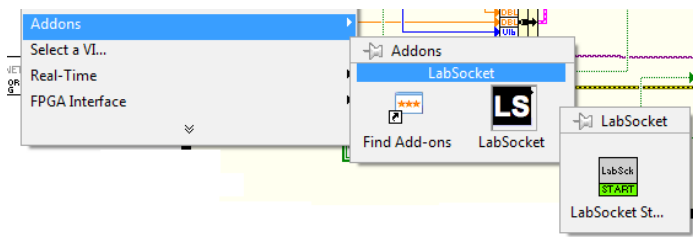


Рисунок 4 – Расширение LabSocket в панели инструментов LabVIEW

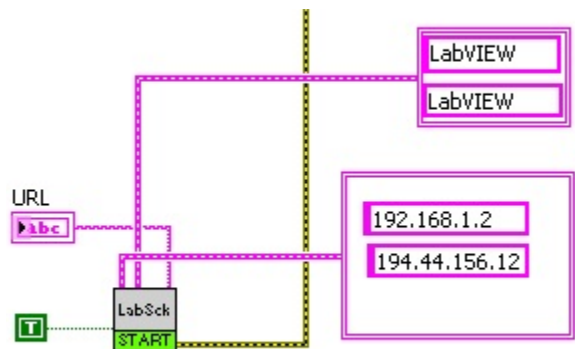


Рисунок 5 – Пример настройки LabSocket в LabVIEW для реализации удаленного доступа

Настройка сервера аналогична настройке сети в среде Linux, так как ПО сервера работает в Linux Ubuntu, а для ПК на операционной системе Windows, доступно в виде файла образа виртуальной машины Oracle.

С применением описанной технологии удаленного доступа были реализованы две лабораторные работы.

Лабораторная работа 1. Получение передаточной функции двигателя (процедура: моделирование QNET-DC Motor Control Trainer (DCMCT)).

Виртуальный прибор процедуры моделирование – 03-QNET_DCMCT_Modeling.vi. Ключевые параметры уравнения движения двигателя – постоянная двигателя по ЭДС и электрическое сопротивление обмотки якоря двигателя. Они определяются простыми экспериментами. При выполнении лабораторных работ в режиме удаленного доступа эти параметры задаются. Полученная в результате модель – передаточная функция двигателя:

$$W_{\omega, U}(s) = \frac{K}{\tau s + 1}, \quad (1)$$

где K – постоянный коэффициент усиления, а τ – постоянная времени.

Когда моделирование выполнено, его можно проверить, если запустить модель и реальный процесс в разомкнутом режиме. Напряжение без обратной связи подается как на модель, так и на реальное устройство, так что и моделируемый и измеряемый отклик можно просмотреть на одной временной развертке. Скриншот лицевой панели ВП QNET – DCMCT процедуры моделирование при удаленном управлении показан на рис. 6.

Лабораторная работа 2. Регулирование скорости вращения вала двигателя в замкнутой системе управления (процедура: управление скоростью QNET-DCMCT).

ВП процедуры *управление скоростью* – 04-QNET_DCMCT_Speed_Control.vi. Скорость двигателя постоянного тока регулируется при помощи пропорционально-интегрального регулятора системы управления. Структурная схема системы с обратной связью по скорости показана на рис. 7.

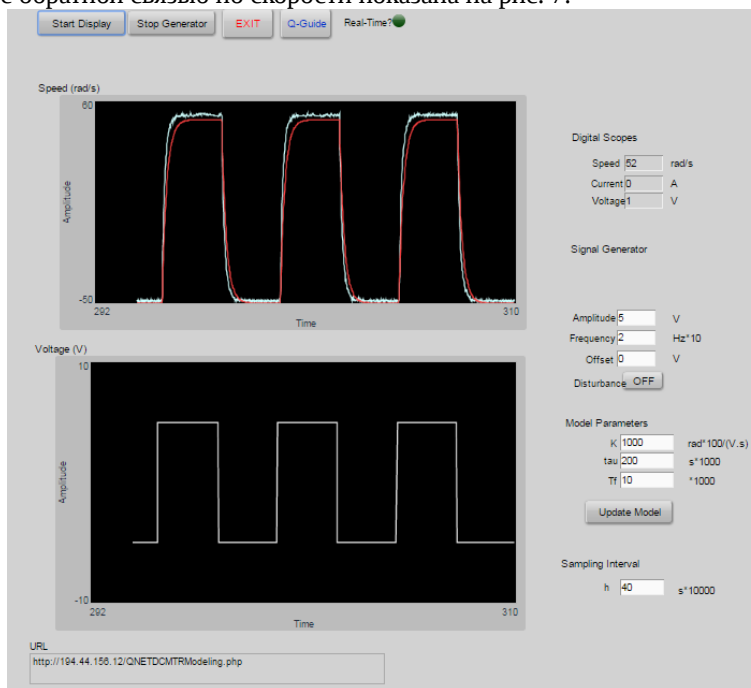


Рисунок 6 – Скриншот экрана при выполнении лабораторной работы 1

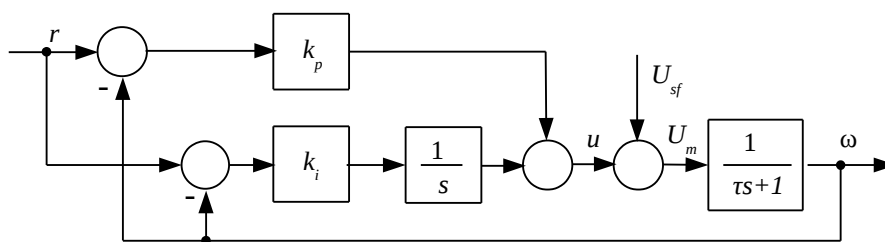


Рисунок 7 – Структурная схема пропорционально-интегрального управления скоростью вращения двигателя постоянного тока

Передаточная функция (1) применяется для разработки ПИ регулятора. Соотношение между входом и выходом ПИ регулятора во временной области равно

$$u = k_p(r - y) + \frac{k_i(r - y)}{s}, \quad (2)$$

где k_p – коэффициент усиления пропорционального звена, k_i – коэффициент усиления интегрального звена. Передаточная функция замкнутой системы равна

$$W_{\omega, U}(s) = \frac{K(k_p s + K_i)}{s^2 \tau + (K k_p + 1)s + K k_i}. \quad (3)$$

Стандартный характеристический полином замкнутой системы второго порядка имеет вид:

$$s^2 + 2\zeta \omega_0 s + \omega_0^2, \quad (4)$$

где $\omega_0 = 16$ рад/с – собственная частота замкнутой системы, $\zeta = 0,75$ – коэффициент демпфирования. Характеристическое уравнение (3), то есть знаменатель передаточной функции, может соответствовать характеристическому уравнению в формуле (4) при таких коэффициентах усиления:

$$\left. \begin{aligned} k_p &= \frac{-1 + 2\zeta \omega_0 \tau}{K} \\ k_i &= \frac{\omega_0 \tau}{K} \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Большие значения ω_0 дают большие величины коэффициента усиления регулятора. Коэффициент демпфирования ζ можно использовать для настройки скорости и величины перерегулирования отклика системы.

При выполнении лабораторной работы анализируется реакция системы на прямоугольный сигнал с различными значениями коэффициента усиления и постоянной времени ПИ регулятора. Скриншот лицевой панели ВП QNET – DCMCT процедуры *управление скоростью* при удаленном управлении приведен на рис. 8.

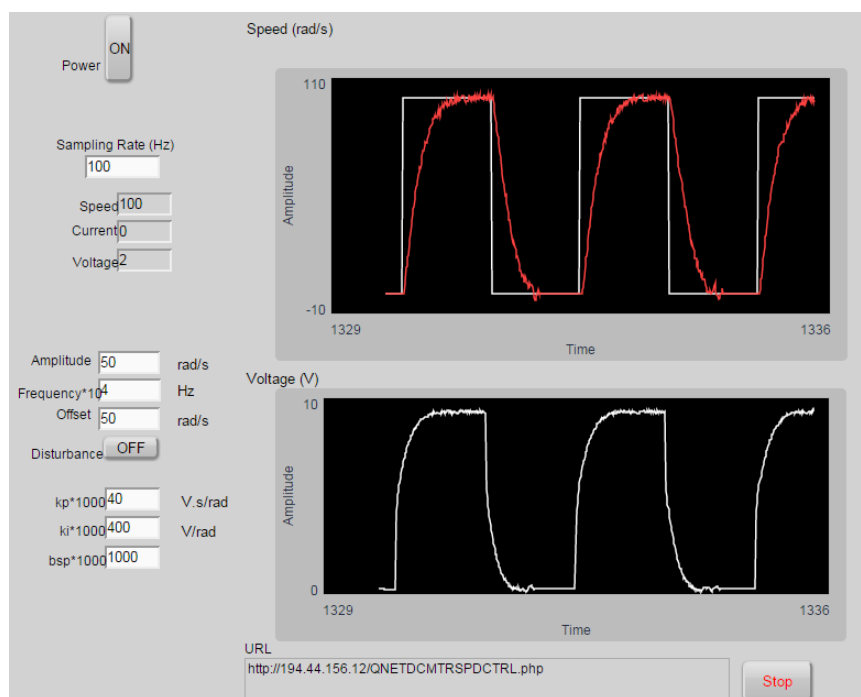


Рисунок 8 – Скриншот экрана при выполнении лабораторной работы 2

При выполнении проекта TEMPUS «iCo-op» кафедра провела пилотное обучение в виде повышения квалификации по курсу «Теория электропривода» для сотрудников различных предприятий г. Харькова. Лаборатория прошла апробацию и получила высокую оценку слушателей.

Список литературы: 1. *Postnikov E.B.* Обзор мирового опыта создания и эксплуатации лабораторий удаленного доступа [Электронный ресурс]: http://www.efmsb.ru/download/Mirovoy_opit_sozdaniya_i_ekspluatatsii_laboratoriy_udalennogo_dostupa.pdf. 2. Принципы создания виртуальных лабораторий в инженерном образовании [Электронный ресурс]: <http://www.labfor.ru>. 3. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий NI ELVIS II – руководство пользователя [Электронный ресурс]: <http://russia.ni.com>. 4. Управление двигателем постоянного тока QNET-DCMCT – обучающее руководство [Электронный ресурс]: <http://russia.ni.com>. 5. Микроприводы – руководство пользователя [Электронный ресурс]: <http://russia.ni.com>. 6. Лабораторный практикум QNET-МЕЧКИТ – руководство для преподавателя [Электронный ресурс]: <http://russia.ni.com>. 7. Отладочная плата NI Digital Electronics FPGA Board – руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]: <http://russia.ni.com>. 8. Тестирование и настройка отладочного набора Robotics Starter Kit – руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]: <http://russia.ni.com>. 9. В. Б. Клепиков, Н. В. Анищенко. Создание в НТУ «ХПИ» удаленной лаборатории по мехатронике. Сотрудничество университетов ЕС, России и Украины по подготовке магистров в области автоматизации и мехатроники»: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 18–19 сент. 2014 / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2014. С 72–75. 10. Руководство пользователя LabSocket-Basic [Электронный ресурс]: http://labssocket.com/Download/LabSocket_User_Guide.pdf.

Bibliography (transliterated): 1. *Postnikov E.B.* Obzor mirovogo opita sozdaniya i erspluatatsii laboratoriy udalennogo dostupa [Elektronnyiy resurs]: http://www.efmsb.ru/download/Mirovoy_opit_sozdaniya_i_ekspluatatsii_laboratoriy_udalennogo_dostupa.pdf. 2. Printsipyi sozdaniya virtualnykh laboratoriy v inzhenernom obrazovanii [Elektronnyiy resurs]: <http://www.labfor.ru>. 3. Komplekt virtualnykh izmeritelnykh priborov dlya uchebnykh laboratoriy NI ELVIS II – rukovodstvo polzovatelya [Elektronnyiy resurs]: <http://russia.ni.com>. 4. Upravlenie dvigatelem postoyannogo toka QNET-DCMCT – obuchayushee rukovodstvo [Elektronnyiy resurs]: <http://russia.ni.com>. 5. Mikroprivodyi – rukovodstvo polzovatelya [Elektronnyiy resurs]: <http://russia.ni.com>. 6. Laboratornyy praktikum QNET-MECHKIT – rukovodstvo dlya prepodavatelya [Elektronnyiy resurs]: <http://russia.ni.com>. 7. Otladochnaya plata NI Digital Electronics FPGA Board – rukovodstvo po ekspluatatsii [Elektronnyiy resurs]: <http://russia.ni.com>. 8. Testirovanie i nastroyka otladochnogo nabora Robotics Starter Kit – rukovodstvo po ekspluatatsii [Elektronnyiy resurs]: <http://russia.ni.com>. 9. V. B. Klepikov, N. V. Anisichenko. Sozdanie v NTU «HPI» udalennoy laboratorii po mehatronike. Sotrudnichestvo universitetov ES, Rossii i Ukrainyi po podgotovke magistrv v oblasti avtomatizatsii i mehatroniki»: sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Sankt-Peterburg, 18–19 sent. 2014 / SPbGETU «LETI». SPb., 2014. 72–75. Print. 10. LabSocket-Basic User Manual [Elektronnyiy resurs]: http://labssocket.com/Download/LabSocket_User_Guide.pdf.

Поступила (received) 06.07.2015