

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Алтайский государственный гуманитарно-

педагогический университет имени В.М.Шукшина»

(АГГПУ им. В.М. Шукшина)

Физико-математический факультет

Кафедра математики, физики, информатики

**Разработка лабораторной работы «Оценка качества напряжения
виртуальным инструментом LabVIEW» для школьного элективного курса
по физике**

Выпускная квалификационная работа

Допустить к защите

Зав.кафедрой _____

« ____ » _____ 20__ г.

(Ф.И.О.)

(подпись)

Выполнил студент

Ф-ФИ121 группы

Леготкин Никита Евгеньевич

подпись

Научный руководитель

канд. техн. н., доцент.

ученая степень, ученое звание

Лопаткин Николай Николаевич

фамилия, имя, отчество

подпись

Оценка

« ____ » _____ 20__ г.

подпись председателя ГЭК

Содержание

Введение	3
Глава 1. Знакомство с пакетом LabVIEW	5
1.1. Основные сведения о системе LabVIEW	5
1.2. Достоинства и области применения LabVIEW	15
Глава 2. Параметры качества напряжения	17
2.1 Коэффициент гармоник напряжения	17
2.2 Интегральные коэффициенты гармоник напряжения	19
Глава 3. Разработка компьютерной лабораторной работы по оценке	
в LabVIEW качества напряжения	21
3.1. Роль лаборатории в учебном процессе	21
3.2. Место лаборатории в учебном процессе	22
3.3. Содержание работ в лаборатории	24
3.4. Компьютерное моделирование как метод	25
3.5. Разработка плана элективного курса по физике	
«Качество электрической энергии» и лабораторной работы	
для него в пакете LabVIEW	27
3.6. Паспорт лабораторной работы	38
Заключение	42
Список литературы	43

Введение

Для преобразования и регулирования параметров электрической энергии широко применяются силовые электронные устройства [10]. Очень часто они являются источниками вторичного электропитания потребителей электрической энергии и обеспечивают их электрической энергией с необходимыми параметрами и соответствующего качества. К функциям силовых электронных устройств можно отнести преобразование электрической энергии, электрическую изоляцию цепей питания друг от друга и от первичного источника, высокую стабильность вторичных питающих напряжений в условиях значительного изменения первичного питающего напряжения и нагрузок, эффективное подавление пульсаций во вторичных питающих цепях постоянного тока, требуемую форму переменного напряжения и тока, постоянство угла сдвига их фаз и высокую стабильность их частот и т.д.

Исходя из описанного выше, актуальной является разработка всевозможных инструментов, т.е. как реальных так и виртуальных приборов для оценки качества преобразованной энергии, **актуальна** и тематика данной работы, посвященная изучению в школьном элективном курсе виртуального прибора для оценки качества напряжения.

Целью дипломной работы является разработка лабораторной работы «Оценка качества напряжения виртуальным инструментом LabVIEW» для школьного элективного курса по физике.

Объектом исследования является элективный курс по физике.

Предметом исследования является методика проведения лабораторной работы по моделированию оценки качества напряжения в школьном элективном курсе по физике.

Достижение поставленной цели потребовало решения ряда **задач**:

1. Изучить научную, научно-популярную литературу, техническую документацию по теме исследования, а также

содержание соответствующих разделов физики и электротехники.

2. Разработать план элективного курса и лабораторную работу «Оценка качества напряжения виртуальным инструментом LabVIEW».
3. Подготовить модель виртуального инструмента LabVIEW для оценки качества сигнала напряжения.

При решении поставленных задач использовались следующие **методы исследования:**

1. Анализ научной, научно-популярной литературы, технической документации, а также методической литературы по проблеме исследования.
2. Компьютерное моделирование.
3. Педагогическое наблюдение, экспертная оценка, самоанализ.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанных методических материалов на элективных занятиях в старших классах школ и лицеев.

Структура дипломной работы. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка используемой литературы.

Во введении обосновывается выбор темы, определяются цель, задачи, методы исследования и дается краткое описание дипломной работы.

Первая глава знакомит с программой LabVIEW.

Во второй главе дается описание параметров качества напряжения.

В третьей главе описано, что представляет собой элективный курс по физике в средней школе и показаны место, роль и задачи лабораторных работ.

В заключении сформулированы выводы по результатам выполнения дипломной работы.

Глава 1. Знакомство с пакетом LabVIEW

1.1. Основные сведения о системе LabVIEW [4]

LabVIEW – среда разработки прикладных программ, в которой используется язык графического программирования G и не требуется написания текстов программ. Среда LabVIEW дает огромные возможности как для вычислительных работ, так и - главным образом – для построения приборов, позволяющих проводить измерения физических величин в реальных установках, лабораторных или промышленных, и осуществлять управление этими установками [2-4, 6, 8, 13, 19-21]. Программа, написанная в среде LabVIEW, называется виртуальным прибором (ВП) (VI - virtual instrument). Внешнее графическое представление и функции ВП имитируют работу реальных физических приборов [20]. LabVIEW содержит полный набор приборов для сбора, анализа, представления и хранения данных. Источником кода виртуального инструмента служит блок-схема программируемой задачи. Программная реализация виртуальных приборов использует в своей работе принципы иерархичности и модульности. Виртуальный прибор, содержащийся в составе другого виртуального прибора, называется прибором-подпрограммой (SubVI). При запуске LabVIEW появляется диалоговое окно (рис. 1). В верхней части окна находится панель меню со стандартными пунктами: File, Edit (редактирование), Tools (инструменты), Help (помощь), В правой части - набор кнопок:

- **Кнопка New** – создание нового ВП. Стрелка рядом с кнопкой используется

для открытия пустого ВП или открытия диалогового окна.

- **Кнопка Open** – открытие созданного ранее ВП. Стрелка рядом с кнопкой предназначена для открытия недавно использовавшегося ВП.

- **Кнопка Configure** – настройка устройств DAQ. Стрелка рядом с кнопкой конфигурация LabVIEW.
- **Кнопка Help** – запуск LabVIEW Help (встроенной помощи). Стрелка рядом с кнопкой – для выбора опций помощи.

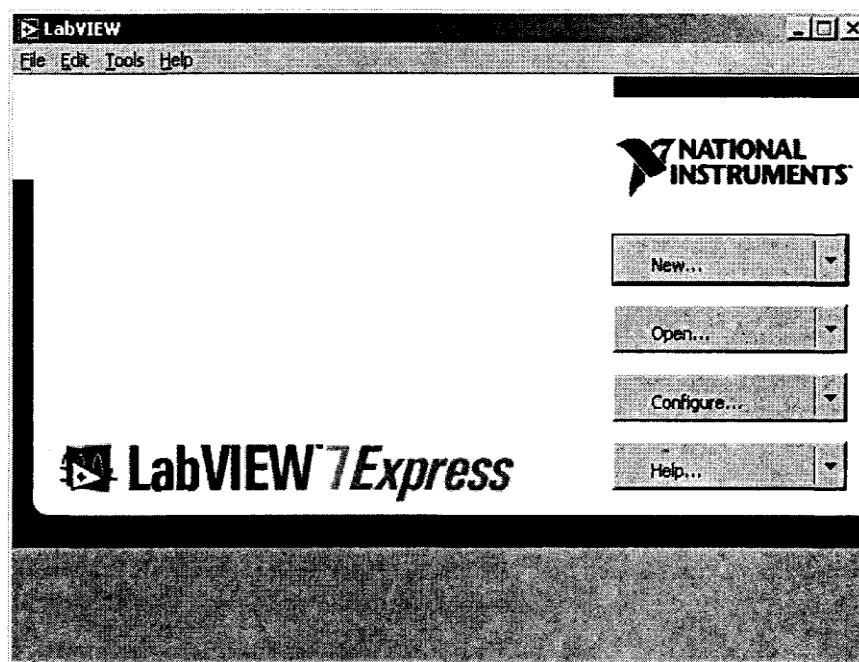


Рис. 1

Создание нового виртуального прибора

При нажатии кнопки New открывается окно Create New (создать новый ВП), где расположено меню, из которого можно выбрать либо пустые окна ВП (Blank VI), либо окна с различными шаблонами (VI from Templates). Выберем пустые окна ВП (Blank VI), и нажмем кнопку ОК. На экране появляются две совмещенные панели, расположенные каскадом. Одна из них - лицевая панель (Front Panel) - имеет серый цвет рабочего пространства, другая - панель блок-диаграмм (Block Diagram) - белый цвет. Для развертывания панелей на левую и правую половины экрана

нужно нажать на клавиатуре одновременно Ctrl+T. Панели можно развернуть также нажатием Windows в верхней части панели и затем The

Left and Right. (Выбрав The Up and Down, можно развернуть панели на верхнюю и нижнюю половины экрана). Каждая из этих панелей может быть развернута на весь экран нажатием кнопки с изображением прямоугольника в верхнем правом углу панели. Возврат к двум панелям осуществляется нажатием той же кнопки с изображением сдвоенных прямоугольников.

Главное меню

Главное меню в верхней части окна ВП содержит пункты общие с другими приложениями, такие как Open, Save, Copy, Paste, а также специфические пункты меню LabVIEW. Некоторые из них содержат сведения о «горячих» клавишах вызова этих пунктов. (MacOS) Меню появляется в верхней части экрана. Во время выполнения ВП некоторые пункты главного меню недоступны.

- Пункт меню **File** используется для открытия, закрытия, сохранения и печати ВП.
- Пункт меню **Edit** используется для поиска и внесения изменений в компоненты ВП.
- Пункт меню **Operate** используется для запуска, прерывания выполнения и изменения других опций ВП.
- Пункт меню **Tools** используется для связи с приборами и DAQ устройствами, сравнения ВП, формирования приложений и конфигурации LabVIEW.
- Пункт меню **Browse** используется для перемещения по ВП и его иерархии.
- Пункт меню **Window** используется для отображения окон LabVIEW и палитр.

- Пункт меню **Help** используется для получения информации о палитрах, меню, инструментах, ВП и функциях, для получения пошаговой инструкции использования **LabVIEW** и информации о компьютерной памяти.

Палитра инструментов

Создавать, редактировать и отлаживать ВП можно с помощью **Tools Palette** (Палитры инструментов). Термин инструмент подразумевает специальный операционный режим курсора мыши. При выборе определенного инструмента значок курсора изменяется на значок данного инструмента. Палитра инструментов вызывается через пункт главного меню **Window => Show Tools Palette**. Палитру инструментов можно размещать в любой области рабочего пространства блок-диаграммы и лицевой панели.

Удерживая нажатой клавишу **Shift** и щелкнув правой клавишей мыши, можно вывести на экран временную версию **Tools Palette** (Палитры Инструментов). Если включен автоматический выбор инструмента, то при наведении курсора на объект лицевой панели или блок-диаграммы автоматически выбирается соответствующий инструмент из палитры **Tools** (Инструментов). Автоматический выбор инструментов включается нажатием на кнопку **Automatic Tool Selection** палитры **Tools** (Инструментов) или нажатием клавиш **Shift+Tab**.

Инструмент **УПРАВЛЕНИЕ** используется для изменения значения элементов управления или ввода текста. При наведении курсора на такой элемент как строковый элемент управления, значок инструмента меняется.

Инструмент **ПЕРЕМЕЩЕНИЕ** используется для выбора, перемещения или изменения размеров объектов. При наведении инструмента на объект изменяемого размера значок инструмента меняется. Инструмент **ВВОД**

ТЕКСТА используется для редактирования текста и создания свободных меток. При создании свободных меток значок

инструмента меняется. Инструмент **СОЕДИНЕНИЕ** создает проводники данных, соединяя объекты на блок-диаграмме. Инструмент **ВЫЗОВ КОНТЕКСТНОГО МЕНЮ** вызывает контекстное меню соответствующего объекта по щелчку левой кнопки мыши. Инструмент **БЫСТРАЯ ПРОКРУТКА ЭКРАНА** используется для просмотра окна без использования полосы прокрутки. Инструмент **ВВОД КОНТРОЛЬНОЙ ТОЧКИ** позволяет расставлять контрольные точки на ВП, функциях, узлах, проводниках данных, структурах и приостанавливать в них выполнение программы. Инструмент **УСТАНОВКА ОТЛАДОЧНЫХ ИНДИКАТОРОВ** дает возможность исследовать поток данных в проводниках блок-диаграммы. Используется для просмотра промежуточных значений при наличии сомнительных или неожиданных результатов работы ВП. Инструмент **КОПИРОВАНИЕ ЦВЕТА** предназначен для копирования цвета с последующей вставкой с помощью инструмента **РАСКРАШИВАНИЕ**.

Инструмент **РАСКРАШИВАНИЕ** позволяет изменить цвет объекта. Он также отображает текущий передний план и параметры настройки цвета фона. Если автоматический выбор инструмента выключен, можно менять инструменты палитры Tools (Инструментов) с помощью клавиши Tab. Для переключения между инструментами **ПЕРЕМЕЩЕНИЕ** и **СОЕДИНЕНИЕ** на блок-диаграмме или между инструментами **ПЕРЕМЕЩЕНИЕ** и **УПРАВЛЕНИЕ** на лицевой панели - достаточно нажать пробел.

Лицевая панель

Лицевая (передняя) панель имитирует панель реального физического прибора. На ней располагаются управляющие и измерительные элементы виртуального прибора.

Палитра элементов лицевой панели

Лицевая панель создается с использованием палитры элементов под общим названием Controls, которая вызывается нажатием правой клавиши мыши на свободное поле лицевой панели (либо можно выбрать в пункте главного меню Window => Show Controls Palette). Эти элементы могут быть либо средствами ввода данных элементами собственно управления (Controls), либо средствами отображения данных - элементами отображения (Indicators).

Инструментальная панель лицевой панели

Инструментальная панель используется для запуска и редактирования ВП.

Кнопка запуска Run - запускает ВП. Во время работы ВП кнопка Run меняет свой вид, как показано слева, если этот виртуальный прибор высокого уровня. Если ВП работает в качестве подпрограммы, то кнопка Run выглядит, как показано слева. Кнопка Run выглядит в виде «сломанной» стрелки, как показано слева, во время создания или редактирования ВП.

В таком виде кнопка показывает, что ВП не может быть запущен на выполнение. После нажатия этой кнопки появляется окно Error list, в котором перечислены допущенные ошибки. Кнопка непрерывного запуска Run Continuously - ВП выполняется до момента принудительной остановки. Во время выполнения ВП появляется кнопка Abort Execution. Эта кнопка используется для немедленной остановки выполнения ВП.

По возможности следует избегать использования кнопки Abort Execution для остановки ВП. Следует позволить ВП закончить передачу данных или выполнить остановку программным способом, гарантируя остановку ВП в определенном состоянии. Например, можно установить на лицевой панели кнопку, по нажатию которой ВП останавливается. Кнопка Pause приостанавливает выполнение ВП. После нажатия кнопки Pause LabVIEW подсвечивает на блок-диаграмме место остановки выполнения. Повторное нажатие - продолжение работы ВП. Text Settings - выпадающее меню установок текста, включая размер, стиль и цвет. В меню Align Objects производится выравнивание объектов по осям (по вертикали, по осям и т.д.). В меню Distribute Objects производится выравнивание объектов в пространстве (промежутки, сжатие и т.д.). В меню Resize Objects производится приведение к одному размеру многократно используемых объектов лицевой панели. Меню Reorder используется при работе с несколькими объектами, которые накладываются друг на друга. Выделив один из объектов с помощью инструмента ПЕРЕМЕЩЕНИЕ, в меню Reorder следует выбрать его порядок отображения на лицевой панели.

Кнопка Context Help выводит на экран окно Context Help (контекстной справки).

Блок-диаграмма

















После помещения элементов Управления или Отображения данных на Лицевую панель, они получают свое графическое отображение на блок-диаграмме. Объекты блок-диаграммы включают графическое отображение элементов лицевой панели, операторов, функций, подпрограмм ВП, констант, структур и проводников данных, по которым производится передача данных между объектами блок-диаграммы. Палитра функций блок-диаграммы. Палитра функций используется для создания блок-диаграммы. Она доступна только в окне блок-диаграмм. Чтобы отобразить
















палитру функций, следует либо выбрать в пункте главного меню Window Ю Show Functions Palette, либо щелкнуть правой кнопкой мыши в рабочем пространстве блок-диаграммы. Используя кнопку в верхнем левом углу палитры, можно зафиксировать ее на экране. По умолчанию палитра функций появляется в экспресс-виде и отображает экспресс-ВП. Экспресс-ВП — узлы функций, которые можно настраивать с помощью диалогового окна. Они используются для выполнения стандартных измерений при минимальных соединениях. Для получения полной палитры используется кнопка All Functions, находящаяся в правом нижнем углу. Полную палитру функций можно получить также при нажатии кнопки Options (опции), показанной слева. При этом отображается страница Controls/Functions Palettes диалогового окна Options. Следует заменить Palette View на Advanced.

Инструментальная панель блок-диаграммы

При запуске ВП на блок-диаграмме появляется инструментальная панель: Кнопка Highlight Execution предназначена для просмотра потока данных через блок-диаграмму (режим отладки). Повторное нажатие кнопки отключает этот режим. Кнопка Step Into используется при пошаговом выполнении цикла от узла к узлу, подпрограммы ВП и т.д. При этом узел мигает, обозначая готовность к выполнению. Кнопка Step Over позволяет пропустить в пошаговом режиме цикл, подпрограмму и т.д. Кнопка Step Out позволяет выйти из цикла, подпрограммы и т.д. Выход из узла предполагает завершение выполнения этого узла в пошаговом режиме и переход в следующий. Кнопка Warning появляется, когда есть потенциальная проблема с блок-диаграммой, но она не запрещает выполнение ВП. Кнопку Warning можно активизировать, войдя в пункт главного меню Инструменты, далее - **Опции, Отладка (Tools => Options ^> Debugging)**.

Типы данных в LabVIEW

Графическое представление	Тип данных		Значение по умолчанию	Диапазон значений	Приблизительное количество десятичных цифр	Размер занимаемой памяти, байт	
	целое число	со знаком	8 бит	0	-128 ÷ 127	-	1
			16 бит	0	32 768 ÷ 32 767	-	2
 *			32 бита	0	-2 147 483 648 ÷ 2 147 483 647	-	4
		положительное	8 бит	0	0 ÷ 255	-	1
			16 бит	0	0 ÷ 65 535	-	2
			32 бита	0	0 ÷ 4 294 967 295	-	4
	число с плавающей запятой	одинарная точность	0,0	$\pm 1.40e-45$ $\pm 3.40e+38$	6	4	
 *		двойная точность	0,0	$\pm 4.94e-324$ $\pm 1.79e+308$	15	8	
		повышенная точность	0,0	$\pm 6.48e-4966$ $\pm 1.19e+4932$	18**	10** 16***	
	комплексное число	одинарная точность	0,0+i0,0	такие же, как и у соответствующей точности, для каждой (действительной и мнимой) части		8	
 *		двойная точность	0,0+i0,0			16	
		повышенная точность	0,0+i0,0			20** 32***	
	метка времени time stamp		Время создания	5.42e-20 ÷ 9,22e18 секунд	15	16	
	Логический Boolean		ложь (F)	может принимать только два значения: ложь (FALSE) или правда(TRUE)		1	
	строка символов String		пустая строка	содержит текст в ASCII формате			
	Путь к файлу Path		пустой путь	близок к строковому типу, однако, LabVIEW форматирует его, используя стандартный синтаксис для используемой платформы.			

	Тип данных	
	Перечисление Enumerated	Беззнаковый численный тип, но каждому числу назначается символьная метка.
  	Массив Array	Массивы включают типы данных составляющих элементов и принимают соответствующий им цвет.
  	Кластер Cluster	Упорядоченная совокупность элементов различного типа. Отображается коричневым цветом, если все его элементы численные, иначе отображается розовым.
	Осцилло- грамма Waveform	Является кластером, содержащим массив данных Y , начальное значение времени t_0 и интервал времени между измерениями dt .
	Цифровая осциллограмма Digital waveform	Аналогично Waveform, но массив данных Y имеет тип Digital.
	Digital Table	Таблица двоичных данных.
	Динамический Dinamic	Кроме данных сигнала, динамический тип содержит дополнительную информацию, например, название сигнала или дату и время его получения. Большинство экспресс-ВП принимают и/или возвращают данные динамического типа. Данные динамического типа можно направлять к любому элементу отображения или полю ввода, принимающему данные численного, логического или сигнального типа.
	Ссылка Reference num- ber (refnum)	Указатель на уникальный объект, например, файл, элемент управления или отображения, ВП.
	Имя устройства ввода/вывода I/O name	Позволяет выбирать и передавать имя устройства ввода/вывода.
	Картинка Picture	Используется для вывода рисунков.
	Вариант Variant	Может содержать любые данные.

Контекстное меню

Контекстное меню используется наиболее часто. Все объекты LabVIEW, свободное рабочее пространство лицевой панели и блок-диаграммы имеют свои контекстные меню. Контекстное меню используется для изменения поведения объектов блок-диаграммы и лицевой панели. Контекстное меню вызывается щелчком правой кнопкой мыши на объекте, лицевой панели или блок-диаграмме.

1.2. Достоинства и области применения LabVIEW

Среда разработки лабораторных виртуальных приборов LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) представляет собой среду прикладного графического программирования, используемую в качестве стандартного инструмента для проведения измерений, анализа их данных и последующего управления приборами и исследуемыми объектами. LabVIEW может использоваться на компьютерах с операционными системами Windows, MacOS, Linux, Solaris и HP-UX. Компьютер, оснащенный измерительно-управляющей аппаратной частью и LabVIEW, позволяет полностью автоматизировать процесс физических исследований. Создание любой программы для достижения этих целей (виртуального прибора) в графической среде LabVIEW отличается большой простотой, поскольку исключает множество синтаксических деталей. Особо следует отметить динамику развития LabVIEW. Первая его версия была создана в 1986 году компанией National Instruments в результате поисков путей сокращения времени программирования измерительных приборов. Версии LabVIEW с второй по седьмую проявлялись в 1990, 1992, 1993, 1996, 2000 и 2003 годах. Каждая последующая существенно расширяла возможности предыдущей версии и прежде всего по обмену данных с измерительными приборами и работе с другими программными продуктами. Сфера применимости LabVIEW также непрерывно

расширяется. В образовании она включает лабораторные практикумы по электротехнике, механике, физике. В фундаментальной науке LabVIEW используют такие передовые центры как CERN (в Европе), Lawrence Livermore, Batelle, Sandia, Oak Ridge (США), в инженерной практике - объекты космические, воздушного, надводного и подводного флота, промышленные предприятий и т.д.

Глава 2. Параметры качества напряжения

2.1. Коэффициент гармоник напряжения

Исследование гармонического состава электрических сигналов напряжения и тока остается главным методом анализа нелинейных цепей [1, 5, 7, 9]. Электромагнитные процессы в устройствах силовой электроники характеризуются как классическими показателями, именно, коэффициентом гармоник в цепи переменного тока и коэффициентом пульсаций в цепи постоянного тока, так и сравнительно новыми коэффициентами, полезность которых доказана их использованием при разработке энергоэффективных алгоритмов управления устройствами и при оценке качества параметров электрической энергии [10-12, 18, 22, 23].

Наиболее известными и общепринятыми коэффициентами, количественно характеризующими в электротехнике наличие в сигнале напряжения и тока высших гармоник, являются коэффициенты гармоник (КГ), соответственно, напряжения и тока (классические коэффициенты, в радиоэлектронике именуемые коэффициентами несинусоидальности). Коэффициент гармоник напряжения (рассматриваемого как воздействие на некую цепь) может быть определен в интегральной форме следующей

формулой через величины, получаемые применением оператора $\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (\dots)^2 dt$ к

мгновенным значениям во временной области:

$$K_{ru} = \frac{U_{(вг)}}{U_{(1)}} = \frac{\sqrt{U^2 - U_{(1)}^2}}{U_{(1)}} = \sqrt{\left(\frac{U}{U_{(1)}}\right)^2 - 1}, \quad (1)$$

где U , $U_{(1)}$ и $U_{(вг)}$ – действующие (среднеквадратичные, RMS) значения, соответственно, всего сигнала напряжения u , его основной гармоники $u_{(1)}$ и составляющей по высшим гармоникам $u_{(вг)}$.

В спектральной форме (через известные в частотной области действующие значения $U_{(n)}$ отдельных гармоник с любым номером n), благодаря равенству Парсеваля, имеем:

$$K_{THD} = \frac{\sqrt{U_{(BF)}^2}}{U_{(1)}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}}. \quad (2)$$

Действующий ГОСТ, нормирующий качество электроэнергии, предусматривает расчет этого коэффициента с учетом конечного числа высших гармоник до $n = N$, где принято $N = 40$ [18].

Программно-инструментальная среда LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) используется в качестве стандартного инструмента для проведения измерений, анализа их данных, управления приборами и исследуемыми объектами в промышленности, научных исследованиях и образовании. Данный продукт, разработанный в США компанией National Instruments, успешно применяют во многих странах мира, включая и Россию. Язык прикладного графического программирования G избавляет от необходимости написания текстов программ. Источником кода виртуального инструмента (VI - virtual instrument) служит блок-схема программируемой задачи.

Стандартный виртуальный прибор LabVIEW «Distortion Measurements Express VI» позволяет легко определить рассмотренный выше КГ сигнала, называемый по-английски «Total harmonic distortion» (THD), т.е. «Общее гармоническое искажение», задавая номер наивысшей из учитываемых гармоник N .

Однако, как показывают моделирование и анализ нелинейных цепей с несинусоидальными напряжениями и токами, и как можно увидеть в данных ряда работ, например [26], в малое значение КГ напряжения само по себе не гарантирует достаточно малого значения КГ тока. Главная причина

в том, что нагрузка, как правило, не является чисто активной, и сама оказывает на ток фильтрующее действие.

2.2 Интегральные коэффициенты гармоник напряжения [10]

Предложенные профессором Зиновьевым Г.С. (НГТУ, г. Новосибирск) интегральные КГ (ИКГ) различных порядков производят взвешенное (по номеру гармоники) суммирование гармоник, по сути, моделирующее действие амплитудно-частотной характеристики идеализированной электрической цепи соответствующего порядка. Такой идеальный фильтр пропускает без ослабления первую гармонику и ослабляет высшие в число раз, равное номеру гармоники в степени, равной порядку фильтра. Данные ИКГ тесно связаны с существующим во многих вариантах методом алгебраизации дифференциальных уравнений (АДУ), который позволяет находить асимптотически с заданной точностью выражения в замкнутой аналитической форме для связи действующих значений напряжения и тока по коэффициентам дифференциальных уравнений без их решения [2, 6, 7].

Введем обозначения: для q -кратного интеграла от функции мгновенного значения напряжения u

$$\bar{u}^{(q)} = \int \dots \int u dt \dots dt,$$

q раз

аналогично, $\bar{u}_{(1)}^{(q)}$ и $\bar{u}_{(вр)}^{(q)}$ для его компонент $u_{(1)}$ и $u_{(вр)}$ и, наконец, $\bar{U}^{(q)}$, $\bar{U}_{(1)}^{(q)}$ и $\bar{U}_{(вр)}^{(q)}$ для действующих значений соответствующих величин.

Теперь ИКГ напряжения произвольного порядка q можно определить выражениями [2], аналогичными (1) и (2):

$$\bar{K}_{гв}^{(q)} = \frac{\bar{U}_{(вр)}^{(q)}}{\bar{U}_{(1)}^{(q)}} = \frac{\omega^q}{U_{(1)}} \cdot \sqrt{\left(\bar{U}^{(q)}\right)^2 - \left(\bar{U}_{(1)}^{(q)}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\bar{U}^{(q)} \cdot \omega^q}{U_{(1)}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{\bar{U}^{(q)} \cdot \pi \cdot f^q}{U_{(1)m}}\right)^2 - 1}, \quad (3)$$

$$\bar{K}_{\text{гн}}^{(q)} = \frac{\omega^q \cdot \sqrt{\left(\bar{U}_{(\text{вр})}^{(q)}\right)^2}}{U_{(1)}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{U_{(n)}}{n^q}\right)^2}}{U_{(1)}} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{U_{(n)}}{n^q \cdot U_{(1)}}\right)^2}, \quad (4)$$

где f , ω и $U_{(1)m}$ – частота, круговая частота и амплитуда первой гармоники напряжения.

Примечательно, что стандартный КГ является ИКГ нулевого порядка (при $q=0$).

В методическом плане, интегральные коэффициенты гармоник, являясь параметрами источника напряжения, несущими информацию о его высших гармониках, позволяют оценить высшие гармоники и коэффициент гармоник потребляемого нагрузкой тока без подключения нагрузки (т.е. априори, до подключения нагрузки) расчетным путем, по известным параметрам нагрузки, подобно тому, как в законе Ома предсказывается значение силы тока по заданному значению напряжения при известном импедансе нагрузки.

Глава 3. Разработка компьютерной лабораторной работы по оценке в LabVIEW качества напряжения

3.1. Роль лаборатории в учебном процессе

Громадная роль лабораторий в учебном процессе является бесспорной; на их организацию, оборудование и эксплуатацию расходуются очень большие средства, они занимают значительное место и в учебном плане, и в «жилплощади» учебного заведения. Вместе с тем, часто неправильное проведение работ в лабораториях снижает эффективность этих занятий; поэтому организации работы в лаборатории необходимо уделить большое внимание.

Основные задачи лабораторных занятий:

Связать теорию с практикой — подтвердить опытом положения теории.

1. Ознакомить студентов с элементами устройств, измерительными приборами, машинами, установками и процессами, протекающими в них.
2. Привить навыки обращения с перечисленной аппаратурой и научить технике эксперимента.
3. Научить оформлять и обобщать результаты исследований.
4. Привить навыки научно-исследовательской работы и обучить ее методике.

Использовать занятия в лаборатории для контроля самостоятельной работы студентов по изучению теории.

Лабораторные занятия требуют от учащихся еще большей самостоятельности и активности, чем практические занятия. Они воспитывают студентов в духе строгой ответственности за качество их работы, а поэтому заставляют глубоко осмысливать ее, приучают к критической оценке своих действий и учат суммировать и обобщать итоги работы.

Приходя в учебную лабораторию, учащийся должен знать теорию исследуемого вопроса, так как целью работы в лаборатории является проверка на опыте, в реальных условиях, выводов этой теории, сделанных обычно с допущением ряда упрощающих предположений. Опыты, хорошо иллюстрирующие теорию, будут способствовать лучшему усвоению изучаемой дисциплины.

3.2. Место лаборатории в учебном процессе

Работы в лаборатории могут выполняться после прохождения всего теоретического курса или одновременно с его чтением. Последовательный вариант организационно более удобен и имеет несомненное преимущество в том отношении, что учащиеся приходят в лабораторию лучше подготовленными, знают весь круг вопросов и выполняют работы более уверенно. Но это преимущество достигается дорогой ценой: за счет качества усвоения лекционного курса, так как лабораторные занятия плодотворно влияют на понимание лекций, уточняя и конкретизируя их.

Последовательный метод, позволяющий студентам получить в лаборатории конкретное представление о предмете только по окончании курса лекций, не в состоянии облегчить усвоение последних.

Параллельный метод значительно выгоднее в этом отношении. Работа в лаборатории, параллельная слушанию лекций, способствует конкретизации теории, улучшает ее понимание, заставляет систематически заниматься теорией, поднимает интерес к курсу.

Работа в лаборатории позволяет преподавателю проконтролировать самостоятельную работу студентов над курсом и вовремя принять меры в том случае, если эта работа недостаточна или неуспешна. Особенно важен этот момент для курсов, не имеющих в учебном плане практических

занятий или имеющих их очень незначительное число, когда нет возможности осуществить контроль над самостоятельной работой учащихся на практических занятиях. По всем изложенным соображениям надо считать более рациональным параллельный метод проведения лабораторных занятий. При этом оптимальным является фронтальный метод, когда все выполняют первую работу, после того как материал по ней изложен на лекциях, затем вторую и т. д. Очевидно, что этот метод требует наличия в лаборатории большого числа однородных работ.

Там, где фронтальный метод невозможен, целесообразно применить компромиссный параллельно-последовательный, т. е. цикловой метод. Работы в лаборатории разбиваются на несколько циклов; первый цикл начинается после того, как лектором прочитан необходимый материал; в течение выполнения работ первого цикла продолжается чтение лекций и учащиеся получают сведения, необходимые для работ второго цикла и т. д. При этом в каждом последующем цикле целесообразно работы несколько усложнить, а в последний раздел теоретического курса включить, по возможности, материал, не освещаемый в лаборатории.

Однако цикловой метод сохраняет некоторые недостатки последовательного метода:

- 1) учащиеся работают по одной теме, изучают другую;
- 2) каждый цикл теоретического курса испытывает благотворное влияние практики с некоторым опозданием.

3.3. Содержание работ в лаборатории

Характер и темы работы в лаборатории выбираются таким образом, чтобы они соответствовали существу изучаемого курса. Поэтому каждая лаборатория должна получить свое «собственное лицо», а поставленные в ней работы — отражать ее специфику. Каждая работа должна освещать какой-либо вопрос или раздел курса, повторений быть не должно. Общее число работ должно быть минимальным. При цикловом методе работы каждого цикла должны быть родственными и соответствовать одному большому разделу теоретического курса, что обеспечивает систематичность и последовательность усвоения.

В результате студент получает исчерпывающее представление о приборах непосредственной оценки. Желательно в каждой работе предусмотреть, помимо обязательной программы-минимум, дополнительные задания для каждой микрогруппы. Это заметно повышает интерес студентов и их самостоятельность. Особо успевающим из них полезно давать дополнительные работы по каждому циклу.

Очень важно правильно определить объем каждой работы и времени, отводимого на нее. Опыт показывает, что целесообразно проводить двухчасовые лабораторные работы. Программа работ должна соответствовать отводимому на нее числу часов; ни в коем случае нельзя перегружать программу, заставляя проделывать работы в атмосфере спешки. Вместе с тем практика показывает, что на одну и ту же работу в первые дни уходит больше времени, чем впоследствии, когда учащиеся уже освоились с лабораторией. Поэтому первые работы проходят более напряженно и нуждаются в большей помощи преподавателя.

Желательно, чтобы отчеты по работам походили на правильно составленный протокол научного эксперимента или заводского испытания, т.е. содержали бы схему исследования, перечень примененных приборов,

таблицы измеренных и вычисленных величин, графики и характеристики, построенные по достаточно большому числу точек, и анализ полученных результатов. Однако, учитывая значительную загрузку студентов домашней учебной работой, приходится сокращать обязательное содержание отчета за счет уменьшения до минимума числа характеристик, опытных и вычисленных точек. С этой точки зрения можно отказаться от приведения схем, если они содержатся в руководстве, а не составлялись учащимися самостоятельно, и не требовать громоздких и повторяющихся арифметических вычислений.

3.4. Компьютерное моделирование как метод

В последнее время в лабораториях большинства учебных заведений наблюдается недостаток материальной базы, т.е. нехватка приборов, материалов и т.п. Этот недостаток значительно снижает возможность проведения не только фронтальных работ, но и работ курса, разбитого на циклы. Также этот фактор влияет на выбор работ для составления курса. Но с развитием вычислительной техники появился новый способ проведения научной и исследовательской деятельности [15-17]. Наряду с исследованием свойств тех или иных объектов или их систем появилась возможность создания и исследования их виртуальных моделей; т.е. в данном случае речь идет о моделировании.

Определим понятие «моделирование».

Моделирование - это замещение исследуемого объекта (оригинала) его условным образом или другим объектом (моделью) и изучение свойств оригинала путем исследования свойств модели.

Поскольку речь идет о моделях, создаваемых на компьютере, то необходимо определить понятие «компьютерное моделирование».

Компьютерное моделирование – это математическое моделирование с использованием средств вычислительной техники.

Применение компьютерного моделирования не только разрешает проблему нехватки оборудования, но и устраняет ряд недостатков, возникающих при исследовании реальных схем методом измерений. Рассмотрим некоторые, наиболее очевидные недостатки метода измерений.

Во-первых, далеко не всегда можно повторить измерение в одних и тех же условиях (изменилась температура окружающей среды, нагрелись узлы устройства и т.д.), что, естественно, не позволяет говорить о повторяемости данных.

Во-вторых, многие операции просто невозможно провести повторно, т.к. используется другая стратегия.

В-третьих, реальное воплощение системы, используемой при проведении операции, как правило, является весьма дорогостоящим и трудоемким делом, а если речь идет о сравнении проектных или конструкторских решений, то затраты средств и времени возрастают пропорционально числу сравниваемых вариантов.

Список проблем можно было бы продолжить, но и приведенных вполне достаточно, чтобы сделать вывод: методу измерений существует альтернатива – метод моделирования.

Очевидно, что действительная польза от моделирования может быть получена при соблюдении двух условий:

- Модель обеспечивает корректное (или, как говорят, адекватное) отображение свойств оригинала, существенных с точки зрения исследуемой операции;

- модель позволяет устранить перечисленные выше проблемы, присущие проведению измерений на реальных объектах.

Конечно, компьютерное моделирование не лишено недостатков. Наиболее важным недостатком является следующий: какова бы ни была модель, и как бы она ни отражала свойства реальной системы, она не дает полного представления об этой системе; в модели очень сложно учесть все свойства системы, как правило, удается учесть лишь большинство значимых свойств.

3.5. Разработка плана элективного курса по физике «Качество электрической энергии» и лабораторной работы для него в пакете LabVIEW

На базе программного пакета LabVIEW и ряда работ [14, 24, 25] нами разработана лабораторная работа по теме «Оценка качества напряжения виртуальным инструментом LabVIEW».

Исходя из текущих знаний учеников старших профильных классов и лицеев по физике и математике, примерный план элективного курса по физике, посвященный качеству электрической энергии, может быть следующим:

- I. Теоретическая часть (12ч.).
 1. Важность обеспечения качества электрической энергии (2ч.).
 2. Виды нарушений качества электрической энергии (4ч.).
 3. Основные параметры, оценивающие качество (некачественность) электрической энергии (2ч.).
 4. Способы улучшения качества электрической энергии (4ч.).

II. Практическая часть. Лабораторная работа «Оценка качества напряжения виртуальным инструментом LabVIEW» (6ч.).

Данный элективный курс может быть предложен ученикам только после изучения раздела физики «Электродинамика». Также является желательным предварительное знакомство учеников с пробной версией программы LabVIEW.

**Методические указания по выполнению лабораторной работы
«Оценка качества напряжения виртуальным инструментом LabVIEW»**

Цель работы: Исследовать зависимость качества сигнала напряжения трапецеидальной формы от его основных параметров.

Литература:

1. *Бутырин П.А.*, Васьковская Т.А., Каратаев В.В., Материкин С.В. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 [Текст]/ Под ред. Бутырина П.А. – М.: ДМК-Пресс, 2005. - 264 с.
2. *Зиновьев Г.С.* Силовая электроника: учебное пособие для бакалавров. [Текст] – 5-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2012. – 667 с.
3. *Климентьев К.Е.* Основы графического программирования в среде LabVIEW [Текст]: Учеб. Пособие. Самар. Гос. Аэрокосм. ун-т. Самара, 2002. 65 с.
4. *Lopatkin N.N., Chernov Yu.A.* Differential and integral factors of harmonics LabVIEW estimation [Текст] // EDM-2016, 17 international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices. Erlagol, Altai – 30 June – 4 July, 2016. Proceedings - pp. 493-498.

Теоретическое введение

Коэффициент гармоник напряжения

Исследование гармонического состава электрических сигналов напряжения и тока остается главным методом анализа нелинейных цепей. Электромагнитные процессы в устройствах силовой электроники характеризуются как классическими показателями, именно, коэффициентом гармоник в цепи переменного тока и коэффициентом пульсаций в цепи постоянного тока, так и сравнительно новыми коэффициентами, полезность которых доказана их использованием при разработке энергоэффективных алгоритмов управления устройствами и при оценке качества параметров электрической энергии [1].

Наиболее известными и общепринятыми коэффициентами, количественно характеризующими в электротехнике наличие в сигнале напряжения и тока высших гармоник, являются коэффициенты гармоник (КГ), соответственно, напряжения и тока (классические коэффициенты, в радиоэлектронике именуемые коэффициентами несинусоидальности). Коэффициент гармоник напряжения (рассматриваемого как воздействие на некую цепь) может быть определен в интегральной форме следующей формулой [1] через величины, получаемые применением оператора

$\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (\dots)^2 dt$ к мгновенным значениям во временной области:

$$K_{ru} = \frac{U_{(вг)}}{U_{(1)}} = \frac{\sqrt{U^2 - U_{(1)}^2}}{U_{(1)}} = \sqrt{\left(\frac{U}{U_{(1)}}\right)^2 - 1}, \quad (1)$$

где U , $U_{(1)}$ и $U_{(вг)}$ – действующие (среднеквадратичные, RMS) значения, соответственно, всего сигнала напряжения u , его основной гармоники $u_{(1)}$ и составляющей по высшим гармоникам $u_{(вг)}$.

В спектральной форме (через известные в частотной области действующие значения $U_{(n)}$ отдельных гармоник с любым номером n), благодаря равенству Парсеваля, имеем:

$$K_{THD} = \frac{\sqrt{U_{(BF)}^2}}{U_{(1)}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}}. \quad (2)$$

Действующий ГОСТ, нормирующий качество электроэнергии, предусматривает расчет этого коэффициента с учетом конечного числа высших гармоник до $n = N$, где принято $N = 40$.

Программно-инструментальная среда LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) [2, 3] используется в качестве стандартного инструмента для проведения измерений, анализа их данных, управления приборами и исследуемыми объектами в промышленности, научных исследованиях и образовании. Данный продукт, разработанный в США компанией National Instruments, успешно применяют во многих странах мира, включая и Россию. Язык прикладного графического программирования G избавляет от необходимости написания текстов программ. Источником кода виртуального инструмента (VI - virtual instrument) служит блок-схема программируемой задачи.

Стандартный виртуальный прибор LabVIEW «Distortion Measurements Express VI» позволяет легко определить рассмотренный выше КГ сигнала, называемый по-английски «Total harmonic distortion» (THD) [3], т.е. «Общее гармоническое искажение», задавая номер наивысшей из учитываемых гармоник N .

Однако, как показывают моделирование и анализ нелинейных цепей с несинусоидальными напряжениями и токами, и как можно увидеть в данных ряда работ, например, в малое значение КГ напряжения само по себе не гарантирует достаточно малого значения КГ тока. Главная причина

в том, что нагрузка, как правило, не является чисто активной, и сама оказывает на ток фильтрующее действие.

Интегральные коэффициенты гармоник напряжения

Предложенные профессором Зиновьевым Г.С. (НГТУ, г. Новосибирск) интегральные КГ (ИКГ) [1] различных порядков производят взвешенное (по номеру гармоники) суммирование гармоник, по сути, моделирующее действие амплитудно-частотной характеристики идеализированной электрической цепи соответствующего порядка. Такой идеальный фильтр пропускает без ослабления первую гармонику и ослабляет высшие в число раз, равное номеру гармоники в степени, равной порядку фильтра. Данные ИКГ тесно связаны с существующим во многих вариантах методом алгебраизации дифференциальных уравнений (АДУ), который позволяет находить асимптотически с заданной точностью выражения в замкнутой аналитической форме для связи действующих значений напряжения и тока по коэффициентам дифференциальных уравнений без их решения [1].

Введем обозначения: для q -кратного интеграла от функции мгновенного значения напряжения u

$$\bar{u}^{(q)} = \int \dots \int u dt \dots dt,$$

q раз

аналогично, $\bar{u}_{(1)}^{(q)}$ и $\bar{u}_{(вр)}^{(q)}$ для его компонент $u_{(1)}$ и $u_{(вр)}$ и, наконец, $\bar{U}^{(q)}$, $\bar{U}_{(1)}^{(q)}$ и $\bar{U}_{(вр)}^{(q)}$ для действующих значений соответствующих величин.

Теперь ИКГ напряжения произвольного порядка q можно определить выражениями [1], аналогичными (1) и (2):

$$\bar{K}_{гв}^{(q)} = \frac{\bar{U}_{(вр)}^{(q)}}{\bar{U}_{(1)}^{(q)}} = \frac{\omega^q}{U_{(1)}} \cdot \sqrt{\left(\bar{U}^{(q)}\right)^2 - \left(\bar{U}_{(1)}^{(q)}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\bar{U}^{(q)} \cdot \omega^q}{U_{(1)}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{\bar{U}^{(q)} \cdot \pi \cdot f^q}{U_{(1)m}}\right)^2 - 1}, \quad (3)$$

$$\overline{K}_{\text{ru}}^{(q)} = \frac{\omega^q \cdot \sqrt{\left(\overline{U}_{(\text{вр})}^{(q)}\right)^2}}{U_{(1)}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{U_{(n)}}{n^q}\right)^2}}{U_{(1)}} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{U_{(n)}}{n^q \cdot U_{(1)}}\right)^2}, \quad (4)$$

где f , ω и $U_{(1)m}$ – частота, круговая частота и амплитуда первой гармоники напряжения.

Примечательно, что стандартный КГ является ИКГ нулевого порядка (при $q=0$).

В методическом плане, интегральные коэффициенты гармоник, являясь параметрами источника напряжения, несущими информацию о его высших гармониках, позволяют оценить высшие гармоники и коэффициент гармоник потребляемого нагрузкой тока без подключения нагрузки (т.е. априори, до подключения нагрузки) расчетным путем, по известным параметрам нагрузки, подобно тому, как в законе Ома предсказывается значение силы тока по заданному значению напряжения при известном импедансе нагрузки.

Интегральный коэффициент гармоник, питающего напряжения первого порядка прямо пропорционален величине коэффициента гармоник тока, потребляемого от данного источника асинхронным двигателем [1].

Практическая часть

Оценку интегральных коэффициентов гармоник напряжения (ИКГ) и традиционного коэффициента гармоник напряжения (как ИКГ нулевого порядка) произведем, собрав виртуальный прибор, реализующий вычисления по формуле (3), а более конкретно ([4])

$$\overline{K}_{\text{zu}}^{(q)} = \frac{\overline{U}_{(\text{вз})}^{(q)}}{\overline{U}_{(1)}^{(q)}} = \frac{\omega^q}{U_{(1)}} \cdot \overline{U}_{(\text{вз})}^{(q)}, \quad (5)$$

где предполагается отсутствие постоянной составляющей сигнала напряжения, а, следовательно, истинность следующего равенства

$$u_{(a)}^{-(q)} = u^{-(q)} - u_{(1)}^{-(q)}, \quad (6)$$

связывающей неопределенные интегралы порядка q всего напряжения u , его основной гармоники $u_{(1)}$ и составляющей по высшим гармоникам $u_{(BF)}$.

Операция определения действующего значения (RMS) вышеупомянутых величин выполняется в модели при помощи стандартного блока [3].

Перед такими операциями, особенно после интегрирования, необходимо устранять постоянную составляющую сигнала, иначе накапливаемая ошибка для коэффициентов второго и третьего порядка может составлять от 40% до 80% при сложной форме сигнала.

Вид полной функциональной схемы модели LabVIEW показан на рис. 2.

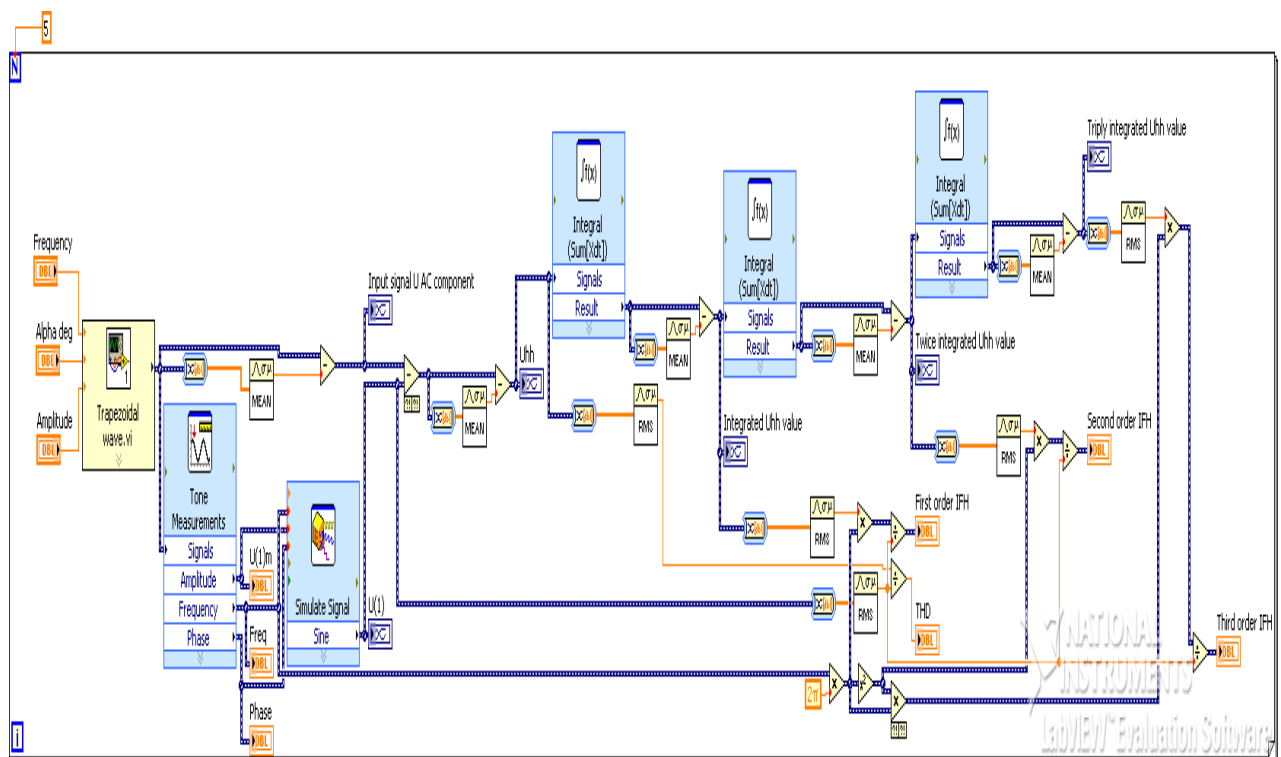


Рис. 2. Блок-диаграмма виртуального инструмента для оценивания КГ и ИКГ сигнала

Исследуемый учебный сигнал трапециедальной формы показан на Рис.3.

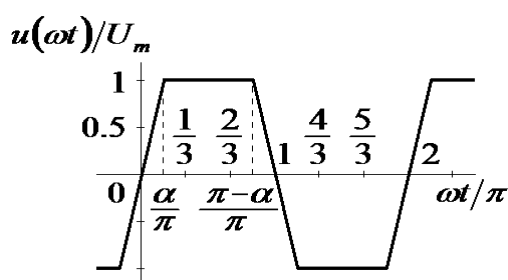


Рис.3. Исследуемый учебный сигнал

Установка амплитуды, частоты и угла наклона трапециедального сигнала производится на фронтальной панели разработанного виртуального инструмента.

Задание

1. Произведите моделирование виртуального прибора Рис. 2, последовательно изменяя значение угла α , так чтобы оно соответствовало очередному значению угла γ в таблице I.

Примечание 1. Угол коммутации γ , используемый в силовой преобразовательной технике, определяется следующим образом: $\gamma = 2\alpha$, значит $\alpha = \gamma/2$.

Примечание 2. Установка точного значения $\gamma = 0$ в данной модели невозможна, поэтому задайте $\alpha = 0,000001$.

2. Заполните в таблице графу «Измерение» и посчитайте относительную погрешность в процентах от вычисленного по точным формулам [4] (суммирование бесконечных рядов) значения.

3. Занесите данные в таблицу Excel и постройте там графики зависимости коэффициента гармоник и ИКГ 1...3 порядка от угла γ .

4. Для заданного учителем значения γ скопируйте в отчет осциллограммы компоненты по высшим гармоникам напряжения и ее не

определенных интегралов порядка 1...3. Опишите, какие имеются виды симметрии у этих сигналов.

5. Сделайте выводы, сравнив порядки полученных коэффициентов и об их зависимости от параметра α .

ТАБЛИЦА I
ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ГАРМОНИК ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ
УГЛА КОММУТАЦИИ

ИКГ, КГ		γ , рад						
		0	$\pi/6$	$\pi/3$	$\pi/2$	$2\pi/3$	$5\pi/6$	π
$\overline{K}_{hu}^{(3)}$	Вычисление	0.0124570874	0.0113085358	0.0082369589	0.0041281186	0.0003255559	0.0030138502	0.0041281186
	Измерение							
	Отн. погр., %							
$\overline{K}_{hu}^{(2)}$	Вычисление	0.0380404606	0.0342914645	0.0247486838	0.0124570874	0.0016551687	0.0090495431	0.0124570874
	Измерение							
	Отн. погр., %							
$\overline{K}_{hu}^{(1)}$	Вычисление	0.1211529265	0.1061373373	0.0746207614	0.0380404606	0.0085644330	0.0272428305	0.0380404606
	Измерение							
	Отн. погр., %							
K_{hu}	Вычисление	0.4834258476	0.3493189002	0.2286016173	0.1211529265	0.0463804089	0.0834922739	0.1211529265
	Измерение							
	Отн. погр., %							

Контрольные вопросы

1. Что показывает значение традиционного коэффициента гармоник?
2. Почему, зная значение стандартного коэффициента гармоник напряжения, невозможно предсказать значения коэффициента гармоник, потребляемого нагрузкой тока?
3. Каков физический смысл интегральных коэффициентов гармоник сигналов?
4. Как наиболее точно вычисляются значения интегральных коэффициентов гармоник?
5. Сигнал какой формы из трех рассматриваемых (меандр, трапеция, треугольник) имеет наиболее оптимальный гармонический состав?
6. Можно ли при помощи моделирования в среде LabVIEW получить результаты, близкие к параметрам идеализированных сигналов?

3.6. Паспорт лабораторной работы

В приведенной ниже таблице содержатся измеренные значения и относительные погрешности измерения величин при установленных частотах отсчета в источниках сигналов модели. Уменьшение частоты отсчета приведет к увеличению погрешности измерений по отношению к идеальному сигналу.

ТАБЛИЦА I
ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ГАРМОНИК ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ УГЛА КОММУТАЦИИ

ИКГ, КГ		γ , рад						
		0	$\pi / 6$	$\pi / 3$	$\pi / 2$	$2\pi / 3$	$5\pi / 6$	π
$\overline{K}_{hu}^{(3)}$	Вычисление	0.0124570874	0.0113085358	0.0082369589	0.0041281186	0.0003255559	0.0030138502	0.0041281186
	Измерение	0.0124578	0.0113089	0.00823725	0.00412841	0.000325588	0.00301396	0.00412841
	Отн. погр., %	5.721×10^{-3}	3.221×10^{-3}	3.534×10^{-3}	7.059×10^{-3}	9.862×10^{-3}	3.644×10^{-3}	7.059×10^{-3}
$\overline{K}_{hu}^{(2)}$	Вычисление	0.0380404606	0.0342914645	0.0247486838	0.0124570874	0.0016551687	0.0090495431	0.0124570874
	Измерение	0.0380423	0.0342922	0.0247492	0.0124578	0.00165527	0.00904973	0.0124578
	Отн. погр., %	4.835×10^{-3}	2.145×10^{-3}	2.086×10^{-3}	5.721×10^{-3}	6.123×10^{-3}	2.065×10^{-3}	5.721×10^{-3}
$\overline{K}_{hu}^{(1)}$	Вычисление	0.1211529265	0.1061373373	0.0746207614	0.0380404606	0.0085644330	0.0272428305	0.0380404606
	Измерение	0.121159	0.106138	0.0746212	0.0380422	0.00856458	0.027243	0.0380422
	Отн. погр., %	5.013×10^{-3}	6.244×10^{-4}	5.878×10^{-4}	4.573×10^{-3}	1.716×10^{-3}	6.223×10^{-4}	4.573×10^{-3}
K_{hu}	Вычисление	0.4834258476	0.3493189002	0.2286016173	0.1211529265	0.0463804089	0.0834922739	0.1211529265
	Измерение	0.4834216497	0.3493128011	0.2285987776	0.1211588737	0.0463781715	0.0834910216	0.1211588737
	Отн. погр., %	8.684×10^{-4}	1.746×10^{-3}	1.242×10^{-3}	4.909×10^{-3}	4.824×10^{-3}	1.500×10^{-3}	4.909×10^{-3}

На рисунках 1...3 приведены (для частного случая треугольного сигнала) эпюры сигналов, соответствующие гармоническим компонентам.

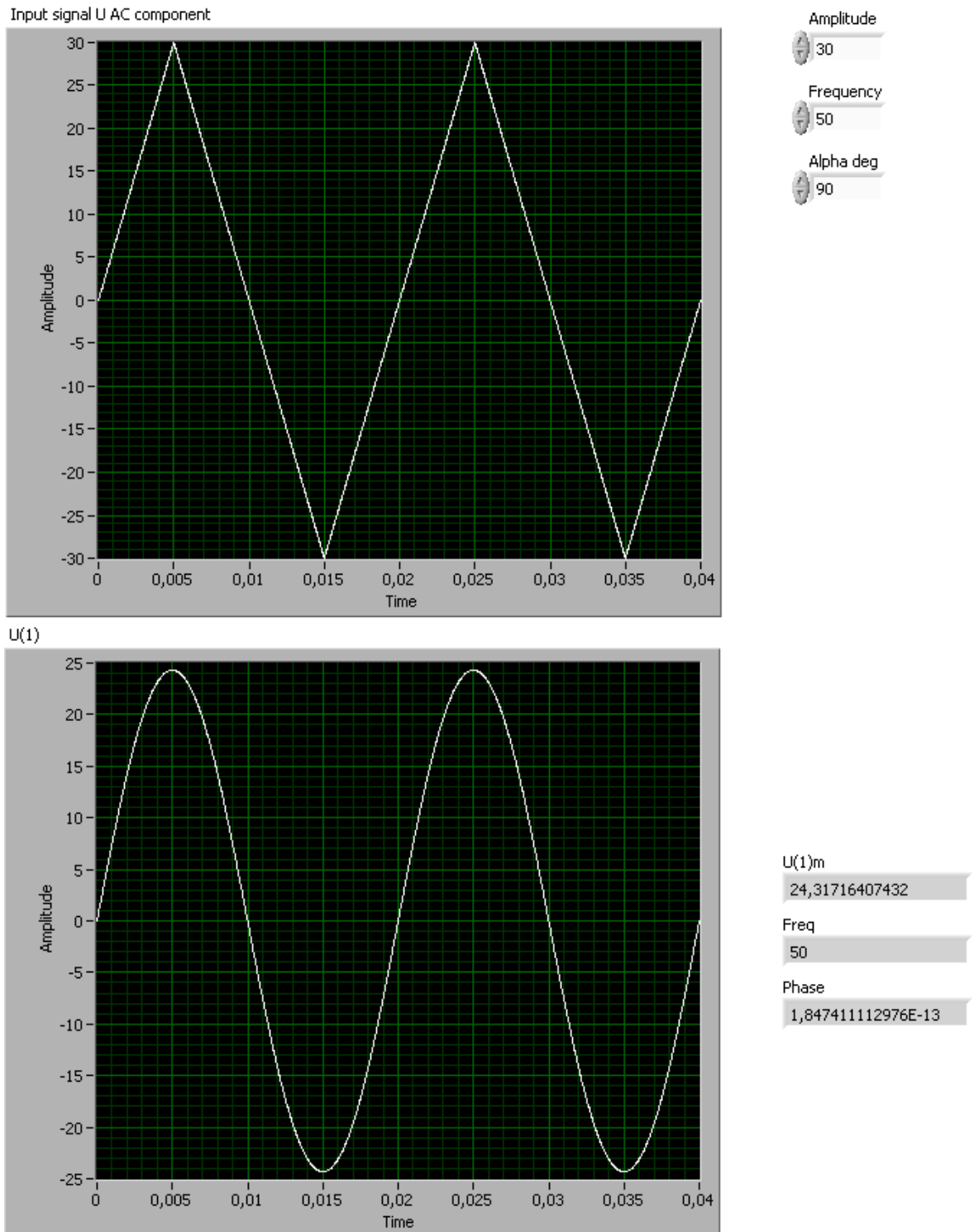


Рис. 1. Исследуемый сигнал и его первая гармоника

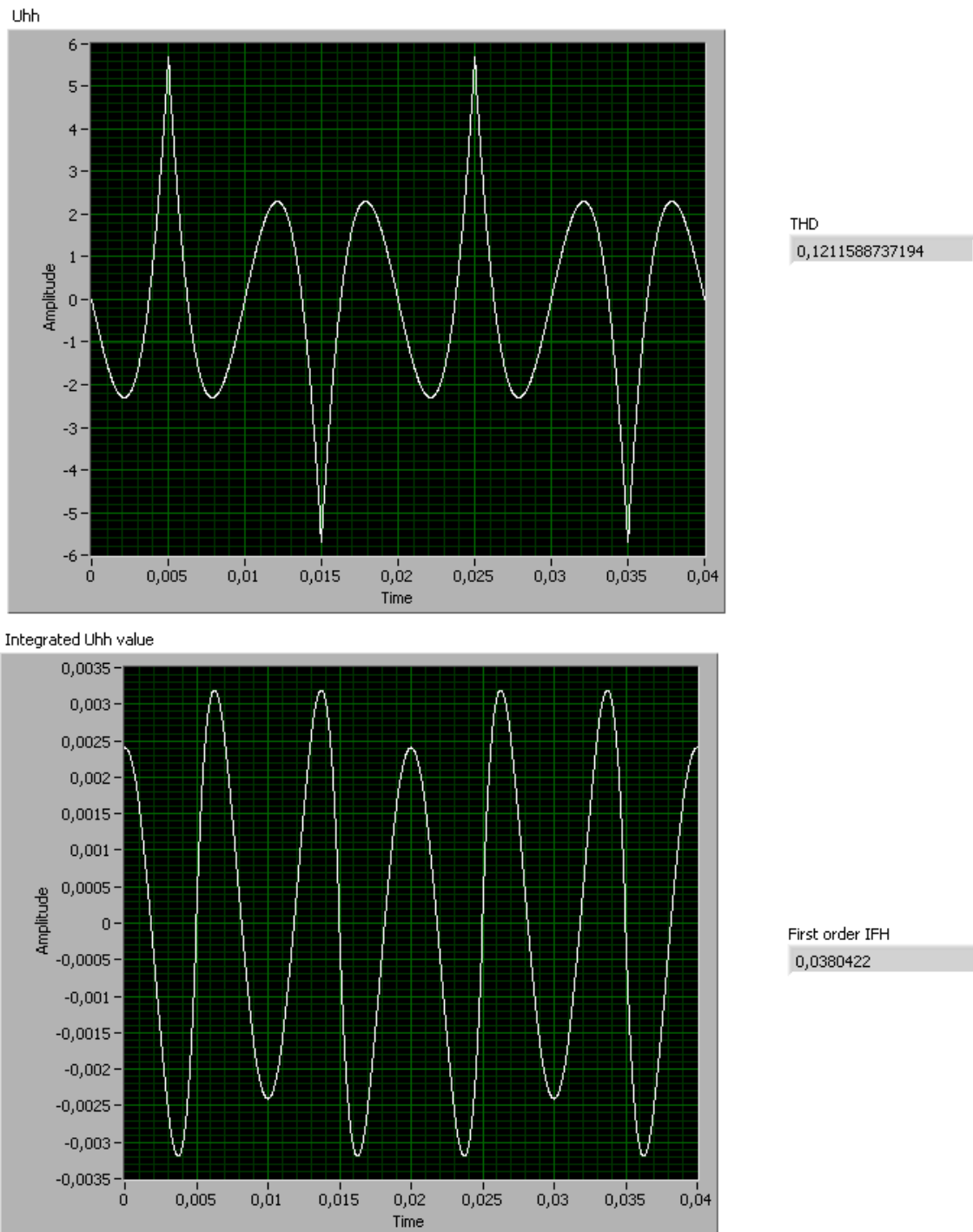
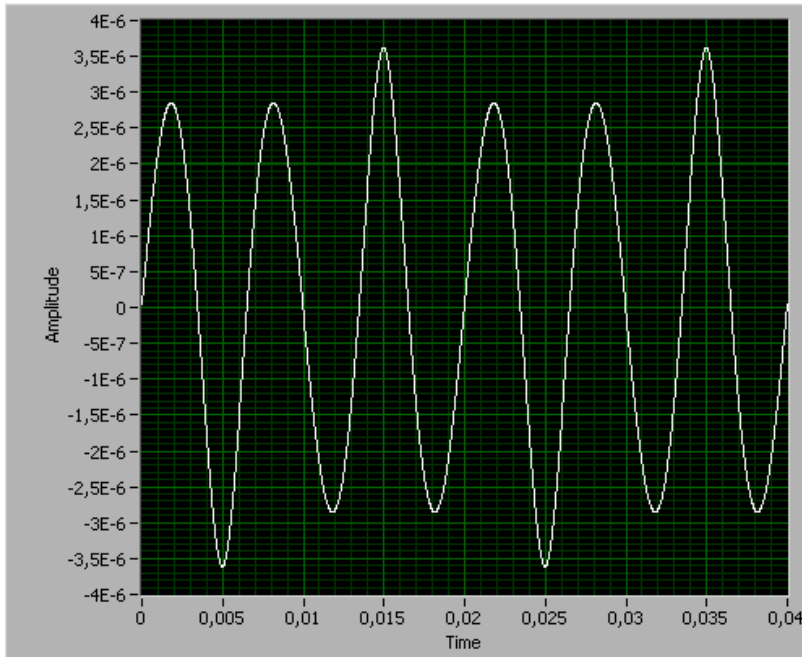


Рис. 2. Компонента по высшим гармоникам исследуемого сигнала и результат однократного взятия от нее неопределенного интеграла

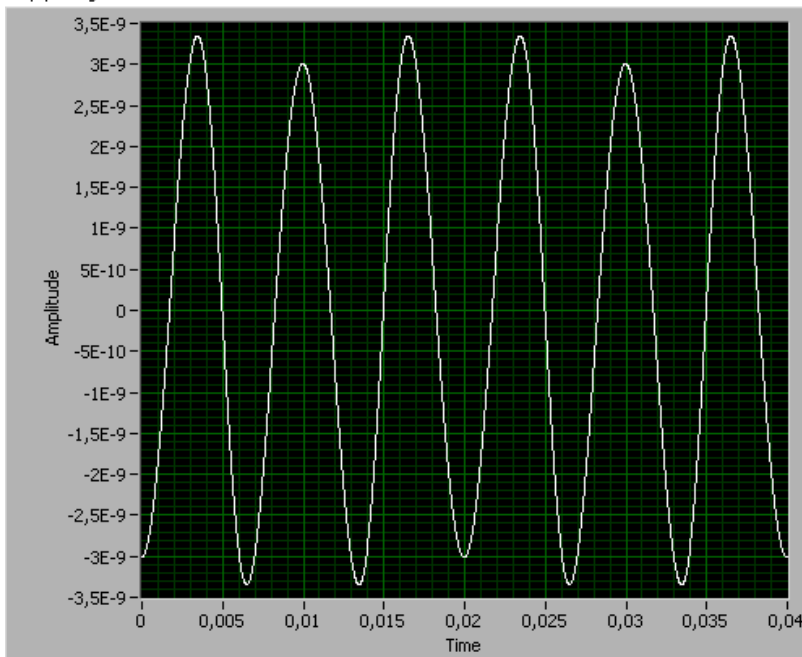
Twice integrated Uhh value



Second order IFH

0,0124578

Triply integrated Uhh value



Third order IFH

0,00412841

Рис. 3. Результат двукратного и трехкратного взятия неопределенного интеграла от компоненты по высшим гармоникам исследуемого сигнала

Заключение

Разработана компьютерная лабораторная работа для элективного курса по физике на тему «Оценка качества напряжения виртуальным инструментом LabVIEW» в объеме шести академических часов для лицеев и школ с углубленным изучением физико-математических дисциплин.

При достижении поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Изучено содержание соответствующих разделов физики, электроники и научных публикаций, а также литература, описывающая систему LabVIEW.
2. Разработан план элективного курса по физике «Качество электрической энергии».
3. Разработано содержание лабораторной работы.
4. Разработана блок-диаграмма виртуального инструмента LabVIEW для оценивания КГ и ИКГ сигнала, собрана и отлажена модель в LabVIEW.
5. Проведена апробация курса и разработанных методических материалов на лабораторных занятиях по физике на школьных элективных курсах.

Использование разработанной лабораторной работы повышает эффективность изучения темы «Качество электрической энергии». Методические материалы способствуют развитию у школьников умения самостоятельно применять знания по компьютерному моделированию, навыков графического программирования в среде LabVIEW, а также способствуют ознакомлению школьников с современными инженерными задачами, в частности, из области силовой электроники.

Библиографический список

1. *Аррилага, Дж.*, Брэдли, Д., Боджер, П. Гармоники в электрических системах. [Текст] — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 320 с.
2. *Батоврин В.К.*, Бессонов А.С., Мошкин В. В., Папуловский В. Ф. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий. [Текст] — М.: ДМК Пресс, 2005. — 208 с.
3. *Батоврин В. К.*, Бессонов А. С., Мошкин В. В. LabVIEW[Текст]: практикум по по электронике и микропроцессорной технике. — М.: ДМК Пресс, 2005. — 182 с.
4. *Бутырин П.А.*, Васьковская Т.А., Каратаев В.В., Материкин С.В. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 [Текст]: 30 лекций / Под ред. Бутырина П.А. — М.: ДМК-Пресс, 2005. - 264 с.
5. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники. [Текст] Изд. 6-е, перераб. и доп. Учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов. - М.: Высшая школа. - 1973. - 752с.
6. *Жарков Ф.Д.*, Каратаев В.В., Никифоров В. Ф., Панов В. С. Использование виртуальных инструментов LabVIEW // [Текст] Под ред. Демирчяна К. С. и Миронова В. Г. — М.: Радио и связь, 1999. — 268 с.
7. *Градштейн И.С.*, И.М. Рыжик. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. [Текст] - М.: Наука. - 1971. - 1108с.
8. *Загидуллин Р.Ш.* LabVIEW в исследования и разработках. [Текст] — М.: Горячая линия-Телеком, 2005. — 352 с.: ил.
9. *Заездный А.М.* Гармонический синтез в радиотехнике и электросвязи. [Текст] - Изд. 2-е, испр. и доп. - Л.: Энергия, 1971. - 528с.

10. *Зиновьев Г.С.* Силовая электроника [Текст]: учебное пособие для бакалавров. – 5-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2012. – 667 с.
11. *Зиновьев Г.С.* Прямые методы расчета энергетических показателей вентильных преобразователей. [Текст] — Новосибирск: Издательство Новосибирского университета, 1990. – 220 с.
12. *Зиновьев Г.С.* Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники (электроэнергетический аспект) [Текст]: учебное пособие.— Новосибирск: Издательство НГТУ, 1998. – 91 с.
13. *Климентьев К.Е.* Основы графического программирования в среде LabVIEW [Текст]: Учеб. Пособие. Самар. Гос. Аэрокосм. ун-т. Самара, 2002. 65 с.
14. *Лопаткин Н.Н., Еремеев В.А., Кулыгин В.С.* Возможности применения моделирования в среде LABVIEW на занятиях по электротехнике для оценки несинусоидальности сигналов напряжения при помощи интегральных коэффициентов гармоник. // В сборнике: Использование цифровых средств обучения и робототехники в общем и профессиональном образовании: опыт, проблемы, перспективы. Сборник научных статей II Международной научно-практической конференции. [Текст] Ответственный редактор А.Я. Суранов. 2015. С. 99-103. (РИНЦ)
15. *Линдваль В.Р.* Виртуальный лабораторный практикум по электродинамике в среде LabView. НМК «Интеграция образования, науки и производства – главный фактор повышения эффективности инженерного образования», [Текст] Казань, 2000 г.

16. *Линдваль В.Р., Едельсков А.Е.* Виртуальный лабораторный практикум «Электродинамика и распространение радиоволн». Тезисы докладов Всероссийской НТК «Информационно-телекоммуникационные технологии». [Текст] Москва.: МЭИ, 2004.
17. *Линдваль В.Р., Щербаков Г.И.* Виртуальный лабораторный практикум «Электродинамика и распространение радиоволн» в среде LabVIEW. Материалы Международной НПК «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments». [Текст] Москва.: РУДН, 2004.
18. *Межгосударственный стандарт* ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. (EN 50160:2010, NEQ) [Текст] — М.: Стандартиформ, 2014. – 20 с.
19. *Пейч Л.И., Точилин Д.А., Поллак Б.П.* LabVIEW для новичков и специалистов. [Текст] – М.: Горячая линия–Телеком, 2004. – 384с.: ил.
20. *Суранов А.Я.* LabVIEW 7: Справочник по функциям. [Текст] – М.: ДМК-Пресс, 2005. – 512 с
21. *Тревис Дж.* LabVIEW для всех [Текст] – М.: ДМК Пресс, 2004. -544 с.
22. *Holms D.G. and Lipo T.A.*. Pulse Width Modulation for Power Converters, Piscataway, [Текст]: NJ: IEEE Press, 2003.
23. *Lipko V.A., G.S. Zinoviev.* The family of extended power quality factors[Текст]: // EDM'2015, 16-th international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, Proceedings, pp. 553- 556, Erlagol, Altai, June 25 – July 3, 2015.

24. *Lopatkin N.N., Yu.A. Chernov.* Virtual instrument for non-conventional total harmonic distortion factors evaluation [Текст] // SIBCON-2016, 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. National Research University Higher School of Economics. Russia, Moscow, May 12-14, 2016. IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR. ISBN: 978-1-4799-1060-1, 166ni7n.pdf.
25. *Lopatkin N.N., Chernov Yu.A.* Differential and integral factors of harmonics LabVIEW estimation [Текст] // EDM-2016, 17 international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices. Erlagol, Altai – 30 June – 4 July, 2016. Proceedings - pp. 493-498.
26. *Rodriguez J., Correa P., Moran L.* A vector control technique for medium voltage multilevel inverters [Текст] // Proc. of the IEEE APEC, 2001, pp. 173-178.