

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»**

**(БГТУ им. В.Г. Шухова)**

*На правах рукописи*

Истони Реза

**«Применение устройства сбора данных NI USB-6008/6009 корпорации  
National Instruments и программного обеспечения LabVIEW для анализа  
нелинейной электрической осветительной нагрузки»**

Магистерская диссертация на соискание квалификации (степени)  
магистра техники и технологии

**Направление 140400.68 «Электроэнергетика и электротехника»**

магистерская программа «Электроэнергетические системы, сети, электропередачи,  
их режимы, устойчивость и надежность»

Научный руководитель:  
к.т.н., профессор **Виноградов А.А.**

Белгород 2014 г.

## Содержание

Введение .....	3
1. Классификация и основные параметры электрических источников света .....	5
1.1 Линейная нагрузка .....	6
1.1.1 Лампа накаливания .....	6
1.1.2 Галогенная лампа .....	8
1.2. Нелинейная нагрузка .....	9
1.2.1. Газоразрядная лампа .....	10
1.2.2. Люминесцентная лампа .....	11
1.2.3. Светодиодная лампа .....	13
1.2.4. Индукционная лампа .....	14
1.3. Высшие гармоники в осветительных сетях .....	16
1.3.1. Источники гармоник .....	16
1.3.2. Влияние гармоник .....	17
1.3.3. Суммарные гармонические искажения .....	20
1.3.4. Допустимый состав высших гармоник .....	20
2. Применение пакета LabVIEW в научных исследованиях .....	22
2.1. Пакет LabVIEW .....	22
2.1.1. Как работает LabVIEW .....	24
2.2. Устройство сбора данных NI USB-6008/6009 .....	26
2.2.1. Блок-схема аналогового ввода .....	31
2.3. Проведение исследований .....	34
2.3.1. Настройка аппаратных средств .....	34
2.3.2. Разработка программных приложений с помощью LabVIEW 2009 .....	36
2.4. Тестирование электрических источников света .....	41
2.4.1 Оборудование и материалы .....	41

МД 140400.68-801118077-2014 В																
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата												
Разраб.		Истони Реза	<i>Применение устройства сбора данных NI USB-6008/6009 корпорации National Instruments и программного обеспечения LabVIEW для анализа нелинейной электрической осветительной нагрузки</i>													
Консульт.		Виноградов														
Руков.		Виноградов														
Н. Контр.		Прасол Д.А.														
Зав. каф.		Нестеров М.Н.														
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Лит.</td> <td style="text-align: center;">Лист</td> <td style="text-align: center;">Листов</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center; padding: 5px;">МЭС-21, БГТУ им. В.Г. Шухова</td> </tr> </table>									Лит.	Лист	Листов		МЭС-21, БГТУ им. В.Г. Шухова			
Лит.	Лист	Листов														
МЭС-21, БГТУ им. В.Г. Шухова																

2.4.2. Результаты тестирования .....	43
2.4.2.1. Лампа накаливания модель L-27.....	43
2.4.2.2. Галогенная лампа фирмы Космос JCDR .....	52
2.4.2.3. Светодиодная лампа модель STR-25 .....	61
2.4.2.4. Компактная люминесцентная лампа модель M-FSP.....	70
2.4.2.5. Индукционная лампа модель LVD Jx.....	78
Заключение.....	87
Список литературы.....	89

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

## Введение

В электроэнергетической системе, нелинейные нагрузки будут генерировать электроэнергию, которая называется гармонизация. Гармонизация – это возникновение кратное частоте своей основной частоты сигнала. В соответствии с рядом Фурье, искаженный синусоидальный сигнал может быть разложен на основополагающий компонент и гармонические составляющие, имеющие кратные частоты. Гармонические компоненты с нечетными кратными частотами называются нечетные гармоники, а другие компоненты с четными кратными частотами называются четные гармоники. Но в целом, гармоники появляющиеся в энергосистеме являются нечетными гармониками. Гармонизация, которая вырабатывается накопленными нелинейными электрическими нагрузками, воздействует на энергосистемы, так что эта гармонизация будет нарушать качество электроэнергии из энергосистемы.

Гармоническое искажение не может быть обнаружено с помощью простого и недорогого инструмента, так его трудно определить. В этой диссертации мы проектируем и создаем инструмент измерения уровня гармоник на основе компьютера со спецификацией относительно доступной цены.

В общих чертах, методы исследования на этой диссертации разделены на три этапа, а именно: производство измерительных модулей (аппаратное обеспечение), производство программы анализа и контроля и также тестирование прототипа системы обнаружения и контроля уровня гармонизации.

Эта обработка предназначена для преобразования значения тока на уровень напряжения  $\pm 5$  В, это может быть декодировано с помощью А/Ц преобразователя, содержащейся в NI DAQ-6008, в цифровые сигналы, которые могут быть обработаны, проанализированы и вычисляться с помощью компьютера (через программу LabVIEW) [4], [9]. В соответствии с этой концепцией был сделан модуль обнаружения.

Создание модуля обнаружения осуществляется через сборку трансформатора тока ТТ, цепи делителя напряжения, NI DAQ-6008, GDM-8145

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

цифровой мультиметр и ноутбук в качестве интерфейса. Эта модуль используется для обнаружения, получения и сбора данных о текущем сигнале электроэнергетической системы.

Создание модуля обнаружения аппаратных средств продолжается строительством программного приложения, использующего графический язык программирования LabVIEW National Instruments 2009. Оно будет интегрировано с модулем обнаружения, обладать возможность входного сигнала, анализа текущей гармонизации, функцией контроля тревоги в критическом состоянии, а также отображения и хранения данных в реальном времени.

Для определения качества работы системы прототипа, обнаружения и мониторинга гармонизации токов и напряжений, провели тестирование прототипа с различными типами ламп, которые являются линейными и нелинейными нагрузками. В тестировании проводится сбор данных частот, форма кривой тока и напряжения, уровня шума и коэффициенты суммарных гармонических искажений тока и напряжения (THD) в реальном времени.

Все данные измерений при помощи прототипа были сверены с данными, полученные при помощи стандартного измерительного прибора.

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

## Основная часть

### 1. Классификация и основные параметры электрических источников света

Источник света - это любой объект, излучающий энергию в световом спектре. По своей природе подразделяются на искусственные и естественные.

Искусственные источники света — это технические устройства с различными конструкциями и различными способами преобразования энергии, основным назначением которых является получение светового излучения [2]. В источниках света используется в основном электроэнергия, но также иногда применяются химическая энергия и другие способы генерации света (например, триболюминесценция, радиоломинесценция и др.). В отличие от искусственных источников света, естественные источники света представляют собой природные материальные объекты: солнце, луна, полярные сияния, светлячки, молнии и прочее.

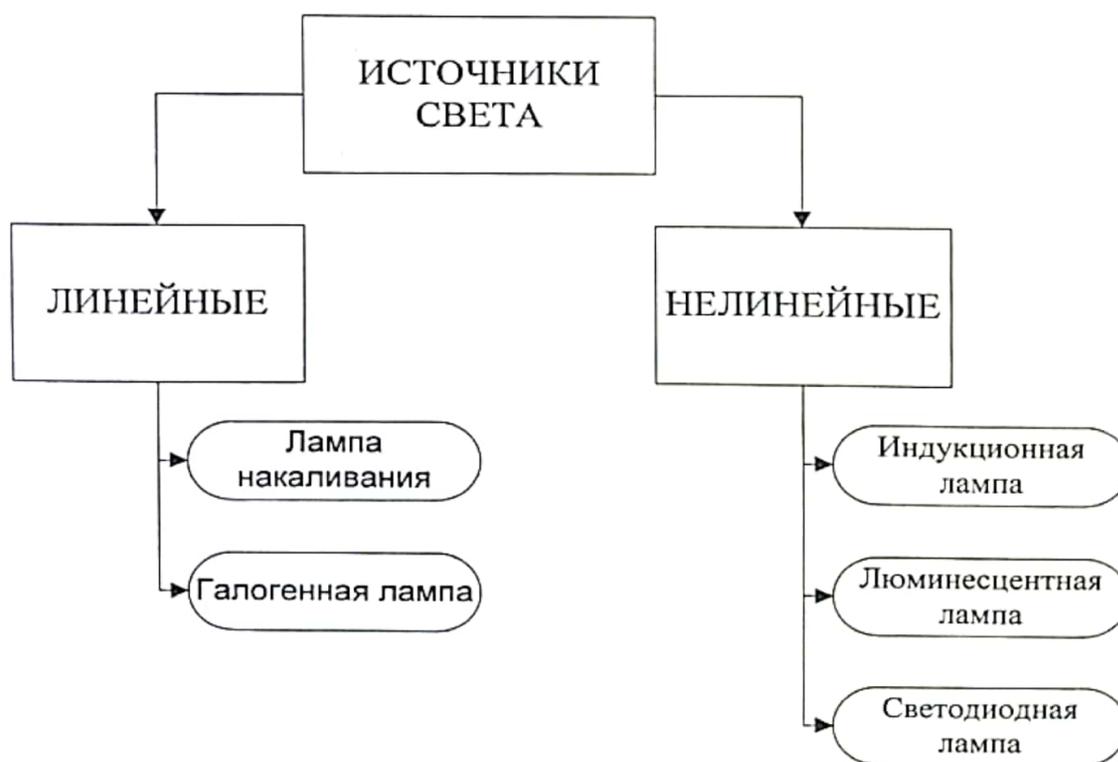


Рис. 1.1. Классификация осветительных ламп

На рисунке 1.1 представлена классификация ламп по 2 характеристикам – линейные и нелинейные. Они зависят от характеристического электричества,

										Лист
										5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В					

которое ссылается на синусоидальную волну источника напряжения. Линейные характеристики представляют собой типы ламп, которые производят света  $\pm 10\%$  из потреблений энергии и остаются 90% теплоты или имеют небольшое гармоническое искажение на волне, например, лампа накаливания и галогенная лампа. Нелинейные характеристики представляют собой типы ламп, которые имеют низкое качество коэффициента мощности или большое качество гармонического искажения, в которых возможно происходит искажение синусоидальной волны, например, газоразрядная лампа и светодиодная лампа.

### 1.1. Линейная нагрузка

Линейная нагрузка представляет собой нагрузку, у которой сопротивление всегда постоянно, так что поток всегда прямо пропорционален напряжению каждый раз. Линейная нагрузка подчиняется закону Ома, который считает, что ток пропорционален напряжению. Волна тока, создаваемая линейной нагрузкой будет равна кривой напряжения. Если к ней даётся синусоидальное напряжение, так что ток, протекающий к линейной нагрузке также синусоидальный, поэтому не бывают искажения и гармоники. Эта нагрузка в виде пассивных элементов, таких как резистор, конденсатор и компьютер.

#### 1.1.1. Лампа накаливания

Лампа накаливания - это электрический источник света, в котором тело накала (тугоплавкий проводник), помещённое в прозрачный вакуумированный или заполненное инертным газом сосуд, нагревается до высокой температуры за счёт протекания через электрический ток, в результате чего излучает в широком спектральном диапазоне, в том числе видимый свет. В качестве тела накала в настоящее время используется в основном спираль из сплавов на основе вольфрама.

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В				

В лампе используется эффект нагревания проводника (тело накала) через который протекает электрический ток (тепловое действие тока).

Температура тела накала резко возрастает после включения тока. Тело накала излучает электромагнитное тепловое излучение в соответствии с законом Планка. Функция Планка имеет максимум, положение которого на шкале длин волн зависит от температуры. Этот максимум сдвигается с повышением температуры в сторону меньших длин волн (закон смещения Вина). Для получения видимого излучения была необходимо порядка температуры нескольких тысяч градусов. При температуре 5770 К (температура поверхности Солнца) свет соответствует спектру Солнца. Чем меньше температура, тем меньше доля видимого света, и тем более «красным» кажется излучение.

Чтобы подсчитывать приблизительно данное качество света используется цветовая температура. При типичных лампах накаливания с температурой 2200—3000 К излучается желтоватый свет, отличный от дневного. В вечернее время «тёплый» (<3500 К) свет более комфортен и меньше подавляет естественную выработку мелатонина, важного для регуляции суточных циклов организма и нарушения его синтеза, который негативно сказывается на здоровье.

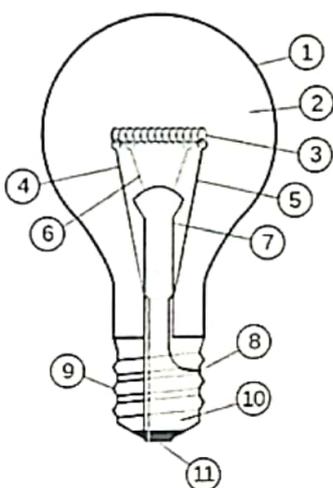


Рис. 1.2. Конструкция современной лампы накаливания

На схеме: 1 — колба; 2 — полость колбы (вакуумированная или наполненная газом); 3 — тело накала; 4, 5 — электроды (токовые вводы); 6 — крючки-держатели тела накала; 7 — ножка лампы; 8 — внешнее звено токоввода, предохранитель; 9 — корпус цоколя; 10 — изолятор цоколя (стекло); 11 — контакт доньшка цоколя.

### 1.1.2. Галогенная лампа

Конструкция галогенной лампы принципиально не отличается от обычной лампы накаливания. Та же вольфрамовая спираль, раскаляющаяся до свечения под действием электротока. Но некоторые особенности позволили получить осветительный прибор, обладающий значительно лучшими эксплуатационными характеристиками [3].

Теоретический предел к.п.д. ламп накаливания примерно 15%, реальные значения - не более 2-5%. Технически можно увеличить его, повысить напряжение накала и, как следствие, температуру нити. Но в этом случае значительно сокращается срок службы электроприбора. Рост напряжения питания примерно на 20% увеличивает яркость свечения в два раза, но и уменьшает срок службы лампы примерно в те же два раза. Высокое давление внутри колбы и наличие в ней паров галогенов брома и йода позволяет повысить температуру накала без уменьшения срока службы лампы. Такие лампы называют галогенными.



Рис 1.3. Галогенная лампа

Колбы галогенных ламп значительно меньше по размеру, чем у обычных ламп накаливания. Уменьшение размеров стало возможно ввиду отсутствия эффекта осаждения паров вольфрама на стекле колбы. Колбы галогенных IRC ламп дополнительно покрыты веществом, отражающим инфракрасное излучение и пропускающим видимое, что позволяет экономить около 45% энергии, необходимой для разогрева нити.

## 1.2. Нелинейная нагрузка

Нелинейная нагрузка представляет собой нагрузку, у которой сопротивление не постоянное в каждом периоде входного напряжения. С этим не постоянным импедансом, то результирующий ток не прямо пропорционален приложенному напряжению, так что нелинейная нагрузка не соответствует закону Ома, который считает, что ток прямо пропорционален напряжению. Волна тока, создаваемая нелинейной нагрузкой не будет равна кривой напряжения, так что бывают искажения. С широким использованием нелинейных нагрузок, синусоидальная волна может быть искажена.

Тенденция использования электронных нагрузок в больших количествах может вызвать неизбежные проблемы. В отличие от электрических нагрузок, которые создают синусоидальный ток (того же вида напряжения, которое поставляет их), электронные нагрузки создают ток с формой несинусоидальной, хотя поставляются синусоидальном напряжением. Нагрузки, которые имеют эти свойства называются нелинейные нагрузки [5].

Нелинейная нагрузка – это оборудование, которое производит волны тока в несинусоидальной форме, причиной которого являются гармонический ток. Эти гармонические токи вызывают много последствий для оборудования системы электроэнергии. Например, потери в сетях увеличатся, нагрев на конденсаторах, трансформаторах и электрических машинах, которые вращаются, а также ошибки при считываниях измерительных приборов RMS.

Некоторые примеры нелинейных нагрузок, таких как лампы, из них:

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В				

### 1.2.1. Газоразрядная лампа

Газоразрядная лампа - источник света, излучающий энергию в видимом диапазоне. Физическая основа - электрический разряд в газах. В последнее время принято называть газоразрядные лампы разрядными лампами.

Разрядные лампы обладают высокой эффективностью преобразования электрической энергии в световую. Эффективность измеряется отношением люмен/Ватт.

В разрядных лампах могут использоваться разные газы: пары металлов (ртути или натрия), инертные газы (неон, ксенон и другие), а также их смеси. Наибольшей эффективностью, на сегодняшний день, обладают натриевые лампы (ДНаТ), они работают в парах натрия и имеют эффективность 150 лм/Вт.

Подавляющее большинство разрядных ламп - это ртутные лампы, они работают в парах ртути. Среди ртутных ламп можно упомянуть дуговые ртутные люминесцентные лампы (ДРЛ). Кроме этого, широко распространены металлогалогенные лампы (МГЛ или ДРИ) - в них используется смесь паров ртути, инертных газов и галогенидов металлов. Меньше распространены безртутные разрядные лампы, содержащие инертные газы: ксеноновые лампы (ДКсТ), неоновые лампы и другие.

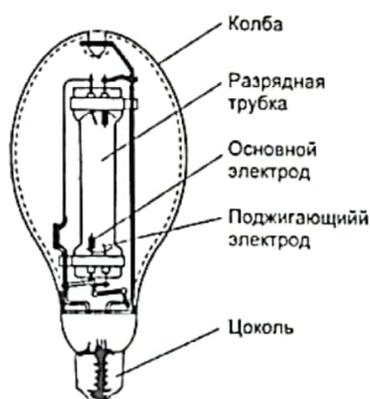


Рис 1.4. Принципиальная схема газоразрядной лампы

Внешний вид ртутной газоразрядной лампы высокого давления показан на рисунке 1.4. Основа лампы - разрядная кварцевая трубка (горелка), в которую под строго нормированным давлением закачаны пары ртути и инертный газ для

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В				10

облегчения зажигания. Имеются также дополнительные (зажигающие) электроды из вольфрама, соединенные с основными электродами через балластные резисторы.

Собственно, ртутный разряд излучает волны четырех спектральных составляющих: ультрафиолетовой, фиолетовой, зеленой и немного в желтой. Отсутствие излучения в красной области спектра приводит к тому, что свечение ртутного разряда носит мертвенно-бледный цвет с очень низким показателем Ra.

### 1.2.2. Люминесцентная лампа

Люминесцентная лампа - это газоразрядный источник света, в котором электрический разряд в парах ртути создаёт ультрафиолетовое излучение, которое преобразовывается в видимый свет с помощью люминофора — смеси фосфора с другими элементами.

Световая отдача люминесцентной лампы в несколько раз больше, чем у ламп накаливания аналогичной мощности. Срок службы люминесцентных ламп может в 10 раз превышать срок службы ламп накаливания при условии обеспечения достаточного качества электропитания, балласта и соблюдения ограничений по числу включений и выключений.

При работе люминесцентной лампы между двумя электродами, находящимися в противоположных концах лампы, возникает следующий разряд. Лампа заполнена инертным газом и парами ртути, проходящий ток приводит к появлению УФ излучения. Это излучение невидимо глазами человека, поэтому его преобразуют в видимый свет с помощью явления люминесценции. Внутренние стенки лампы покрыты специальным веществом — люминофором, которое поглощает УФ излучение и излучает видимый свет. Изменяя состав люминофора, может поменять оттенок свечения лампы. В качестве люминофора используют в основном галофосфаты кальция и ортофосфаты кальция-цинка.

Рис 1.6 конструктивно она представляет собой стеклянную трубку с нанесенным на внутреннюю поверхность слоем люминофора. В торцы трубки введены вольфрамовые спиральные электроды. Для повышения эмиссионной способности

									Лист
									11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В				

на электроды наносится оксидная суспензия, изготавливаемая из карбонатов или перекисей щелочноземельных металлов.

Внутри лампы находятся разреженные пары ртути и инертный газ (аргон). Давление ртутных паров в ЛЛ зависит от температуры стенок лампы и составляет при нормальной рабочей температуре 40 °С примерно 0,13-1,3 Н/м<sup>2</sup> (10<sup>-2</sup>- 10<sup>-3</sup> мм рт. ст.). Такое низкое давление обеспечивает интенсивное излучение разряда в ультрафиолетовой области спектра (преимущественно с длиной волны 184,9 и 253,7 нм). Под действием электрического напряжения (поля), приложенного к электродам, в лампе возникает газовый разряд. При этом проходящий через пары ртути ток вызывает ультрафиолетовое излучение. На внутреннюю поверхность лампы нанесен слой особого вещества (люминофор). Наиболее распространенным люминофором является гало- фосфат кальция, активированный сурьмой и марганцем.

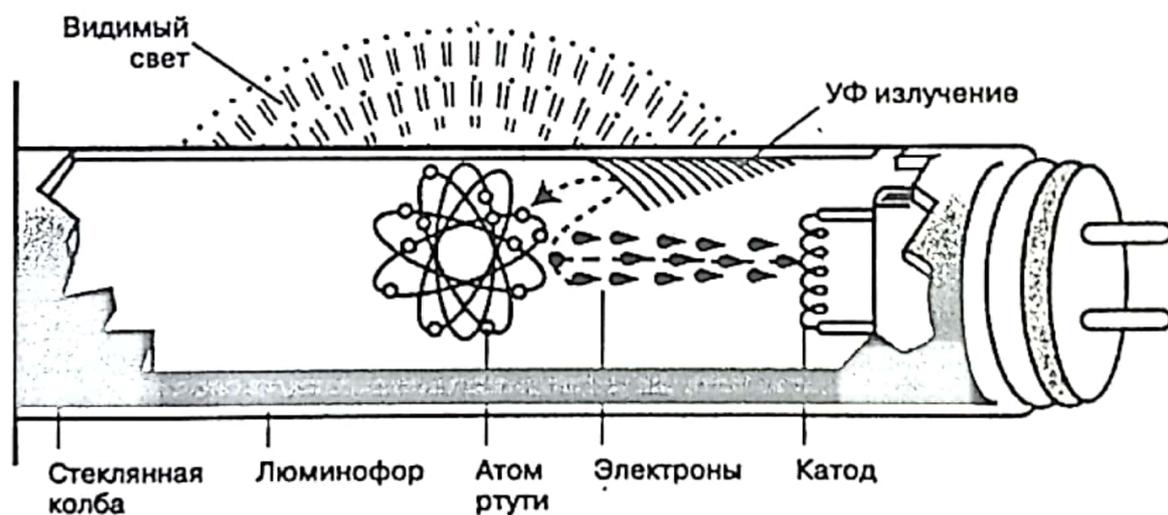


Рис. 1.5. Строение люминесцентной лампы [6]

Изменяя соотношение активаторов, можно получить люминофоры разных марок и изготавливать лампы разной цветности. Ультрафиолетовое излучение, воздействуя на люминофор, заставляет его светиться, т. е. люминофор преобразует ультрафиолетовое излучение газового разряда в видимый свет. Стекло, из которого выполнена ЛЛ, препятствует выходу ультрафиолетового излучения из лампы, тем самым предохраняя наши глаза от вредного для них излучения.

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

### 1.2.3. Светодиодная лампа

Светодиодная лампа – это лампа, работающая по принципу испускания света от полупроводникового элемента. Светодиодная лампа разрабатывается с 1962 года, когда было обнаружено, что если галлий арсенид, преломленный прямо (вперед) является высокоэффективным излучателем излучения. Электрическое освещение от связи р-п идентичное с характеристиками обычных кремниевых и германиевых диодов. Однако, когда оно преломляется вперед, часть энергии диссипации изменяется в виде света, кроме как в виде тепла.

На рисунке 1.8 - это диод полупроводникового типа, в котором используется принцип р-п-перехода. Полупроводник п-типа имеет избыток электронов (отрицательный заряд), р-тип – избыток дырок (положительный заряд). При их соединении и приложении электрического поля к диоду электроны и дырки стремятся к р-п-переходу, выделяется энергия в виде фотонов, то есть свет. Во всех диодах излучается фотон, но иногда видимого излучения не происходит, тогда эта энергия генерируется в тепло, иногда достаточное для нагрева полупроводника. Поэтому температуру р-п-перехода ограничивают с помощью теплоотводов.

В светодиоде ток преобразуется в свет с небольшой потерей на нагревание (за счет того же теплоотвода), поэтому они более экономичны, чем, например, лампы накаливания, и более надежны при использовании приборов, где нельзя допускать нагревание. Цвет, излучаемый светодиодом, зависит от материалов, из которых состоят полупроводниковые р-п-переходы. Современные полупроводниковые кристаллы могут содержать огромное количество р-п-переходов. Интенсивность излучения зависит от тока: чем он больше, тем ярче светит светодиод.

									Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В				

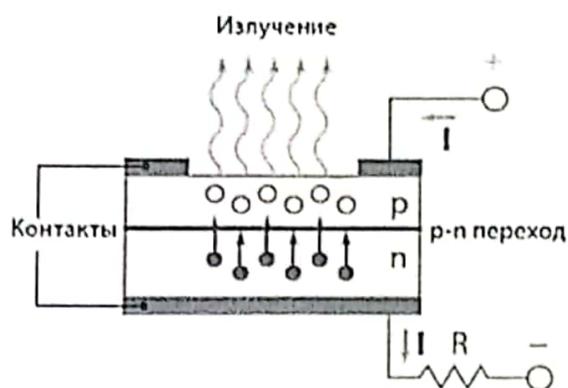


Рис 1.6. Принцип действия светодиода [7]

В большинстве случаев, существующая торговая светодиодная лампа основана галлием арсенидом и галлием фосфидом. Светодиодная лампа имеет одинаковые электрические характеристики с диодом выпрямителя. Обычно используется напряжение 2 В, а ток составляет 10 мА типичного характера, но протекающий ток должен ограничиваться резистором, который соединенный последовательно или регулированием протекающего тока, чтобы избежать чрезмерное повышение температуры светодиодной лампы. Светодиодная лампа производит очень высокую точку излучения. Величина освещения в одной красной торговой светодиодной лампе бывают 3500 кд, и в одной люминесцентной лампе бывают 5000 кд. Интенсивность излучения светодиодной лампы зависит от величины протекающего тока и длительного периода светодиодной лампы. Обычно преломление достигает более 100 000 часов.

#### 1.2.4. Индукционная лампа

Индукционная лампа - электрический источник света, принцип работы которого основан на электромагнитной индукции и газовом разряде для генерации видимого света. Фактически представляет собой усовершенствованную модификацию люминесцентной лампы, основным отличием от которой является

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14



электромагнитном поле, и под воздействием ультрафиолетового излучения разряда происходит свечение люминофора. Конструктивно и по принципу работы лампа напоминает трансформатор, где имеется первичная обмотка с высокочастотным током и вторичная обмотка, которая представляет собой газовый разряд, происходящий в стеклянной трубке.

### 1.3. Высшие гармоники в осветительных сетях

Гармоники или гармонические искажения - это искажение, которое происходит в системе распределения электрической энергии, текущей синусоидальной волны тока и напряжения. В принципе, гармоника - это симптома формирования волны с различными частотами, которые являются умножениями целых чисел с основной частотой. Частота, с которой изменяется волна тока или напряжения называется гармонической частотой. Например, основная частота системы электрической власти составляет 50 Гц, означает что её вторая гармоника является волной с частотой 100 Гц, и её третья гармоника является волной с частотой 150 Гц, и так далее. Эти волны затем накладываются на основную волну так, что формируется дефектная волна, которые представляет собой суммой между кривой основной частоты и гармоническими волнами.

В энергетической системе, гармоника определяется синусоидальным компонентом из периодической волны, которая имеет множественную частоту из своей основной частоты. То есть, в энергетической системе основная частота - это  $f_0$ , и частоты гармоник - это  $hf_0$ . Гармоника часто используется, чтобы изображать искажение синусоидальной волны тока и напряжения разных амплитуд и частот.

#### 1.3.1. Источники гармоник

В энергетической системе существуют два типа нагрузок – линейные нагрузки и нелинейные нагрузки. Линейные нагрузки – это нагрузки, которые дают линейные формы выходной волны. Когда напряжение имеет синусоидальную волну, тогда ток должен иметь такую же синусоидальную волну.

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

К линейным нагрузкам можно отнести резистора, нагрузка индуктора, трансформатор и асинхронный двигатель.

Нелинейные нагрузки означает, что форма выходной волны не равно напряженне в каждом полупериоде. Нелинейные нагрузки, в основном, являются электронными оборудованиями, в которых есть много полупроводниковых компонентов. Форма волны неопределенная и может измениться, в зависимости от регулирования параметров компонента полупроводника в электронном оборудовании. Изменения формы этой волны не связаны с источником напряжения. Ток нелинейных нагрузок не образывает синусоидальную волну, хотя источник мощности, который в то время используется, является имеет синусоидальный сигнал [8].

Некоторое оборудование может вызывать гармоники, например, компьютер, принтер, флуоресцентная лампа (которая использует электронный балласт), регулятор скорости двигателя, асинхронный двигатель, система ИМП (источники надежного электропитания, UPS (Uninterruptible Power Supplies), аккумуляторная зарядная станция, гальванические элементы. Это оборудование предназначено для экономичного и эффективного использования электрического тока, так как электрический ток может передаваться к компонентам полупроводника только в определенный период.

### 1.3.2. Влияния гармоник

Каждый компонент системы может влиять на выработку гармоник, хотя с разным результатом. Однако, этот компонент сам будет испытывать снижение производительности и даже будет подвержен риску выхода из строя. В общем говоря, гармоника по току оказывает влияние больше, чем гармоника по напряжению. В электрическая система подвергается двум основным отрицательным влияниям от гармоник тока. Первое, повышение этого тока вызывает потери в кабеле, шине, трансформаторе, снижение коэффициента мощности коррекции конденсатора, который используется в системе передачи. Второе влияние является увеличение тепловыделения, которое вызывается каждой

									Лист
									17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В				

гармоникой тока. Избыточное тепло может вызывать вероятно преждевременные повреждения в компонентах и даже возгорание. Другое отрицательное влияния на систему электроэнергетики является избыточное тепло в нейтральном проводе, в результате появления третьей гармоники, которая порождается электрическим оборудованием одной фазы.

В нормальных условиях, ток нагрузки каждой фазы из сбалансированных линейных нагрузок основной частоты будет снижать друг другом, так что его нейтральный ток будет равен нулю. И наоборот, нелинейные нагрузки одной фазы вызывают нечетные гармоники кратные трем, которые называются утроенные гармоники (3-ая гармоника, 9-ая гармоника, 15-ая гармоника и так далее), которые часто называются последовательными гармониками (см. таб. 1.1).

Таблица 1.1

Полярность гармонического компонента

Гармоника	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота[Гц]	50	100	150	200	250	300	350	400

Очередность	+	-	0	+	-	0	+	-
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---

Очередность полярности первой гармоники является позитивной, второй гармоники является негативной, третьей гармоники является нулем, четвёртой гармоники является позитивной (и так повторяется). В результате очередности полярности гармонически может повлиять на двигатель и на систему передачи электроэнергии (см. таб. 1.2).

Таблица 1.2

## Влияние полярности гармонического компонента

Очередность	Влияние на двигатель	Влияние на систему передачи
+	Вызывает поворот магнитного поля (вперед)	Нагрев, выделение тепла
-	Вызывает поворот магнитного поля (обратно)	Тепло и направление вращения двигателя изменяется
0	-	Тепло и увеличение тока нейтрального провода

Кроме того, гармоники оказывают следующие отрицательные воздействие на энергетическую сеть:

- Перегрузки на нейтральных проводах
- Перегрев трансформаторов
- Случайные переключения автоматических выключателей
- Перегрузка конденсаторов коррективы коэффициента мощности
- Поверхностный эффект



Таблица 1.3

Значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих напряжения (не кратных трем  $K_{U(n)}$ )[9]

Номер п/п гармонической составляющей, n	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ , %, для напряжения U1 электрической сети			
	0,38 кВ	6-25 кВ	35 кВ	110-220 кВ
5	6	4	3	1,5
7	5	3	2,5	1
11	3,5	2	2	1
13	3,0	2	1,5	0,7
17	2,0	1,5	1	0,5
19	1,5	1	1	0,4
23	1,5	1	1	0,4
25	1,5	1	1	0,4
>25	-	-	-	-

Таблица 1.4

Значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих напряжения, кратных трем  $K_{U(n)}$  [9]

Номер п/п гармонической составляющей, n	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ , %, для напряжения U1 электрической сети			
	0,38 кВ	6-25 кВ	35 кВ	110-220 кВ
3	5	3	3	1,5
9	1,5	1	1	0,4
15	0,3	0,3	0,3	0,2
21	0,2	0,2	0,2	0,2
>21	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица 1.5

Значения коэффициентов напряжения четных гармонических составляющих  $K_{U(n)}$

Номер п/п гармонической составляющей, n	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ , %, для напряжения U1 электрической сети			
	0,38 кВ	6-25 кВ	35 кВ	110-220 кВ
2	2	1,5	1	0,5
4	1	0,7	0,5	0,3

6	0,5	0,3	0,3	0,2
8	0,5	0,3	0,3	0,2
10	0,5	0,3	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,2	0,2
>12	0,2	0,2	0,2	-

Таблица 1.6

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих  
напряжения  $K_U$  [9]

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_U$ , %, для напряжения электрической сети			
0,38 кВ	6—25 кВ	35 кВ	110—220 кВ
8	5	4	2
12	8	6	3

## 2. Применение пакета LabVIEW в научных исследованиях

### 2.1. Пакет LabVIEW

LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) - это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы *National Instruments* (США). Первая версия LabVIEW была выпущена в 1986 году для Apple Macintosh, в настоящее время существуют версии для UNIX, Linux, Mac OS и пр., а наиболее развитыми и популярными являются версии для Microsoft Windows.

LabVIEW используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами. Идеологически LabVIEW очень близка к SCADA-системам, но в отличие от них в большей степени ориентирована на решение задач не столько в области ТП (расшифровку надо вписать), сколько в области АСНИ (автоматизированная система научных исследований).

LabVIEW это среда графического программирования, которую используют технические специалисты, инженеры, преподаватели и ученые по всему миру для быстрого создания комплексных приложений в задачах измерения, тестирования, управления, автоматизации научного эксперимента и образования. В основе LabVIEW лежит концепция графического программирования - последовательное соединение функциональных блоков на блок-диаграмме.

Помимо самой возможности программирования среда LabVIEW предоставляет в распоряжение пользователя широкий спектр инструментов и библиотек: от интерактивных мастеров настройки и пользовательских интерфейсов до встроенных компилятора, компоновщика и средств отладки.

Чтобы лучше понять основные преимущества концепции графического программирования, стоит обратиться к истории появления первого высокоуровневого языка. В середине 50-х годов XX века, на заре развития компьютерной техники, небольшое подразделение в IBM разработало альтернативный способ программирования суперкомпьютеров IBM 704 – язык FORTRAN. В отличие от существовавшего в то время низкоуровневого языка, предложенный специалистами язык был ближе к прикладной области, проще воспринимался человеком и позволял ускорить процесс разработки.

Сперва инженерное сообщество скептически отнеслось к появлению нового языка. Способность программ, написанных на FORTRAN, работать столь же быстро, как и кропотливо созданные на низкоуровневых языках, вызывала большие сомнения. Однако довольно скоро стало ясно, что разница в производительности практически отсутствует. С другой стороны, FORTRAN позволял сократить размер исходного кода в десятки раз, поэтому не удивительно, что он быстро завоевал популярность.

Несмотря на то, что высокоуровневые языки все время совершенствуются, вопрос повышения удобства и скорости работы остается актуальным и на сегодняшний день.

									Лист
									23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В				

Это объясняет популярность и широкое распространение языка G, с тех пор как он появился в 1986 году. Этот язык предоставляет максимально возможный уровень абстракции, что позволяет пользователям работать более эффективно, практически не проигрывая в производительности кода таким языкам как FORTRAN, C и C++.

### 2.1.1. Как работает LabVIEW

Программы LabVIEW называются виртуальными приборами (ВП, *virtual instruments* - VI), так как они функционально и внешне подобны реальным (традиционным) приборам. Однако они столь же подобны программам и функциям на популярных языках программирования, таких как C или Basic. Программа LabVIEW тоже называется виртуальными приборами или ВП, причем вне зависимости от того, соотносится их вид и поведение с реальными приборами или нет.

Виртуальный прибор состоит из трех основных частей:

- Лицевая панель (*Front Panel*) представляет собой интерактивный пользовательский интерфейс виртуального прибора и названа так потому, что имитирует лицевую панель традиционного прибора. На ней могут находиться ручки управления, кнопки, графические индикаторы и другие элементы управления (*controls*), которые являются средствами ввода данных со стороны пользователя, и элементы индикации (*indicators*) - выходные данные из программы. Пользователь вводит данные, используя мышь и клавиатуру, а затем видит результаты действия программы на экране монитора;

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В				

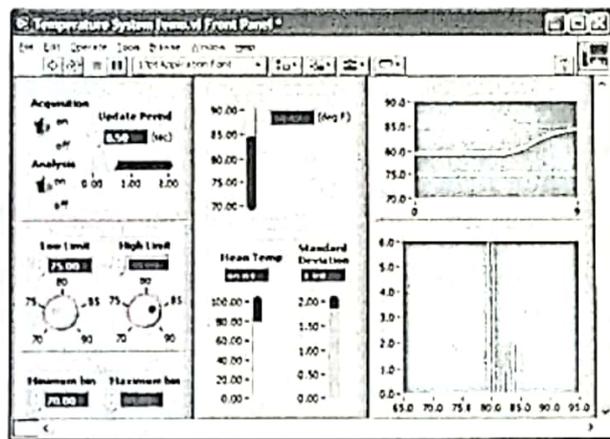


Рис 2.1. Лицевая панель (*Front Panel*)

- блок-диаграмма (*Block Diagram*) является исходным программным кодом ВП, созданным на языке графического программирования LabVIEW, G (Джей). Блок-диаграмма представляет собой реально исполняемое приложение. Компонентами блок-диаграммы являются: виртуальные приборы более низкого уровня, встроенные функции LabVIEW, константы и структуры управления выполнением программы. Для того чтобы задать поток данных между определенными объектами или, что-то же самое, создать связь между ними, вы должны нарисовать соответствующие проводники (*wires*). Объекты на лицевой панели представлены на блок-диаграмме в виде соответствующих терминалов (*terminals*), через которые данные могут поступать от пользователя в программу и обратно;

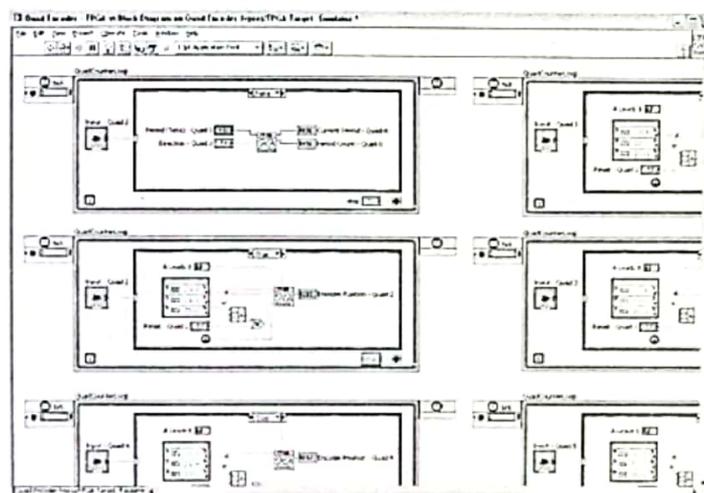


Рис 2.2. Блок-диаграмма (*Block Diagram*)

- Для того чтобы использовать некоторый ВП в качестве подпрограммы в блок-диаграмме другого ВП, необходимо определить его иконку (*icon*) и соединительную панель (*connector*). Виртуальный прибор, который применяется внутри другого ВП, называется виртуальным подприбором (ВПП, *SubVI*), который аналогичен подпрограмме в традиционных алгоритмических языках. Иконка является однозначным графическим представлением ВП и может использоваться в качестве объекта на блок-диаграмме другого ВП. Соединительная панель представляет собой механизм передачи данных в ВП из другой блок-диаграммы, когда он применяется в качестве подприбора - ВПП. Подобно аргументам и параметрам подпрограммы, соединительная панель определяет входные и выходные данные виртуального прибора.

## 2.2. Устройство сбора данных NI USB-6008/6009

УСД NI USB-6008/6009 присоединяется к компьютеру посредством интерфейса *full-speed USB* и содержит восемь каналов ввода аналоговых сигналов (AI), два канала генерации аналоговых сигналов (AO), 12 каналов цифрового ввода/вывода (DIO) и 32-разрядный счетчик. В данной версии руководства пользователя вводятся новые наименования функций в соответствии с принятыми в NI-DAQmx. В таблице 1 приводится соответствие старых и новых наименований.

Таблица 2.1

Наименование режимов управления выходным цифровым сигналом[6]

Режим работы	Терминология NI-DAQmx
Open-drain	Открытый коллектор ( <i>Open collector</i> )
Push-pull	Активное управление ( <i>Active drive</i> )



Конфигурация цифрового ввода/вывода	Открытый коллектор	подключение)
* Может зависеть от конфигурации системы.		

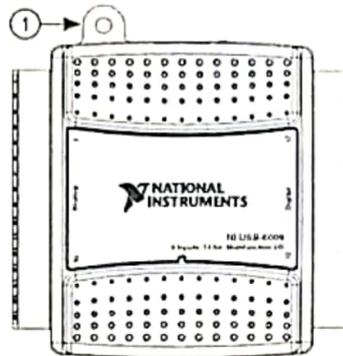


Рис. 2.3. USB-6008/6009

1 – Приспособление для защиты от натяжения USB кабеля [6]

Таблица 2.3

Обозначения терминалов ввода/вывода аналоговых сигналов [6]

Модул	Терминал	Схема подключения с общим проводом	Дифференциальная схема подключения
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AI 0	AO 0
	15	AI 1	AO 1
	16	GND	GND

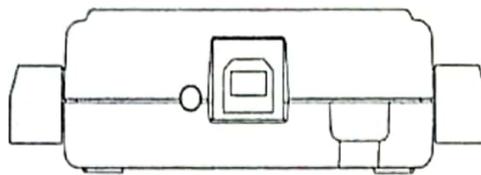


Рис 2.4. USB-6008/6009 вид сзади [6]

Комплект поставки USB-6008/6009 включает по одному съемному терминальному блоку для цифровых и аналоговых сигналов. В таблицах 2.3 и 2.4 приведены обозначения терминалов ввода/вывода аналоговых и цифровых сигналов.

Таблица 2.4

Обозначения терминалов ввода/вывода цифровых сигналов [6]

Модуль	Терминал	Сигнал
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

В таблице 2.5 описаны сигналы, которые можно подключать к терминалам ввода/вывода.

Аналоговые сигналы подаются на вход USB-6008/6009 через соединительную панель. Схема подключения описывается в таблице 2.5.

## Описание сигналов [6]

Наименование Сигнала	Источник опорного напряжения	Направление Передачи	Описание
GND	-	-	Ground – Точка подключения опорного напряжения при аналоговом вводе в схеме с общим проводом, точка вытекания тока смещения при дифференциальном вводе сигнала, при генерации аналоговых сигналов, при цифровом вводе/выводе, для обеспечения питания постоянным напряжением +5 В, для обеспечения постоянным опорным напряжением +2.5 В
AI <0..7>	Различный	Ввод	Каналы ввода аналоговых сигналов 0 – 7. Служат для измерений напряжения в схеме с общим проводом; каждая линия предназначена для ввода одного сигнала. В дифференциальной схеме AI 0 и AI 4 являются положительной и отрицательной линиями канала 0. Следующие пары линий также образуют дифференциальные входные каналы: <AI 1, AI 5>, <AI 2, AI 6> и <AI3, AI7>.
AO 0	GND	Вывод	Канал вывода аналогового сигнала – Генерация напряжения в нулевом канале

AO 1	GND	Вывод	Канал вывода аналогового сигнала – Генерация напряжения в первом канале
P1.<0..3> P0.<0..7>	GND	Двунаправленные	Ввод/вывод цифровых сигналов – Каждый из каналов можно индивидуально настраивать на ввод или вывод.
+2.5 V	GND	Вывод	Источник опорного напряжения.
+5 V	GND	Вывод	Источник постоянного напряжения + 5 В и максимальным током 200 мА.
PFI 0	GND	Ввод	В зависимости от настройки, ввод цифрового триггера или счетчика.

### 2.2.1. Блок-схема аналогового ввода

На рисунке 2.18 приведена принципиальная схема аналогового ввода плат USB-6008/6009.

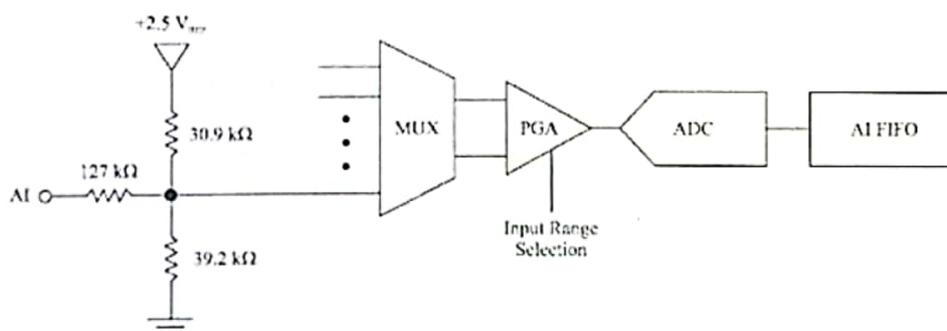


Рис 2.19. Принципиальная блок-схема аналогового ввода[6]

- **MUX (Мультиплексор)**

Устройство сбора данных USB 6008/6009 содержит один аналогоцифровой преобразователь (АЦП – ADC). Мультиплексор осуществляет последовательное подключение каждого из каналов аналогового ввода к усилителю с программируемым коэффициентом усиления.

- **PGA (Усилитель с программируемым коэффициентом усиления)**

Усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA – programmable-gain amplifier) обеспечивает усиление входного сигнала в 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16 или 20 раз в дифференциальной схеме подключения, и 1 в схеме с общим проводом. Усиление вычисляется автоматически на основании диапазона входных напряжений, программируемого в приложении.

- **A/D Converter (Аналого-цифровой преобразователь)**

Аналого-цифровой преобразователь (ADC) выполняет дискретизацию аналогового сигнала, то есть переводит его в цифровой код.

- **AI FIFO (FIFO буфер операций аналогового ввода)**

Устройство USB-6008/6009 может выполнять как однократное, так и многократное аналого-цифровое преобразование большого количества выборок. FIFO буфер служит для хранения получаемых данных во избежание их потери во время операции аналогового ввода.

- **Схемы подключения аналоговых сигналов**

Мы можем настроить каналы аналогового ввода платы USB-6008/6009 для выполнения измерений сигналов с дифференциальной схемой подключения или же схемой с общим проводом. Схемы подключения описываются в таблице 2.5.

- **Подключение сигналов в дифференциальной схеме**

При дифференциальном подключении присоедините провод с положительным напряжением к терминалу AI+, а с отрицательным – к AI–.

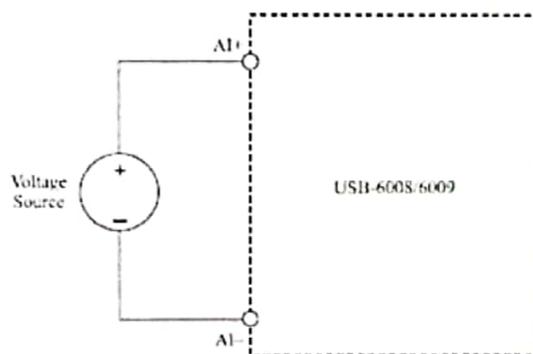


Рис 2.5. Подключение сигналов в дифференциальной схеме

При дифференциальном подключении возможно измерение сигналов с размахом  $\pm 20$  В в диапазоне  $\pm 20$  В. Однако максимальное напряжение на любом из контактов не должно превышать  $\pm 10$  В относительно GND. Например, если напряжение на AI 1 составляет +10 В, а на AI 5 –10 В, тогда результирующее измеренное напряжение будет равно +20 В.

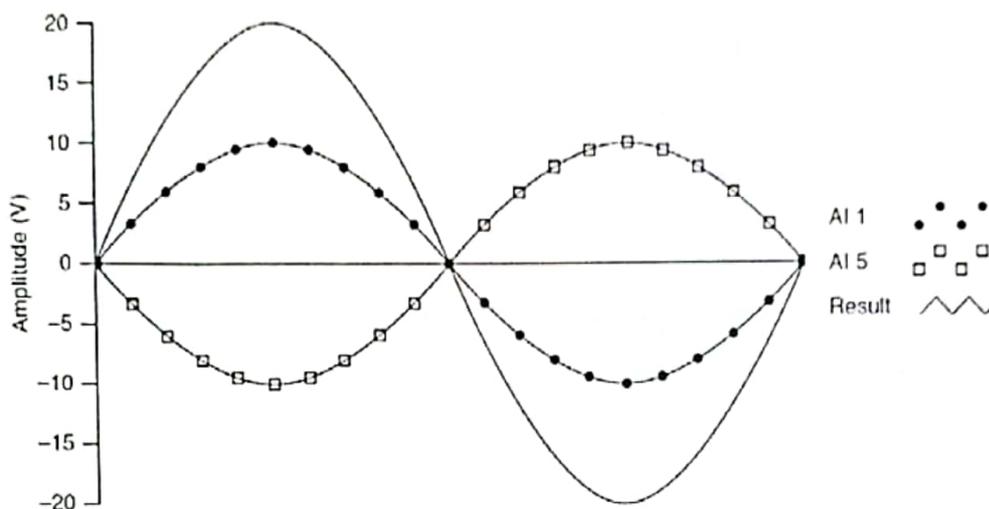


Рис 2.6. Пример измерения сигнала 20 В в дифференциальной схеме [10]

Подача сигнала с амплитудой, превышающей  $\pm 10$  В, на любой из контактов приведет к ограничению измеряемого сигнала.

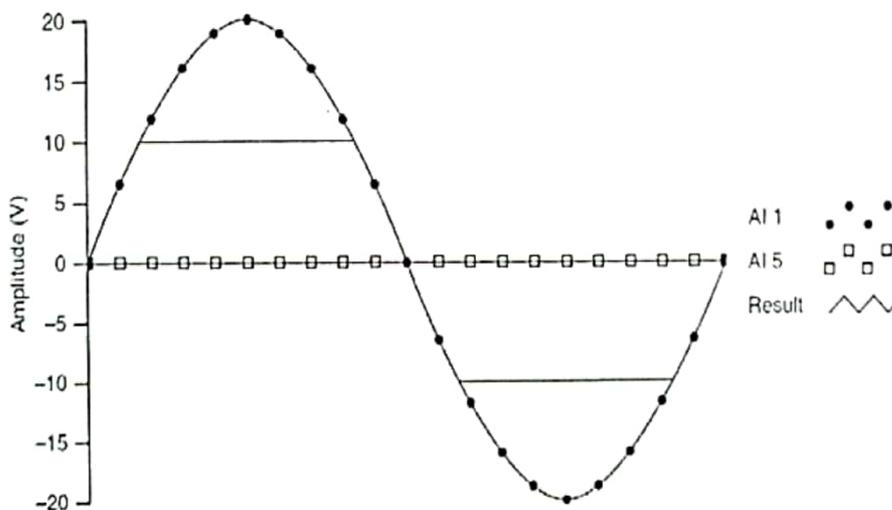


Рис 2.7. Превышение +10 В на входе приводит к ограничению измеряемого сигнала[10]

- **Подключение сигналов в схеме с общим заземленным проводом**

Для подключения сигнала согласно схеме с общим заземленным проводом (*reference singleended – RSE*) присоединим провод с положительным напряжением сигнала к любому из терминалов AI, а заземление сигнала – к терминалу GND.

### 2.3. Проведение исследований

В этом исследовании существуют 2 этапа, а именно, планирование программного обеспечения и аппаратного средства, которые будут интегрированы вместе, чтобы получить результат измерения (тестовых данных).

#### 2.3.1. Настройка аппаратных средств

Для того, чтобы математическая модель обнаружения и мониторинга, реализованная в LabVIEW, могла работать, текущий сигнал от канала системы электроэнергии снижен до низкого диапазона тока 0-5 А, затем обрабатывается с помощью ряда условий. Эта обработка предназначена для преобразования тока в значение уровня напряжения  $\pm 5$  В, так что оно может быть переведено NI DAQ-6008, и затем может обработано, проанализировано и вычислено с помощью компьютера (через программу LabVIEW). Поэтому был сделан модуль обнаружения в соответствии с этой концепцией. Модуль обнаружения делится на 2 части: измерение гармонического тока (рис. 2.8) и напряжения гармонического света (рис. 2.9).

									Лист
									34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В				

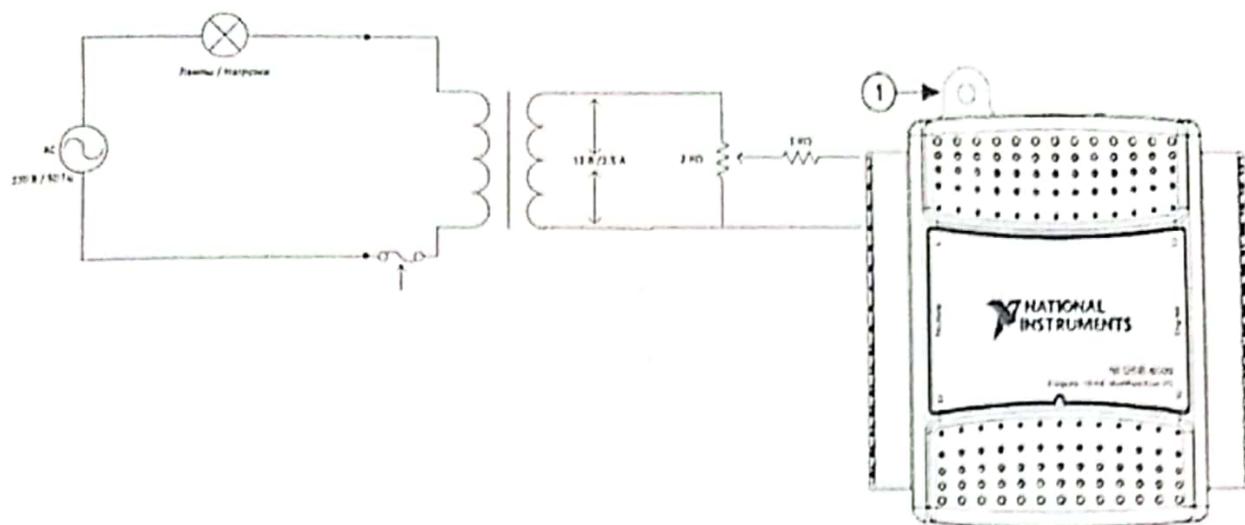


Рис. 2.8. Аппаратное обеспечение для измерения тока

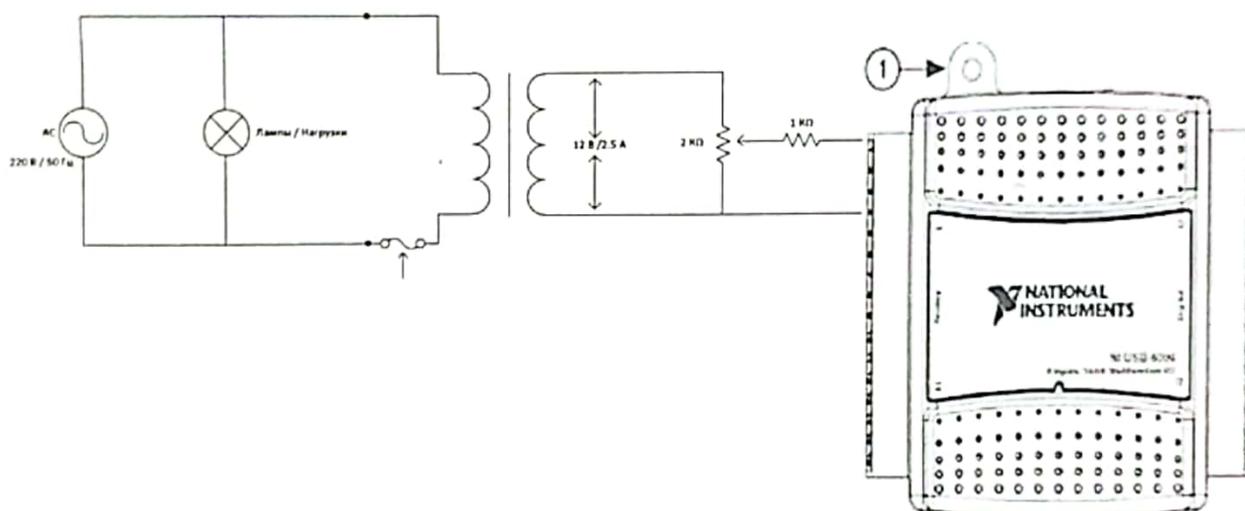


Рис.2.9. Аппаратное обеспечение для измерения переменного напряжения

Создание модуля осуществляется путем сборки трансформатора, который подключен параллельно или последовательно, затем выход из трансформатора соединен с мультиметром, который функционирует для обнаружения выходного напряжения трансформатора. Выход трансформатора также подключен к NIDAQ-6008, так что все соединены в аппаратной системе, используемой для обнаружения, извлечения, хранения и выполнения сбора данных текущей волны, а также напряжения лампы.

### 2.3.2. Разработка программных приложений с помощью LabVIEW 2009

Напряжение переменного тока ограничено трансформатором, который работает как делитель напряжения на основе NI DAQ 6008. Затем данные загружаются в помощник DAQ, содержащиеся в программном обеспечении. Данные были введены в помощник DAQ, это данные, в которых содержались значения коэффициента искажения синусоидальности кривой (THD), частотный спектр и формы кривых тока и напряжения.

Чтобы показать значение THD, данные из помощников DAQ вводятся в анализатор, как сигнал в THD. Затем, после того как данные подаются в индекс массива, данных умножается на 100, чтобы получить значение в процентах.

Ссылаясь на работу вышеупомянутых систем, разработке программы предшествовала блок-схема (рис. 2.10). Блок-схема полезна для облегчения проектирования программы.

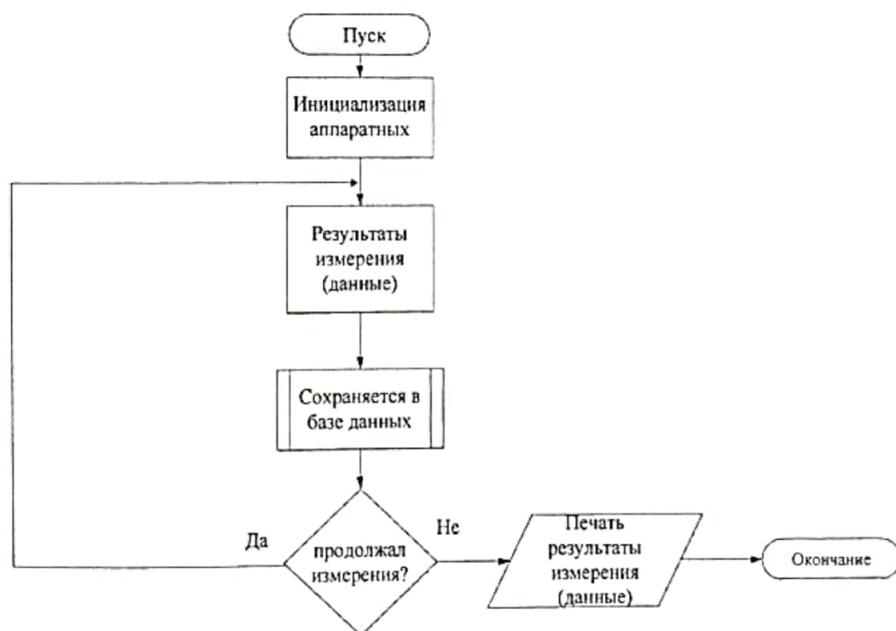


Рис. 2.10. Программа блок-схемы

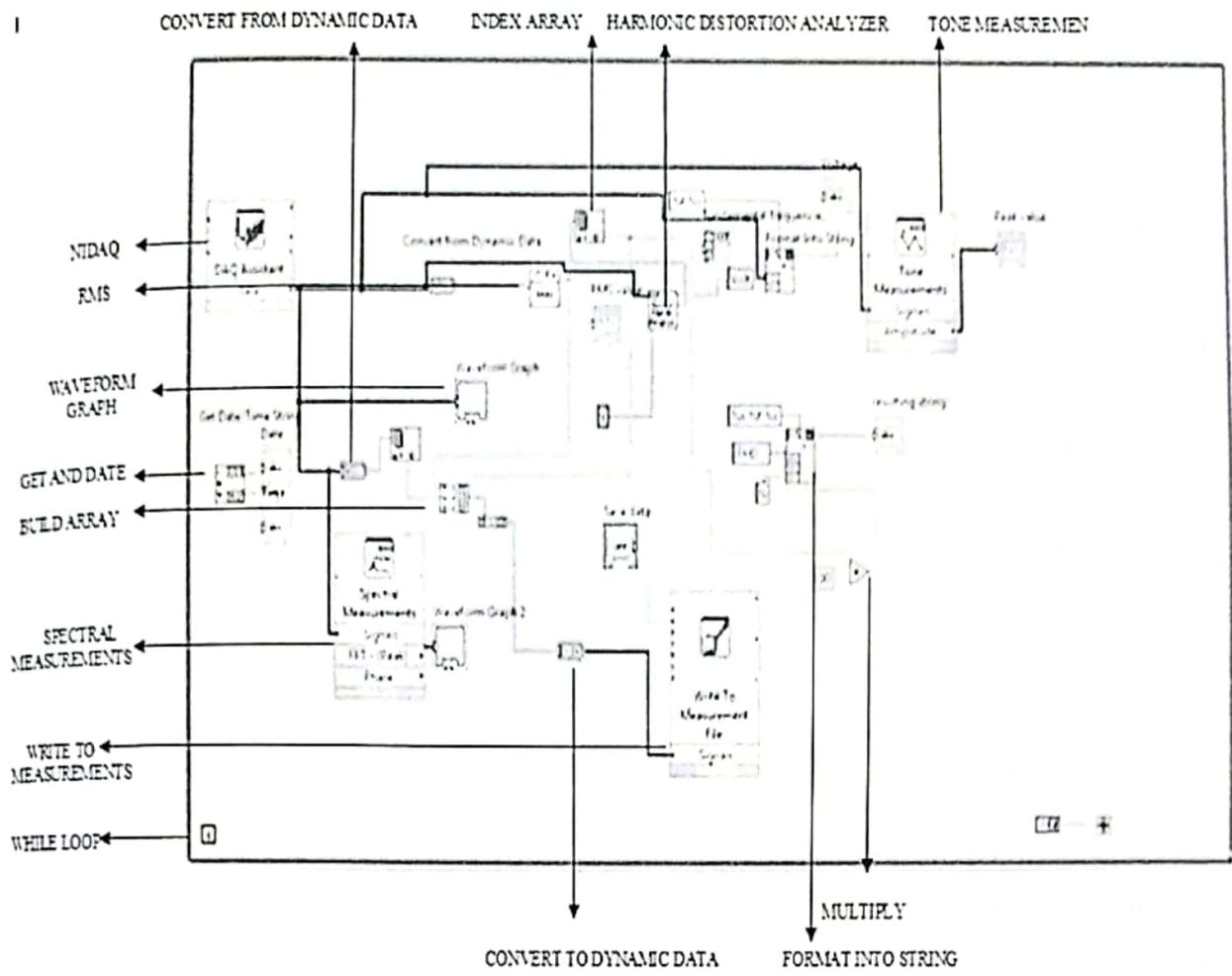
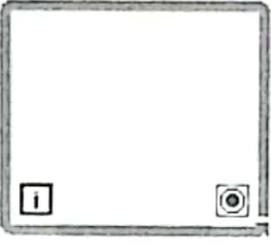
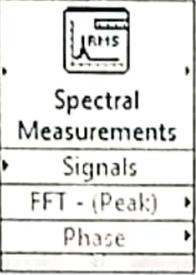


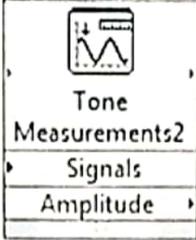
Рис. 2.11. Методы программирования тестирования общих гармонических искажений (Блок-схема)

В таблице 2.6 функция каждого значка в планировании программ объясняется (рис. 2.11). Программа LabVIEW является графической программой, поэтому в этой программе используются символы или графические символы, представляющие элементы программы, которые были использованы (рис. 2.11). Вот почему эта программа не в виде текста, как многие существующие вычислительные программы, а в виде чертежей и диаграмм. Когда программа имеет множество элементов и имеет достаточно сложную вычислительную схему, диаграмма также требует много мест на блок-схеме.

## Инструкция программы в LabVIEW

Имя	Иконка	Функция
DAQ Assistant	 <p>DAQ Assistant</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ data</li> <li>▶ error in</li> <li>▶ stop (T)</li> <li>▶ timeout (sec)</li> <li>error out ▶</li> <li>task out ▶</li> </ul>	Для настройки аппаратов и извлечения данные из сигнала условий
While Loop		Для выполнения программного цикла; для того, чтобы: обработать несколько раз данные; чтобы результаты выполнения данных можно четко увидеть. этой функцией можно управлять с помощью кнопки <i>Stop</i> вручную.
Multiply		оператор умножения
Waveform Chart	<p>Waveform Graph</p> 	Для отображения данных в графе GRAPH.
Write to Measurement File	 <p>Write To Measurement File</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Signals</li> </ul>	Чтобы сохранить данных во время выполнения программы.
Format Into String	<p>Format Into String</p> 	Чтобы изменить формат данных, который вводится на дисплей <i>String</i> .

RMS		Для получения среднего значения
Convert to dynamic data		Для преобразования векторных данных в скалярные
Spectral measurements		Для измерения спектра
Get and date		Для отображения времени и даты
Build array		объединяет несколько массивов или добавляет элемент в n-мерный массив. Изменение размера функции увеличивает количество полей ввода данных, что позволяет увеличить количество добавляемых элементов.
Index array		выдает элемент, соответствующий индексу, значение которого подается на поле ввода index.

<p>Harmonic Distortion analyzer</p>		<p>представляет собой серию функций на диаграмме LabVIEW, разработана и предоставлена для анализа значения гармонических искажений</p>
<p>Tone measurements</p>		<p>Для измерения пикового напряжения</p>

## 2.4. Тестирование электрических источников света

На рисунке 2.12 можно увидеть схему тестирования для измерения гармоник лампы, где измерение проводится по двум параметрам: напряжение и ток. Измерение гармоник напряжения проводится по средством ограничения напряжения при помощи трансформатора с выходным напряжением 12 вольт и затем делится на более мелкие резистором со значением, не превышающим ограничение стандартного входного напряжения *DAQ-6008*, т.е. 10 вольт. Измерение гармонического тока проводится соединением лампы и резистора. Данные измерения будут получены с помощью *DAQ-6008* и обработаны через компьютер, сопряженный через *LabVIEW 2009*.

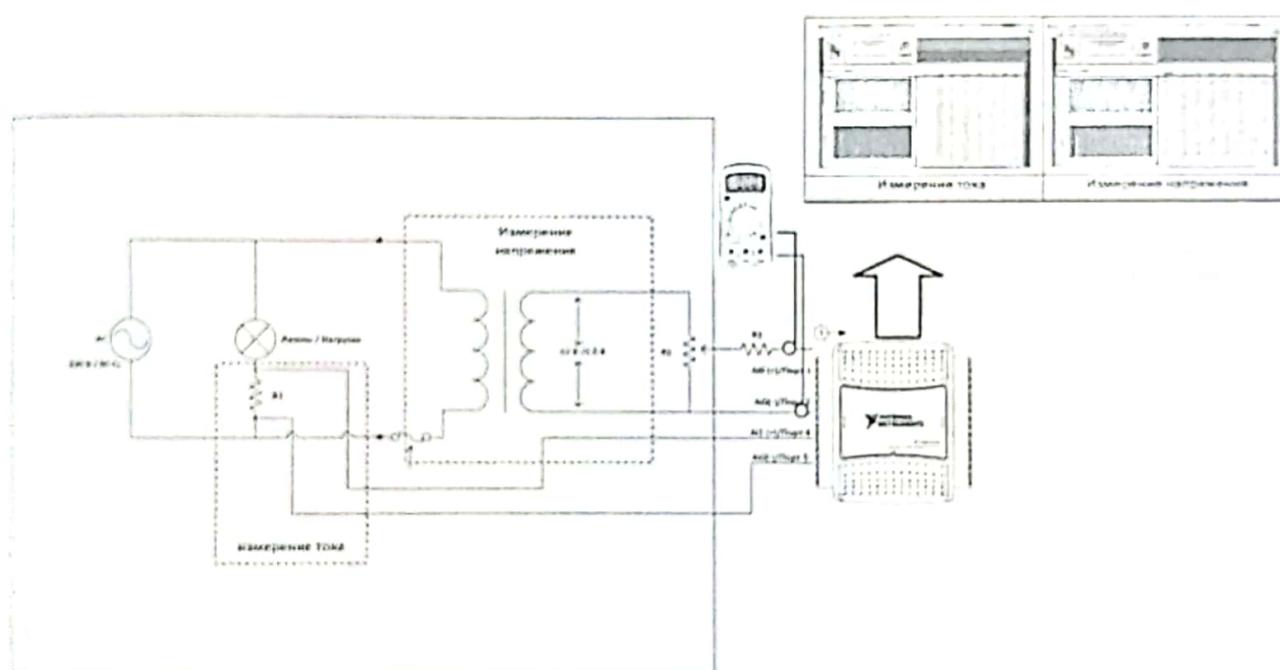


Рис. 2.12. Тестирующая схема для измерения гармоник лампы

### 2.4.1. Оборудование и материалы

При тестировании нам понадобилось следующее оборудование для получения и дальнейшего анализа данных.

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист 41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## Список материала и оборудование для схемы тестирования

№	Оборудование / материал	Марка/тип	Символ	Функция
1	Цифровой мультиметр	Sedco-MAS830B	DVM	Измерение выходного напряжения трансформатора и резистора в серии с лампой
2	NI-DAQ	6008/National Instrument	-	Для получения данных
3	Трансформатор	Mercury 35	-	Для ограничения напряжения и значения напряжения выхода 12 Вольт/2.5А
4	Печатная плата	-	-	Как доски компилятора сети электроники
5	Лампа	- Люминесцентная Лампа/ M-FSP 15Ватт E27 4000 - Галогенная Лампа / Космос JCDR 35Ватт GU5.3 - Лампа Накаливания / L-14 40Watt - Светодиодная Лампа / Протон ME 64 02И 6Вт - Индукционная Лампа/LVD Jx-23Вт	-	Объект измерения
5	Портативный компьютер	Acer Aspire	-	В качестве интерфейса системы измерения через программу <i>LabVIEW 2009</i>

## 2.4.2. Результат тестирования

Для того, чтобы узнать качество работы прототипа системы обнаружения и мониторинга гармоник тока, провели тестирование прототипа при нагрузке линейных и нелинейных ламп. В тестировании проводится сбор данных уровня тока R.M.S., частоты и суммарных гармонических искажений (THD, %) в реальном времени.

### 2.4.2.1. Лампа накаливания модель L-27



Рис. 2.13. Лампа накаливания модель L-27, 40 Ватт

Напряжения питания 220 В

Мощность 40 Ватт

$$P = U I$$

$$I = \frac{40 \text{ Ватт}}{220 \text{ Вольт}} = 0.18 \text{ А}$$

$$I = 0.18 \text{ А, (9)}$$

На рисунке 2.12 показано измерение тока лампы (выходное напряжением 9 вольт), значение выбранного резистора определяем следующим образом:

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

$$U = IR$$

$$R = \frac{9 \text{ В}}{0.18 \text{ А}} = 50 \text{ Ом}$$

$$R = 50 \text{ Ом}, \quad (10)$$

### • Гармоники напряжения

Для данной лампы накаливания, результат измеряемого гармонического напряжения (как показан на рисунке 2.14) показывает, что среднее значение THD равно 3.4233 %, THD не превышает установленную норму (таблица 1.3) и также имеет среднее общее значение RMS равно 155.58 В. В данном случае мы видим гармоники напряжения нечетного порядка и наибольшей гармоникой является 5, с частотой  $5 \cdot 50 \text{ Гц} = 250 \text{ Нц}$  и генерируемая гармоника составляет 5.4143 вольт.

Чтобы узнать и проверить правильность и точность измерения, требуется сравнить данные результатов измерения (см. табл. 2.28) с данными результатов расчёта. Сделаем следующее введение и обозначение:

Суммарное искажение гармонических составляющих напряжения (THD)

$U_1$  – Среднее значение напряжения первой гармоники

$U_3$  – Среднее значение напряжения третьей гармоники

$U_5$  – Среднее значение напряжения пятой гармоники

$U_7$  – Среднее значение напряжения седьмой гармоники

$U_9$  – Среднее значение напряжения девятой гармоники

$$U.THD(\%) = \frac{\sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + U_9^2}}{U_1} \times 100$$

$$U.THD(\%) = \frac{\sqrt{4.5883^2 + 5.4143^2 + 1.9627^2 + 1.6702^2}}{220.03} \times 100$$

$$U.THD(\%) = 3.4233\%, \quad (11)$$

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Расчёт по напряжению RMS принят из среднего значения напряжения первой общей гармоники:

$$U.RMS = \frac{U_1}{\sqrt{2}}$$

$$U.RMS = \frac{220.03}{\sqrt{2}} = 155.58 \text{ В}, \quad (12)$$

Данные полученные в результате расчета на основе измеренных величин (таб. 2.28), сходятся со значениями, полученными в результате измерения. Ниже приведен результат измерения по напряжению RMS, который также не отличается от расчета. Таким образом, можно сказать, что измерение проводится правильно.

								Лист
								45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД 140400.68-801118077-2014 В			

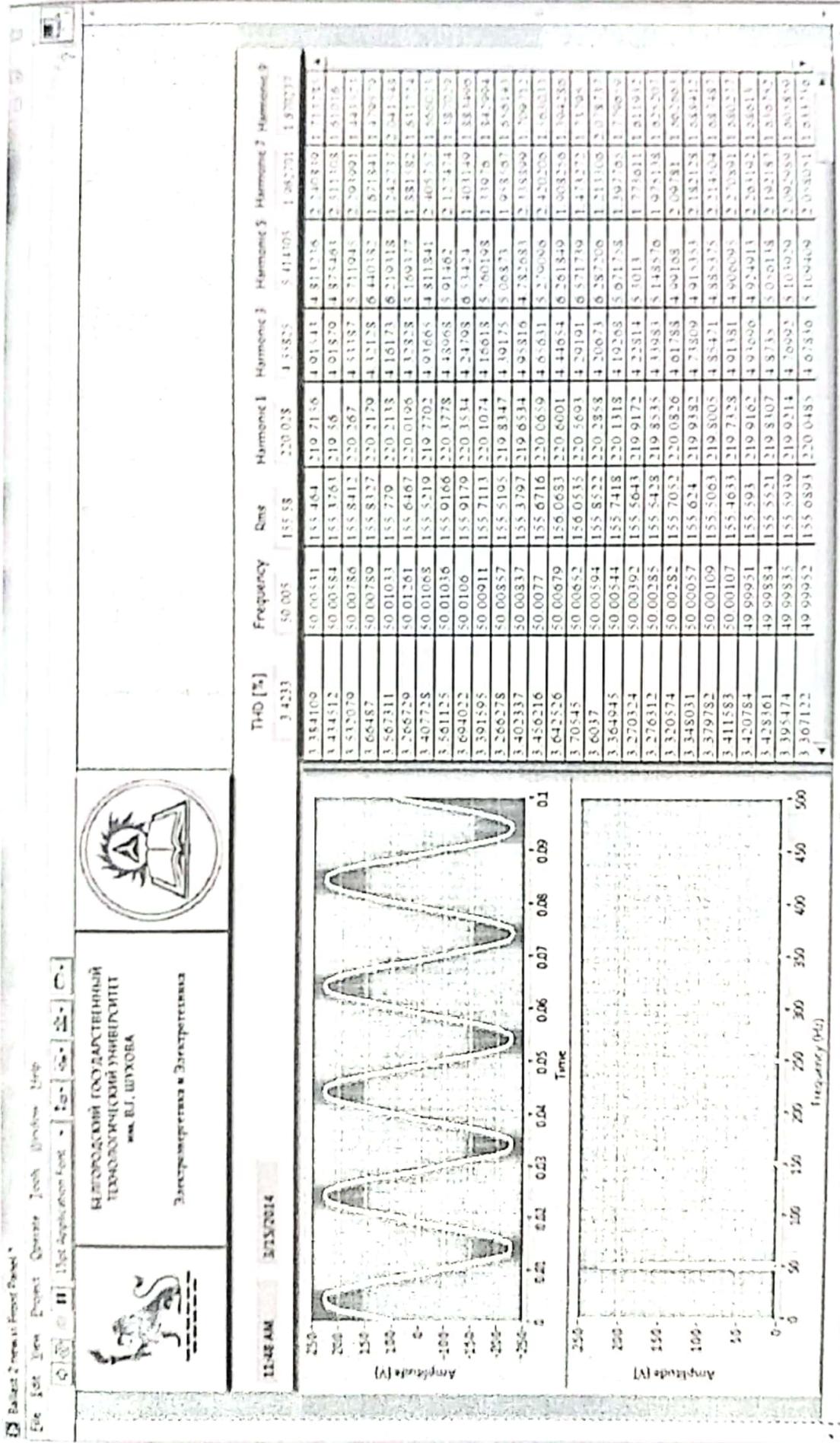


Рис. 2.14. Дисплей программы с результатами измерения гармонического напряжения лампы накаливания

Таблица 2.28

Таблица результатов измерения THD напряжения лампы накаливания

THD [%]	Частота[Гц]	RMS [В]	Гармоника 1	Гармоника 3	Гармоника 5	Гармоника 7	Гармоника 9
3.384109	50.00531	155.464	219.7156	4.915431	4.813236	2.240839	1.713285
3.434512	50.00584	155.3763	219.56	4.918788	4.875463	2.511308	1.61016
3.532079	50.00786	155.8412	220.267	4.533872	5.711945	2.293991	1.443523
3.66487	50.00789	155.8327	220.2179	4.321281	6.440382	1.671841	1.479579
3.567311	50.01033	155.779	220.2138	4.161729	6.219318	1.242737	2.041548
3.266729	50.01261	155.6467	220.0196	4.328283	5.169377	1.881582	1.631724
3.407728	50.01068	155.5219	219.7702	4.936653	4.811841	2.405757	1.666023
3.561125	50.01036	155.9166	220.3778	4.489683	5.91462	2.127474	1.387029
3.694022	50.0106	155.9179	220.3534	4.247983	6.53424	1.403149	1.883496
3.391595	50.00911	155.7113	220.1074	4.166176	5.760198	1.33976	1.842994
3.266278	50.00857	155.5195	219.8347	4.391753	5.06873	1.958567	1.656143
3.402337	50.00837	155.3797	219.6534	4.958159	4.782683	2.338899	1.709712
3.456216	50.0077	155.6716	220.0659	4.656309	5.279096	2.420206	1.563033
3.642526	50.00679	156.0683	220.6001	4.446538	6.261849	1.908256	1.394286
3.70545	50.00652	156.0535	220.5693	4.291914	6.571739	1.473272	1.73795
3.6037	50.00594	155.8522	220.2858	4.206732	6.287206	1.213306	2.078737
3.364945	50.00544	155.7418	220.1318	4.192675	5.671758	1.397765	1.779659
3.270324	50.00392	155.5643	219.9172	4.228135	5.3013	1.773611	1.611932
3.276312	50.00285	155.5428	219.8535	4.339831	5.148576	1.975138	1.625207
Общие средние значения							
3.4233	50.005	155.58	220.028	4.558254	5.414305	1.962701	1.670237

МП 140400 68-801118077-2014 Б

Дата

Подпись

И.А. Давыдов

Иван

Лист

47

## • Гармоники тока

В лампе накаливания входной ток соответствует полученным в результате расчёта значениям, а именно 0.18 А, и результатам измеряемого гармонического тока (см. рис. 2.15). Так же определили среднее значение THDтока и равно 7.254 %, общее среднее значение RMS тока составляет 0.130 А. Гармоники тока преобладают нечётного порядку и наибольшей гармоникой является 3, с частотой  $3 \cdot 50 \text{ Гц} = 150 \text{ Нц}$  и генерируемым гармоническим ток составил 0.01098 А.

Чтобы узнать и проверить правильность и точность измерения, требуется сравнить данные результатов измерения (см. табл. 2.29) с данными результатов расчёта. Сделаем следующее введение и обозначение:

Суммарное искажение гармонических составляющих тока (THD)

$I_1$  – Среднее значение тока первой гармоники

$I_3$  – Среднее значение тока третьей гармоники

$I_5$  – Среднее значение тока пятой гармоники

$I_7$  – Среднее значение тока седьмой гармоники

$I_9$  – Среднее значение тока девятой гармоники

$$I.THD(\%) = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2}}{I_1} \times 100$$

$$I.THD(\%) = \frac{\sqrt{0.01098^2 + 0.00726^2 + 0.0024^2 + 0.000749^2}}{0.18488} \times 100$$

$$I.THD(\%) = 7.254 \% \quad (13)$$

Расчёт по току RMS принят из среднего значения тока первой общей гармоники, рассчитывается следующим образом:

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

$$I.RMS = \frac{I_1}{\sqrt{2}}$$

$$I.RMS = \frac{0.18488}{\sqrt{2}} = 0.130 \text{ A} \quad (14)$$

Данные полученные в результате расчета на основе измеренных величин (таб. 2.29), сходятся со значениями, полученными в результате измерения. Ниже приведен результат измерения по току RMS, который также не отличается от расчета. Таким образом, можно сказать, что измерение проводится правильно.

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

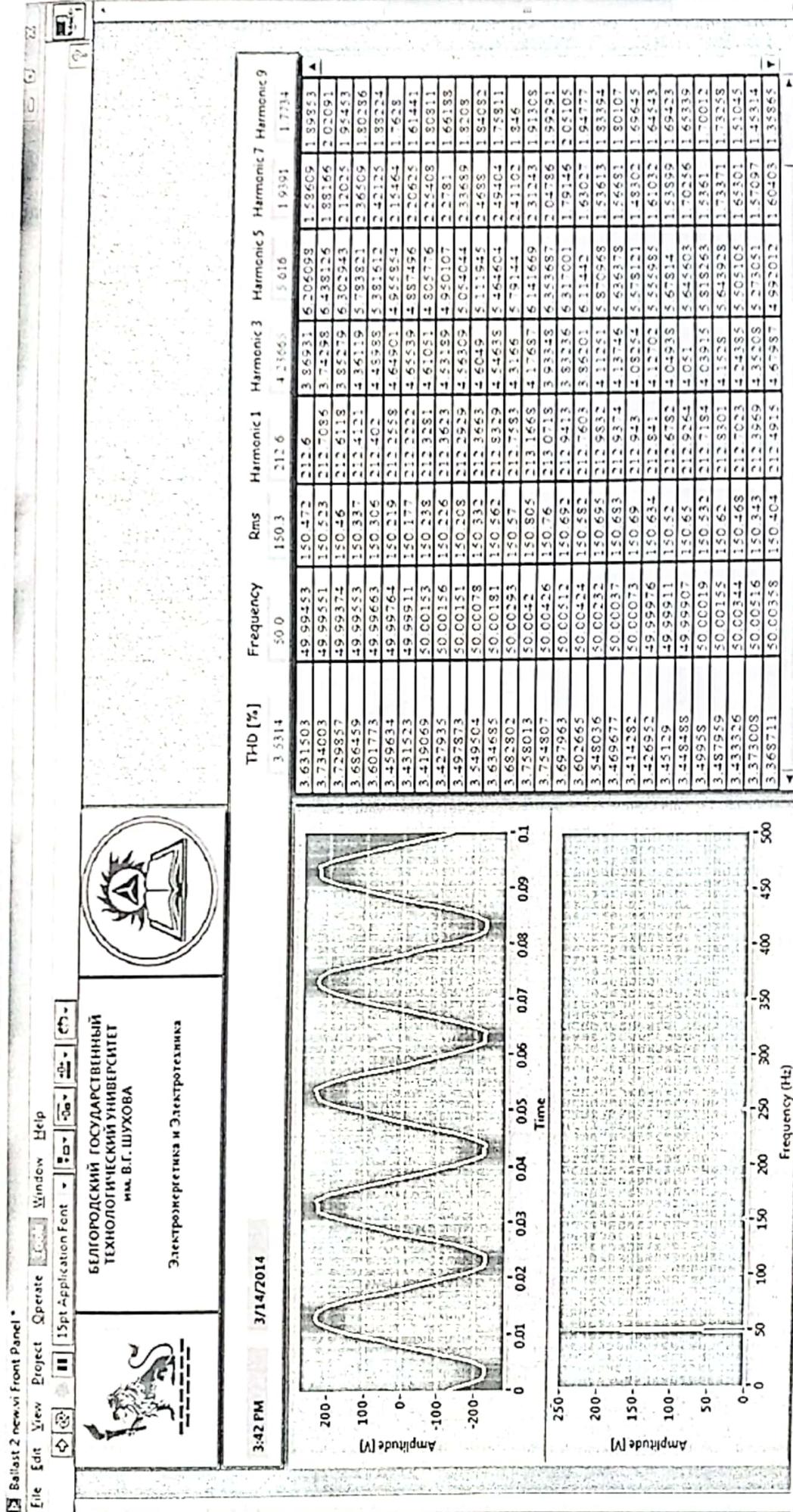


Рисунок 2.15. Дисплей программы с результатами измерения гармонического тока лампы накаливания

Таблица 2.29

Таблица результатов измерения THD тока лампы накаливания

THD [%]	Частота [Гц]	RMS [А]	Гармоника 1	Гармоника 3	Гармоника 5	Гармоника 7	Гармоника 9
7.1746	50.02302	0.1306	0.18472934	0.01074506	0.00760119	0.001243472	0.000935486
7.2037	50.00531	0.1307	0.18489922	0.010916488	0.007032	0.002867626	0.000755165
7.1153	50.00584	0.1306	0.18473908	0.010910166	0.007008	0.001910906	0.00099458
7.129	50.00786	0.1307	0.18485481	0.010855297	0.007214162	0.001793923	0.000754684
7.0848	50.00789	0.1307	0.18478236	0.010906269	0.007016785	0.001618929	0.000762885
7.1695	50.01033	0.1307	0.18489749	0.010880979	0.007394646	0.001449491	0.0007423
7.2124	50.01261	0.1307	0.18479931	0.010909969	0.007027486	0.002967612	0.000654878
7.2039	50.01068	0.1307	0.18489357	0.010895838	0.00725157	0.002344485	0.000780955
7.2268	50.01036	0.1307	0.18479385	0.010905163	0.007137355	0.002829064	0.000692011
7.205	50.0106	0.1307	0.18488155	0.01090714	0.007201785	0.002449439	0.000782381
7.2545	50.00911	0.1307	0.18484795	0.010908277	0.007228056	0.002835778	0.00073781
7.1881	50.00857	0.1307	0.18485144	0.010920016	0.007103362	0.002496796	0.000783518
7.2424	50.00837	0.1308	0.18495315	0.010939088	0.00739931	0.002098131	0.000783068
<b>Общие средние значения</b>							
7.254705	50.005	0.13073	0.184880177	0.010989779	0.007263	0.002409	0.000749

МД 140400.68-801118077-2014 В

Лист

51

№ докум.

Дата

Подпись

Лист

#### 2.4.2.2. Галогенная лампа фирмы Космос JCDR

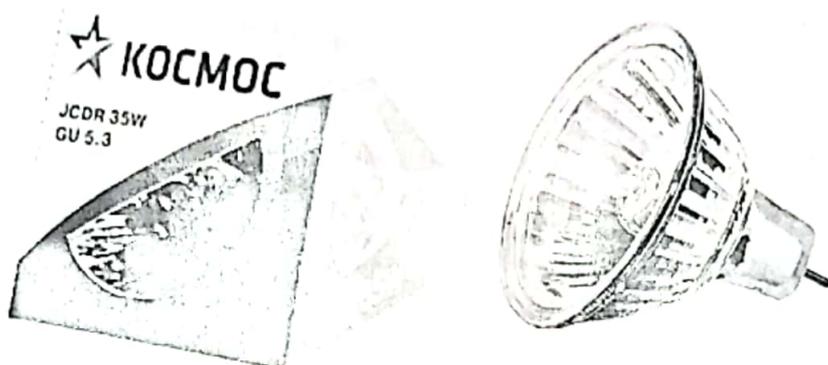


Рис. 2.16. Галогенная лампа фирмы Космос JCDR 35 Ватт GU 5.3

Напряжения питания 220 Вольт

Мощность 35 Ватт

$$P = V I$$

$$I = \frac{35 \text{ Ватт}}{220 \text{ Вольт}} = 0.15 \text{ А}$$

$$I = 0.15 \text{ А} \quad (15)$$

На рисунке 2.12 показано измерение тока лампы (выходное напряжением 6 вольт), значение выбранного резистора определяем следующим образом:

$$U = IR$$

$$R = \frac{6 \text{ Вольт}}{0.15 \text{ А}} = 40 \text{ Ом}$$

$$R = 40 \text{ Ом} \quad (16)$$

#### •Гармоники напряжения

В данной галогенной лампе, результат измеряемого гармонического напряжения (см. рис. 2.17) показывает, что среднее значение THD равно

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		52

3.5314 %, THD не превышает установленную норму (табл. 1.3), среднее общее значение RMS равно 150.37 В. Преобладают гармоники по напряжению нечетного порядка, наибольшее значение имеет гармоника 5 порядка, частота  $5 \cdot 50 \text{ Гц} = 250 \text{ Гц}$  и генерируемая гармоника составляет 5.6163 В.

Чтобы узнать и проверить правильность и точность измерения, требуется сравнить данные результатов измерения (см. табл. 2.30) с данными результатов расчёта. Сделаем следующее введение и обозначение:

Суммарное искажение гармонических составляющих напряжения (THD)

$U_1$  – Среднее значение напряжения первой гармоники

$U_3$  – Среднее значение напряжения третьей гармоники

$U_5$  – Среднее значение напряжения пятой гармоники

$U_7$  – Среднее значение напряжения седьмой гармоники

$U_9$  – Среднее значение напряжения девятой гармоники

$$U.THD(\%) = \frac{\sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + U_9^2}}{U_1} \times 100$$

$$U.THD(\%) = \frac{\sqrt{4.2367^2 + 5.6164^2 + 1.9391^2 + 1.7734^2}}{212.66} \times 100$$

$$U.THD(\%) = 3.5314 \% \quad (17)$$

Расчёт по напряжению RMS принят из среднего значения напряжения первой общей гармоники:

$$U.RMS = \frac{U_1}{\sqrt{2}}$$

$$U.RMS = \frac{220.03}{\sqrt{2}} = 150.37 \text{ В} \quad (18)$$

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		53

Данные полученные в результате расчета на основе измеренных величин (таб. 2.30), сходятся со значениями, полученными в результате измерения. Ниже приведен результат измерения по напряжению RMS, который также не отличается от расчета. Таким образом, можно сказать, что измерение проводится правильно.

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

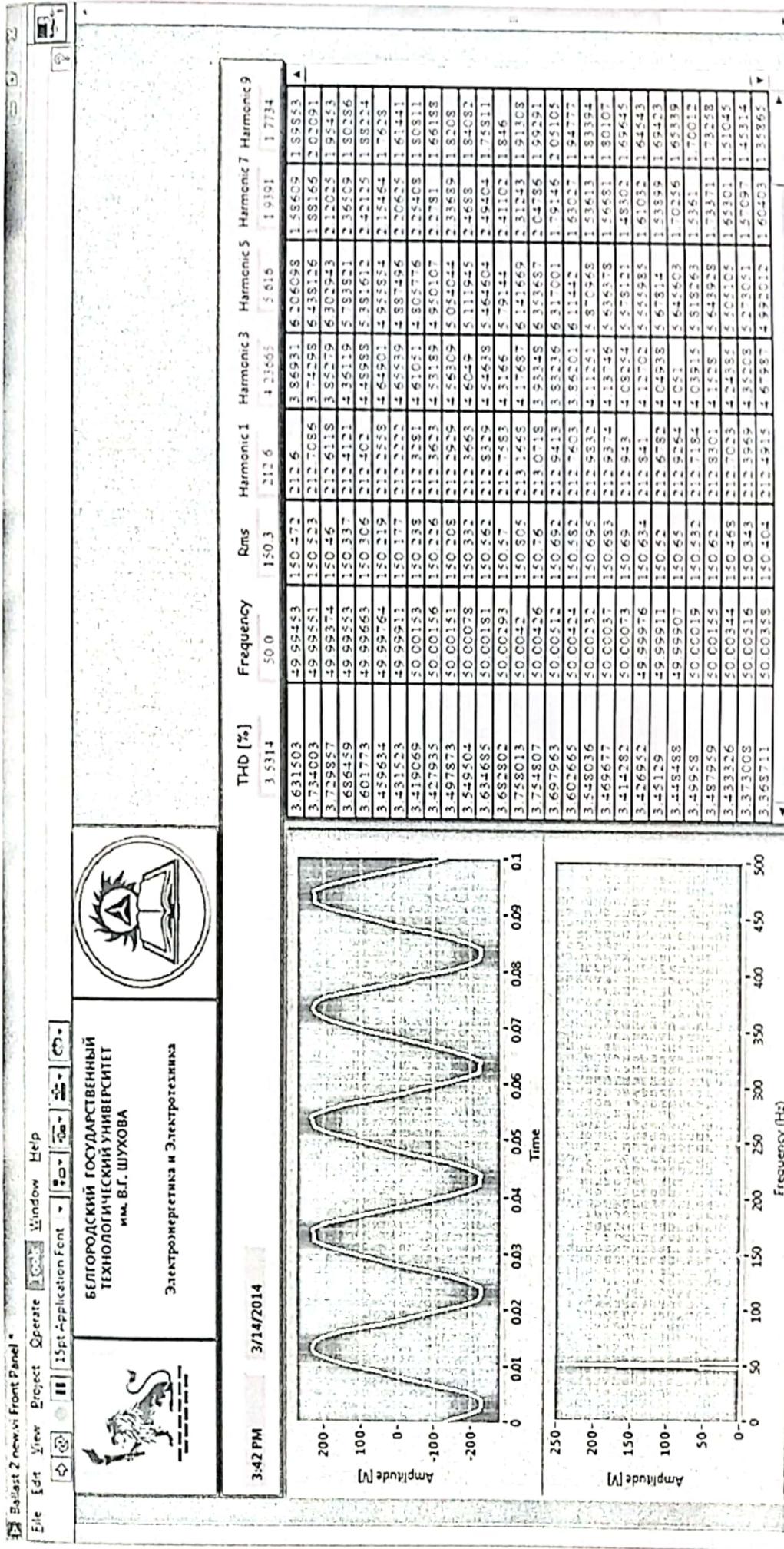


Рис. 2.17. Дисплей программы с результатами измерения гармонического напряжения галогенной лампы

Таблица 2.30

Таблица результатов измерения ТНД напряжения галогенной лампы

ТНД [%]	Частота[Гц]	RMS [V]	Гармоника 1	Гармоника 3	Гармоника 5	Гармоника 7	Гармоника 9
3.631503	49.99453	150.4715	212.6	3.86931	6.206098	1.586092	1.898527
3.734003	49.99551	150.5225	212.7086	3.742977	6.438126	1.881657	2.020905
3.729857	49.99374	150.4604	212.6118	3.852788	6.302943	2.120254	1.954531
3.686459	49.99553	150.3368	212.4121	4.361191	5.783821	2.365085	1.80286
3.601773	49.99663	150.3058	212.402	4.489884	5.381612	2.421252	1.882242
3.459634	49.99764	150.219	212.2558	4.649006	4.955854	2.154643	1.762797
3.431523	49.99911	150.1773	212.2222	4.655394	4.887496	2.206249	1.614408
3.419069	50.00153	150.2381	212.3281	4.610507	4.805776	2.254084	1.808111
3.427935	50.00156	150.2256	212.3623	4.531891	4.950107	2.278097	1.661882
3.497873	50.00151	150.2082	212.2929	4.563094	5.054044	2.33689	1.820802
3.549504	50.00078	150.3315	212.3663	4.604903	5.111945	2.468797	1.840823
3.634685	50.00181	150.5623	212.8329	4.546382	5.464604	2.494038	1.758112
3.682802	50.00293	150.5699	212.7583	4.316604	5.79144	2.411015	1.845997
3.758013	50.0042	150.8051	213.1668	4.176865	6.141669	2.312432	1.913081
3.754807	50.00426	150.7599	213.0718	3.933475	6.353687	2.047861	1.992906
3.697963	50.00512	150.6919	212.9413	3.83236	6.317001	1.791459	2.051046
3.602665	50.00424	150.5821	212.7603	3.862013	6.11442	1.630274	1.947766
3.548036	50.00232	150.6947	212.9832	4.112509	5.870968	1.536131	1.833938
3.469677	50.00037	150.6825	212.9374	4.13746	5.636378	1.566811	1.801071
<b>Общие средние значения</b>							
3.5314	50.00057	150.3749	212.6622	4.236653	5.616364	1.939136	1.773437

МД 140400.68-801118077-2014 В

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Лист

26

• Гармоники тока

Входной ток галогенной лампы соответствует расчётному значению, а именно 0.18 А, и результатам измеряемого гармонического тока (как показан на рисунке 2.18), среднее значение THD тока равно 7.254 %, и общее среднее значение RMS тока составляет 0.130 А. У данной лампы преобладает нечетная гармоника 3 порядка, с частотой  $3 \cdot 50 \text{ Гц} = 150 \text{ Гц}$ , генерируемый гармонический ток составил 0.01098А. Чтобы узнать и проверить правильность и точность измерения, требуется сравнить данные результатов измерения (см. табл. 2.31) с данными результатов расчёта. Сделаем следующее введение и обозначение:

Суммарное искажение гармонических составляющих тока (THD)

$I_1$  – Среднее значение тока первой гармоники

$I_3$  – Среднее значение тока третьей гармоники

$I_5$  – Среднее значение тока пятой гармоники

$I_7$  – Среднее значение тока седьмой гармоники

$I_9$  – Среднее значение тока девятой гармоники

$$I.THD(\%) = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2}}{I_1} \times 100$$

$$I.THD(\%) = \frac{\sqrt{0.00958^2 + 0.006482^2 + 0.003961^2 + 0.00444^2}}{0.154255} \times 100$$

$$I.THD(\%) = 8.435 \% \quad (19)$$

Расчёт по току RMS принят из среднего значения тока первой общей гармоники, расчет производим следующим образом:

$$I.RMS = \frac{I_1}{\sqrt{2}}$$

						МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			57

$$I.RMS = \frac{0.154255}{\sqrt{2}} = 0.109075 \text{ A} \quad (20)$$

Данные полученные в результате расчета на основе измеренных величин (таб. 2.31), сходятся со значениями, полученными в результате измерения. Ниже приведен результат измерения по току RMS, который также не отличается от расчета. Таким образом, можно сказать, что измерение проводится правильно.

						Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	МД 140400.68-801118077-2014 В	



БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
 им. В.Г. ШУХОВА  
 Электроэнергетика и Электротехника

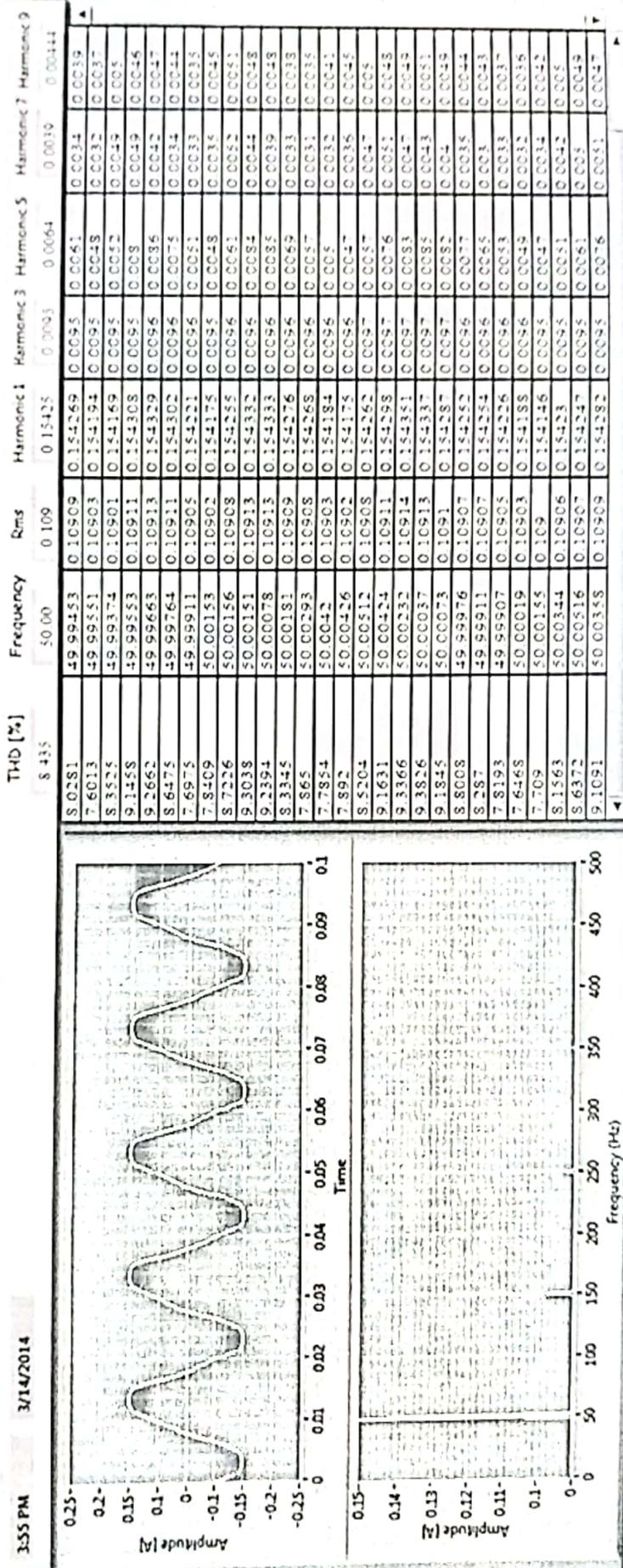


Рисунок 2.18. Дисплей программы с результатами измерения гармонического тока галогенной лампе

Таблица 2.31

Таблица результатов измерения THD тока галогенной лампы

THD [%]	Частота [Гц]	RMS [А]	Гармоника 1	Гармоника 3	Гармоника 5	Гармоника 7	Гармоника 9
8.0281	49.99453	0.109085	0.15426887	0.0095	0.0061	0.0034	0.0039
7.6013	49.99551	0.109032	0.15419432	0.0095	0.0048	0.0032	0.0037
8.3525	49.99374	0.109014	0.15416947	0.0095	0.0052	0.0049	0.005
9.1458	49.99553	0.109112	0.15430773	0.0095	0.008	0.0049	0.0046
9.2662	49.99663	0.109127	0.15432914	0.0096	0.0086	0.0042	0.0047
8.6475	49.99764	0.109108	0.15430201	0.0096	0.0075	0.0034	0.0044
7.6975	49.99911	0.109051	0.15422117	0.0096	0.0051	0.0033	0.0035
7.8409	50.00153	0.109018	0.15417451	0.0095	0.0048	0.0035	0.0045
8.7226	50.00156	0.109075	0.15425464	0.0096	0.0061	0.0052	0.0051
9.3038	50.00151	0.109129	0.1543324	0.0096	0.0084	0.0044	0.0048
9.2394	50.00078	0.10913	0.1543326	0.0096	0.0085	0.0039	0.0048
8.3345	50.00181	0.109089	0.15427571	0.0096	0.0069	0.0033	0.0038
7.865	50.00293	0.109084	0.15426835	0.0096	0.0057	0.0031	0.0035
7.7854	50.0042	0.109025	0.15418444	0.0096	0.005	0.0032	0.0041
<b>Общие средние значения</b>							
8.435	50.00057	0.109075	0.154255396	0.009585226	0.006482	0.003961	0.004444

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД 140400.68-801118077-2014 В

Лист  
60

### 2.4.2.3. Светодиодный светильник модель STR-25 55Вт

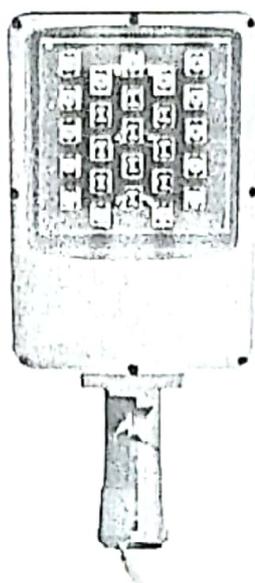


Рис. 2.19. Светодиодный светильник модель STR-25 55Вт

Напряжение питания 220 Вольт

Мощность 55 Ватт

$$P = U I$$

$$I = \frac{40 \text{ Ватт}}{220 \text{ Вольт}} = 0.18 \text{ А}$$

$$I = 0.18 \text{ А, (21)}$$

На рисунке 2.12 показано измерение тока лампы (выходное напряжением 9 вольт), значение выбранного резистора определяем следующим образом:

$$V = IR$$

$$R = \frac{9 \text{ Вольт}}{0.25 \text{ А}} = 36 \text{ Ом}$$

$$R = 36 \text{ Ом (22)}$$

						МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			61

- **Гармоники напряжения**

По результатам измерения было получено что коэффициент искажения кривой напряжения равен 3.454 %, что не превышает норму , установленную ГОСТ Р и равную 8%, а также среднее общее значение RMS равно 155.2 В. Гармоника по напряжению преобладают нечетного порядка, наибольшее значение имеет 5 гармоника, частота  $5 \cdot 50 \text{ Гц} = 250 \text{ Гц}$ , и генерируемая гармоника составляет 5.788389 В.

Чтобы узнать и проверить правильность и точность измерения, требуется сравнить данные результатов измерения (см. табл. 2.32) с данными результатов расчёта. Сделаем следующее введение и обозначение:

Суммарное искажение гармонических составляющих напряжения (THD)

$U_1$  – Среднее значение напряжения первой гармоники

$U_3$  – Среднее значение напряжения третьей гармоники

$U_5$  – Среднее значение напряжения пятой гармоники

$U_7$  – Среднее значение напряжения седьмой гармоники

$U_9$  – Среднее значение напряжения девятой гармоники

$$U.THD(\%) = \frac{\sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + U_9^2}}{U_1} \times 100$$

$$U.THD(\%) = \frac{\sqrt{4.337391^2 + 5.788389^2 + 1.581845^2 + 1.608703^2}}{219.3537} \times 100$$

$$U.THD(\%) = 3.454167\% \quad (23)$$

Расчёт по напряжению RMS принят из среднего значения напряжения первой общей гармоники, рассчитываются следующим образом:

$$U.RMS = \frac{U_1}{\sqrt{2}}$$

									Лист
									62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	МД 140400.68-801118077-2014 В				

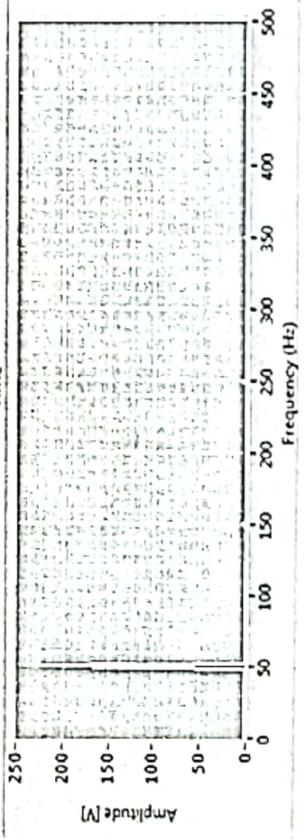
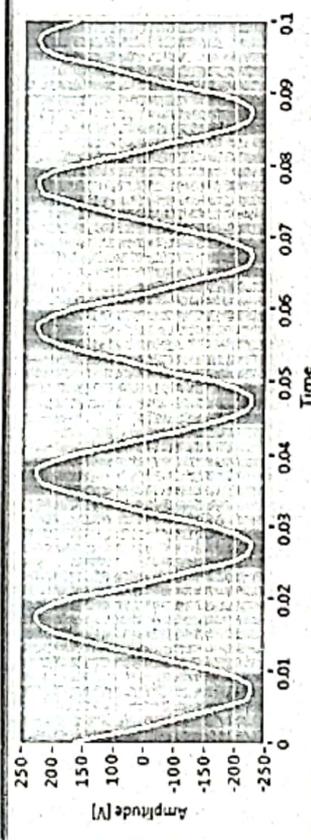
$$U_{RMS} = \frac{219.3537}{\sqrt{2}} = 155.2099 \text{ В} \quad (24)$$

Данные полученные в результате расчета на основе измеренных величин (таб. 2.32), сходятся со значениями, полученными в результате измерения. Ниже приведен результат измерения по напряжению RMS, который также не отличается от расчета. Таким образом, можно сказать, что измерение проводится правильно.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	МД 140400.68-801118077-2014 В				Листы
									63



10:22 PM 4/04/2014



THD [%]	Frequency	Rms	Harmonic 1	Harmonic 3	Harmonic 5	Harmonic 7	Harmonic 9
3.454167	50.0153	155.2099	219.3537	4.33739	5.789389	1.581845	1.608703
3.449873	50.014692	155.2471	219.5	4.26511	5.968504	1.336343	1.742853
3.240033	50.015308	155.2358	219.4112	4.4286	5.140709	1.703986	1.598265
3.58479	50.015466	155.4567	219.713	4.43936	6.078211	1.953052	1.564768
3.489012	50.01769	155.2923	219.5474	4.31706	6.040121	1.309133	1.842768
3.156195	50.016658	155.1959	219.5028	4.37459	4.064671	1.623246	1.576161
3.566296	50.017076	155.153	219.373	4.3646	6.079959	1.917229	1.515594
3.486853	50.016144	154.9907	219.1097	4.25765	6.06901	1.281245	1.757132
3.205216	50.015237	155.0778	219.2606	4.41566	5.094621	1.450509	1.552701
3.554385	50.014844	155.2625	219.4705	4.41566	5.983554	2.004221	1.535004
3.531146	50.014065	155.3841	219.5583	4.19295	6.274747	1.260724	1.577657
3.225769	50.014534	155.1096	219.3062	4.26408	5.319005	1.453176	1.491518
3.413349	50.015339	155.313	219.5355	4.52135	5.499211	1.954821	1.647173
3.657103	50.015751	155.4598	219.7304	4.42501	6.423604	1.487455	1.512854
3.23562	50.015632	155.2455	219.3466	4.16922	5.692579	1.331404	1.66036
3.315502	50.015583	155.248	219.3776	4.50482	5.29167	1.731392	1.610467
3.638351	50.016425	155.4128	219.6392	3.3821	6.347026	1.773989	1.497857
3.457536	50.017223	155.1236	219.355	4.20937	6.021418	1.34475	1.763508
3.220445	50.015048	155.1351	219.1431	4.41598	5.135555	1.537821	1.566903
3.582414	50.016156	155.3224	219.4845	4.34969	6.115742	1.607504	1.512183
3.530901	50.017963	155.1535	219.223	4.29497	6.155244	1.316101	1.550129
3.282517	50.016784	155.1831	219.2535	4.5434	5.20068	1.522597	1.504064
3.615404	50.016766	155.4291	219.6429	4.2153	6.188035	1.923368	1.521962
3.493657	50.017357	155.2624	219.455	4.26626	6.082729	1.312129	1.505363
3.250314	50.015258	155.0407	219.1189	4.22757	5.246898	1.536005	1.527186
3.517705	50.013902	155.1781	219.266	4.087	6.155467	1.866065	1.416872
3.65874	50.011203	154.9642	219.0011	4.23735	6.532961	1.368175	1.695923
3.26103	50.011087	154.7596	218.7368	4.12288	5.709217	1.320026	1.596411
3.253034	50.010054	154.7714	218.7524	4.33856	5.263123	1.626095	1.471015

Рис. 2.20. Дисплей программы с результатами измерения гармонического напряжения светодионного светильника

Таблица 2.32

Таблица результатов измерения THD напряжения светодиодного светильника

THD [%]	Частота [Гц]	RMS [V]	Гармоника 1	Гармоника 3	Гармоника 5	Гармоника 7	Гармоника 9
3.58479	50.015466	155.4567	219.713	4.439363	6.078211	1.953952	1.564798
3.489012	50.01769	155.2923	219.5474	4.317058	6.040121	1.309133	1.842268
3.156195	50.016658	155.1959	219.5028	4.374589	4.964671	1.623246	1.576361
3.566296	50.017076	155.153	219.373	4.364603	6.079959	1.917229	1.515594
3.486853	50.016144	154.9907	219.1097	4.257652	6.06991	1.281245	1.757132
3.205216	50.015237	155.078	219.2606	4.447223	5.094621	1.450509	1.552701
3.554385	50.014844	155.2625	219.4705	4.415663	5.983554	2.004221	1.535004
3.531146	50.014065	155.3841	219.5583	4.192951	6.273747	1.260724	1.577657
3.225769	50.014534	155.1996	219.3962	4.264075	5.319905	1.453176	1.491518
3.413349	50.015339	155.3213	219.5355	4.521383	5.499211	1.954821	1.647173
3.657303	50.015751	155.4598	219.7304	4.425909	6.423904	1.487455	1.512854
3.323562	50.015632	155.2455	219.3466	4.160217	5.692579	1.331404	1.66036
3.315502	50.015583	155.248	219.3776	4.50482	5.29167	1.731392	1.610467
3.638351	50.016425	155.4128	219.6392	4.358208	6.342026	1.773989	1.497657
3.457536	50.017223	155.1236	219.355	4.209365	6.021418	1.33475	1.763508
3.220445	50.015048	155.1351	219.1431	4.415981	5.135558	1.537821	1.566908
3.582414	50.016156	155.3224	219.4845	4.349688	6.115742	1.997504	1.512183
3.530901	50.017963	155.1535	219.223	4.294972	6.155244	1.316101	1.850129
3.282547	50.016784	155.1831	219.2535	4.543399	5.20068	1.582597	1.604064
<b>Общие средние значения</b>							
3.454167	50.01533	155.2099	219.3537	4.337391	5.788389	1.581845	1.608703

МД 140400.68-801118077-2014 В

Листы

65

№ докум.

Дата

Подпись

Изм.

Лист

• Гармоника тока

В светодиодном светильнике входной ток соответствует рассчитанному ток, составляет 0.25 А . Среднее значение коэффициента искажения искажения кривой тока (THD) равно 47.06096 %, среднее общее значение RMS тока составляет 0.1815 А . Присутствуют гармоники тока нечётного порядка и наибольшей гармоникой является 3, частота  $3 \cdot 50 \text{ Гц} = 150 \text{ Гц}$ , генерируемый гармонический ток составляет 0.1201537 А.

Чтобы узнать и проверить правильность и точность измерения, требуется сравнить данные результатов измерения (см. табл. 2.33) с данными результатов расчёта. Сделаем следующее введение и обозначение:

Суммарное искажение гармонических составляющих тока (THD)

$I_1$  – Среднее значение тока первой гармоники

$I_3$  – Среднее значение тока третьей гармоники

$I_5$  – Среднее значение тока пятой гармоники

$I_7$  – Среднее значение тока седьмой гармоники

$I_9$  – Среднее значение тока девятой гармоники

$$I.THD(\%) = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2}}{I_1} \times 100$$

$$I.THD(\%) = \frac{\sqrt{0.1201537^2 + 0.008494^2 + 0.009171^2 + 0.0001434^2}}{0.256693281} \times 100$$

$$I.THD(\%) = 47.06096 \% \quad (25)$$

Расчёт по току RMS принят из среднего значения тока первой общей гармоники, именно делается следующим образом:

$$I.RMS = \frac{I_1}{\sqrt{2}}$$

$$I.RMS = \frac{0.256693281}{\sqrt{2}} = 0.18151 \text{ A} \quad (26)$$

Данные полученные в результате расчета на основе измеренных величин (таб. 2.33), сходятся со значениями, полученными в результате измерения. Ниже приведен результат измерения по току RMS, который также не отличается от расчета. Таким образом, можно сказать, что измерение проводится правильно.

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

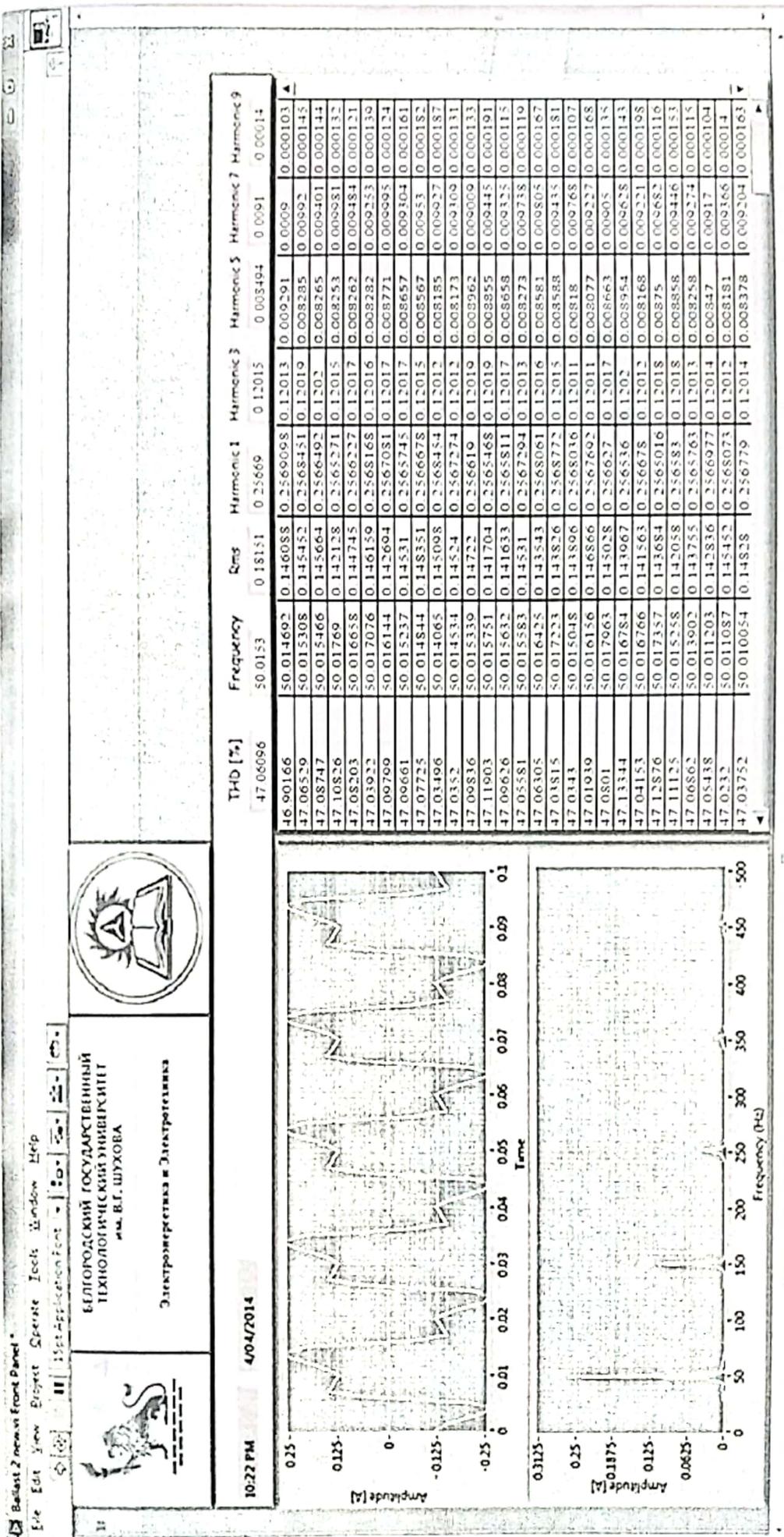


Рис. 2.21. Дисплей программы с результатами измерения гармонического тока светодиодного светильника

Таблица 2.33

Таблица результатов измерения ТНД тока светодиодного светильника

ТНД [%]	Частота[Гц]	RMS [А]	Гармоника 1	Гармоника 3	Гармоника 5	Гармоника 7	Гармоника 9
46.90166	50.014692	0.146088	0.25690979	0.1201328	0.009291	0.0009	0.000103
47.06529	50.015308	0.145452	0.25684505	0.1201919	0.008285	0.00992	0.0001452
47.08747	50.015466	0.145664	0.25664921	0.1201995	0.008265	0.009401	0.0001437
47.10826	50.01769	0.142128	0.25652712	0.1201494	0.008253	0.009981	0.0001322
47.08203	50.016658	0.144745	0.25662266	0.1201666	0.008262	0.009484	0.0001205
47.03922	50.017076	0.146159	0.25681677	0.1201646	0.008282	0.009253	0.0001392
47.09799	50.016144	0.142694	0.25670811	0.1201708	0.008771	0.009995	0.0001242
47.09661	50.015237	0.14531	0.25657447	0.1201676	0.008657	0.009304	0.0001612
47.07725	50.014844	0.148351	0.25666781	0.1201506	0.008567	0.00953	0.0001817
47.03496	50.014065	0.145098	0.25684535	0.1201199	0.008185	0.009927	0.000187
47.0352	50.014534	0.14524	0.25672739	0.1201151	0.008173	0.009309	0.0001307
47.09836	50.015339	0.14722	0.2566619	0.1201934	0.008962	0.009009	0.0001325
47.11903	50.015751	0.141704	0.25654676	0.1201869	0.008855	0.009445	0.000191
47.09626	50.015632	0.141633	0.2565811	0.1201682	0.008658	0.009325	0.0001147
47.05581	50.015583	0.14531	0.25672941	0.1201284	0.008273	0.009738	0.0001193
47.06305	50.016425	0.143543	0.25680609	0.1201563	0.008581	0.009805	0.0001671
47.03815	50.017223	0.143826	0.25687718	0.1201547	0.008588	0.009435	0.0001807
47.0343	50.015048	0.143896	0.25680364	0.1201119	0.00818	0.009768	0.0001066
47.01939	50.016156	0.146866	0.25676917	0.1201068	0.008077	0.009227	0.000168
<b>Общие средние значения</b>							
47.06096	50.01533	0.18151	0.256693281	0.1201537	0.008494	0.009171	0.0001434

Изм.

Лист

№ докум

Подпись

Дата

МЛ 140400.68-801118077-2014 В

Лист

69

#### 2.4.2.4. Компактная люминесцентная лампа модель M-FSP

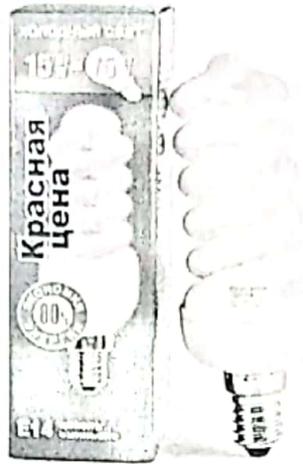


Рис. 2.22. Компактная люминесцентная лампа (КЛЛ) модель M-FSP

Напряжение питания 220 Вольт

Мощность 15 Ватт

$$P = VI$$

$$I = \frac{15 \text{ Ватт}}{220 \text{ Вольт}} = 0.068 \text{ A}$$

$$I = 0.068 \text{ A} \quad (27)$$

На рисунке 2.12 показано измерение тока лампы (выходное напряжением 9 вольт), значение выбранного резистора определяем следующим образом:

$$V = I \cdot R$$

$$R = \frac{9 \text{ Вольт}}{0.068 \text{ A}} = 132.3 \text{ Ом}$$

$$R = 132.3 \text{ Ом} \quad (28)$$

- **Гармоники напряжения**

У данной КЛЛ результат измеряемого гармонического напряжения см. рис. 2.23) показывает, что THD равен 3.454167%, THD не превышает установленную норму (табл. 1.3), среднее общее значение RMS равно

155.188В. Присутствуют гармоники по напряжению нечетного порядка наибольшее значение имеет 5. Частота гармоники  $5 \cdot 50 \text{ Гц} = 250 \text{ Гц}$ , и напряжение генерируемой гармоники составляет 5.791428 В.

Чтобы узнать и проверить правильность и точность измерения, требуется сравнить данные результатов измерения (см. табл. 2.34) с данными результатов расчёта. Сделаем следующее введение и обозначение:

Суммарное искажение гармонических составляющих напряжения (THD)

$U_1$  – Среднее значение напряжения первой гармоники

$U_3$  – Среднее значение напряжения третьей гармоники

$U_5$  – Среднее значение напряжения пятой гармоники

$U_7$  – Среднее значение напряжения седьмой гармоники

$U_9$  – Среднее значение напряжения девятой гармоники

$$U.THD(\%) = \frac{\sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + U_9^2}}{U_1} \times 100$$

$$U.THD(\%) = \frac{\sqrt{4.339669^2 + 5.791428^2 + 1.5826^2 + 1.6095^2}}{219.46} \times 100$$

$$U.THD(\%) = 3.454167\% \quad (29)$$

Расчёт по напряжению RMS принят из среднего значения напряжения первой общей гармоники, рассчитывается следующим образом:

$$U.RMS = \frac{U_1}{\sqrt{2}}$$

$$U.RMS = \frac{219.46}{\sqrt{2}} = 155.18 \text{ В} \quad (30)$$

Данные полученные в результате расчета на основе измеренных величин (таб. 2.34), сходятся со значениями, полученными в результате измерения. Ниже приведен результат измерения по напряжению RMS, который также не отличается от расчета. Таким образом, можно сказать, что измерение проводится правильно.



БЕЛОРУДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. В.Г. ШУХОВА

Электроэнергетика и Электротехника

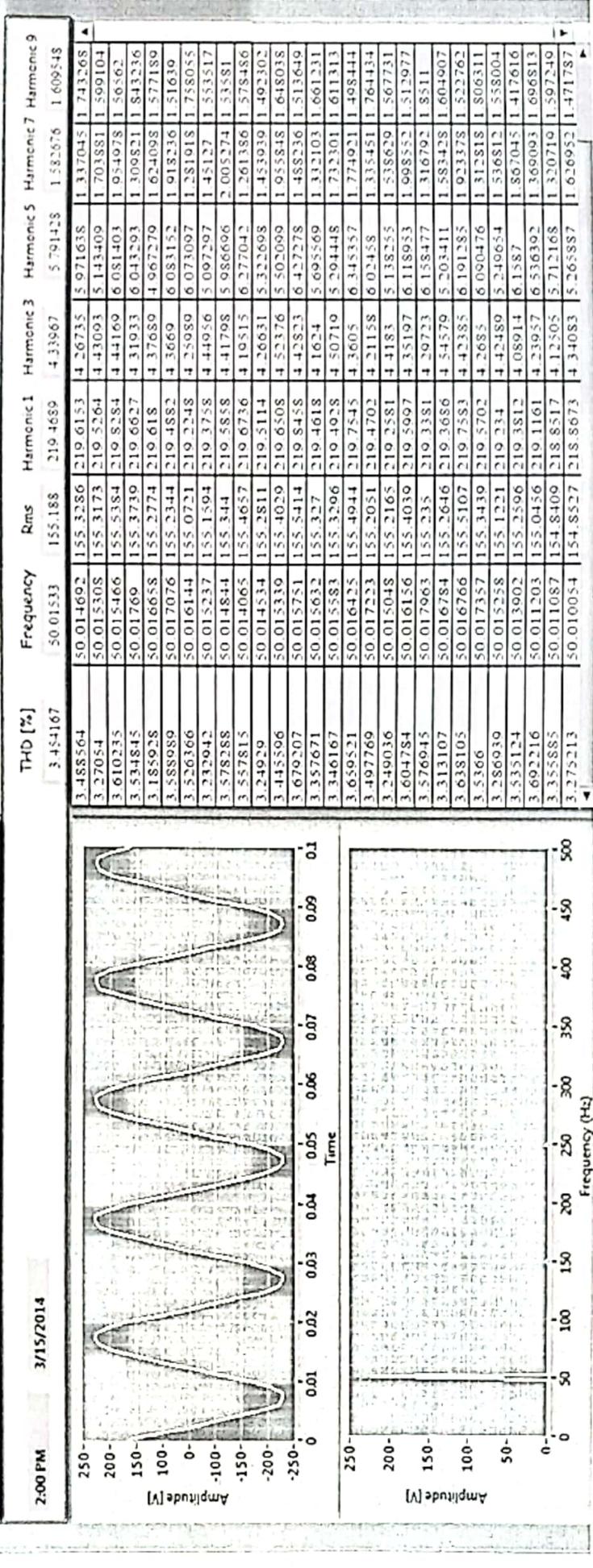


Рис. 2.23. Дисплей программы с результатами измерения гармонического напряжения КЛЛ

Таблица 2.34

Таблица результатов измерения ТНД напряжения в люминесцентной лампе

ТНД [%]	Частота [Гц]	RMS [V]	Гармоника1	Гармоника 3	Гармоника 5	Гармоника 7	Гармоника 9
3.488564	50.014692	155.3286	219.6153	4.267346	5.971638	1.337045	1.743268
3.27054	50.015308	155.3173	219.5264	4.430925	5.143409	1.703881	1.599104
3.610235	50.015466	155.5384	219.8284	4.441694	6.081403	1.954978	1.56562
3.534845	50.01769	155.3739	219.6627	4.319325	6.043293	1.309821	1.843236
3.185928	50.016658	155.2774	219.618	4.376886	4.967279	1.624098	1.577189
3.588989	50.017076	155.2344	219.4882	4.366895	6.083152	1.918236	1.51639
3.526366	50.016144	155.0721	219.2248	4.259888	6.073097	1.281918	1.758055
3.232942	50.015237	155.1594	219.3758	4.449559	5.097297	1.45127	1.553517
3.578288	50.014844	155.344	219.5858	4.417982	5.986696	2.005274	1.53581
3.557815	50.014065	155.4657	219.6736	4.195153	6.277042	1.261386	1.578486
3.24929	50.014534	155.2811	219.5114	4.266314	5.322698	1.459939	1.492302
3.445596	50.015339	155.4029	219.6508	4.523758	5.502099	1.955848	1.648038
3.679207	50.015751	155.5414	219.8458	4.428234	6.427278	1.488236	1.513649
3.357671	50.015632	155.327	219.4618	4.162401	5.695569	1.332103	1.661231
3.346167	50.015583	155.3296	219.4928	4.507186	5.294448	1.732301	1.611313
3.659521	50.016425	155.4944	219.7545	4.360497	6.345357	1.774921	1.498444
3.497769	50.017223	155.2051	219.4702	4.211575	6.02458	1.335451	1.764434
3.249036	50.015048	155.2165	219.2581	4.4183	5.138255	1.538629	1.567731
3.604784	50.016156	155.4039	219.5997	4.351972	6.118953	1.998552	1.512977
<b>Общие средние значения</b>							
3.454167	50.01533	155.188	219.4689	4.339669	5.791428	1.582676	1.609548

МД 140400.68-801118077-2014 В

Лист

73

№ докум.

Подпись

Дата

Изм. Лист



Данные полученные в результате расчета на основе измеренных величин (таб. 2.35), сходятся со значениями, полученными в результате измерения. Ниже приведен результат измерения по току RMS, который также не отличается от расчета. Таким образом, можно сказать, что измерение проводится правильно.

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		75

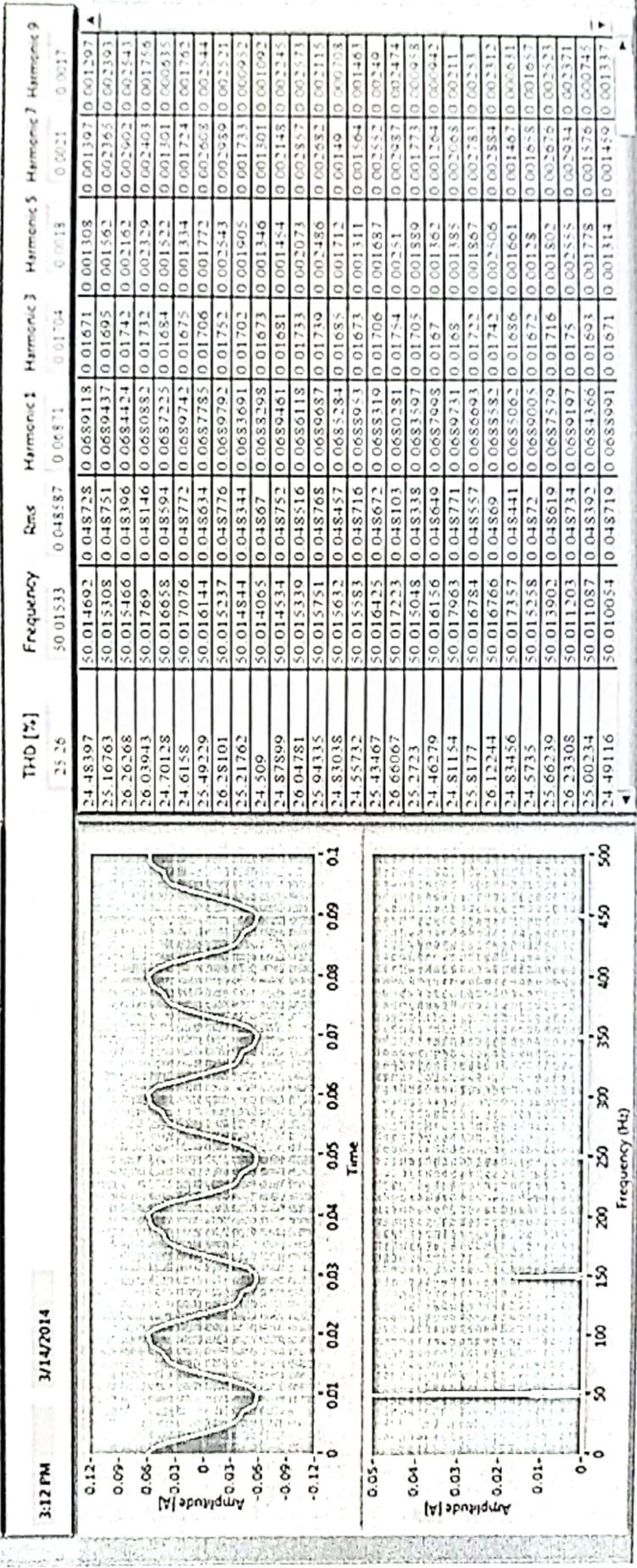


Рис. 2.24. Дисплей программы результатов измерения гармонического тока КЛЛ

Таблица 2.35

Таблица результатов измерения THD тока КЛД

THD [%]	Частота [Гц]	RMS [А]	Гармоника 1	Гармоника 3	Гармоника 5	Гармоника 7	Гармоника 9
24.48397	50.014692	0.048728	0.06891177	0.01671314	0.001308	0.001397	0.001297
25.16763	50.015308	0.048751	0.06894367	0.016950369	0.001562	0.002365	0.002393
26.26268	50.015466	0.048396	0.06844243	0.017422159	0.002162	0.002902	0.002543
26.03943	50.01769	0.048146	0.06808815	0.017322261	0.002329	0.002403	0.001756
24.70128	50.016658	0.048594	0.06872248	0.016844926	0.001522	0.001301	0.000635
24.6158	50.017076	0.048772	0.06897415	0.0167455	0.001334	0.001724	0.001762
25.49229	50.016144	0.048634	0.06877846	0.017058853	0.001772	0.002608	0.002544
26.28101	50.015237	0.048776	0.0689792	0.01751808	0.002543	0.002989	0.002521
25.21762	50.014844	0.048344	0.06836912	0.017021103	0.001905	0.001733	0.000952
24.509	50.014065	0.04867	0.06882984	0.01672968	0.001346	0.001301	0.001092
24.87899	50.014534	0.048752	0.06894614	0.016806626	0.001454	0.002148	0.002245
26.04781	50.015339	0.048516	0.0686118	0.017329767	0.002073	0.002857	0.002573
25.94335	50.015751	0.048768	0.06896871	0.017386985	0.002486	0.002682	0.002115
24.83038	50.015632	0.048457	0.06852838	0.016848886	0.001712	0.00149	0.000708
24.55732	50.015583	0.048716	0.06889531	0.016731405	0.001311	0.001564	0.001463
25.43467	50.016425	0.048672	0.06883194	0.017057129	0.001687	0.002552	0.00249
26.66067	50.017223	0.048103	0.06802805	0.017538667	0.00251	0.002987	0.002474
25.2723	50.015048	0.048338	0.06835969	0.017053867	0.001889	0.001773	0.000958
24.46279	50.016156	0.048649	0.06879982	0.016700923	0.001362	0.001264	0.000942
<b>Общие средние значения</b>							
25.26	50.01533	0.048587	0.06871178	0.017039218	0.001801	0.002127	0.001774

Изм. \_\_\_\_\_  
 Лист \_\_\_\_\_  
 Подпись \_\_\_\_\_  
 Дата \_\_\_\_\_

№ докум. \_\_\_\_\_  
 МД 140400.68-S01118077-2014 В

Лист

77

#### 2.4.2.5. Индукционная лампа модель LVD Jx-23Вт



Рис. 2.25. Индукционная лампа модель LVD Jx-23Вт

Напряжение питания 220 Вольт

Мощность 23 Ватт

$$P = V I$$

$$I = \frac{23 \text{ Ватт}}{220 \text{ Вольт}} = 0.104 \text{ А}$$

$$I = 0.104 \text{ А} \quad (33)$$

На рисунке 2.12 показано измерение тока лампы (выходное напряжением 9 В), значение выбранного резистора определяем следующим образом:

$$V = IR$$

$$R = \frac{9 \text{ Вольт}}{0.104 \text{ А}} = 86.5 \text{ Ом}$$

$$R = 86.5 \text{ Ом} \quad (34)$$

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		78

• Гармоники напряжения

У данной индукционной лампы среднее значение THD, измеряя в нормальных условиях, составил 3.250156%, THD не превышает установленную норму (таблица 1.3), среднее общее значение RMS равно 155.0431В. Данная лампа генерирует в сеть гармоники по напряжению нечетного порядка, наибольшее значение имеет гармоника 5, частота гармоники  $5 \cdot 50 \text{ Гц} = 250 \text{ Гц}$ , напряжение генерируемой гармоники составляет 5.320621В.

Чтобы узнать и проверить правильность и точность измерения, требуется сравнить данные результатов измерения (см. табл. 2.36) с данными результатов расчёта. Сделаем следующее введение и обозначение:

Суммарное искажение гармонических составляющих напряжения (THD)

$U_1$  – Среднее значение напряжения первой гармоники

$U_3$  – Среднее значение напряжения третьей гармоники

$U_5$  – Среднее значение напряжения пятой гармоники

$U_7$  – Среднее значение напряжения седьмой гармоники

$U_9$  – Среднее значение напряжения девятой гармоники

$$U.THD(\%) = \frac{\sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + U_9^2}}{U_1} \times 100$$

$$U.THD(\%) = \frac{\sqrt{4.196037^2 + 5.320621^2 + 1.567703^2 + 1.55322^2}}{219.264} \times 100$$

$$U.THD(\%) = 3.250156 \% \quad (35)$$

Расчёт по напряжению RMS принят из среднего значения напряжения первой общей гармоники, именно делается следующим образом:

$$U.RMS = \frac{U_1}{\sqrt{2}}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	МД 140400.68-801118077-2014 В					Лист
										79

$$U.RMS = \frac{219.264}{\sqrt{2}} = 155.0431 \text{ В} \quad (36)$$

Данные полученные в результате расчета на основе измеренных величин (таб. 2.36), сходятся со значениями, полученными в результате измерения. Ниже приведен результат измерения по напряжению RMS, который также не отличается от расчета. Таким образом, можно сказать, что измерение проводится правильно.

								Лист
								80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	МД 140400.68-801118077-2014 В			



БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
 и.м. В.Г. ШУХОВА  
 Электроизмерения и Электротехника

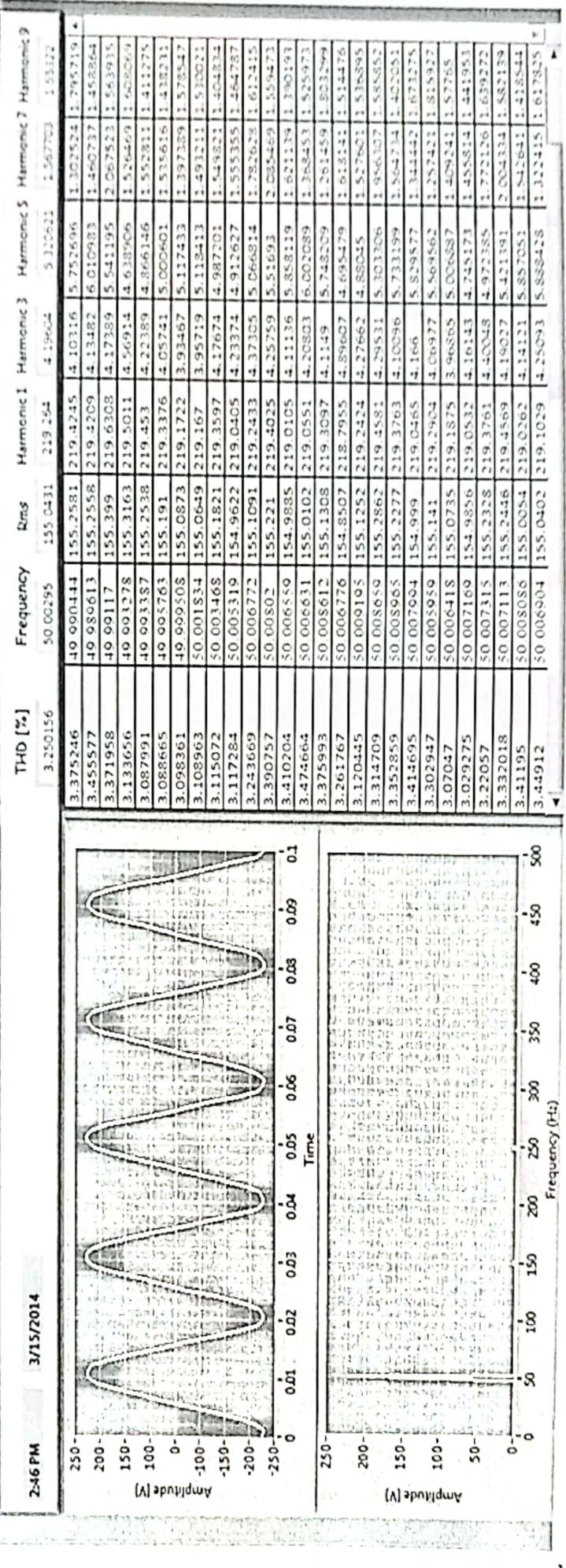


Рис. 2.26. Дисплей программы с результатами измерения гармонического напряжения индукционной лампы

Таблица 2.36

Таблица результатов измерения ТНД напряжения индукционной лампы

ТНД [%]	Частота[Гц]	RMS [V]	Гармоника1	Гармоника 3	Гармоника 5	Гармоника 7	Гармоника 9
3.375246	49.990444	155.2581	219.4245	4.103155	5.752696	1.302524	1.795719
3.455577	49.989613	155.2558	219.4209	4.134817	6.010983	1.460737	1.458864
3.371958	49.99117	155.399	219.6308	4.173887	5.541195	2.067523	1.563935
3.133656	49.993278	155.3163	219.5011	4.569143	4.638906	1.526469	1.608069
3.087991	49.993387	155.2538	219.453	4.223887	4.866146	1.552811	1.411275
3.088665	49.995763	155.191	219.3376	4.057411	5.000601	1.535616	1.438231
3.098361	49.999508	155.0873	219.1722	3.934665	5.117433	1.397389	1.578547
3.108963	50.001834	155.0649	219.167	3.957191	5.118413	1.493211	1.530021
3.115072	50.003468	155.1821	219.3597	4.176735	4.987201	1.549821	1.404834
3.117284	50.005319	154.9622	219.0405	4.233736	4.912627	1.555355	1.464787
3.243669	50.006772	155.1091	219.2433	4.373048	5.066814	1.782628	1.612415
3.390757	50.00802	155.221	219.4025	4.257594	5.51693	2.085469	1.559473
3.410204	50.006559	154.9885	219.0105	4.11136	5.858119	1.621139	1.390193
3.474664	50.006631	155.0102	219.0551	4.208029	6.002089	1.368453	1.525973
3.375993	50.008612	155.1308	219.3097	4.114895	5.748209	1.261459	1.803299
3.261767	50.006776	154.8507	218.7955	4.896069	4.695479	1.618141	1.514476
3.120445	50.009195	155.1252	219.2424	4.276622	4.88045	1.527601	1.536895
3.314709	50.008659	155.2862	219.4581	4.295311	5.303306	1.956307	1.585852
3.352859	50.008965	155.2277	219.3763	4.100963	5.733199	1.564734	1.402051
3.414695	50.007994	154.999	219.0465	4.166004	5.829577	1.344442	1.673275
3.302947	50.005959	155.141	219.2904	4.069766	5.569562	1.257421	1.815927
Общие средние значения							
3.250156	50.00295	155.0431	219.264	4.196037	5.320621	1.567703	1.55322

М/П 140400 68-80118077-2014 R

Изм. \_\_\_\_\_

Лист \_\_\_\_\_

№ докум. \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Листм. \_\_\_\_\_

82

- Гармоникки тока

У индукционной лампы входной ток равен 0.104 А и по результатам измеренного гармонического тока (см. рис. 2.27) получаем, что среднее значение коэффициента искажения кривой тока (THD) равен 29.10216 %, среднее общее значение RMS тока составляет 0.074398 А. Гармоника тока бывает по нечётному порядку, и наибольшее значение имеет гармоника 3 порядка с частотой  $3 \cdot 50 \text{ Гц} = 150 \text{ Гц}$ , генерируемым ток 5 гармоники составляет 0.024757 А.

Чтобы узнать и проверить правильность и точность измерения, требуется сравнить данные результатов измерения (см. табл. 2.37) с данными результатов расчёта. Сделаем следующее введение и обозначение:

Суммарное искажение гармонических составляющих тока (THD)

$I_1$  – Среднее значение тока первой гармоники

$I_3$  – Среднее значение тока третьей гармоники

$I_5$  – Среднее значение тока пятой гармоники

$I_7$  – Среднее значение тока седьмой гармоники

$I_9$  – Среднее значение тока девятой гармоники

$$I.THD(\%) = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2}}{I_1} \times 100$$

$$I.THD(\%) = \frac{\sqrt{0.024757^2 + 0.014702^2 + 0.009611^2 + 0.004016^2}}{0.105215} \times 100$$

$$I.THD(\%) = 29.10216 \% \quad (37)$$

Расчёт по току RMS принят из среднего значения тока первой общей гармоники, именно делается следующим образом:

$$I.RMS = \frac{I_1}{\sqrt{2}}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	МД 140400.68-801118077-2014 В					Лист
										83

$$I_{RMS} = \frac{0.105215}{\sqrt{2}} = 0.074398 \text{ A} \quad (38)$$

Данные полученные в результате расчета на основе измеренных величин (таб. 2.37), сходятся со значениями, полученными в результате измерения. Ниже приведен результат измерения по току RMS, который также не отличается от расчета. Таким образом, можно сказать, что измерение проводится правильно.

									Лист
									84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	МД 140400.68-801118077-2014 В				



Таблица 2.37

Таблица результатов измерения THD тока индукционной лампы

THD [%]	Частота [Гц]	RMS [А]	Гармоника 1	Гармоника 3	Гармоника 5	Гармоника 7	Гармоника 9
31.64686	49.991544	0.074706	0.105651	0.026155	0.016905	0.009451	0.007664
29.52698	49.990444	0.074693	0.105632	0.023423	0.015951	0.009684	0.008717
35.74105	49.989613	0.072959	0.103179	0.029277	0.019882	0.009938	0.002959
33.1415	49.99117	0.074306	0.105085	0.026075	0.019047	0.009479	0.008965
26.34507	49.993278	0.074923	0.105957	0.023802	0.010531	0.00989	0.001992
25.38768	49.993387	0.075734	0.107104	0.020957	0.014269	0.009815	0.00049
32.47226	49.995763	0.073135	0.103429	0.02569	0.017563	0.009082	0.008781
25.09269	49.999508	0.076468	0.108143	0.020215	0.014745	0.009435	0.004616
29.50745	50.001834	0.074908	0.105936	0.026446	0.012698	0.00999	0.004086
27.08022	50.003468	0.071712	0.101416	0.022045	0.013204	0.009673	0.000615
33.41446	50.005319	0.071477	0.101083	0.028652	0.014655	0.009399	0.004104
29.81922	50.006772	0.07129	0.100819	0.022033	0.017517	0.009888	0.003708
26.56752	50.00802	0.075929	0.10738	0.023651	0.011067	0.009996	0.005664
25.01023	50.006559	0.076293	0.107895	0.021618	0.011643	0.009459	0.005986
26.76431	50.006631	0.076296	0.107899	0.023694	0.010585	0.009744	0.008098
29.17758	50.008612	0.072639	0.102727	0.024554	0.014052	0.009898	0.00023
29.87336	50.006776	0.071444	0.101037	0.023991	0.014452	0.009146	0.006553
26.14469	50.009195	0.073693	0.104217	0.021653	0.013266	0.009326	0.003256
<b>Общие средние значения</b>							
29.10216	50.00295	0.074398	0.105215	0.024757	0.014702	0.009611	0.004016

МД 140400.68-S0111S077-2014 В

Дата

Подпись

№ докум.

Лист

Лист  
86

## Заключение

В этой диссертации анализируется качество электроэнергии, обусловленной работой линейной и нелинейной нагрузки-ламп наружного и внутреннего освещения. Для анализа качества нами была собрана схема для мониторинга, измерения и анализа показателей качества электроэнергии. Для этого мы использовали блок DAQ6008/6009, интегрируя с программой Lab VIEW 2009. На основе проведенной выше исследовательской работы сделали следующие выводы:

1. Измерения с использованием Блок DAQ6008/6009 легко, удобно и эффективно используется для измерений, а так же в реальном (DAQ6008/6009 считывает 10.000 данных/сек).
2. Интегрирование программы Lab VIEW 2009 с DAQ6008/6009 помогло качественно получить и проанализировать показатели качества электроэнергии измерения качества нагрузкой лампы соответствует с установленным планом.
3. При измерении всех представленных в исследовании ламп было выявлено, что значения суммарных гармонических искажения по напряжению не превышают норму установленную ГОСТ Р 54149-2010.
4. Форма кривых тока и напряжения у линейной нагрузки (лампа накаливания и галогенная лампа) не имеют больших гармонических искажений, что доказывают суммарные коэффициенты гармонического искажения. Для лампы накаливания  $U.THD = 3.42\%$  и  $I.THD = 7.54\%$ , для галогенной лампы  $U.THD = 3.53\%$  и  $I.THD = 8.43\%$ .
5. Форма кривых тока и напряжения нелинейной нагрузки (люминесцентная лампа, светодиодный светильник, индукционная лампа) искажены из-за присутствия гармоник. Это явление характеризуется суммарными коэффициентами гармонического искажения. Так для компактной люминесцентной лампы  $U.THD = 3.45\%$  и  $I.THD = 25.2\%$ , для светодиодного

									Лист
									87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	МД 140400.68-801118077-2014 В				

светильника  $U.THD = 3.45\%$  и  $I.THD = 47\%$  и для индукционной лампы  $U.THD = 3.25\%$  и  $I.THD = 29.1\%$ .

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		88

## Список литературы

1. *Бурман А. П.* и др. Основы современной энергетики. — М. МЭИ. 2002.
2. *Безруких П. П., Арбузов Ю. Д., Борисов Г. А.* и др. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии. 75 С.-Пб. Наука. 2002.
3. *Бушуев В. В.* Об энергетической стратегии России // Вестник электроэнергетики, 1998, №3.
4. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов. СПб: Питер, 2002.608 с: ил
5. **National Instrument LabVIEW 2009**, справочная система
6. <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303m.pdf>
7. *Д.Я.Малкин.* Применение газоразрядных источников света – Энергия , 1995.- 130 с.
8. *Павел Владимирович Пляскин.* Основы конструирования электрических источников света - Энергия , 1995. -80 с.
9. **ГОСТ Р 54149- 2010.** Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения – Москва : Госстандарт России, 2010.

					МД 140400.68-801118077-2014 В	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		89