

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Электронного Образования
 Направление 221700 «Стандартизация и метрология»
 Кафедра Систем управления и мехатроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Минимизация систематической амплитудной погрешности при осциллографическом наблюдении сигналов.

УДК 621.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Г21	Брашеван Надежда Сергеевна		15.05.2017

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Заревич А.И.	канд. техн. наук		15.05.2017

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А. Г.	канд. истор. наук		15.05.2017

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Акулов П.А.			15.05.2017

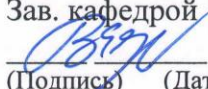
ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
СУМ	Губин В.Е.	канд. техн. наук		02.06.17г.

Томск – 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Электронного Образования
Направление подготовки 221700 «Стандартизация и метрология»
Кафедра Систем управления и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
 Губин В.Е.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-8Г21	Брашеван Надежда Сергеевна

Тема работы:

Минимизация систематической амплитудной погрешности при
осциллографическом наблюдении сигналов.

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования – цифровой осциллограф. Основная задача – минимизировать систематическую составляющую амплитудной погрешности измерительных каналов цифрового осциллографа.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Провести анализ основных факторов, обуславливающих возникновение систематической погрешности в осциллографе; провести экспериментальное исследование по определению амплитудных характеристик измерительных каналов цифрового осциллографа; создать таблицу поправок.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Построить экспериментально полученные поправки к амплитудной характеристике измерительных каналов осциллографа.</p>


Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Данков А. Г., доцент, канд. истор. наук.
Социальная ответственность	Акулов П. А., ассистент


Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	11.01.2016
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Заревич А.И.	канд. техн. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Г21	Брашеван Надежда Сергеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и
ресурсосбережение»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-8Г21	Брашеван Надежда Сергеевна

Институт	ИнЭо	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Стандартизация и метрология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	...
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчет затрат на разработку НИРС
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	НДС 18 %, начисления на заработную плату 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

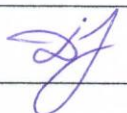
1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	...
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	...
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	...
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	...
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	...

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей)


1. «Портрет» потребителя результатов НИИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НИИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков Артем Георгиевич	К.И.Н.		17.04.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Г21	Брашеван Надежда Сергеевна		15.05.2017

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-8Г21	Брашеван Надежда Сергеевна

Институт	ИнЭО	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	«Стандартизация и метрология»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером, и экспериментальной установкой (цифровой осциллограф АКТ-2041, генератор-калибратор Fluke 5520A, вольтметр В7-46/1). Объект исследования – цифровой осциллограф АКТ-2041.</p> <p>Оборудование: экспериментальная установка, компьютер, мебель (шкаф, стулья, столы).</p> <p>В данной рабочей зоне возможно возникновение:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (недостаточная освещенность рабочей зоны, отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень напряженности электромагнитного поля; – опасных факторов (вопросы электробезопасности и пожаробезопасности); – чрезвычайных ситуаций.
---	---

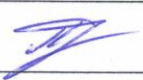
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>Проводится анализ выявленных вредных факторов производственной среды, таких как:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Недостаточная освещенность рабочей зоны: может быть вызвана ошибочным расположением ламп в помещении, неправильным выбором количества осветительных приборов и нерациональной нагрузкой на них электрического тока. – Отклонение показателей микроклимата: ненормированная температура или концентрация влажности воздуха помещения может быть вызвана не правильной эксплуатацией отопительных приборов, неправильно подготовленной внутренней обстановкой помещения в различные времена года. Это приводит к отклонению показателей, а так же может привести к различным простудным заболеваниям и снижению работоспособности персонала. – Психофизиологические нагрузки; <p>Воздействие электромагнитного и ионизирующего излучения.</p> <p>Анализ выявленных опасных факторов производственной среды, таких как:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Электробезопасность – Пожаробезопасность
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Анализ воздействия на литосферу: образование отходов при поломке или утилизации компьютера, осциллографа.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по 	<p>Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.


<p>предупреждению ЧС;</p> <ul style="list-style-type: none"> - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - компоновка рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Акулов Петр Анатольевич			17.04.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Г21	Брашеван Надежда Сергеевна		15.05.2017

Реферат

Бакалаврская работа 116 с., состоит из пяти разделов, содержит 21 таблицу, 27 рисунков, 22 литературных источника, 2 приложения.

Ключевые слова: цифровой осциллограф, аналого-цифровой преобразователь, цифровая обработка сигналов, погрешности измерения, измерительный тракт.

Keywords: digital oscilloscope, analog-to-digital converter, digital signal processing, measurement errors, measuring channel.

Объектом исследования является цифровой осциллограф.

Цель работы - минимизировать систематическую погрешность каналов цифрового осциллографа при осциллографических измерениях.

В работе было использовано следующее оборудование:

- цифровой осциллограф Актаком АСК-2041;
- вольтметр В7-46/1;
- генератор-калибратор Fluke 5520A;
- персональный компьютер с операционной системой Microsoft Windows 7;
- программный пакет Matlab.

В процессе исследования проводились: анализ появления систематической погрешности при осциллографических наблюдениях, составление алгоритма определения таблицы поправок, получение и обработка экспериментальных данных.

Получены результаты, свидетельствующие об обоснованности практического применения разработанной процедуры минимизации систематической составляющей погрешностей измерительных каналов цифрового осциллографа.

Область применения: лаборатории низковольтного оборудования, учебный процесс в ВУЗах по направлениям электроника, метрология.

Содержание

	С.
Введение.....	12
1 Обзор основных факторов обуславливающих появление случайной и систематической составляющей погрешности	18
1.1 Анализ источников погрешностей осциллографа	18
1.2 Классификация АЦП	20
1.2.1 Параллельные АЦП	21
1.2.2 АЦП последовательного приближения	22
1.2.3 Сигма-дельта АЦП.....	23
1.2.4 Интегрирующие АЦП	24
1.3 Погрешности АЦП.....	26
1.3.1 Аддитивная погрешность.....	26
1.3.2 Мультипликативная погрешность	27
1.3.3 Дифференциальная нелинейность	27
1.3.4 Интегральная нелинейность	28
1.3.5 Погрешность квантования	29
1.4 Случайная и систематическая погрешности и методы их устранения ..	30
2 Планирование эксперимента.....	33
2.1 Описание экспериментальной установки.....	33
2.2 Планирование эксперимента	38
2.3 Порядок обработки экспериментальных данных	40
2.3.1 Алгоритм обработки экспериментальных данных.....	40
2.3.2 Математическое описание обработки экспериментальных данных	41
2.3.2 Получение таблиц поправок.....	43

3 Экспериментальные исследования и анализ их результатов	45
3.1 Получение экспериментальных данных.....	45
3.1.1 Порядок проведения эксперимента	45
3.1.2 Первичные результаты экспериментов	46
3.2 Статистическая обработка результатов экспериментов	51
3.2.1 Исключение грубых погрешностей	51
3.2.2 Построение гистограмм распределения мгновенных значений	52
3.3 Получение итоговых характеристик.....	57
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	65
4.1 Организация и планирование работ.....	65
4.1.1 Продолжительность этапов работ.....	65
4.1.2 Расчет накопления готовности проекта.....	68
4.2 Расчет сметы затрат	70
4.2.1 Расчет основной заработной платы	70
4.2.2 Расчет отчислений от заработной платы.....	71
4.2.3 Расчет затрат на электроэнергию	71
4.2.4 Расчет амортизационных расходов.....	73
4.2.5 Расчет прочих расходов	74
4.2.6 Расчет общей себестоимости разработки.....	74
4.2.7 Расчет прибыли	75
4.2.8 Расчет налога на добавленную стоимость	75
4.2.9 Цена разработки НИР	75
4.2.10 Полная смета затрат на выполнение НИР	75
4.3 Оценка экономической эффективности проекта	76
4.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР	76

5 Социальная ответственность.....	80
5.1 Техногенная безопасность	81
5.2 Санитария.....	82
5.2.1 Освещенность рабочей зоны	82
5.2.2 Микроклимат.....	83
5.2.3 Психофизиологические нагрузки.....	85
5.2.4 Опасность воздействия электромагнитного и ионизирующего излучения.....	86
5.3 Техника безопасности.....	87
5.3.1 Электробезопасность.....	87
5.3.2 Пожаробезопасность	89
5.3.3 Работа в чрезвычайных ситуациях.....	90
5.4 Региональная безопасность.....	92
5.5 Организационные вопросы обеспечения безопасности.....	93
Заключение	95
Список использованной литературы.....	97
Приложение А	100
Приложение Б.....	103

Введение

С момента начала электрических измерений, актуальной является задача максимального увеличения их точности. Электрический сигнал определяет группа параметров. Поскольку сигналы, несущие в себе информацию, обладают сложной формой и информационным составом, количество параметров, необходимых для описания данных сигналов крайне велико. Так, если для гармонических сигналов это всего лишь амплитуда, частота и начальная фаза, а для сигналов более сложной формы это могут быть и спектральный состав, скорость нарастания и спадов фронтов импульса, скважность импульсных сигналов и совокупность параметров описывающих форму и стабильность импульса. Для модулированных сигналов измеряют также и параметры модулирующего воздействия.

За прошедшее столетие измерительная техника в своем развитии достигла максимальных пределов точности и предельно широких диапазонов значений измеряемых физических величин. Так, например, современные высококлассные вольтметры, позволяют проводить измерения от микровольт до киловольт. Частотомеры позволяют измерять частоту гармонических сигналов с точностью до долей тысячных процентов. При этом максимальная точность достигается в измерении параметров постоянного напряжения и с этой целью созданы приборы с высочайшей точностью, данные приборы не предназначены для измерений параметров сложных сигналов. Измерения параметров сложных сигналов требует знаний о мгновенных значениях сигнала. С этой целью были разработаны специализированные приборы – осциллографы, непосредственно предназначенные для наблюдения и измерения параметров и формы сигналов. Первые электрические осциллографы для отображения сигнала использовали электронно-лучевую трубку. На горизонтальные пластины которой подавался пилообразный сигнал с заданным периодом, а на вертикальные пластины – напряжение исследуемого сигнала, что позволяло на экране наблюдать сам сигнал. Для

наблюдения сигналов малой амплитуды эти сигналы предварительно усиливались (милливольт – единицы вольт) наблюдение больших сигналов (десятки - сотни вольт) требовало их ослабления, с помощью делителей напряжения. Для наблюдения нескольких сигналов в осциллографы встраивались коммутаторы, осуществляющие переключения между каждым из входов осциллографа. Поскольку наблюдаемые совместно сигналы, могли обладать разными уровнями, то усилители и делители напряжения выполнялись в виде отдельных компонентов осциллографа, отдельно для каждого канала. Таким образом, каждый из каналов осциллографа мог обладать своими отдельными метрологическими характеристиками. Для измерения мгновенных значений сигнала необходимо знать эти характеристики. Поскольку отдельное покомпонентное исследование параметров усилителя и делителя невозможно, так как они являются единым целым, необходимо проводить тестирование каналов в совокупности.

В 70-е годы 20-о века по мере развития цифровой техники появилась возможность оцифровать сигналы и выполнить их компьютерную обработку, с использованием алгоритмов обработки данных. С этой целью следующее поколение осциллографов, стало иметь в своем составе аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), устройство памяти, и интерфейсы для связи с информационно-измерительной системой (ИИС). При этом управление цифровой частью осциллографа осуществлялось внешним компьютером.

На следующем этапе управляющие контроллеры были встроены в прибор осциллографа и в последнее полтора десятилетия осциллографы получили жидкокристаллический или полупроводниковые экраны. Такие осциллографы сейчас называются цифровыми осциллографами, в отличие от предыдущих – аналоговых. По мере развития вычислительных возможностей контроллеров, появление высокоскоростных шин передачи данных, появление модулей памяти с высокой скоростью чтения данных, функциональность осциллографов как приборов существенно увеличилась за счет возможностей встроенной цифровой обработки сигналов.

Современный осциллограф является комплексным многофункциональным измерительным прибором и предоставляет следующие возможности – анализатор спектра, вольтметр, генератор сигналов заданной формы и др. Однако, несмотря на широкие возможности осциллографа, в силу его универсальности он обладает существенно низкими метрологическими характеристиками по сравнению с упомянутыми ранее приборами. Так, например, погрешность измерения осциллографа АСК- 2041 порядка 4%, а у вольтметра В7-46/1 порядка сотых процента. Во многом низкие метрологические характеристики обусловлены быстродействующими АЦП малой разрядности, использованием широкополосных измерительных усилителей и делителей.

Основными источниками погрешности цифрового осциллографа являются следующее. Случайные погрешности – шумы электронных компонентов и взаимные наводки каналов. Систематические погрешности – интегральные и дифференциальные нелинейности АЦП и погрешности квантования АЦП, так же нелинейности амплитудных и амплитудно-частотных характеристик усилителей и делителей каналов.

Таким образом, существует проблема между универсальностью прибора и его метрологических характеристик.

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения точности осциллографа, как универсального прибора.

В Томском политехническом университете цифровые осциллографы широко используется во всевозможных учебных курсах связанных с измерением электрических параметров физических величин. В частности в учебных лабораториях кафедры СУМ ИК в рамках курса электроники на лабораторных занятиях, применяется осциллограф Актаком АСК – 2041. Его максимальная погрешность измерения напряжения составляет 4% в полосе пропускания 0-40 МГц. Для повышения точности измерений необходима минимизация погрешности прибора. При этом, мы имеем возможность определить систематическую составляющую погрешности и её уменьшить

путём введения соответствующих поправок к показаниям пробора. Для этого необходимо экспериментально получить таблицу поправок.

Предмет исследования – измерение значений напряжения постоянного тока.

Объектом исследования является цифровой осциллограф.

Цель работы: минимизировать систематическую погрешность измерительных каналов напряжения цифрового осциллографа.

Для достижения указанной цели необходимо решение следующих **задач исследования:**

1. На основе анализа литературных источников определить основные факторы обуславливающие появление случайной и систематической составляющей погрешности и определить методы их минимизации.

2. Провести планирование эксперимента по определению параметров нелинейности амплитудных характеристик измерительных каналов осциллографа Актаком АСК -2041 ;

3. Провести экспериментальные исследования и на основании их результата получить таблицу поправок к амплитудным характеристикам измерительных каналов осциллографа.

Практическая значимость. Проведенные в работе исследования в дальнейшем позволят предложить апробированные алгоритмические решения, направленные на минимизацию инструментальной составляющей погрешности при осциллографических измерениях мгновенных значений сигналов сложной формы.

При выполнении работы использовались следующие оборудование, инструменты и программное обеспечение:

- цифровой осциллограф Актаком АСК-2041;
- вольтметр В7-46/1;
- генератор-калибратор Fluke 5520A;
- набор кабелей для соединения приборов;

- персональный компьютер с операционной системой Microsoft Windows 7;

- программный пакет Matlab.

В первом разделе работы проведен анализ литературных источников для определения основных факторов обуславливающих появление случайной и систематической составляющей погрешности. Определены методы их минимизации, изучены способы определения систематической погрешности осциллографа.

Во втором разделе работы спланирован эксперимент по определению параметров нелинейности амплитудных характеристик каналов осциллографа АСК -2041, выбраны факторы эксперимента и описан порядок обработки экспериментальных результатов.

В третьем разделе работы было проведено экспериментальное исследование и на основании, результата статистической обработки полученных эксперименты данных, получена таблица поправок к амплитудным характеристикам измерительных каналов осциллографа.

Бакалаврская работа 116 с., состоит из пяти разделов, содержит 21 таблицу, 27 рисунков, 22 литературных источника, 2 приложения.

Определения, обозначения и сокращения

В настоящей работе используются следующие сокращения:

АЦП: аналого-цифровой преобразователь.

ОЗУ: оперативное запоминающее устройство.

LSB: величины наименьшего значащего разряда.

DNL: дифференциальная нелинейность.

INL: интегральная нелинейность.

СКО: среднеквадратическое отклонение.

ОСИ: образцовое средство измерения.

НСП: неисключенная систематическая погрешность.

1 Обзор основных факторов обуславливающих появление случайной и систематической составляющей погрешности

В первом разделе работы проведен анализ литературных источников для определения основных факторов обуславливающих появление случайной и систематической составляющей погрешности. Определены методы их минимизации, изучены способы определения систематической погрешности осциллографа.

1.1 Анализ источников погрешностей осциллографа

Для выявления источников погрешности в осциллографе рассмотрим упрощенную структурную схему прибора, приведенную на рисунке 1.

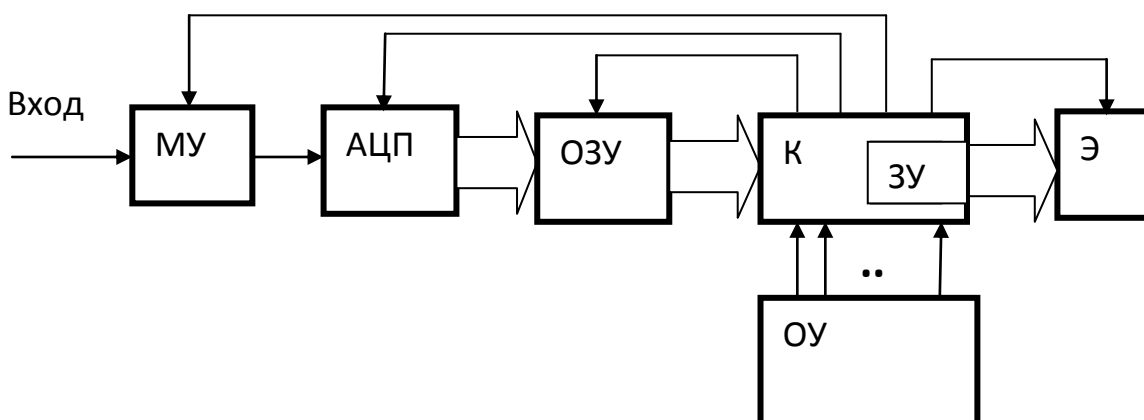


Рисунок 1 – Упрощенная структурная схема цифрового осциллографа
Обозначения[1]: МУ – масштабирующее устройство (усилитель и делитель напряжения); АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; К – контроллер; ЗУ – запоминающее устройство; Э – экран; ОУ – органы управления (кнопки, ручки).

Пройдя через МУ, входное напряжение преобразуется в АЦП в дискретную последовательность кодовых слов, отображающих мгновенные значения напряжения. Каждое новое кодовое слово записывается в ОЗУ. При этом все предыдущие записанные отсчёты сдвигаются на одну ячейку

(регистр сдвига), а самый первый исчезает, как бы «выталкивается». Если ОЗУ состоит из M ячеек, то в нём, постоянно обновляясь, содержится M последних, «свежих», кодовых слов. Так продолжается до тех пор, пока не будет выполнено некое заданное условие. После этого содержимое некоторого количества ячеек ОЗУ переписывается в запоминающее устройство ЗУ, входящее в состав контроллера K [1].

Каждой ячейке ЗУ соответствует точка на экране, которая по цвету от фона отличается. Её абсциссу определяет номер ячейки, а ординату кодовое слово, находящееся в этой ячейке.

Рассмотрев схему, приведенную выше, можно выделить три блока появления погрешностей: щупы, масштабный преобразователь, аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Теперь если говорить о масштабирующем устройстве, то нужно рассматривать отдельно усилитель и делитель напряжения. Для того чтобы увидеть на экране осциллографа действительную форму исследуемого сигнала нужно равномерно и неискаженно усилить все частотные составляющие из которых складывается форма данного сигнала. Таким образом, основным параметром усилителя является его полоса пропускания.

Любой не синусоидальный сигнал сложной формы можно представить в виде постоянной составляющей и суммы гармонических составляющих различной амплитуды, частоты и фазовых сдвигов. Поэтому чем больше число составляющих, тем больше результирующая кривая будет похожа на форму истинного сигнала. Таким образом, усилитель должен иметь достаточную полосу пропускания, иначе результирующая кривая на осциллографе не будет соответствовать форме исследуемого сигнала.

Усилитель осциллографа должен не только пропустить колебания всех частот, но и усилить их равномерно и не изменить фазовых сдвигов. А это значит, что амплитудные, частотные и фазовые характеристики усилителя должны быть линейными [2].

Щуп подключается к осциллографу с помощью кабеля, который обладает некоторой емкостью. Таким образом, получится фильтр нижних частот, а значит с изменением частоты изменится и амплитуда. Однако в реальных осциллографах на входе добавляют емкость, чтобы скомпенсировать емкость кабеля. В идеальном случае емкость кабеля и добавленная емкость должны быть равны, а коэффициент деления не зависеть от частоты.

Аналогово-цифровой преобразователь –это важный электронный компонент в измерительном и тестовом оборудовании. АЦП преобразует аналоговый сигнал в код, над которым микропроцессор и программное обеспечение выполняют определенные действия.

Основным источником систематической погрешности в осциллографе является аналогово-цифровой преобразователь, поскольку в нём происходит наиболее существенное искажение формы сигнала. Сигнал квантуется по времени и по уровню. И если квантование по времени, при выполнении условия Котельникова (Найквиста-Шеннона) не искажает форму сигнала. Точнее, строго математически доказывается, что при частоте квантования в два раза большей, чем верхняя граничная частота спектра сигнала, исходный сигнал может быть однозначно восстановлен. То квантование по уровню неизбежно приводит к потере информации. При этом данное искажение, очевидно, уменьшается с повышением разрядности АЦП. Поэтому далее мы остановимся подробно на рассмотрении различных видов АЦП.

1.2 Классификация АЦП

Для того чтобы понять источник погрешности в АЦП, следует рассмотреть различные их виды и архитектуры. Различное измерительное оборудование использует различные типы АЦП. Выделяют следующие основные виды аналого-цифровых преобразователей:

- Параллельные АЦП

- АЦП последовательного приближения
- Сигма-дельта АЦП
- Интегрирующие АЦП

Ниже мы рассмотрим их архитектуры, опишем принципы их функционирования и укажем области применения.

1.2.1 Параллельные АЦП

Большинство высокоскоростных осциллографов [3] и некоторые высокочастотные измерительные приборы используют параллельные АЦП (рисунок 2) из-за их высокой скорости преобразования, которая может достигать $(5 \cdot 10^9)$ отсчетов/сек для стандартных устройств и $(20 \cdot 10^9)$ отсчетов/сек для оригинальных разработок. Обычно параллельные АЦП имеют разрешение до 8 разрядов, но встречаются также 10-ти и более разрядные версии.

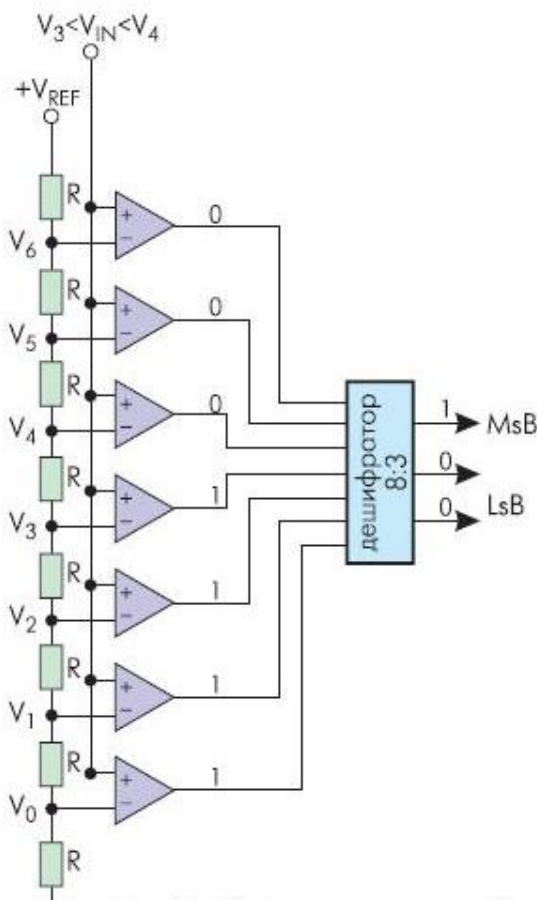


Рисунок 2 – АЦП параллельного преобразования

На данном рисунке2 показана упрощенная блок-схема 3-х разрядного параллельного АЦП (для преобразователей с большим разрешением принцип работы сохраняется).

В данном виде АЦП используется массив компараторов, каждый из которых сравнивает входное напряжение с индивидуальным опорным напряжением. Такое опорное напряжение для каждого компаратора формируется на встроенном прецизионном резистивном делителе. Входное напряжение подается на вход компараторов. Напряжение сравнивается, если $U_{вх} \geq U_{раз}$, то 0, если $U_{вх} < U_{раз}$, то 1. Таким образом, появляется слово из 0 и 1, данное слово с выхода дешифратора преобразуется в код АЦП.

Шумы всех электронных элементов создают случайную погрешность измерения. В свою очередь, невозможно изготовить все резисторы матрицы равными друг другу, так возникает систематическая погрешность. В следствие возникает не линейность, которая имеет волнообразный характер, а так же имеется смещение нуля за счет начального резистора.

1.2.2 АЦП последовательного приближения

Когда необходимо разрешение 12, 14 или 16 разрядов и не требуется высокая скорость преобразования [3], то определяющими факторами являются низкая цена и невысокое энергопотребление, то обычно применяют АЦП последовательного приближения. Чаще всего этот тип АЦП используется в разнообразных измерительных приборах и в системах сбора данных.

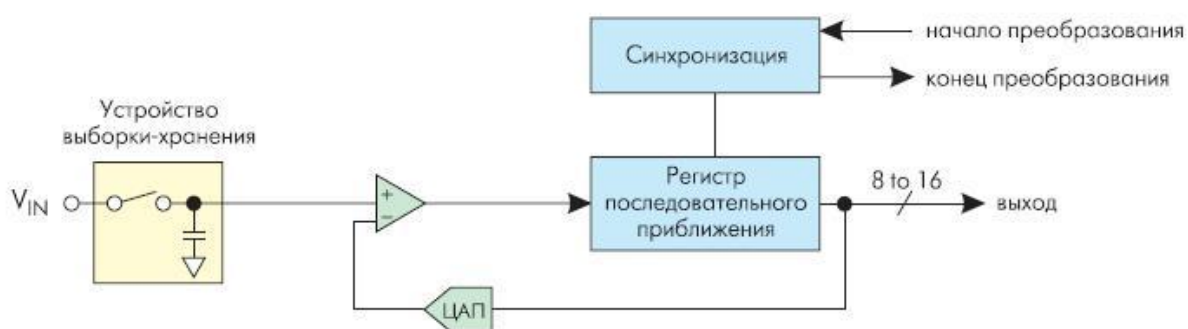


Рисунок 3- АЦП последовательного приближения

На рисунке 3 изображена упрощенная блок-схема АЦП последовательного приближения. В основе АЦП данного типа лежит специальный регистр последовательного приближения. В начале цикла преобразования все выходы этого регистра устанавливаются в логический 0, за исключением первого разряда. Это формирует на выходе внутреннего цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) сигнал, значение которого равно половине входного диапазона АЦП. А выход компаратора переключается в состояние, определяющее разницу между сигналом на выходе ЦАП и измеряемым входным напряжением.

1.2.3 Сигма-дельта АЦП

Для проведения большинства измерений часто не требуется АЦП со скоростью преобразования, которую даёт АЦП последовательного приближения [3], зато необходима большая разрешающая способность. Сигма-дельта АЦП могут обеспечивать разрешающую способность до 24 разрядов, но скорости преобразования они уступают АЦП последовательного приближения. Так, в сигма-дельта АЦП при 16 разрядах можно получить частоту дискретизации до 100К отсчетов/сек, а при 24 разрядах эта частота падает до 1К отсчетов/сек и менее, в зависимости от устройства.

Обычно сигма-дельта АЦП применяются в разнообразных системах сбора данных и в измерительном оборудовании (измерение давления, температуры, веса и т.п.).

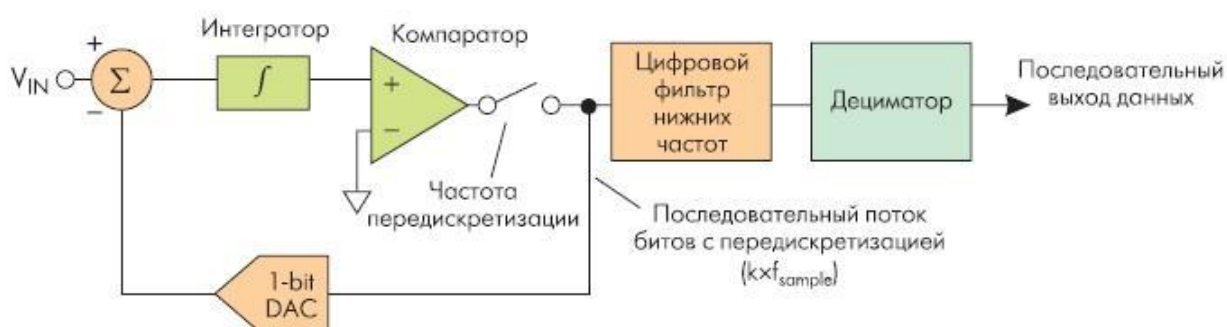


Рисунок 4 – Сигма-дельта АЦП

Блок-схема сигма-дельта АЦП первого порядка приведена на рисунке 4. Аналоговый сигнал подается на интегратор, выходы которого подсоединены к компаратору, который в свою очередь присоединен к 1-разрядному ЦАП в петле обратной связи. Путем серии последовательных итераций интегратор, компаратор, ЦАП и сумматор дают поток последовательных битов, в котором содержится информация о величине входного напряжения.

Результирующая цифровая последовательность [3] затем подается на фильтр нижних частот для подавления компонентов с частотами выше частоты Котельникова. После удаления высокочастотных составляющих следующий узел - дециматор – прореживает данные.

Дополнительным и очень важным достоинством сигма-дельта АЦП является то, что все его внутренние узлы могут быть выполнены интегральным способом на площади одного кремниевого кристалла. Это заметно снижает стоимость конечных устройств и повышает стабильность характеристик АЦП.

1.2.4 Интегрирующие АЦП

И последний тип АЦП, о котором пойдет здесь речь – АЦП двухтактного интегрирования. В цифровых мультиметрах, как правило, используются именно такие АЦП, так как в этих измерительных приборах необходимо сочетание высокого разрешения и высокого помехоподавления.

На рисунке 5 показан принцип работы АЦП двухтактного интегрирования. Входной сигнал заряжает конденсатор в течение фиксированного периода времени, который обычно составляет один период частоты питающей сети (50 или 60 Гц) или кратен ему. При интегрировании входного сигнала в течение промежутка времени такой длительности высокочастотные помехи подавляются. Одновременно исключается влияние нестабильности напряжения сетевого источника питания на точность преобразования. Это происходит потому, что значение интеграла от

синусоидального сигнала равно нулю, если интегрирование осуществляется во временном интервале, кратном периоду изменения синусоиды.

По окончании времени заряда АЦП разряжает конденсатор с фиксированной скоростью, в то время как внутренний счетчик подсчитывает количество тактовых импульсов за время разряда конденсатора. Большое время разряда, таким образом, соответствует большему значению показаний счетчика и большему измеряемому напряжению.

АЦП двухтактного интегрирования [3] имеют высокую точность и высокую разрешающую способность, а также имеют сравнительно простую структуру. Это дает возможность выполнять их в виде интегральных микросхем. Основной недостаток таких АЦП - большое время преобразования, обусловленное привязкой периода интегрирования к длительности периода питающей сети.

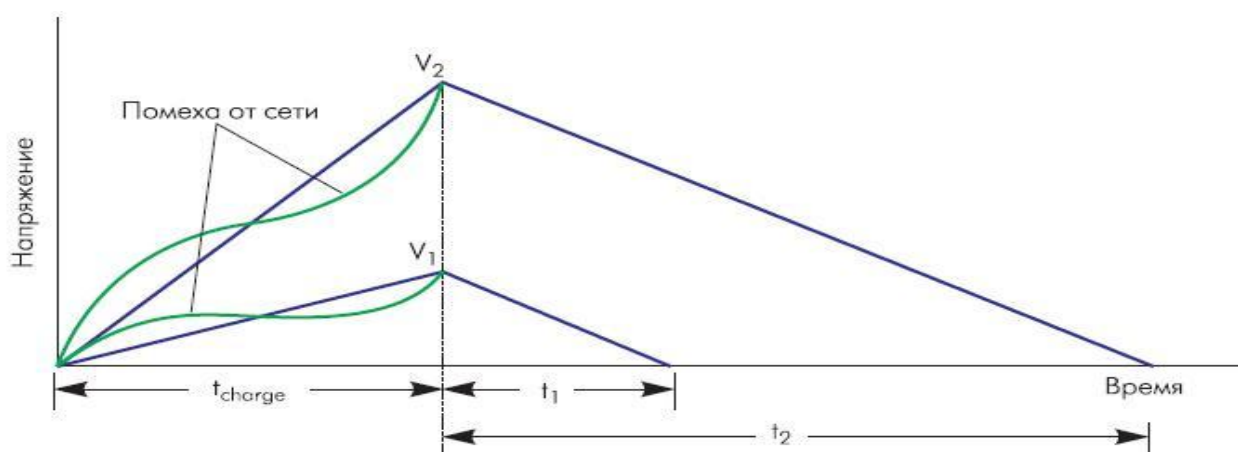


Рисунок 5 – Схема интегрирующего АЦП

Если отобразить все рассмотренные выше типы АЦП на обобщающей диаграмме, то можно увидеть, что в зависимости от разрешающей способности они расположены обратно пропорционально относительно частоты дискретизации. На рисунке 6 представлены перечисленные виды АЦП.

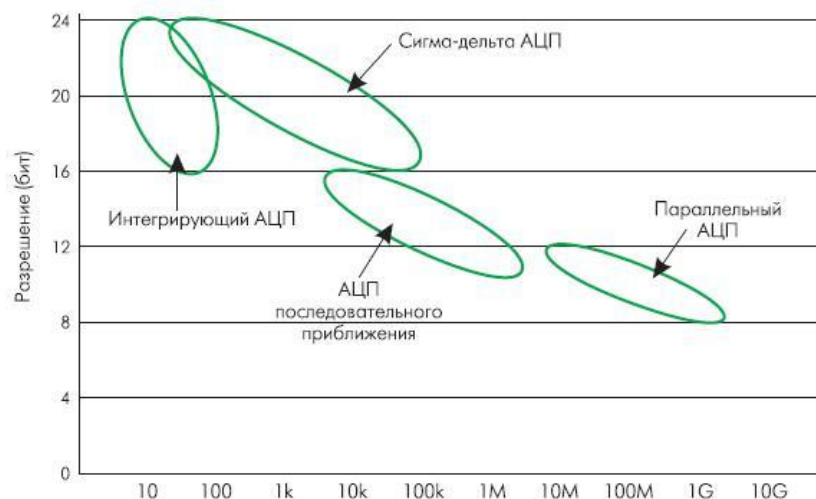


Рисунок 6 – Типы АЦП в зависимости от частоты дискретизации

1.3 Погрешности АЦП

1.3.1 Аддитивная погрешность

Идеальная передаточная характеристика АЦП пересекает начало координат, а первый переход кода происходит при достижении значения 1 величины наименьшего значащего разряда (LSB). Аддитивная погрешность (погрешность смещения) может быть определена как смещение всей передаточной характеристики влево или вправо относительно оси входного напряжения, как показано на рисунке 7. Таким образом, в определение аддитивной погрешности АЦП намеренно включено смещение $1/2$ LSB [4].



Рисунок 7 – Аддитивная погрешность

1.3.2 Мультипликативная погрешность

Мультипликативная погрешность (погрешность полной шкалы) представляет собой разность между идеальной и реальной передаточными характеристиками в точке максимального выходного значения при условии, что смещение отсутствует (нулевая аддитивная погрешность). мультипликативная погрешность проявляется как изменение наклона передаточной функции [5], что видно на рисунке 8.

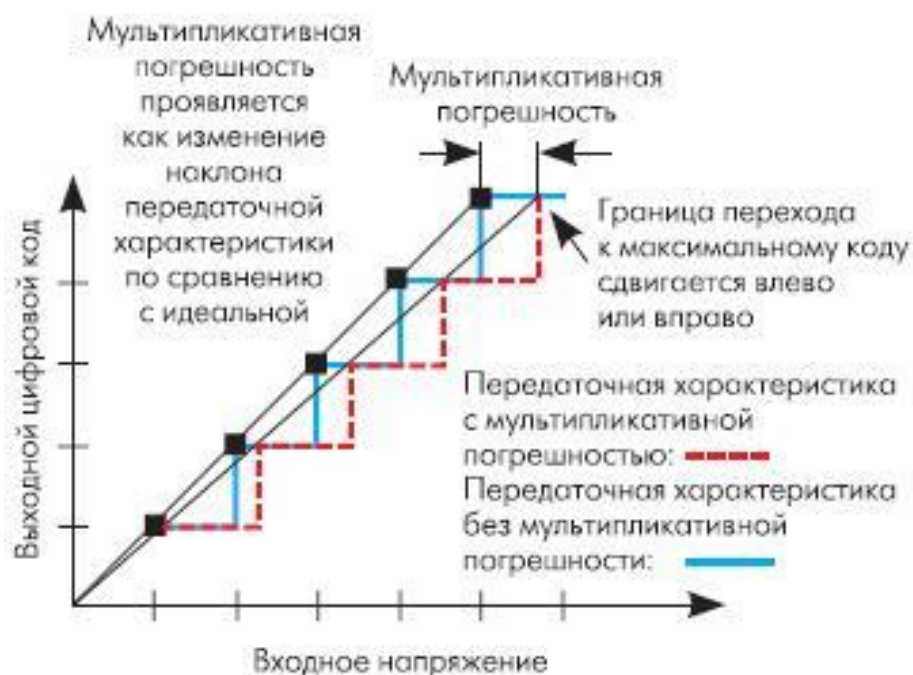


Рисунок 8 – Мультипликативная погрешность

1.3.3 Дифференциальная нелинейность

У идеальной передаточной характеристики АЦП ширина каждой "ступеньки" должна быть одинакова. Разница в длине горизонтальных отрезков этой кусочно-линейной функции представляет собой дифференциальную нелинейность (DNL) (рисунок 9).

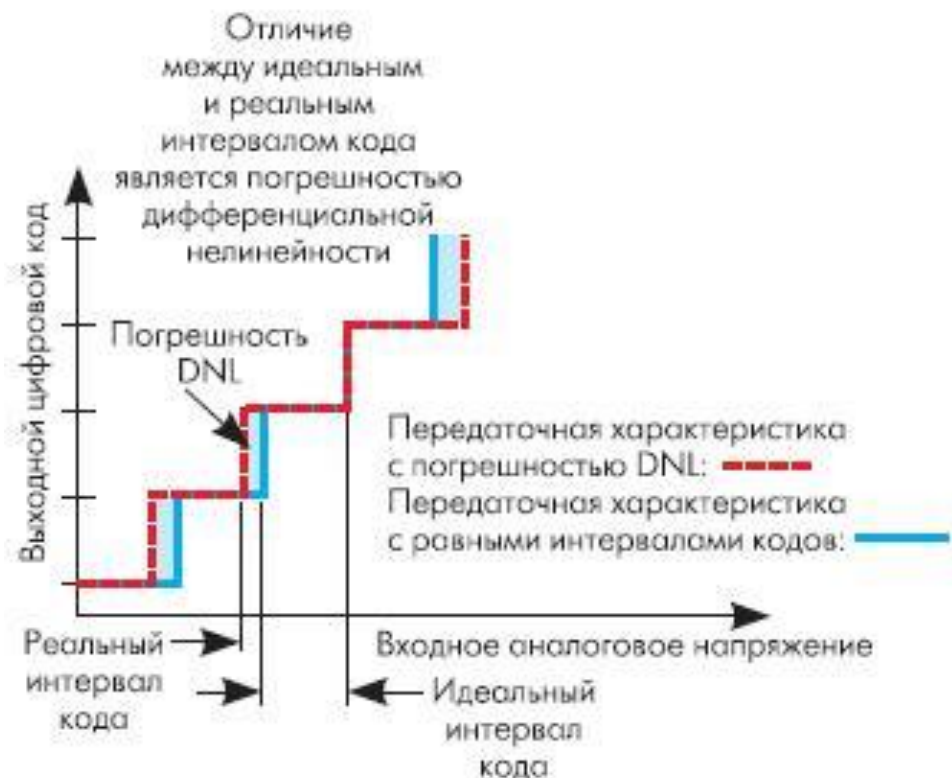


Рисунок 9 – Дифференциальная нелинейность

Величина наименьшего значащего разряда у АЦП составляет $V_{ref}/2^N$, где V_{ref} - опорное напряжение, N - разрешение АЦП. Разность напряжений между каждым кодовым переходом должна быть равна величине LSB. Отклонение этой разности от LSB определяются как дифференциальная нелинейность. На рисунке это показано как неравные промежутки между "шагами" кода или как "размытость" границ переходов на передаточной характеристике АЦП [4].

1.3.4 Интегральная нелинейность

Интегральная нелинейность (INL) - это погрешность, которая вызывается отклонением линейной функции передаточной характеристики АЦП от прямой линии, как показано на рисунке 10. Обычно передаточная функция с интегральной нелинейностью аппроксимируется прямой линией по методу наименьших квадратов. Часто аппроксимирующей прямой просто соединяют наименьшее и наибольшее значения. Интегральную нелинейность

определяют путем сравнения напряжений, при которых происходят кодовые переходы. Для идеального АЦП эти переходы будут происходить при значениях входного напряжения, точно кратных LSB. Для реального преобразователя это условие может выполняться с погрешностью. Разность между "идеальными" уровнями напряжения, при которых происходит кодовый переход, и их реальными значениями выражается в единицах LSB и называется интегральной нелинейностью[5].

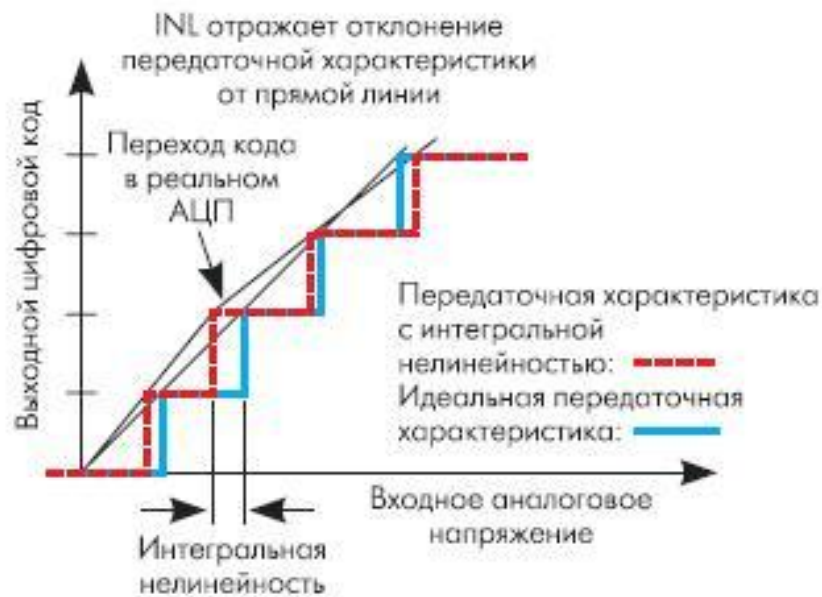


Рисунок 10 – Интегральная нелинейность

1.3.5 Погрешность квантования

Одна из наиболее существенных составляющих ошибки при измерениях с помощью АЦП - погрешность квантования - является результатом самого процесса преобразования. Погрешность квантования - это погрешность, вызванная значением шага квантования и определяемая как $\frac{1}{2}$ величины наименьшего значащего разряда (LSB). Она не может быть исключена в аналого-цифровых преобразованиях, так как является неотъемлемой частью процесса преобразования, определяется разрешающей способностью АЦП и не меняется от АЦП к АЦП с равным разрешением[5].

Можно сделать вывод, что в преобразователях постоянного тока существуют четыре погрешности: погрешность смещения, погрешность усиления и два вида ошибок линейности (дифференциальная и интегральная).

1.4 Случайная и систематическая погрешности и методы их устранения

В зависимости от характера проявления различают систематическую и случайную составляющие погрешности измерений, а также грубые погрешности.

Грубые погрешности (промахи) возникают из-за ошибочных действий оператора, неисправности СИ или резких изменений условий измерений, например, внезапное падение напряжения в сети электропитания. К ним тесно примыкают промахи – погрешности, зависящие от наблюдателя и связанные с неправильным обращением со средствами измерений.

Систематическая погрешность измерения – это составляющая погрешности результата измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины [6].

Считается, что систематические погрешности могут быть обнаружены и исключены. Однако в реальных условиях полностью исключить систематическую составляющую погрешности измерения невозможно. Всегда остаются какие-то факторы, которые нужно учитывать, и которые будут составлять неисключенную систематическую погрешность.

Случайная погрешность измерения – составляющая погрешности результата измерений, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины [7].

Для уменьшения случайной составляющей погрешности проводят многократные измерения [14].

При однократных измерениях обнаружить промах не представляется возможным. Для уменьшения вероятности появления промахов измерения проводят два-три раза и за результат принимают среднее арифметическое полученных отсчетов. При многократных измерениях для обнаружения промахов используют статистические критерии, предварительно определив, какому виду распределения соответствует результат измерений.

Содержит ли результат наблюдений грубую погрешность, решается общими методами проверки статистических гипотез. Проверяемая гипотеза утверждает, что результат наблюдения x не содержит грубой погрешности, т.е. является одним из значений измеряемой величины. Пользуясь определенными статистическими критериями, пытаются опровергнуть выдвинутую гипотезу. Если это удастся, то результат наблюдений рассматривают как содержащий грубую погрешность и его исключают.

Для выявления грубых погрешностей задаются вероятностью уровнем значимости того, что сомнительный результат действительно мог иметь место в данной совокупности результатов измерений.

Критерий "трех сигм" применяется для результатов измерений, распределенных по нормальному закону. По этому критерию считается, что результат, возникающий с вероятностью $q < 0,003$, маловероятен и его можно считать промахом, если $|\bar{x} - x_i| > 3S_x$, где S_x — оценка СКО измерений. Величины \bar{x} и S_x вычисляют без учета экстремальных значений x_i . Данный критерий надежен при числе измерений $n > 20 \dots 50$.

Как правило этот критерий считается слишком жестким, поэтому рекомендуется назначать границу цензурирования в зависимости от объема выборки: при $100 < n < 1000$ - $4,5S_x$; при $1000 < n < 10000$ - $5S_x$. Данное правило также применимо только для нормального закона [6].

Важность систематической погрешности определяется тем, что это знание позволяет ввести соответствующую поправку в результат измерения и

тем самым повысить его точность. Трудность же состоит в сложности обнаружения систематической погрешности, поскольку ее невозможно выявить путем повторных измерений (наблюдений).

Действительно, будучи постоянной по величине для данной группы наблюдений, систематическая погрешность никак визуально не проявится при повторных измерениях одной и той же величины и следовательно, оператор затруднится ответить на вопрос — имеется ли систематическая погрешность в наблюдаемых результатах. Таким образом, чтобы обнаружить постоянную систематическую погрешность в работе было использовано образцовое средство измерения (ОСИ) – вольтметр В7-46/1. Поскольку его погрешность измерения в десятки раз ниже погрешности цифрового осциллографа, и он может выступать как ОСИ.

Существуют различные методы устранения систематической погрешности например: метод противопоставления, метод сравнения, метод рандомизации, метод симметричных наблюдений и графический метод. Однако только методом сравнения с ОСИ можно обнаружить систематическую погрешность.

В первом разделе работы проведен анализ литературных источников и определены основные факторы обуславливающие появление случайной и систематической составляющей погрешности цифрового осциллографа. Определено, что в преобразователях постоянного тока существуют четыре погрешности: погрешность смещения, погрешность усиления и два вида ошибок линейности (дифференциальная и интегральная). Выявлено, что основным источником систематической погрешности в осциллографе является аналогово-цифровой преобразователь, поскольку в нём происходит наиболее существенное искажение формы сигнала – сигнал квантуется по времени и по уровню.

2 Планирование эксперимента

Во втором разделе работы был спланирован эксперимент по определению параметров нелинейности амплитудных характеристик каналов осциллографа АСК-2041, выбраны факторы эксперимента и описан порядок обработки экспериментальных результатов.

2.1 Описание экспериментальной установки

Как описано [9], для калибровки амплитудной характеристики АЦП необходимо иметь перестраиваемый источник постоянного напряжения, тестируемое устройство и образцовое средство измерения – вольтметр.

С генератора-калибратора подаем заранее заданное значение напряжения постоянного тока на измерительные каналы цифрового осциллографа, параллельно соединенного с вольтметром. На дисплее осциллографа наблюдаем сигнал и записываем на USB – накопитель. Фиксируем значение напряжение на вольтметре и записываем в журнал эксперимента.

В соответствии с предложенной процедурой была составлена схема экспериментальной установки. Она представлена на рисунке 11.

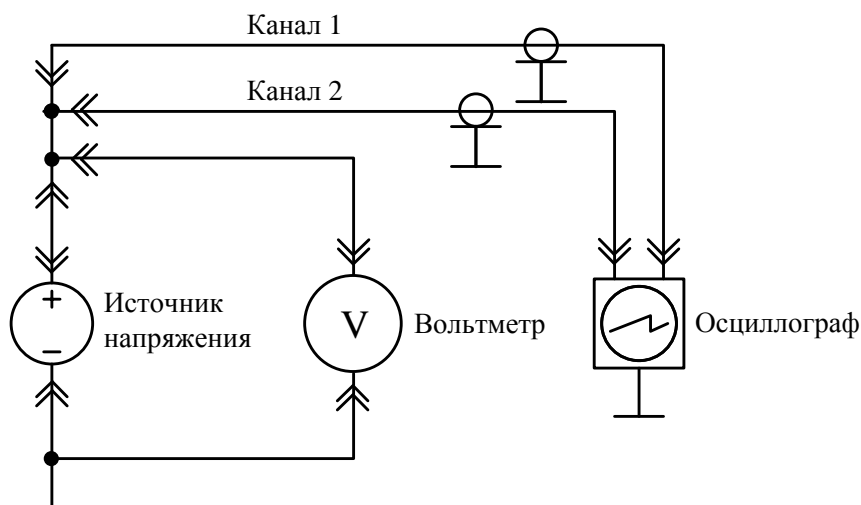


Рисунок 11 – Схема экспериментальной установки

В состав установки входило следующее оборудование:

- цифровой осциллограф Актаком АСК – 2041 (тестируемое устройство);
- генератор-калибратор Fluke 5520A (источник постоянного напряжения);
- вольтметр В7-46/1 (образцовое средство измерения);
- набор кабелей для соединения приборов.

Также использовалось следующее программно-аппаратное обеспечение:

- персональный компьютер с операционной системой Microsoft Windows 7;
- программный пакет Microsoft Office;
- язык технического программирования Matlab.

Matlab был использован для численного решения технических задач и визуализации полученных данных [11]. Выбор данного пакета обоснован снижением временных затрат и снижением погрешностей вычислений за счет следующих его преимуществ:

- большой набор встроенных функций;
- высокая точность расчетов благодаря разрядности чисел 64;
- высокая вычислительная производительность (например, до 100 раз быстрее в сравнении с пакетом Mathcad);
- большие возможности читать и сохранять данные любого формата;
- простота языка программирования.

Осциллограф цифровой Актаком АСК-2041 предназначен для исследования формы электрических сигналов путем визуального наблюдения на жидкокристаллическом индикаторе и измерения их амплитудных и временных характеристик.

Таблица 1 – Технические характеристики осциллографа АСК-2041.

Характеристика	Значение
Параметры каналов вертикального отклонения	
Пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента отклонения, % с пробником X1 (1:1) с пробником X10 (1:10)	±4; ±5;
Диапазон установки коэффициента отклонения для каждого из каналов	от 2 мВ/дел до 5 В/дел
Полоса пропускания по уровню -3 дБ, МГц, не менее	0-40
Время нарастания переходной характеристики каждого из каналов, нс, не более	8,8
Число разряда АЦП	8
Объем памяти, кБ	4
Входной импеданс каждого из каналов: С пробником X1 С пробником X10	R _{вх} =1 МОм ± 2%; C _{вх} =(100±25) пФ; R _{вх} =10 МОм ± 2%; C _{вх} =(16±3) пФ
Допускаемое суммарное значение переменного и постоянного (пикового) напряжения: С пробником X1 С пробником X10	40 400
Максимальная частота дискретизации, МГц	200 реальная, 20000 эквивалентная
Объем выборки	4000 отсчетов

Таблица 2 – Технические характеристики вольтметра В7-46/1.

Характеристика	Значение
Диапазоны измерения:	
постоянного напряжения:	100 нВ - 1000 В (20, 200 мВ, 2, 20, 200, 1000 В)
переменного напряжения:	до 700 В (200 мВ, 2, 20, 200, 700 В в диапазоне 20 Гц - 1 МГц)
постоянного тока:	100 нА - 2 А, до 10 А (с внешним шунтом)
переменного тока:	1 нА - 2 А, до 10 А (с внешним шунтом)
сопротивления:	до 200 МОм
Пределы основной погрешности измерения, %:	
постоянного напряжения:	$\pm(0,01- 0,03)$;
переменного напряжения:	$\pm(0,15-5)$;
постоянного тока:	$\pm(0,1-0,15)$, до $\pm 0,4$ (с шунтом)
переменного тока:	$\pm(0,6-2)$
сопротивления:	$\pm(0,015-0,3)$

Калибраторы многофункциональные Fluke 5520А предназначены для:

- воспроизведения напряжения постоянного тока;
- воспроизведения силы постоянного тока;
- воспроизведения электрического сопротивления постоянному току;
- воспроизведения мощности постоянного тока;
- воспроизведения напряжения переменного тока;
- воспроизведения силы переменного тока;
- воспроизведения электрической емкости;
- воспроизведения мощности переменного тока;

- формирования сигналов синусоидальной, прямоугольной, треугольной формы;
- работы в режимах, предназначенных для определения нормируемых метрологических характеристик осциллографов с полосой пропускания до 1,1 ГГц, таких как:
- режим формирования сигнала с малым временем нарастания;
- режим генератора синусоидального напряжения;
- режим формирования временных маркеров;
- режим генератора сигналов сложной формы
- режим генератора импульсов;
- режим измерения входного сопротивления осциллографа;
- режим измерения входной емкости осциллографа.

Таблица 3 – Технические характеристики Fluke 5520A.

Диапазон	Пределы допускаемой основной погрешности при температуре окружающего воздуха (21 ± 2) °С	Разрешение
0...329,9999 мВ	$\pm (U \cdot 20 \times 10^{-6} + 1 \text{ мкВ})$	0,1 мкВ
0...3,299999 В	$\pm (U \cdot 11 \times 10^{-6} + 2 \text{ мкВ})$	1 мкВ
0...32,99999 В	$\pm (U \cdot 12 \times 10^{-6} + 20 \text{ мкВ})$	10 мкВ
30...329,9999 В	$\pm (U \cdot 18 \times 10^{-6} + 150 \text{ мкВ})$	100 мкВ
100...1020 В	$\pm (U \cdot 18 \times 10^{-6} + 1500 \text{ мкВ})$	1000 мкВ

Внешний вид экспериментальной установки представлен на рисунке 12.



Рисунок 12- Внешний вид экспериментальной установки.

2.2 Планирование эксперимента

Поскольку по горизонтальной шкале времени цифровой осциллограф АСК-2041 имеет диапазон развертки от 5 нс/дел до 50 с/дел, а по вертикали – от 2 мВ/дел до 5 В/дел, то эксперимент является многофакторным и имеет 308 вариантов измерений. Проведение такого эксперимента противоречит принципу планирования эксперимента, а именно отказ от полного перебора всех возможных значений входных факторов. Таким образом, необходимо ограничить факторность эксперимента.

Приведём рассуждения, лежащие в основе ограничения факторности. Исследуемый осциллограф используется в учебном процессе Томского политехнического университета при проведении лабораторных работ по курсу электроники. В частности прибор используется в исследованиях усилительных каскадов, где входное напряжение десятки милливольт, а выходное единицы вольт. Также в исследованиях диодных выпрямителей, где входное и выходное напряжения составляет от десятков милливольт до

единиц вольт. В рамках этих работ, зачастую, у осциллографа задействован ограниченный набор установок параметров.

При наблюдении сигналов с частотой порядка 10 кГц используется значение развертки по времени (горизонтальной) 100 мкс/дел, а при наблюдении сигналов с частотой порядка 1 кГц используется значение горизонтальной развертки 10 мкс/дел.

При наблюдении сигналов на экране осциллографа желательно, чтобы сигнал занимал на экране максимально больше места, то есть отображался в полной шкале. Для сигналов минимального уровня – порядка единиц и десятков мВ целесообразно установить значение чувствительности канала (вертикальной) 10 мВ/дел. Для сигналов максимального уровня – порядка единиц вольт целесообразно установить значение чувствительности канала 1 В/клетку.

Матрица указанных параметров прибора представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица эксперимента

Развёртка горизонтальная/вертикальная	1 В	10 мВ
10 мкс	1 В, 10 мкс	10 мВ, 10 мкс
100 мкс	1 В, 100 мкс	10 мВ, 100 мкс

В соответствии с этими параметрами мы и ограничили факторность эксперимента матрицей указанной в таблице 4.

Проводить измерения амплитудных характеристик каналов будем по полной шкале цифрового осциллографа от -4 до 4 В и от -40 до 40 мВ, с шагом 0,08 В и 0,08 мВ соответственно.

Поскольку измерения мы проводим по полной шкале от -4 до 4 делений вертикальной шкалы, то количество опытов в каждом из экспериментов возьмем 101. В таком случае шаг измерений составит 0,08 делений, а количество всех опытов будет равно 404. Однако с учетом того, что осциллограф имеет два канала, общее количество опытов составит 808.

Журнал эксперимента представлен в Приложении А.

Эксперимент будет проводиться в нормальных условиях согласно [9, 14]:

- температура (293 ± 5) К или (20 ± 5) °С;
- относительная влажность воздуха (65 ± 15) % при 20 °С;
- напряжение в сети $220 \text{ В} \pm 10 \%$ с частотой $50 \text{ Гц} \pm 1 \%$;
- атмосферное давление от 97,4 до 104 кПа.

2.3 Порядок обработки экспериментальных данных

2.3.1 Алгоритм обработки экспериментальных данных

Алгоритмы обработки экспериментальных данных реализован в соответствии с ГОСТ 8.736-2011 «ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

При статистической обработке группы результатов прямых многократных измерений выполняют следующие операции [8]:

1. исключают известные систематические погрешности из результатов измерений;
2. вычисляют оценку измеряемой величины;
3. вычисляют среднеквадратическое отклонение результатов измерений;
4. проверяют наличие грубых погрешностей и при необходимости исключают их;
5. проверяют гипотезу о принадлежности результатов измерений нормальному распределению;
6. вычисляют доверительные границы случайной погрешности оценки измеряемой величины;
7. вычисляют доверительные границы не исключенной систематической погрешности оценки измеряемой величины;

8. вычисляют доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины.

Проверку гипотезы о том, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению, проводят с уровнем значимости q от 10 % до 2 %. Конкретные значения уровней значимости должны быть указаны в конкретной методике измерений.

Для определения доверительных границ погрешности оценки измеряемой величины доверительную вероятность P принимают равной 0,95 [8].

2.3.2 Математическое описание обработки экспериментальных данных

Итак, в соответствии [12] с алгоритмом, представленным выше, мы выполняем следующие процедуры.

Определяем точечные оценки закона распределения:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i; S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (3.1)$$

где S_x - среднеквадратическая погрешность результатов единичных измерений в ряду измерений; $S_{\bar{x}}$ - среднеквадратическая погрешность результата измерений среднего арифметического; x_i - результат i -го единичного измерения; \bar{x} - среднее арифметическое значение измеряемой величины из n единичных результатов.

Для исключения грубой погрешности, воспользуемся критерием «пяти сигм». Он применяется для результатов измерений, распределенных по нормальному закону. По этому критерию считается, что результат, возникающий с вероятностью $q < 0,003$, маловероятен и его можно считать промахом, если $|\bar{x} - x_i| > 5S_x$. Величины x и S_x вычисляют без учета экстремальных значений x_i . Данный критерий надежен при числе измерений $1000 < n < 10000$.

Далее проверяем гипотезу о принадлежности результатов измерений нормальному распределению [14]:

1. Записать вариационный ряд результатов многократных наблюдений x_i ;
2. Определить число интервалов группирования по формуле:

$$m = 1 + 3,3 \lg(n); \quad (3.2)$$

3. Вычислить интервал группирования: $k = \frac{x_{max} - x_{min}}{m}$ и разбить вариационный ряд на интервалы;

4. Вычислить относительные частоты: $\bar{n}_j = \frac{n_j}{n}$,

где $j = 1, \dots, m$;

n_j – число значений x из вариационного ряда, попавших в j -ый интервал группирования;

5. Построить гистограмму.

6. Сделать вывод о распределении случайной величины.

Доверительные границы случайной погрешности определяем:

$$\Delta = \mp t_p S_{\bar{x}}, \quad (3.3)$$

где t_p – коэффициент Стьюдента для данного уровня доверительной вероятности P_d и объема выборки n .

Границы не исключенной систематической ошибки (при $N \leq 3$) определяем:

$$\theta = \pm \sum_{i=1}^N |\theta_i|, \quad (3.4)$$

где N – количество составляющих неисключенной систематической погрешности; θ_i – граница i -ой составляющей неисключенной систематической погрешности.

Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины находим:

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (3.5)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности и НСП.

Суммарное среднеквадратическое отклонение оценки измеряемой величины S_{Σ} вычисляют по формуле[8]:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S_{\bar{x}}^2}, \quad (3.6)$$

где S_{θ} - среднеквадратическое отклонение НСП, которое оценивают в зависимости от способа вычисления НСП по формуле[8]:

$$S_{\theta} = \frac{\theta_{\Sigma}}{\sqrt{3}}, \quad (3.7)$$

где θ_{Σ} - границы НСП.

Коэффициент K для подстановки в формулу (3.5) определяем эмпирически:

$$K = \frac{\Delta + \theta_{\Sigma}}{S_{\bar{x}} + S_{\theta}}. \quad (3.8)$$

Записать результат измерения записать в виде:

$$(x_{\text{изм}} \pm \Delta). \quad (3.9)$$

Во втором разделе работы была описана процедура эксперимента, выбрана структурная схема экспериментальной установки, определен состав используемого экспериментального оборудования. Приведены технические характеристики используемых приборов. Приведены рассуждения, лежащие в основе ограничения факторности эксперимента, выбраны конкретные факторы. Описан алгоритм обработки результатов прямых многократных измерений.

2.3.2 Получение таблиц поправок

Для получения таблицы поправок, требуется обратиться к формулам абсолютной и относительной погрешности.

Абсолютную погрешность рассчитываем по формуле:

$$\Delta = x - x_{\text{ист}}, \quad (3.10)$$

где x – математическое ожидание сигнала осциллографа;

$x_{\text{ист}}$ – показания ОСИ (вольтметра).

В таком случае для построения таблицы поправок в относительных единицах (процентах) воспользуемся формулой приведенной погрешности:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100\%, \quad (3.11)$$

где x_N – предел шкалы осциллографа;

Тогда рассчитав математическое ожидание, можем построить таблицу поправок, по горизонтальной оси координат будет значение математического ожидания, по вертикали – значение абсолютной погрешности.

Можно увидеть, что погрешность экспериментальных значений снятых с вольтметра составляет десятки тысячных процента.

Далее расположим по оси абсцисс значения математического ожидания измерений осциллографа, а по оси ординат – значения приведенной погрешности. Так же отобразим на этом же графике по оси абсцисс значения математического ожидания осциллографа, а по оси ординат – абсолютную погрешность вольтметра.

Во втором разделе работы была описана процедура эксперимента, выбрана структурная схема экспериментальной установки, определен состав используемого экспериментального оборудования. Приведены технические характеристики используемых приборов. Приведены рассуждения, лежащие в основе ограничения факторности эксперимента, выбраны конкретные факторы. Описан алгоритм обработки результатов прямых многократных измерений.

3 Экспериментальные исследования и анализ их результатов

В данном разделе работы описаны экспериментальные исследования по определению амплитудных характеристик измерительных каналов цифрового осциллографа. На основании результатов этих измерений получены таблицы поправок к амплитудным характеристикам измерительных каналов. Также осуществлена статистическая обработка результатов экспериментов, рассчитаны погрешности.

3.1 Получение экспериментальных данных

3.1.1 Порядок проведения эксперимента

В соответствии с описанной в разделе 2.1 работы схемой, была собрана экспериментальная установка, уже приведенная ранее на рисунке 12.

Процедура получения экспериментальных результатов, в соответствии с работой [10], конкретно реализовывалась в следующей последовательности действий.

Порядок проведения эксперимента:

1. Перед проведением эксперимента ознакомиться с инструкцией по технике безопасности, а так же с руководством по эксплуатации всех используемых приборов.
2. Собрать экспериментальную установку (рисунок 12) согласно схеме, представленной на рисунке 11.
3. Согласно руководству по эксплуатации прогреть приборы в течение 30 минут. Это требуется для установления рабочей точки нелинейных элементов прибора.
4. С помощью органов управления на панели осциллографа, по вертикали выставить 1 В/дел, а по горизонтали – 10 мкс/дел. В USB-гнездо на цифровом осциллографе АСК-2041 вставить флеш-накопитель для сохранения показаний каналов осциллографа.

На генераторе-калибраторе выставить значение -4 В. Записать в журнал эксперимента (журнал эксперимента представлен в Приложении А) значение полученное вольтметром. Наблюдаемое напряжение постоянного тока, подаваемое с генератора, а так же записать с осциллографа на USB – накопитель в папку «Эксперимент 1». Имя первого файла будет Score_00.

5. Учитывая шаг $0,08$ делений, следующее значение, подаваемое с генератора-калибратора $-3,92$ В, согласно журналу эксперимента. Провести измерения согласно пункту 5. Имя второго файла будет Score_01.

6. Следующие опыты провести согласно пункту 5. В последнем опыте № 101, требуется вручную переименовать имя файла, поскольку осциллограф АСК-2041 запоминает только 100 файлов.

7. Перейти ко второму эксперименту, изменив горизонтальную развертку по времени на 100 мкс. Создать папку «Эксперимент 2» Повторить пункты 5-7.

8. Перейти к третьему эксперименту, изменив вертикальную развертку на 10 мВ/дел горизонтальную развертку по времени на 10 мкс/дел. Создать папку «Эксперимент 3» Повторить пункты 5-7.

9. Перейти к четвертому эксперименту, изменив вертикальную развертку на 10 мВ/дел горизонтальную развертку по времени на 100 мкс/дел. Создать папку «Эксперимент 4» Повторить п. 5-7.

10. Выключить приборы.

11. Журнал эксперимента представлен в Приложении А.

3.1.2 Первичные результаты экспериментов

При проведении эксперимента в итоге было получено 808 сигналов постоянного напряжения соответствующих различным условиям экспериментов. Для всех полученных данных в каждом опыте объем выборки составляет 4000 отсчетов и определяется техническими характеристиками осциллографа.

Типичные сигналы, полученные на экране осциллографа для каждого из этапов, представлены на графиках 13-16.

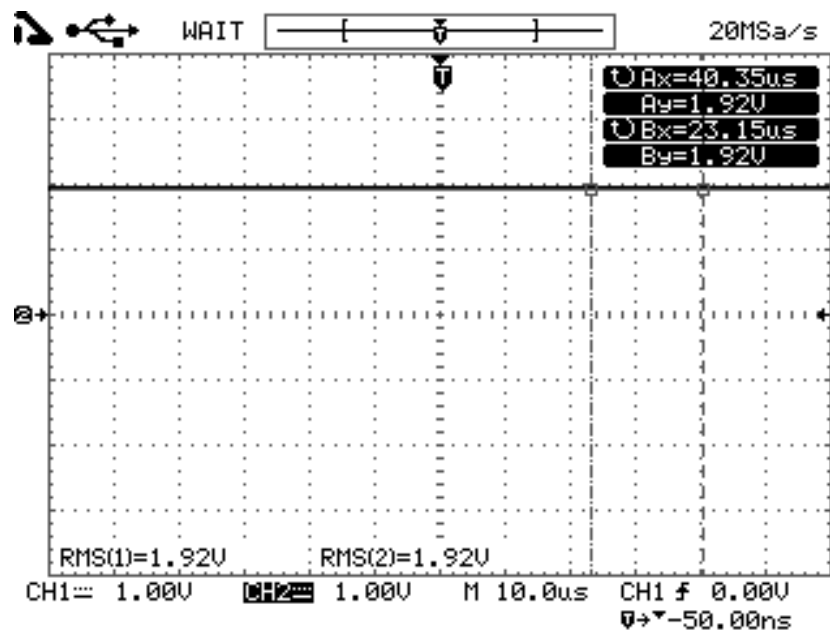


Рисунок 13 – Типичный вид экрана осциллографа при проведении эксперимента 1

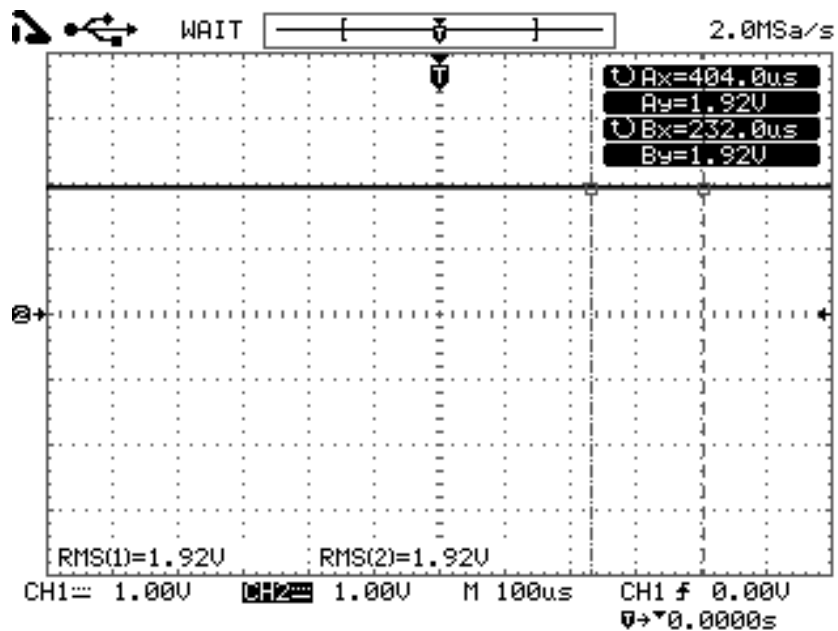


Рисунок 14 – Типичный вид экрана осциллографа при проведении эксперимента 2

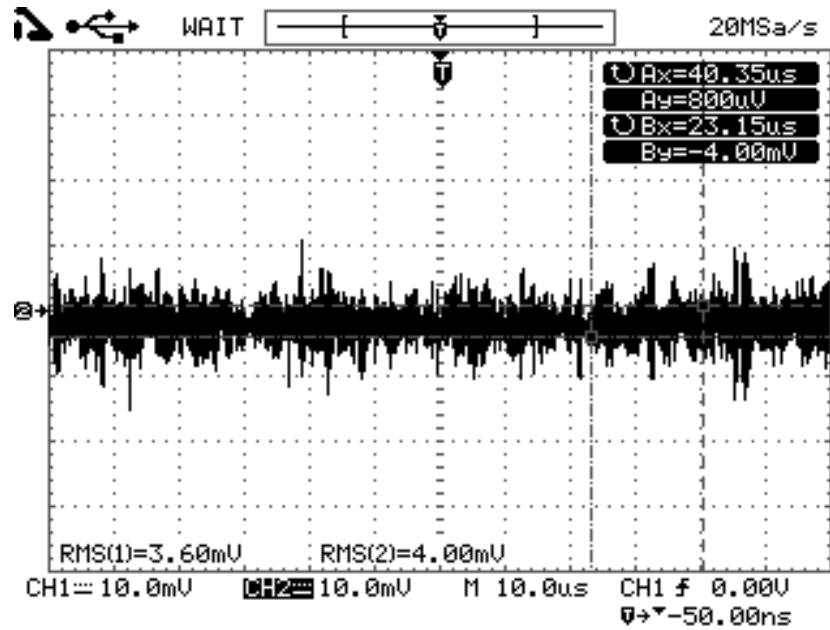


Рисунок 15 – Типичный вид экрана осциллографа при проведении эксперимента 3

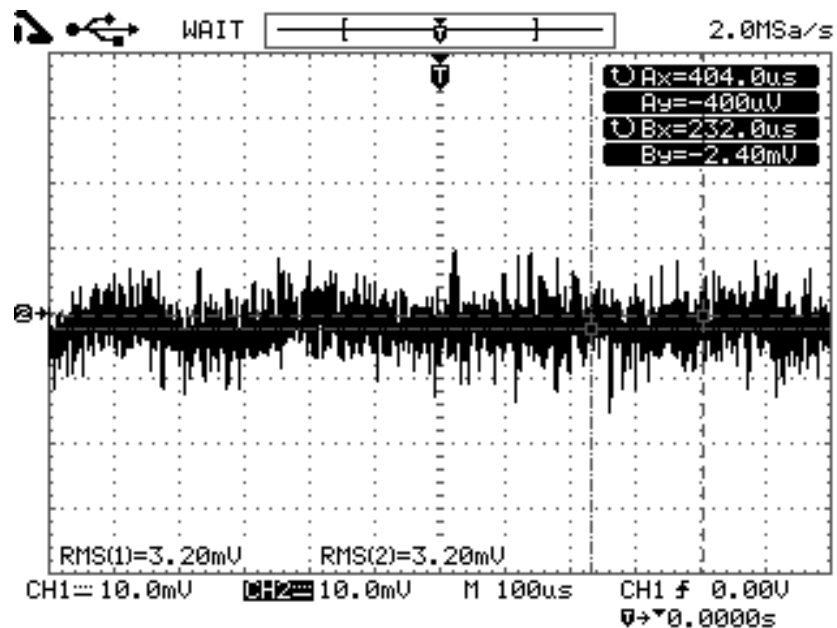


Рисунок 16 – Типичный вид экрана осциллографа при проведении эксперимента 4

Согласно порядку проведения эксперимента, данные сохранены в файлах. Типичные графики, построенные по сохраненным файлам, представлены на рисунках 17-20.

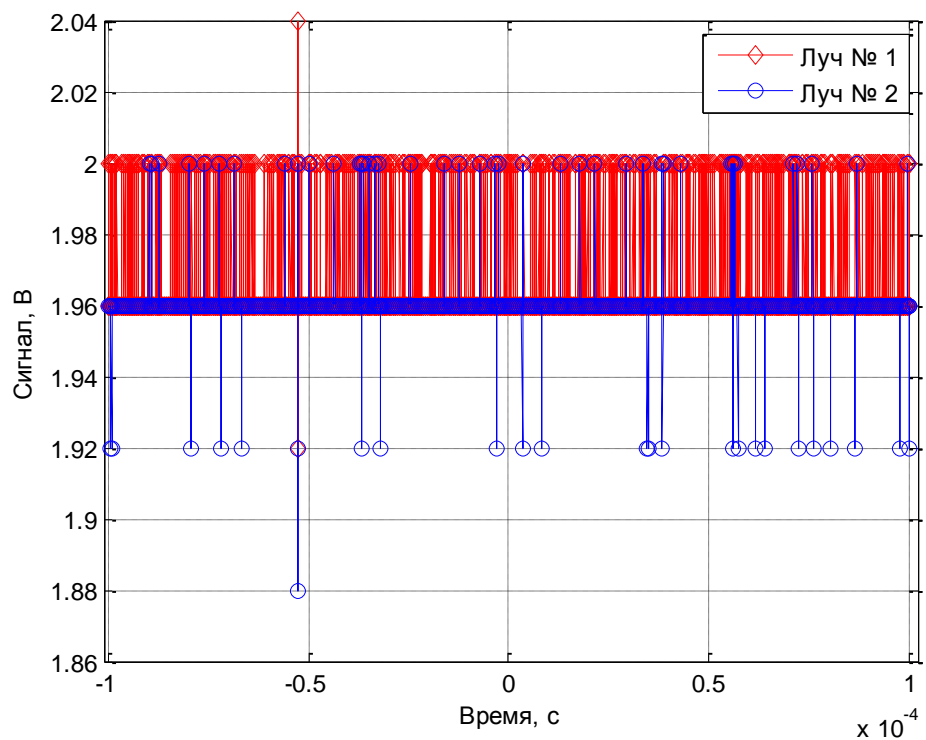


Рисунок 17 – Типичный вид сигнала осциллографа при проведении эксперимента 1

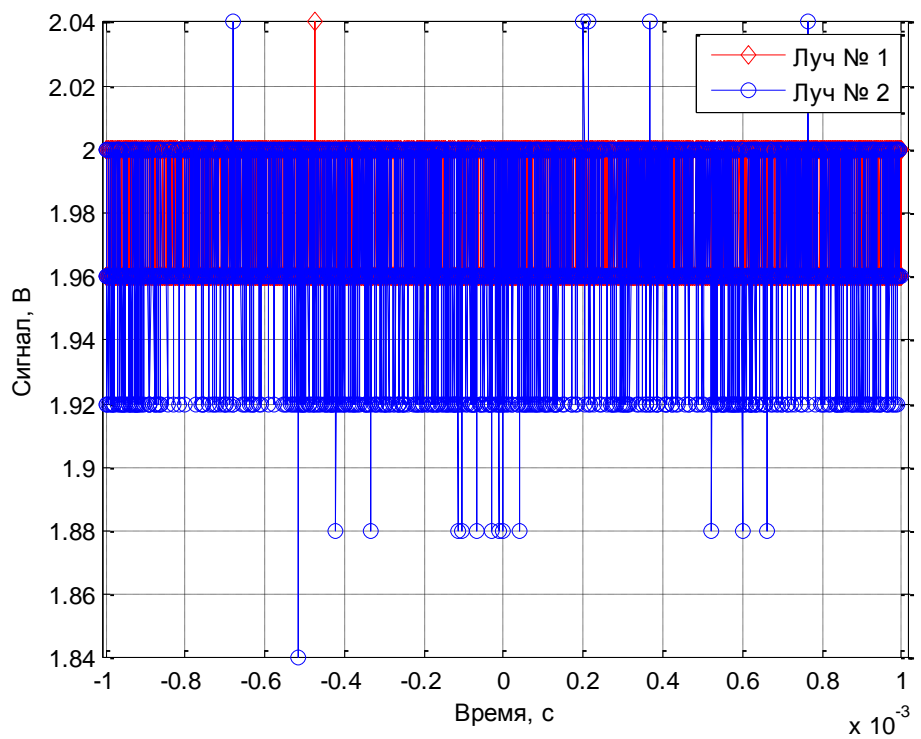


Рисунок 18 – Типичный вид сигнала осциллографа при проведении эксперимента 2

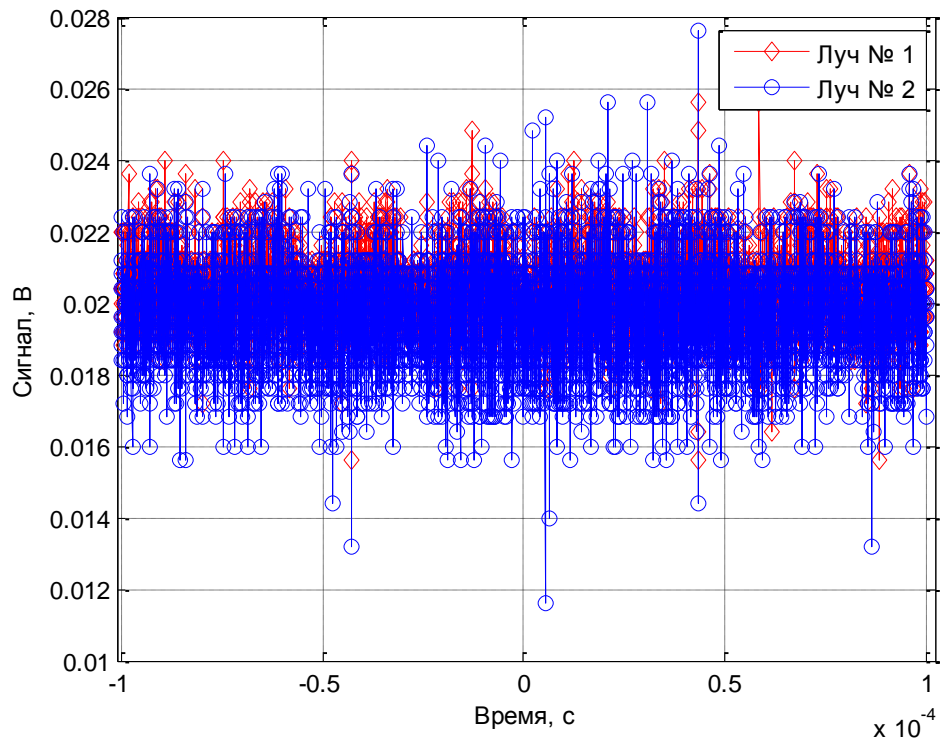


Рисунок 19 – Типичный вид сигнала осциллографа при проведении эксперимента 3

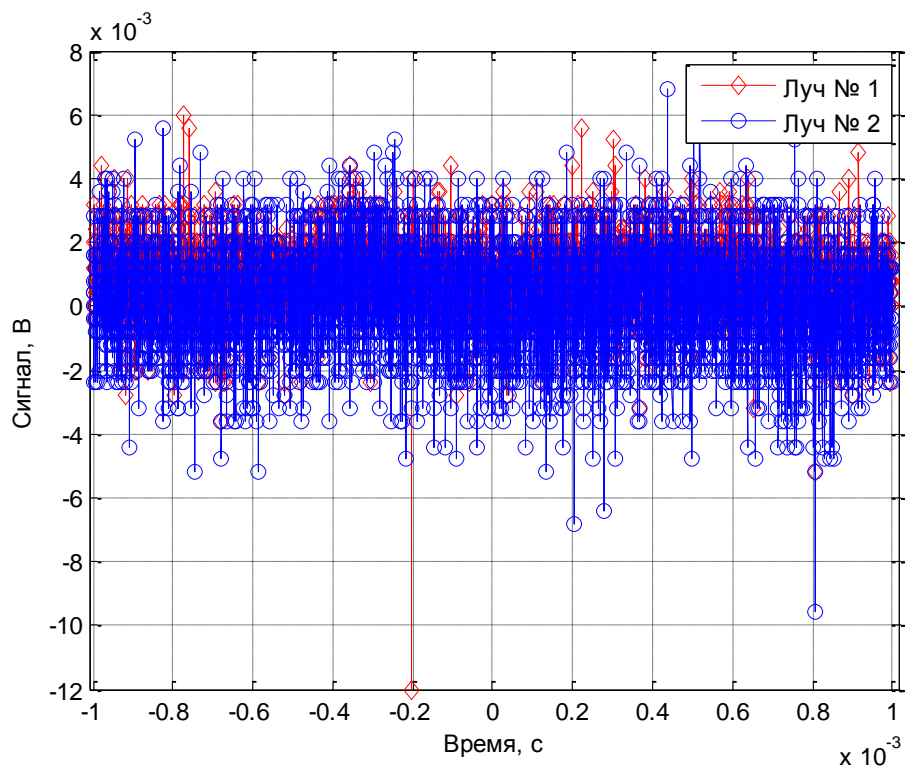


Рисунок 20 – Типичный вид сигнала осциллографа при проведении эксперимента 4

Как видно из представленных рисунков, сигналы, помимо постоянной составляющей, содержат шумы. В результате этого, конкретные мгновенные значения сигналов распределены относительно своего среднего арифметического значения, причем по фиксированным уровням, соответствующим уровням квантованию АЦП осциллографа.

Особенно наглядно это распределение по фиксированным уровням проявляется для экспериментов 1 и 2. Для этих опытов вертикальная чувствительность измерительных каналов, в соответствии с планом эксперимента, составляла 1 В/дел, а весь диапазон полной шкалы – ± 4 В. Уровень шума в указанных опытах, относительно полной шкалы, мал, он обычно не превышает десятков мВ.

В экспериментах 3 и 4, проведенных в соответствии с планом эксперимента, вертикальная чувствительность измерительных каналов составляла 10 мВ/дел при диапазоне полной шкалы – ± 40 мВ. Здесь, указанный уровень шума сопоставим с диапазоном шкалы и поэтому существенно искажает исходную постоянную составляющую сигналов.

3.2 Статистическая обработка результатов экспериментов

Порядок обработки экспериментальных данных описан в разделе 2.3 работы и выполняется согласно ГОСТ 8.736-2011.

3.2.1 Исключение грубых погрешностей

Как сказано, полученные экспериментальные значения зашумлены и, очевидно, содержат грубые погрешности. Поэтому, на первом этапе, для исключения грубых погрешностей, воспользуемся критерием «пяти сигм», так как объем выборки в каждом опыте составляет 4000 отсчетов.

Для того, чтобы воспользоваться указанным критерием, мы для каждого сохраненного сигнала рассчитывали математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение. Каждое из мгновенных значений сигнала,

отличающееся от математического ожидания более чем на пять значений среднеквадратического отклонения мы исключали из числового ряда. После чего мы заново пересчитывали математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение. Процедуру повторяли до тех пор, пока не были исключены все грубые промахи.

Итого, в соответствии с указанным критерием было исключено порядка 14 % мгновенных значений экспериментальных данных.

3.2.2 Построение гистограмм распределения мгновенных значений

Далее для визуальной оценки распределения, построим гистограммы распределения мгновенных значений экспериментальных данных для каждого сохраненного файла. Построение выполним в соответствии с разделом 2.3.2 работы.

Типичные гистограммы мгновенных значений для ряда опытов представлены на рисунке 21.

Опыту № 1 соответствует нижняя граница шкалы осциллографа, опыту с номером № 101 – верхняя граница, опыту № 51 – середина шкалы (нулевое значение), опытам № 25 и №76 – середины нижней и верхней половин шкалы соответственно. По вертикальной оси отложены относительные частоты попадания мгновенных значений в интервалы группирования. Это сделано, поскольку, после устранения грубых промахов, размер выборки для каждого из опытов уменьшился в среднем на 14 % относительно исходного объема в 4000 отсчетов.

Поскольку начальный объем выборки в каждом опыте составлял 4000 отсчетов, гистограммы имеют 13 интервалов группирования.

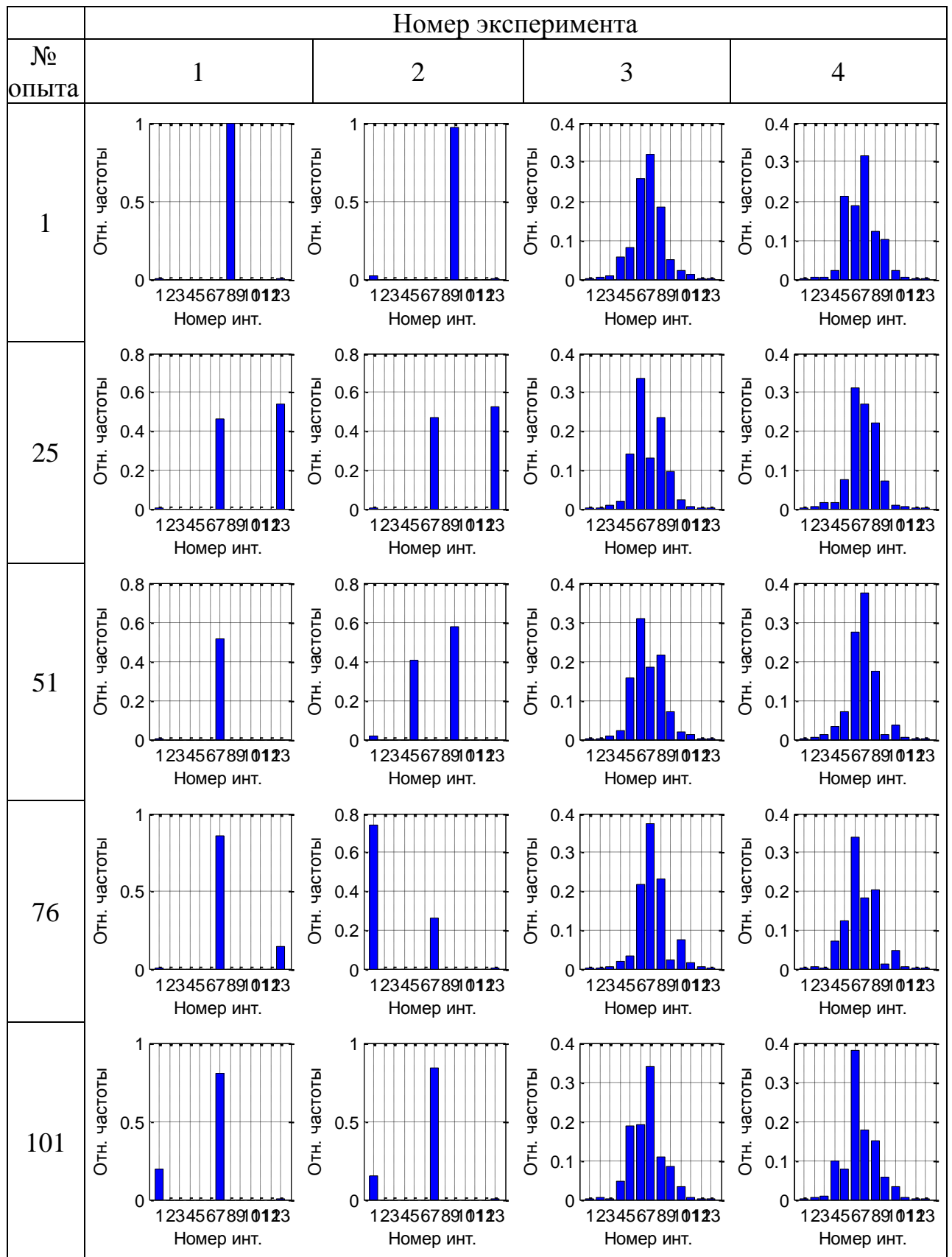


Рисунок 21 – Типичные гистограммы распределения мгновенных значений экспериментальных данных

Посмотрев представленные на рисунке 21 гистограммы, мы видим, что для каждой отдельно взятой гистограммы, распределение носит свой собственный характер. При этом, как уже было отмечено, конкретные значения распределены по фиксированным уровням, соответствующим уровням квантования АЦП.

Для экспериментов 3 и 4, в которых вертикальная чувствительность измерительных каналов составляла 10 мВ/дел, уровень шумов существенно превышал шаг квантования АЦП, и при этом распределение в гистограмме имеет вид, подобный нормальному.

Распределение физической величины относительно математического ожидания при измерении напряжения постоянного тока обусловлено некоррелированными явлениями – шумами. Различным видам распределений соответствуют различные характеры физических явлений, их обуславливающих. При этом, как известно, шумовые процессы с различными видами распределения имеют различный частотный спектр и лежат в различных диапазонах частот.

При этом, в нашем случае, для всех опытов физические процессы однотипны и обусловлены физическими характеристиками каналов осциллографа как средой передачи информации. Отсюда следует, что и спектры этих случайных процессов должны быть близки или даже совпадать.

Действительно. Приведем на одном графике типичные спектры сигналов для каждого эксперимента, снятые при различных напряжениях на входах осциллографа, соответствующих значениям, при которых выше были построены гистограммы (см. рисунок 21).

Спектры были рассчитаны по формулам:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt, \quad (3.12)$$

где $x(t)$ – сигнал; f – частота; t – время.

Поскольку все измеренные в каждом опыте сигналы имели различный уровень, обусловленный уровнем входного постоянного напряжения, спектры были пронормированы относительно своих максимумов и

приведены в логарифмическом масштабе. Для этого рассчитанные значения преобразовали по формуле:

$$S(f) = 20 \cdot \lg \left(\frac{|X(f)|}{\max|X(f)|} \right). \quad (3.13)$$

Приведенные формулы справедливы для непрерывных во времени и по частоте сигналов. В нашем случае сигналы дискретны. Поэтому в расчетах мы использовали дискретные значения сигналов $x(t)$. Интегрирование выполняли методом трапеций, обеспечивающим оптимальное соотношение между точностью и скоростью расчета.

Эти спектры представлены на рисунке 22. Здесь, чтобы не загромождать рисунок, мы не привели спектры, соответствующие границам шкалы.

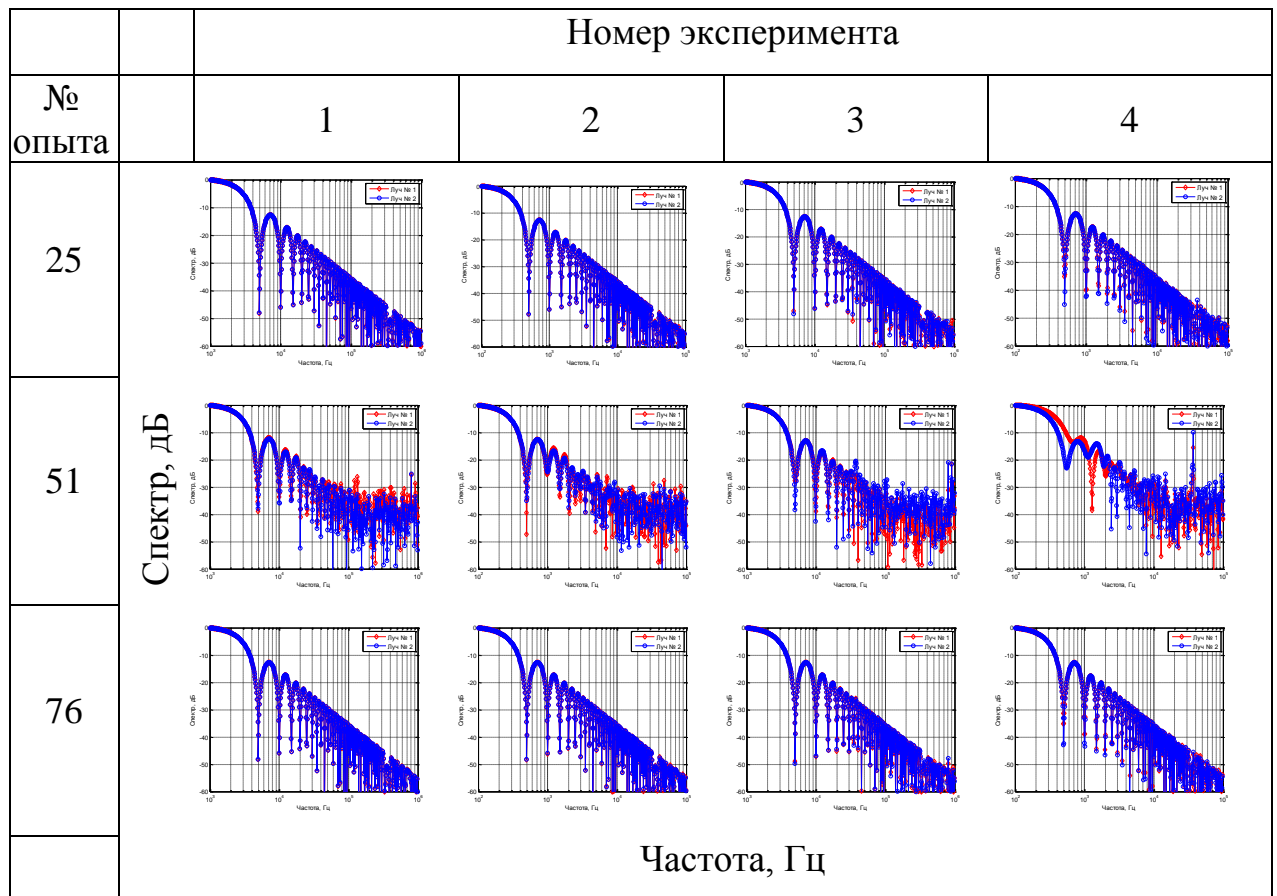


Рисунок 22 – Типичные спектры сигналов из полученных экспериментальных данных

Нижняя граница частотного диапазона, для которого рассчитывались спектры определялась временной длительностью последовательности данных в соответствии с теоремой Котельникова (Найквиста).

Так, для развертки 10 мкс/дел, длительность числовой последовательности составляла 100 мкс. Тогда нижняя частота должна быть на ниже 5000 Гц.

Для развертки 100 мкс/дел, длительность числовой последовательности составляла 1 мс. Тогда нижняя частота должна быть на ниже 500 Гц.

Верхняя частота расчета определялась ослаблением спектра на 60 дБ, что соответствует уменьшению уровня спектральных компонент в 1000 раз.

Для развертки 10 мкс/дел верхняя частота – 1 МГц.

Для развертки 100 мкс/дел верхняя частота – 100 кГц.

Как видно из представленных графиков, вплоть до уровня -40 дБ, что соответствует ослаблению спектра в 100 раз и наблюдается на частотах 100 кГц для 1-го и 3-го опытов и на частотах 10 кГц для 2-го и 4-го опытов графики спектров совпадают. Это говорит об идентичном характере физических явлений, протекающих в измерительных каналах и порождающих шумы.

Действительно, если мы взаимно усредним все рассчитанные гистограммы для всех опытов и всех экспериментов. То итоговая усредненная гистограмма будет соответствовать нормальному распределению. Приведем ее на рисунке 23. Гипотеза о нормальности распределения может быть доказана. Но это выходит за рамки настоящей работы.

На основании проведенных рассуждений можно заключить, что дальнейшую обработку экспериментальных значений и определение погрешностей в каждом опыте мы можем выполнять однотипными способами.

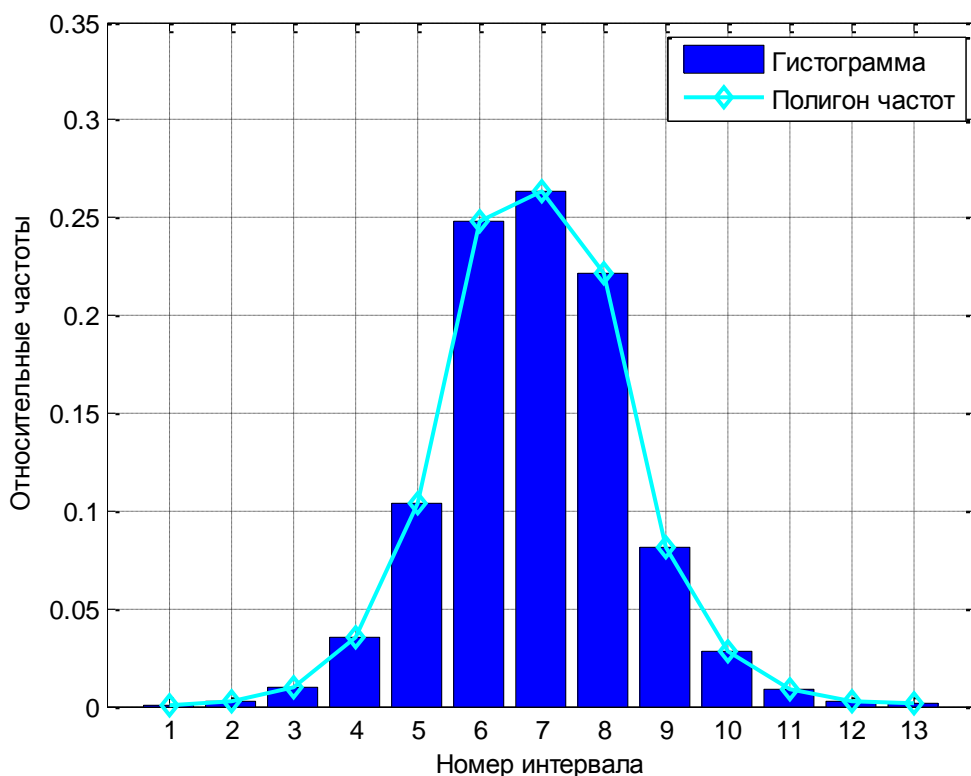


Рисунок 23 – Усредненная гистограмма для всех опытов в серии экспериментов

3.3 Получение итоговых характеристик

Теперь, для каждого эксперимента получим таблицы поправок и рассчитаем их погрешность.

Всего эксперимент состоял из четырех этапов, на каждом этапе соответствовала свои время развертки и чувствительность по вертикали. Перечислим их:

Эксперимент 1: развертка 10 мкс/дел, чувствительность 1В/дел;

Эксперимент 2:развертка 100 мкс/дел, чувствительность 1В/дел;

Эксперимент 3:развертка 10 мкс/дел, чувствительность 10 мВ/дел;

Эксперимент 4:развертка 100 мкс/дел, чувствительность 10 мВ/дел.

В каждом эксперименте выполнено по 101 опыту. В каждом опыте сохранялись файлы двух лучей осциллографа в виде таблицы, содержащей по 4000 время мгновенного отсчета и напряжения. Каждому опыту соответствовало свое напряжение постоянного тока, изменяющееся от минимального до максимального показания шкалы. Шкала была разбита на 101 деление, 50 уровней для отрицательных значений шкалы, нулевой уровень и 50 уровней для положительных значений шкалы.

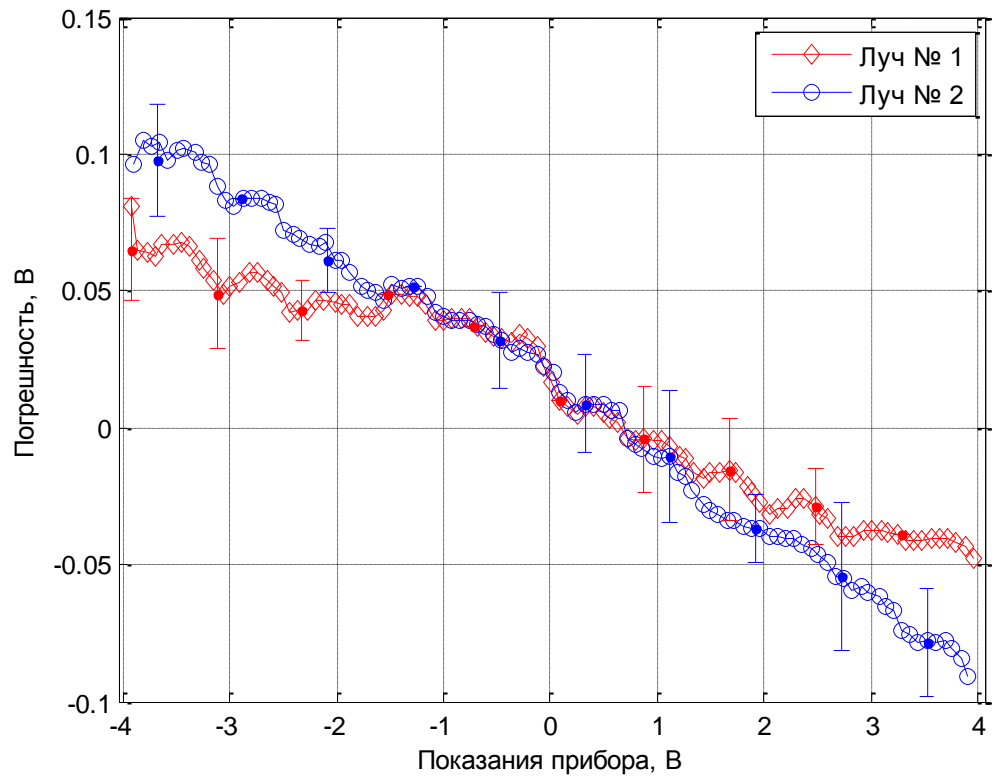
Итак, для каждого опыта сохранены следующие данные, образцовые показания ОСИ вольтметра В7-46/1 и файл с данными осциллографа. Каждый из указанных файлов подвергался математической обработке включающей в себя определения математического ожидания и расчет погрешности по описанной ранее методике.

Для определения поправок к показаниям осциллографа мы вычитали из математического ожидания показания вольтметра. Результаты данных опытов сведены в таблицу и приведены в приложение Б.

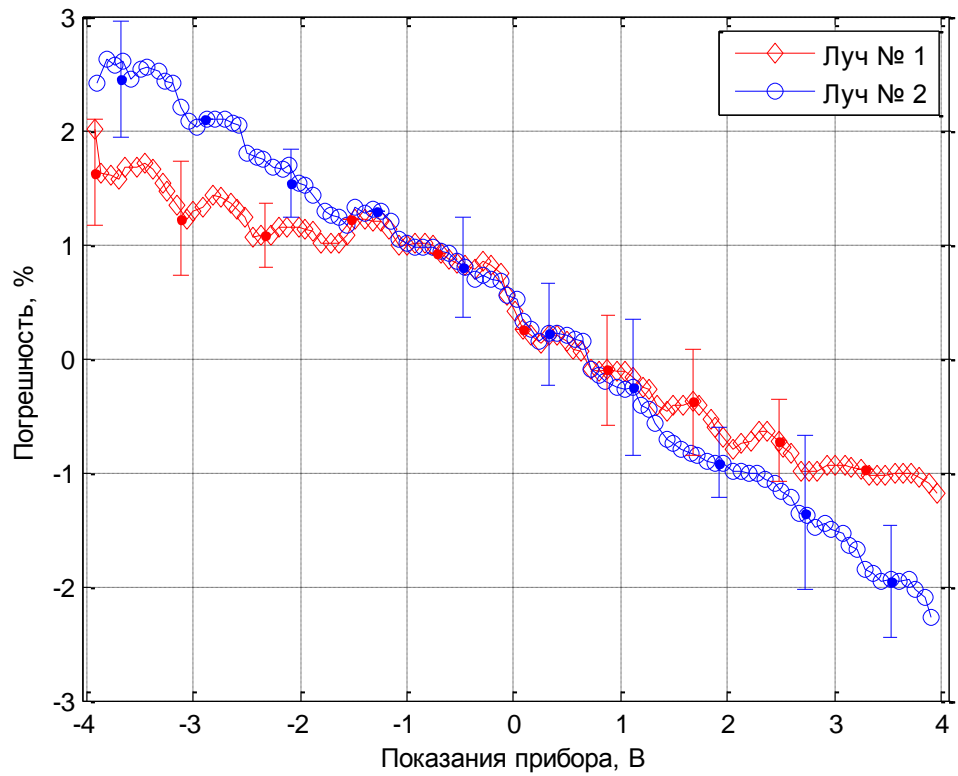
Полученные данные изображены на графиках 24-27. Данные представлены в абсолютных значениях (а) и относительных приведенных к полной шкале (б).

На представленных графиках по горизонтальной оси отложены показания осциллографа, то есть математические ожидания для каждого опыта, по вертикальной оси – значения поправок. Так же на графиках показаны значения погрешностей для каждого опыта.

Обнаружено, что для вертикальной чувствительности измерительных каналов 1 В/дел, значения поправок составляют порядка 20 мВ при приведенной погрешности 0,5 %. Для вертикальной чувствительности измерительных каналов 10 мВ/дел значения поправок составляют порядка 1,5 мВ при приведенной погрешности 4 %. Зависимость величин поправок от горизонтальной развертки для исследуемых значений 10 мкс/дел и 100 мкс/дел статистически не достоверно.

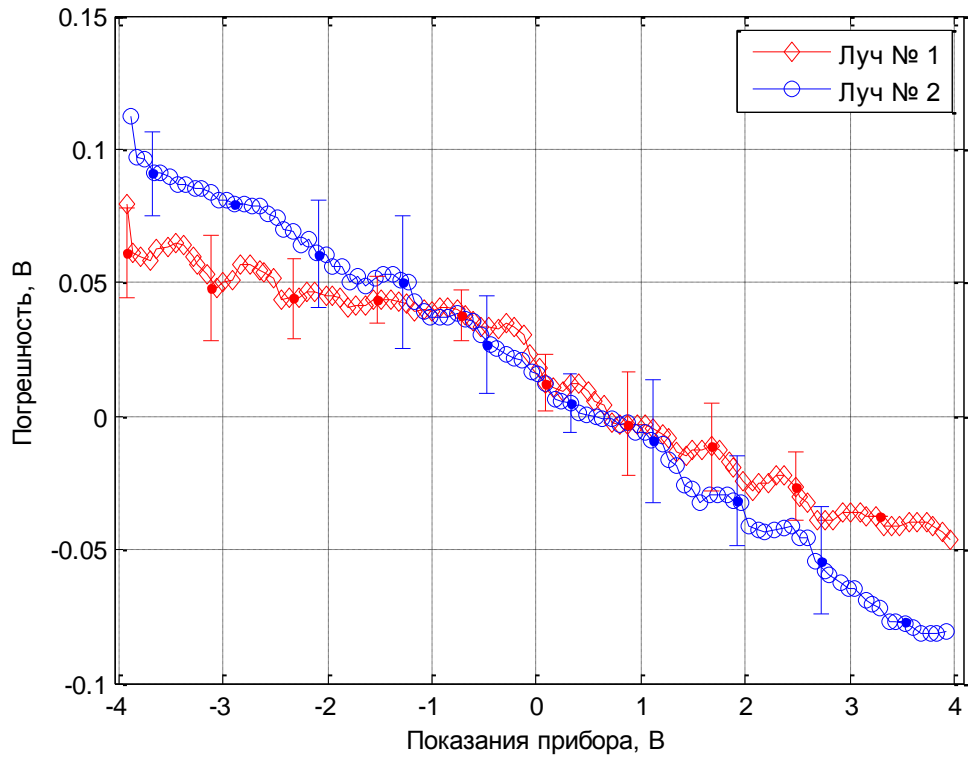


а)

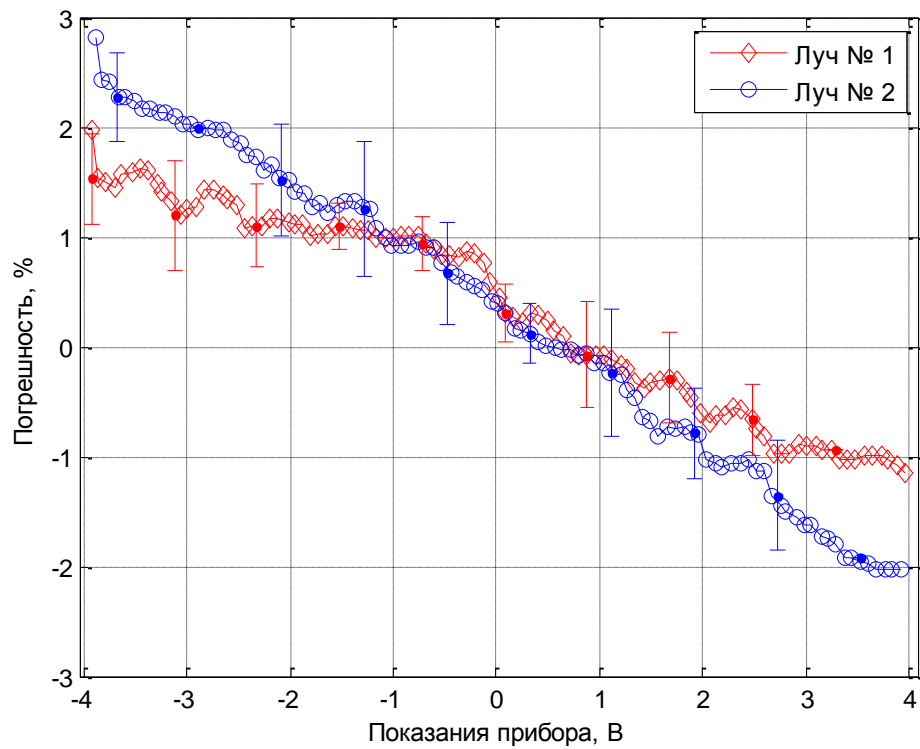


б)

Рисунок 24 – Результаты эксперимента 1развертка 10 мкс/дел, чувствительность 1В/дел

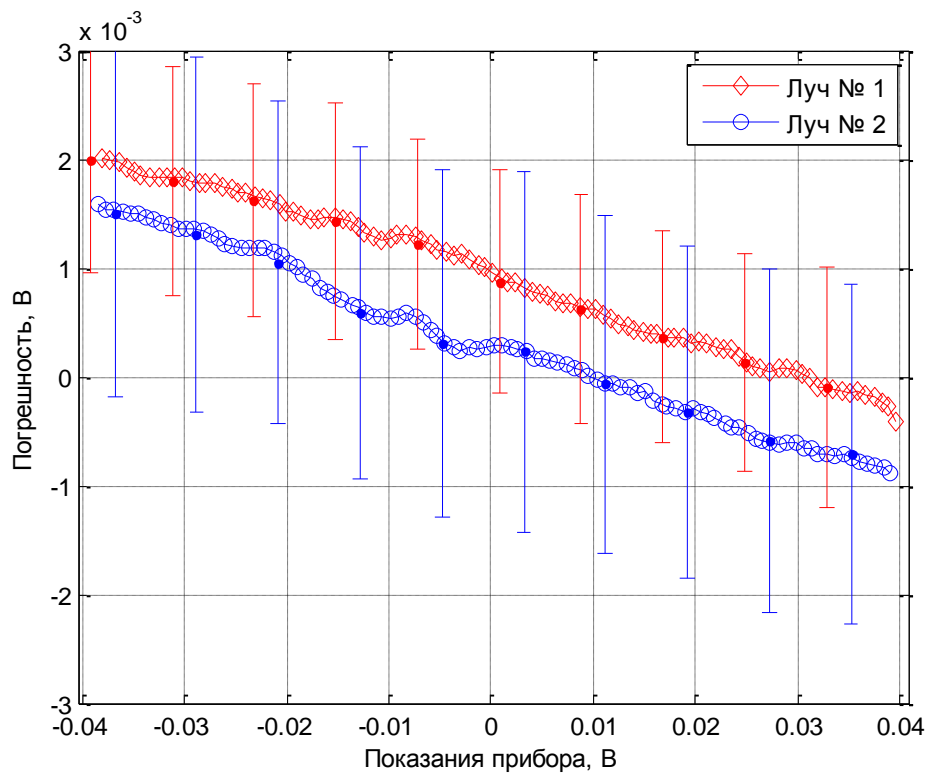


а)

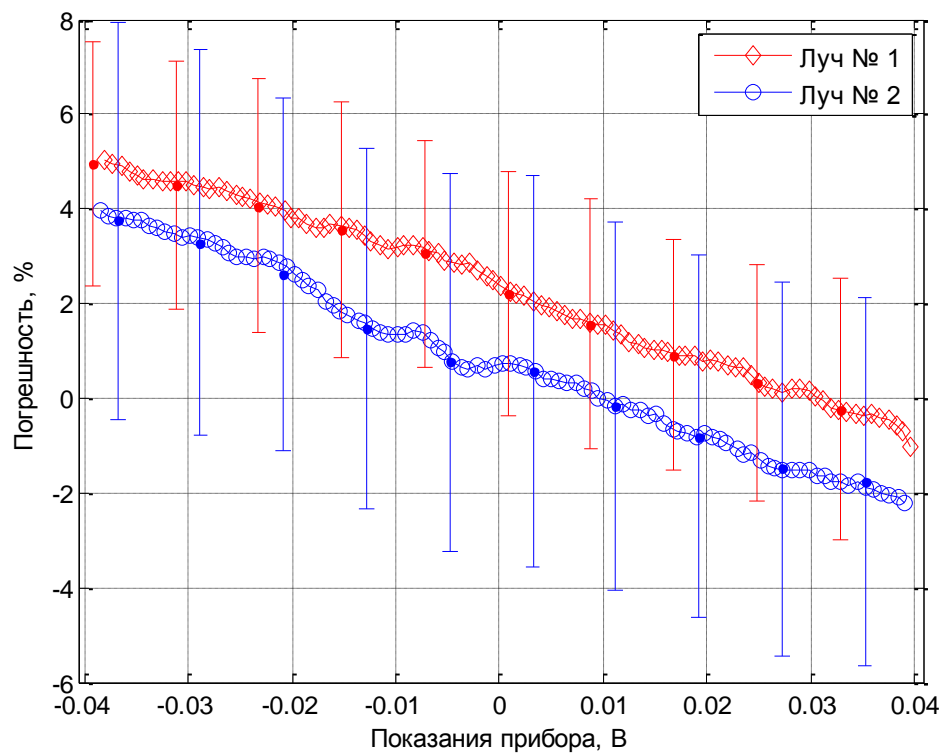


б)

Рисунок 25 – Результаты эксперимента 2развертка 100 мкс/дел, чувствительность 1В/дел

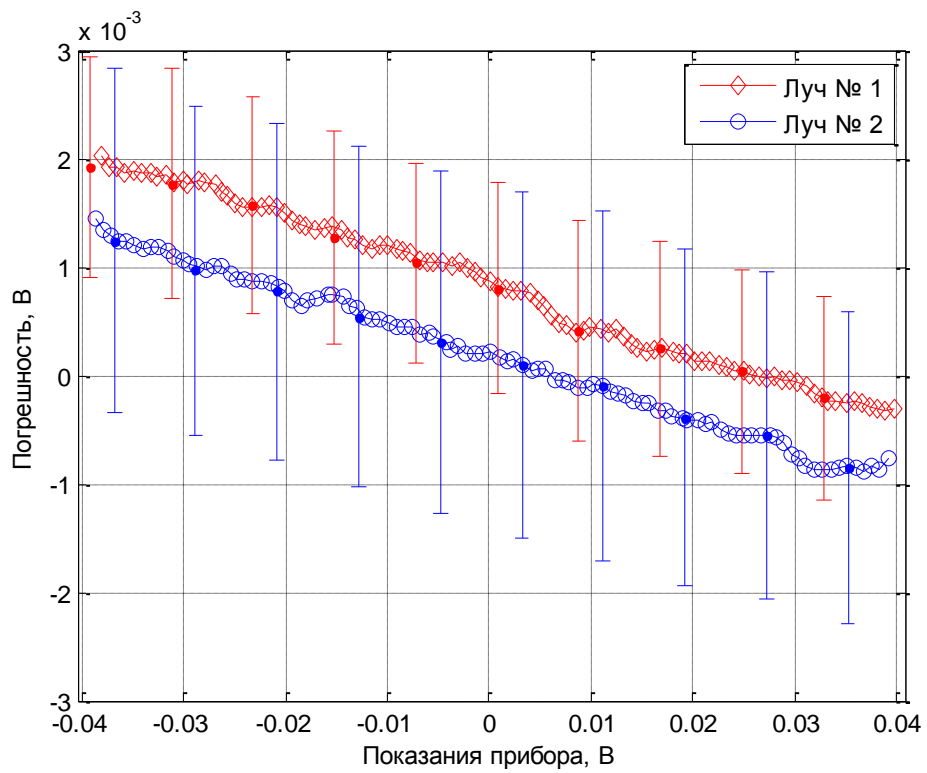


а)

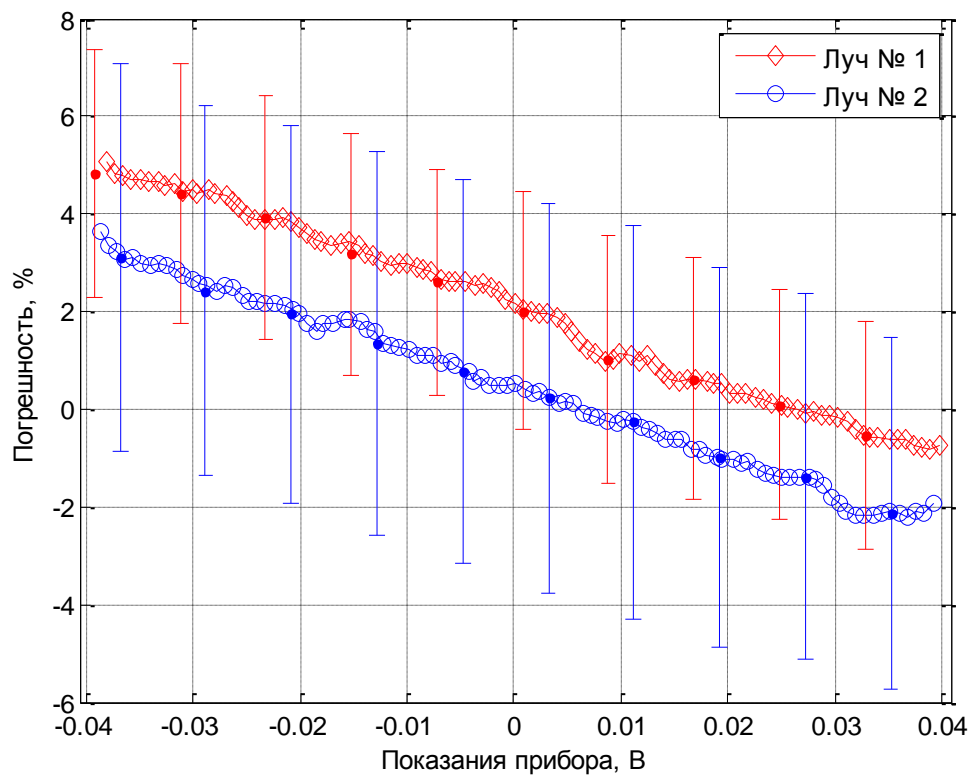


б)

Рисунок 26 – Результаты эксперимента 3 развертка 10 мкс/дел, чувствительность 10 мВ/дел



а)



б)

Рисунок 27 – Результаты эксперимента 4развертка 100 мкс/дел, чувствительность 1В/дел

При расчете погрешностей так же оценивали значение погрешностей взаимодействия, однако в результате расчета она на несколько порядков меньше данных. Это обусловлено высокими значениями входных сопротивлений осциллографа и вольтметра, которые составляют 10 МОм и 1 ГОм соответственно. Приведенная погрешность показаний вольтметра порядка одной сотой процента.

Проанализировав полученные результаты, мы видим, что значения поправок с точностью до погрешности совпадают для экспериментов 1 и 2 и экспериментов 3 и 4. Следовательно, отсутствует статистически достоверная зависимость поправок от значений развертки осциллографа. При этом результаты экспериментов 1 и 2 существенно отличаются от результатов экспериментов 3 и 4. Из чего следует, что поправки определяются вертикальной чувствительностью каналов осциллографа.

Различия между результатами эксперимента 1 и 2 и эксперимента 3 и 4 и могут быть объяснены с нашей точки зрения нелинейностью амплитудных характеристик аналоговых элементов измерительных каналов цифрового осциллографа.

Таким образом, подобные исследования целесообразно проводить для всего диапазона вертикальной чувствительности осциллографа.

В третьем разделе работы были описаны результаты экспериментальных исследований по определению амплитудных характеристик измерительных каналов цифрового осциллографа. Проведена статистическая обработка результатов на основе построенных гистограмм и анализе спектров сигналов. В итоге получены таблицы поправок к амплитудным характеристикам измерительных каналов осциллографа, рассчитаны погрешности этих поправок.

Всего в эксперименте было проанализировано 808 файлов, соответствующих своим настройкам цифрового осциллографа и уровню

подаваемого на его входы постоянного напряжения. Объем выборки в каждом опыте составляет 4000 отсчетов.

Обнаружено, что для вертикальной чувствительности измерительных каналов 1 В/дел, значения поправок составляют порядка 20 мВ при приведенной погрешности 0,5 %. Для вертикальной чувствительности измерительных каналов 10 мВ/дел значения поправок составляют порядка 1,5 мВ при приведенной погрешности 4 %. Зависимость величин поправок от горизонтальной развертки для исследуемых значений 100 мкс/дел и 10 мкс/дел статистически не достоверно.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ (НИР) проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научно-технической результативности.

Цель работы: минимизировать систематическую погрешность измерительных каналов цифрового осциллографа.

4.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта требуется оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Составим перечень работ и соответствие работ своим исполнителям, продолжительность выполнения этих работ и сведем их в таблицу 5.

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

В данном случае используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- вероятностный.

Таблица 5– Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнения
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100 %
Составление и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	НР – 100 % И – 10 %
Подбор и изучение материалов по тематике цифровой обработки сигналов	НР, И	НР – 25 % И – 100 %
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100 % И – 10 %
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 25 % И – 100 %
Разработка теоретических основ метода	НР, И	НР – 100 % И – 100 %
Разработка алгоритма	НР, И	НР – 100 % И – 50 %
Реализация алгоритма, проверка, опробование	И	И – 100 %
Экспериментальные исследования преобразователей тока	НР, И	НР – 50 % И – 100 %
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100 %
Оформление графического материала	И	И – 100 %
Подведение итогов	НР, И	НР – 50 % И – 100 %

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется вероятностный метод по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (4.1)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дней;

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дней.

Для выполнения перечисленных в таблице 5 работ требуются специалисты:

– инженер;

– научный руководитель.

Далее необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (4.2)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1,2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (4.3)$$

где $T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (4.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

Рассчитаем значение коэффициента календарности:

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205.$$

В таблице 6 приведены данные о длительности этапов работ и числе исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 6 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/день			
					Т _{РД}		Т _{КД}	
		t _{min}	t _{max}	t _{ож}	НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	2	5	3,2	3,84	0	4,65	0,00
Разработка и утверждение ТЗ	НР, И	2	5	3,2	3,84	0,384	4,65	0,47
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	30	60	42	12,6	50,4	15,27	61,08
Разработка календарного плана	НР, И	1	3	1,8	2,16	0,216	2,62	0,26
Обсуждение литературы	НР, И	2	5	3,2	0,96	3,84	1,16	4,65
Разработка теоретических основ метода	НР, И	15	20	17	20,4	20,4	24,72	24,72
Разработка алгоритма	НР, И	15	25	19	22,8	11,4	27,63	13,82
Реализация алгоритма, проверка, опробование	И	25	40	31	0	37,2	0,00	45,09
Экспериментальные исследования преобразователей тока	НР, И	20	30	24	14,4	28,8	17,45	34,91
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	20	30	24	0	28,8	0,00	34,91
Оформление графического материала	И	5	10	7	0	8,4	0,00	10,18
Подведение итогов	НР, И	5	10	7	4,2	8,4	5,09	10,18
Итого:				182,7	85,2	198,2	103,3	240,3

4.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Величина нарастания технической готовности работы показывает, на сколько процентов выполнена работа на каждом этапе. Данная величина вычисляется по формуле:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{общ}} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

где t_{Hi} – нарастающая трудоемкость с момента начала работы i -го этапа;

t_0 – общая трудоемкость.

Общая трудоемкость вычисляется по формуле:

$$TP_{общ} = \sum_{i=1}^n t_{OЖi}, \quad (4.6)$$

где $t_{OЖi}$ – ожидаемая продолжительность i -го этапа.

Удельный вес каждого этапа U_i определяется по формуле:

$$TP_i = \frac{t_{OЖi}}{TP_{общ}} \cdot 100\%. \quad (4.7)$$

Результаты вычислений $TP_{общ}$ и TP_i представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	CG _i , %	TP _i , %
Постановка задачи	1,75	1,75
Разработка и утверждение ТЗ	3,50	1,75
Подбор и изучение материалов по тематике	26,49	22,99
Разработка календарного плана	27,48	0,99
Обсуждение литературы	29,23	1,75
Работа с известными методами	38,53	9,30
Экспериментальные исследования	48,93	10,40
Расчет по известному алгоритму	65,90	16,97
Расчет таблицы поправок	79,04	13,14
Оформление расчетно-пояснительной записки	92,44	13,14
Оформление графического материала	96,27	3,83
Подведение итогов	100	3,73

4.2 Расчет сметы затрат

4.2.1 Расчет основной заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з / плата} = \frac{\text{Месячный оклад}}{24,83 \text{ дней}}. \quad (4.8)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 9. При расчете учитывалось, что в году 298 рабочих дня, в месяце 24,83 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 8. Также был принят во внимание коэффициент K , учитывающий коэффициент по заработной плате $K_{ЗП} = 1,18$ и районный коэффициент $K_{РК} = 1,6$, который равен:

$$K = K_{ЗП} \cdot K_{РК} = 1,188 \cdot 1,6 = 1,699.$$

Таблица 8 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./месяц	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23 264,86	936,97	85	1,699	135312,5
И	20 000	805,48	198	1,699	270965,1
Итого:					406277,6

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили

$$C_{ОСН} = 406277,6 \text{ руб.}$$

4.2.2 Расчет отчислений от заработной платы

Затраты по этой статье составляют отчисления по единому социальному налогу (ЕСН).

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{соц}} = K_{\text{соц}} \cdot C_{\text{осн}}, \quad (4.9)$$

где $K_{\text{соц}}$ – коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы. Данный коэффициент составляет 30 % от затрат на заработную плату и включает в себя:

- отчисления в пенсионный фонд;
- на социальное страхование;
- на медицинское страхование.

Таким образом, отчисления из заработной платы составили:

$$C_{\text{соц}} = 0,3 \cdot 406277,6 = 121883,3 \text{ руб.}$$

4.2.3 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования а также затраты на электроэнергию, потраченную на освещение. Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитываются по формуле:

$$Э_{\text{об}} = P_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \cdot t_{\text{об}}, \quad (4.10)$$

где $Э_{\text{об}}$ – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;

- P_{OB} – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;
- $C_{Э}$ – тарифная цена за 1 кВт·ч, $C_{Э} = 5,257$ руб./кВт·ч;
- t_{OB} – время работы оборудования, ч.

Время работы оборудования вычисляется на основе данных для $T_{РД}$ таблицы 8 для инженера из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов. Основное использованное оборудование: персональный компьютер (использовался все время), генератор-калибратор сигналов, цифровой осциллограф и вольтметр (использовались только во время этапа «Экспериментальные исследования»).

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{OB} = P_{УСТ.ОБ} \cdot K_C, \quad (4.11)$$

где $P_{УСТ.ОБ}$ – установленная мощность оборудования, кВт;

K_C – коэффициент спроса.

Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования t_{OB} , ч	Потребляемая мощность P_{OB} , кВт	Затраты $Э_{OB}$, руб.
Персональный компьютер	2062	0,2	2130,1
Цифровой осциллограф АСТ - 2041	280	0,3	441,6
Вольтметр В7-46/1	16	2,0	168,8
Итого:			2740,5

Общие затраты на электроэнергию составили 2740,5руб.

4.2.4 Расчет амортизационных расходов

В статье расходов «Амортизационные отчисления» от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время каждой единицы оборудования по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{OB} * t_{pф} * n}{F_D}, \quad (4.12)$$

где H_A – годовая норма амортизации;

C_{OB} – цена оборудования;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_D = 2384$ ч;

$t_{pф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта, ч.

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Затраты на амортизацию используемого оборудования представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на амортизацию

Наименование оборудования	Срок службы, лет	Годовая норма амортизации H_A , %	Стоимость C_{OB} , руб.	Время работы оборудования t_{OB} , ч	Затраты C_{AM} , руб.
Персональный компьютер	4	0,25	22000	1922	4434,2
Вольтметр В7-6/1	2,5	0,4	16000	280	751,7
Цифровой осциллограф АСК-2041	2,5	0,4	300000	280	14094
Генератор-калибратор	5	0,2	50000	16	67,2

Fluke 5520A					
Итого:					19347,1

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = 19347,1 \text{ руб.}$$

4.2.5 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, и вычисляются по формуле:

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1 \quad (4.13)$$

Прочие расходы составили:

$$C_{\text{НАКЛ}} = (406277,6 + 121883,3 + 2740,5 + 19347,1) \cdot 0,1 = 55024,85 \text{ руб.}$$

4.2.6 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта. Смета затрат представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Смета затрат на разработку проекта

Наименование статьи затрат	Затраты, руб.
Основная заработная плата	406277,6
Отчисления в социальные фонды	121883,3
Расходы на электроэнергию	2740,5
Амортизационные отчисления	19347,1
Работы, выполняемые сторонними организациями	0
Прочие расходы	55024,85
Итого:	604273,35

4.2.7 Расчет прибыли

Прибыль составляет 20 % от расходов на разработку, что равно 120854,67 руб.

4.2.8 Расчет налога на добавленную стоимость

Налог на добавленную стоимость (НДС) составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. Сумма НДС составила 130523,1 руб.

4.2.9 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае:

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 604273,35 + 120854,67 + 130523,1 = 855651,06 \text{ руб.}$$

4.2.10 Полная смета затрат на выполнение НИР

Полная смета затрат приведена в таблице 12.

Таблица 12 – Полная смета затрат

Наименование статьи затрат	Затраты, руб.
1 Основная заработная плата	406277,6
2 Отчисления в социальные фонды	121883,3
3 Расходы на электроэнергию	2740,5
4 Амортизационные отчисления	19347,1
5 Прочие расходы	55024,85

6 Общая себестоимость проекта	604273,35
7 Прибыль	120854,67
8 НДС	130523,1
9 Цена разработки	855651,06

4.3 Оценка экономической эффективности проекта

Экономический эффект проекта заключается в следующем:

- снижение затрат на определение амплитудных характеристик измерительных каналов цифрового осциллографа;

Количественная оценка достигаемого эффекта будет возможна по результатам опытно-промышленной эксплуатации соответствующего комплекта оборудования.

4.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень (НТУ) характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня $K_{НТУ}$ по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (4.14)$$

где R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Количественно НТУ проекта выражается на основе величин, приведенных в таблицах 13-16.

Таблица 13– Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Значение весового коэффициента R_i
1 Уровень новизны	0,4
2 Теоретический уровень	0,1
3 Возможность реализации	0,5

Таблица 14– Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 15 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1 Установка закона, разработка новой теории	10
2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3 Разработка способа	6
4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 16 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Результаты оценок признаков научно-технического уровня приведены в таблице 16.

Таблица 17 – Количественная оценка признаков НИР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИР
Уровень новизны	Новая
Теоретический уровень	Элементарный анализ связей между фактами
Возможность реализации	В течение первых лет
Масштабы реализации	Отрасль

Баллы по параметрам времени и масштабам реализации при расчете складываются.

Исходя из оценки признаков НИР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$I_{НТУ} = 0,4 \cdot 6 + 0,1 \cdot 2 + 0,5 \cdot 10 = 2,4 + 0,6 + 5 = 6.$$

Таким образом, исходя из данных в таблице 18, проект «Минимизация систематической погрешности амплитудной характеристики измерительных каналов цифрового осциллографа» имеет средний уровень научно-технического эффекта.

Таблица 18– Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Обоснование оценки признаков НИР приводится в таблице 19.

Таблица 19– Сводная таблица оценки НТУ НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Новая	6	Предложен, реализован и опробован неиспользуемый ранее метод. Подтверждена эффективность метода
Теоретический уровень	0,1	Разработка способа	6	Разработан и программно реализован алгоритм получения и обработки данных
Возможность реализации	0,5	В течение первых лет	10	Проект близок к внедрению в производство

5 Социальная ответственность

Социальная ответственность – раздел бакалаврской работы, который освещает вопросы безопасности труда, затрагивает область защиты окружающей среды от вредных воздействий исследований. В условиях производственной деятельности безопасность сотрудника обеспечивается ограничением уровней воздействия на него вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса нормативными значениями, либо полным исключением этих видов воздействия.

Исследования проводились в лаборатории Томского политехнического университета, специально оборудованной для этих целей. Целью работы является минимизировать систематическую погрешность измерительных каналов напряжения цифрового осциллографа.

Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером и экспериментальной установкой. Работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении.

Обработка полученной информации с прибора и её визуализация производится на компьютере, состоящем из системного блока и монитора, поэтому выполняемые работы сводятся к взаимодействию с персональным компьютером.

В данном разделе рассматривается комплекс мероприятий, с помощью которых происходит минимизация негативного воздействия факторов, возникающие при работе с компьютером, экспериментальной установкой. Благодаря проведению данных мероприятий можно повысить производительность труда и улучшить условия работы в лаборатории.

5.1 Техногенная безопасность

В настоящее время в процессе эксплуатации предприятий производственной сферы возникает проблема обеспечения безопасности производственного персонала и населения.

К вредным факторам проектируемой производственной среды относятся [15]:

- повышенная или недостаточная освещенность рабочей зоны;
- утомление глаз, повышенная нагрузка на зрение;
- длительное пребывание в одном и том же (сидячем) положении и монотонность труда (повторение однотипных движений);
- умственное перенапряжение, обусловленное характером решаемых задач;
- нервно-психические, нервно-эмоциональные перегрузки;
- широкий спектр излучения от дисплея, который включает рентгеновскую, ультрафиолетовую и инфракрасную области;
- повышенный уровень электромагнитных излучений различных частот от монитора и системного блока;
- повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне;
- возникновение на экране монитора статических зарядов, заставляющих частички пыли двигаться к ближайшему заземленному предмету, которым оказывается лицо пользователя.

Рассмотрим подробно действия перечисленных вредных факторов на организм человека.

5.2 Санитария

5.2.1 Освещенность рабочей зоны

Освещение рабочих мест является одним из важных факторов, который оказывает влияние на создание благоприятных и безопасных условий труда, которые в свою очередь влияют на настроение, самочувствие и результативность деятельности трудящегося. Более 90% информации при работе человек получает по средствам зрения, и недостаточная освещённость будет затруднять деятельность рабочего и нагружать его свыше допустимой нормы, будет вызывать уменьшение остроты зрения, утомление организма и негативно сказываться на его психологическом состоянии.

На практике используются два вида освещения: естественное и искусственное. Естественное боковое и искусственное рабочее, а также комбинированное, которое состоит из местного освещения рабочих мест и общего освещения помещения.

Согласно требованиям [16] и [17] необходимо соблюдать определенные правила:

- применять комбинированную освещенность;
- естественный свет преимущественно должен падать слева;
- освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк;
- освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк;
- в качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ);
- для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования персональных электронно-вычислительных машин следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

В лаборатории, где производилась работа, освещенность комбинированная, естественный свет падает слева, соблюдены все нормы освещенности, чистка окон производится 2 раза в год.

5.2.2 Микроклимат

Микроклимат производственного помещения оказывает большое влияние на организм человека, на его здоровье и самочувствие, работоспособность и производительность труда.

Микроклимат определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Неблагоприятный уровень микроклимата может способствовать возникновению у человека определенных последствий, например:

- нарушение терморегуляции, в результате которого возможно повышение температуры, обильное потоотделение, слабость.
- нарушение водно-солевого баланса, может привести к слабости, головной боли, судорожной болезни.

К показателям, характеризующим микроклимат, относятся:

- температура воздуха [$^{\circ}\text{C}$];
- относительная влажность [%];
- скорость движения воздуха [м/с].

Оптимальные и допустимые показатели микроклимата лабораторных помещений согласно [18] и [19] приведены в таблицах 20 и 21.

Таблица 20 - Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне помещений

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с
Теплый	23-25	40-60	0,1
Холодный	22-24	40-60	0,1

Таблица 21 - Допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне помещений

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с
Теплый	22-28	55 (при 28 °С)	0,1-0,2
Холодный	21-25	75	Не более 0,1

В профилактических целях от воздействия неблагоприятного микроклимата должны быть произведены защитные мероприятия, например, системы местного кондиционирования воздуха, применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), регламент времени работы.

Микроклимат лаборатории, в которой проводилась работа, соответствует допустимым нормам, например, средняя температура воздуха в зимнее время года составляет 20-22 °С, в летнее 22-24 °С.

5.2.3 Психофизиологические нагрузки

Для того чтобы минимизировать психофизиологические нагрузки на сотрудника, следует уделить внимание требованиям организации рабочего места. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования (в данном случае компьютера и экспериментальной установки), с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680-800 мм (при отсутствии возможности регулировки высота должна составлять 725 мм) [15].

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, не электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Для уменьшения психофизиологических нагрузок на сотрудника так же целесообразно соблюдать требования к режиму труда и отдыха.

В частности соблюдение данных требований позволит минимизировать нервно-психические, нервно-эмоциональные перегрузки, а так же утомление глаз, повышенную нагрузку на зрение.

Согласно [20] рекомендуется организовывать перерывы на 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы. При этом продолжительность непрерывной работы с компьютером не должна превышать 2 часов.

Во время перерывов следует выполнять комплекс упражнений для снятия утомления зрительного анализатора, напряжения в позвоночнике, а также общего эмоционального напряжения.

5.2.4 Опасность воздействия электромагнитного и ионизирующего излучения

Воздействие электромагнитного и электростатического полей могут привести к появлению головных болей и дисфункции ряда органов. Электромагнитные излучения ухудшают работу сосудов головного мозга, что вызывает ослабление памяти, остроты зрения, так же наблюдаются болезни сердечнососудистой системы, желудочно-кишечного тракта, кожные заболевания.

Временные допустимые уровни электромагнитного поля, создаваемые компьютером на рабочем месте представлены в таблице 22 согласно [20].

Таблица 22 - Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых компьютером на рабочих местах

Наименование параметров		Временный допустимый уровень
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Наименование параметров		Временный допустимый уровень

Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для защиты от электромагнитных излучений необходимо обеспечить:

- рациональное размещение излучающих и облучаемых объектов, исключающее или ослабляющее воздействие излучения на персонал;
- ограничение места и времени нахождения сотрудников в электромагнитном поле;
- защита расстоянием;
- использование поглощающих или отражающих экранов;
- использование специальных защитных очков;
- лечебно-профилактические мероприятия.

В соответствии с [17] по виду трудовой деятельности данный вид работ в лаборатории относится к группе Д, это означает, что стоит сократить время работы за компьютером, делать перерывы при 8-ми часовой смене. Также применять мониторы с пониженным уровнем излучения и защитные экраны.

5.3 Техника безопасности

5.3.1 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, которые обеспечивают защиту людей от

вредного и опасного воздействия электромагнитного поля, электрического тока и статистического электричества.

На рабочем месте лаборанта металлическим является корпус системного блока компьютера, цифрового осциллографа, вольтметра и генератора-калибратора, однако их рабочей изоляции предусмотрен элемент для заземления и провод с заземляющей жилой для присоединения к источнику питания. Без заземления величина электромагнитного поля в разы будет превышать допустимый безопасный уровень для здоровья человека, который установлен в [20]. Таким образом, оборудование выполнено по классу 1, в соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

На основании ГОСТ 12.1.019-2009 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [18] степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от рода и величины напряжения и тока, силы тока, частоты электрического тока и пути прохождения через тело человека, а так же продолжительности воздействия и условий внешней среды.

Различают следующие виды помещений в зависимости от опасности поражения людей электрическим током:

- помещения без повышенной опасности (в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность).
- помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящую пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам с одной стороны и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Помещение лаборатории по опасности поражения электрическим током можно отнести к 1 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности (сухое, беспыльное, с нормальной температурой воздуха, изолированными полами и малым числом заземленных приборов).

В целях обеспечения электробезопасности выделяют следующие требования согласно [22]:

- использование безопасного напряжения 12 и 36 В (для получения используют понижающие трансформаторы, которые включают в стандартную сеть с напряжением 220 или 380 В);
- контроль изоляции электрических проводов;
- устройство защитного заземления и зануления;
- исключение случайного прикосновения к токоведущим частям;
- соблюдение организационных мер обеспечения электробезопасности.

Так же обязательным условием является прохождение всеми сотрудниками первичного, внеочередного и повторного инструктажа по электробезопасности.

5.3.2 Пожаробезопасность

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

При работе с измерительным оборудованием выделяют причины возникновения пожара как электрического, так и неэлектрического характера.

К причинам возникновения пожара электрического характера относят короткое замыкание, искрение и электрические дуги, перегрузки по току, статическое электричество.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем, например, оставленные без присмотра нагревательные приборы, курение, использование открытого огня.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

1. назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
2. проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
3. издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности;
4. использование только исправного оборудования;
5. отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
6. курение в строго отведенном месте;
7. содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

5.3.3 Работа в чрезвычайных ситуациях

В помещениях с электрическими приборами повышен риск возникновения пожара. Неисправность электрооборудования, освещения, неправильная их эксплуатация, наличие статического электричества неудовлетворительный надзор за пожарными устройствами может послужить причиной пожара. Пожар наносит большой материальный ущерб и часто сопровождается несчастными случаями с людьми.

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара.

Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожар предупреждения и защиты.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неисправности, проводить плановый осмотр и своевременно устранять все неисправности и неисправные электроприборы и не использовать неисправные электроприборы.

Обогревание помещения открытыми электронагревательными приборами могут привести к пожару, т.к. в помещении находятся бумажные документы и справочная литература в виде книг, пособий, а бумага - легковоспламеняющийся предмет.

В целях профилактики пожара предлагается не использовать открытые обогревательные приборы в помещении лаборатории. В целях уменьшения вероятности возникновения пожара вследствие короткого замыкания необходимо, чтобы электропроводка была скрытой.

Несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Поэтому курения в помещении лаборатории категорически запрещено.

В целях предотвращения пожара предлагается проводить с сотрудниками, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации и приступить к ликвидации пожара огнетушителями.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Здание корпуса 10 Томского политехнического университета, в котором располагается лаборатория, соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители и план эвакуации, а так же установлен план эвакуации с указанием направлений к запасному (эвакуационному) выходу.

5.4 Региональная безопасность

Компьютер, используемый в работе, не влечет за собой негативных воздействий на окружающую среду, поэтому создание санитарно-защитной зоны и принятие мер по защите атмосферы, гидросферы, литосферы не являются необходимыми.

Компьютер в своем составе содержит токсичные вещества электронных отходов такие, как бромсодержащие замедлители горения, поливинилхлориды, ртуть, которые в процессе эксплуатации не вызывают негативных последствий, однако со временем приходится производить утилизацию персонального компьютера как твердого отхода.

При завершении срока службы ПК, его можно классифицировать, как отход электронной промышленности.

При утилизации происходит разбор компьютеров на следующие компоненты: блоки питания, процессоры, электронные платы, кабеля.

Утилизация, как электронно-вычислительных машин, так и другой оргтехники включает в себя работы по: погрузке, транспортировке, разгрузке, демонтажу и извлечению различных материалов из списанных технических средств, а также сдачу на материалы специализированным организациям для дальнейшей переработки. Основными материалами, которые извлекаются из технических средств, являются: черный металл (алюминий, медь), пластик, платы, содержащие драгоценные металлы, стекло. Переработка таких отходов осуществляется согласно [21].

5.5 Организационные вопросы обеспечения безопасности

Большое значение в работе имеет организация рабочих мест сотрудников и создание благоприятных условий труда.

Оптимальный режим труда и отдыха это одно из важных условий качественной работоспособности сотрудников. При несоблюдении режима труда и отдыха снижается работоспособность сотрудников, появляются головные боли, усталость, болезненные ощущения в глазах, раздражительность, психоэмоциональное напряжение.

Согласно [16] конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям.

Главными элементами рабочего места являются рабочий стол и стул, при этом работа проводится в положении сидя. Следовательно, для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью сотрудника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз.

При организации рабочего места в лаборатории реализуются следующие правила:

- высота стола составляет 720 мм, в соответствии с нормами [16] - 725 мм;
- рабочий стул не имеет регулировку высоты и поворотов, угол наклона спинки стандартный и так же не имеет возможности регулировки, не имеет подлокотников;
- клавиатура располагается на расстоянии от 150-200 мм от края стола, что соответствует нормам [16].

В настоящей главе были рассмотрены санитарнотехнические нормы, техника безопасности, работа в чрезвычайных ситуациях, а так же организационные вопросы обеспечения безопасности рабочей зоны.

Заключение

В работе были получены следующие результаты.

- Проведен анализ литературных источников и на его основе определены основные факторы обуславливающие появление случайной и систематической составляющей погрешности цифрового осциллографа.
- Показано, что основным источником систематической погрешности в осциллографе является аналогово-цифровой преобразователь, поскольку в нём происходит наиболее существенное искажение формы сигнала – сигнал квантуется по времени и по уровню.
- Выявлено, что в преобразователях постоянного тока существуют четыре погрешности: погрешность смещения, погрешность усиления и два вида ошибок линейности (дифференциальная и интегральная).
- Опираясь на известные методики была описана процедура эксперимента, выбрана структурная схема экспериментальной установки, определен состав используемого экспериментального оборудования.
- Проведены рассуждения, лежащие в основе ограничения факторности эксперимента, выбраны конкретные факторы.
- В работе выполнены экспериментальные исследования по определению амплитудных характеристик измерительных каналов цифрового осциллографа.
- Проведена статистическая обработка результатов на основе стандартизированного алгоритма обработки результатов прямых многократных измерений.
- Получены таблицы поправок к амплитудным характеристикам измерительных каналов осциллографа, рассчитаны погрешности этих поправок.

- Всего в эксперименте было проанализировано 808 файлов, соответствующих своим настройкам цифрового осциллографа и уровню подаваемого на его входы постоянного напряжения. Объем выборки в каждом опыте составляет 4000 отсчетов.
- Обнаружено, что для вертикальной чувствительности измерительных каналов 1 В/дел, значения поправок составляют порядка 20 мВ при приведенной погрешности 0,5 %. Для вертикальной чувствительности измерительных каналов 10 мВ/дел значения поправок составляют порядка 1,5 мВ при приведенной погрешности 4 %. Зависимость величин поправок от горизонтальной развертки для исследуемых значений 100 мкс/дел и 10 мкс/дел статистически не достоверно.

Таблица поправок, полученная в настоящей работе применима к измерениям напряжения постоянного тока. Для использования в задачах измерения мгновенных значений напряжения переменного тока нужно учитывать частотную и амплитудную зависимость данных поправок. А именно амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики нелинейных компонентов прибора. Применение полученных поправок возможно к сигналу напряжения переменного тока, однако предварительно он должен пройти через фильтр нижних частот. В таком случае можно применить поправки полученные в настоящей работе. Однако данное утверждение требует дополнительных доказательств, выходящих за рамки настоящей работы.

Список использованной литературы

1. Кончаловский В.Ю. «Цифровой Осциллограф» Методическое руководство /Москва:Московский энергетический институт,2005.
2. Соболевский А.Г. Измерения при настройке радиоаппаратуры— М.: Энергия, 1980.— 144с.
3. Райс Вольфганг (WolfgangReis, WBCGmbH) Журнал "Компоненты и технологии", № 3'2005
4. Опадчий, Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника: учебник / Ю.Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. Я. Гуров. – М. : «Горячая линия – Телеком», 2004.
5. Никамин, В. А. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Справочник – СПб. : КОРОНА принт; М.: «Альтекс-А», 2003. – 224 с.
6. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учеб.пособие для вузов. /М.: Логос, 2001. –408 с.
7. СпиридоноваА.С., Наталинова Н.М. Практикум по метрологии, стандартизации и сертификации: учебное пособие / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 135 с.
8. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). «Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».
9. ГОСТ 8.395-80 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). «Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования».
10. КестерУ «Аналого-цифровое преобразование»: Москва: Техносфера, 2007.-1016 с.

11. Терёхин В.В. Моделирование в системе MATLAB: Учебное пособие/Кемеровский государственный университет. – Новокузнецк: Кузбассвудиздат, 2004. -376 с.
12. ГОСТ Р 50779.21-2004 «Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение».
13. Харкевич А.А. Спектры и анализ. Изд. 5-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 240 с.
14. Жуков В.К. Теория погрешностей технических измерений: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск:Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 180 с.
15. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
16. ГОСТ Р 50923-96. «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения».
17. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
18. ГОСТ 30494-2011. «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
19. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
20. СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-96 «Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий.планировка и застройка населенных мест».
21. ГОСТ Р 55102-2012 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутисодержащих устройств и приборов».

22. ОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

Журнал эксперимента

	1		2		3		4	
	Услови я	Время нач./кон .	Услови я	Время нач./кон .	Услови я	Время нач./кон .	Услови я	Время нач./кон .
№	10 мкс, 1 В/дел	15:08 15:58	100 мкс, 1 В/дел		10 мкс, 10 мВ/дел		100 мкс, 10 мВ/дел	
	Fluke, В	В7-46 , В	Fluke, В	В7-46, В	Fluke, мВ	В7-46, мВ	Fluke, мВ	В7-46, мВ
1.	-4	-4,0006	-4	-3.9998	-40	-40.000	-40	-40.000
2.	-3.92	-3,9204	-3.92	-3.9198	-39.2	-39.201	-39.2	-39.201
3.	-3.84	-3,8406	-3.84	-3.8398	-38.4	-38.402	-38.4	-38.402
4.	-3.76	-3,7605	-3.76	-3.7599	-37.6	-37.600	-37.6	-37.600
5.	-3.68	-3,6805	-3.68	-3.6797	-36.8	-36.800	-36.8	-36.800
6.	-3.6	-3,6005	-3.6	-3.5998	-36	-36.001	-36	-36.001
7.	-3.52	-3,5205	-3.52	-3.5201	-35.2	-35.202	-35.2	-35.202
8.	-3.44	-3,4406	-3.44	-3.4399	-34.4	-34.400	-34.4	-34.400
9.	-3.36	-3,3605	-3.36	-3.3600	-33.6	-33.600	-33.6	-33.600
10.	-3.28	-3,2805	-3.28	-3.2799	-32.8	-32.801	-32.8	-32.801
11.	-3.2	-3,2005	-3.2	-3.2000	-32	-32.008	-32	-32.008
12.	-3.12	-3,1205	-3.12	-3.1199	-31.2	-31.200	-31.2	-31.200
13.	-3.04	-3,0404	-3.04	-3.0400	-30.4	-30.407	-30.4	-30.407
14.	-2.96	-2,9605	-2.96	-2.9599	-29.6	-29.601	-29.6	-29.601
15.	-2.88	-2,8805	-2.88	-2.8799	-28.8	-28.799	-28.8	-28.799
16.	-2.8	-2,8006	-2.8	-2.8000	-28	-27.999	-28	-27.999
17.	-2.72	-2,7205	-2.72	-2.7299	-27.2	-27.199	-27.2	-27.199
18.	-2.64	-2,6403	-2.64	-2.6401	-26.4	-26.398	-26.4	-26.398
19.	-2.56	-2,5604	-2.56	-2.5600	-25.6	-25.598	-25.6	-25.598
20.	-2.48	-2,4803	-2.48	-2.4799	-24.8	-24.798	-24.8	-24.798
21.	-2.4	-2,4002	-2.4	-2.3998	-24	-23.999	-24	-23.999
22.	-2.32	-2,3203	-2.32	-2.3199	-23.2	-23.198	-23.2	-23.198
23.	-2.24	-2,2403	-2.24	-2.2398	-22.4	-22.398	-22.4	-22.398
24.	-2.16	-2,1604	-2.16	-2.1599	-21.6	-21.598	-21.6	-21.598
25.	-2.08	-2,0803	-2.08	-2.0799	-20.8	-20.798	-20.8	-20.798
26.	-2	-2,0005	-2	-1.9999	-20	-19.998	-20	-19.998
27.	-1.92	-1,9204	-1.92	-1.9199	-19.2	-19.196	-19.2	-19.196
28.	-1.84	-1,8404	-1.84	-1.8400	-18.4	-18.398	-18.4	-18.398
29.	-1.76	-1,76016	-1.76	-1.76014	-17.6	-17.5953	-17.6	-17.5953
30.	-1.68	-1,68015	-1.68	-1.68013	-16.8	-16.7852	-16.8	-16.7852
31.	-1.6	-1,60014	-1.6	-1.60012	-16	-15.9953	-16	-15.9953
32.	-1.52	-1,52014	-1.52	-1.52013	-15.2	-15.1947	-15.2	-15.1947
33.	-1.44	-1,44012	-1.44	-1.44012	-14.4	-14.3953	-14.4	-14.3953
34.	-1.36	-1,39012	-1.36	-1.36011	-13.6	-13.5974	-13.6	-13.5974
35.	-1.28	-1,28010	-1.28	-1.28010	-12.8	-12.7948	-12.8	-12.7948
36.	-1.2	-1,20009	-1.2	-1.20009	-12	-11.9948	-12	-11.9948
37.	-1.12	-1,12011	-1.12	-1.12008	-11.2	-11.1948	-11.2	-11.1948

	1		2		3		4	
	Услови я	Время нач./кон .	Услови я	Время нач./кон .	Услови я	Время нач./кон .	Услови я	Время нач./кон .
№	10 мкс, 1 В/дел	15:08 15:58	100 мкс, 1 В/дел		10 мкс, 10 мВ/дел		100 мкс, 10 мВ/дел	
	Fluke, В	В7-46 , В	Fluke, В	В7-46, В	Fluke, мВ	В7-46, мВ	Fluke, мВ	В7-46, мВ
38.	-1.04	-1,04008	-1.04	-1.04009	-10.4	-10.3942	-10.4	-10.3942
39.	-0.96	-0,96008	-0.96	-0.96008	-9.6	-9.5942	-9.6	-9.5942
40.	-0.88	-0,88007	-0.88	-0.88007	-8.8	-8.7944	-8.8	-8.7944
41.	-0.8	-0,80007	-0.8	-0.80006	-8	-7.9950	-8	-7.9950
42.	-0.72	-0,72005	-0.72	-0.72006	-7.2	-7.1943	-7.2	-7.1943
43.	-0.64	-0,64005	-0.64	-0.64005	-6.4	-6.3943	-6.4	-6.3943
44.	-0.56	-0,56006	-0.56	-0.56004	-5.6	-5.5949	-5.6	-5.5949
45.	-0.48	-0,48003	-0.48	-0.48004	-4.8	-4.7942	-4.8	-4.7942
46.	-0.4	-0,40003	-0.4	-0.40003	-4	-3.9940	-4	-3.9940
47.	-0.32	-0,31999	-0.32	-0.32001	-3.2	-3.1940	-3.2	-3.1940
48.	-0.24	-0,24000	-0.24	-0.24000	-2.4	-2.3941	-2.4	-2.3941
49.	-0.16	-0,16000	-0.16	-0,15994	-1.6	-1.5941	-1.6	-1.5941
50.	-0.08	-0,08000	-0.08	-0,07999	-0.8	-0.7942	-0.8	-0.7942
51.	0	0,00053	0	0.0044	0	0.0057	0	0.0057
52.	0.08	-0,07999	0.08	0.003	0.8	0.8066	0.8	0.8066
53.	0.16	-0,15999	0.16	160.003	1.6	1.6063	1.6	1.6063
54.	0.24	0,24000	0.24	0.24000	2.4	2.4064	2.4	2.4064
55.	0.32	0,32001	0.32	0.31999	3.2	3.2051	3.2	3.2051
56.	0.4	0,40003	0.4	0.40002	4	4.0067	4	4.0067
57.	0.48	0,48005	0.48	0.48003	4.8	4.8062	4.8	4.8062
58.	0.56	0,56006	0.56	0.56004	5.6	5.6068	5.6	5.6068
59.	0.64	0,64007	0.64	0.64005	6.4	6.4066	6.4	6.4066
60.	0.72	0,72008	0.72	0.72005	7.2	7.2071	7.2	7.2071
61.	0.8	0,80007	0.8	0.80005	8	8.0075	8	8.0075
62.	0.88	0,88008	0.88	0.88006	8.8	8.8071	8.8	8.8071
63.	0.96	0,96009	0.96	0.96007	9.6	9.6064	9.6	9.6064
64.	1.04	1,04010	1.04	1.04008	10.4	10.4067	10.4	10.4067
65.	1.12	1,12010	1.12	1.12009	11.2	11.2070	11.2	11.2070
66.	1.2	1,20011	1.2	1.20008	12	12.0071	12	12.0071
67.	1.28	1,28013	1.28	1.28009	12.8	12.8076	12.8	12.8076
68.	1.36	1,36013	1.36	1.36010	13.6	13.6072	13.6	13.6072
69.	1.44	1,44014	1.44	1.4412	14.4	14.4075	14.4	14.4075
70.	1.52	1,52014	1.52	1.52012	15.2	15.2076	15.2	15.2076
71.	1.6	1,60016	1.6	1.60012	16	16.0074	16	16.0074
72.	1.68	1,68016	1.68	1.68013	16.8	16.8079	16.8	16.8079
73.	1.76	1,76017	1.76	1.76013	17.6	17.6076	17.6	17.6076
74.	1.84	1,84017	1.84	1.84015	18.4	18.4076	18.4	18.4076
75.	1.92	1,92020	1.92	1.92015	19.2	19.2080	19.2	19.2080
76.	2	2,00019	2	2.00015	20	20.0077	20	20.0077
77.	2.08	2,08019	2.08	2.08017	20.8	20.8079	20.8	20.8079
78.	2.16	2,16020	2.16	2.16017	21.6	21.6082	21.6	21.6082

	1		2		3		4	
	Услови я	Время нач./кон .	Услови я	Время нач./кон .	Услови я	Время нач./кон .	Услови я	Время нач./кон .
№	10 мкс, 1 В/дел	15:08 15:58	100 мкс, 1 В/дел		10 мкс, 10 мВ/дел		100 мкс, 10 мВ/дел	
	Fluke, В	В7-46 , В	Fluke, В	В7-46, В	Fluke, мВ	В7-46, мВ	Fluke, мВ	В7-46, мВ
79.	2.24	2,2398	2.24	2.2402	22.4	22.4082	22.4	22.4082
80.	2.32	2,3208	2.32	2.3202	23.2	23.2078	23.2	23.2078
81.	2.4	2,4001	2.4	2.4002	24	24.0080	24	24.0080
82.	2.48	2,4799	2.48	2.4804	24.8	24.807	24.8	24.807
83.	2.56	2,5600	2.56	2.5603	25.6	25.607	25.6	25.607
84.	2.64	2,6400	2.64	2.6403	26.4	26.405	26.4	26.405
85.	2.72	2,7200	2.72	2.7203	27.2	27.206	27.2	27.206
86.	2.8	2,8000	2.8	2.8002	28	28.005	28	28.005
87.	2.88	2,8800	2.88	2.8803	28.8	28.806	28.8	28.806
88.	2.96	2,9599	2.96	2.9604	29.6	29.607	29.6	29.607
89.	3.04	3,0400	3.04	3.0404	30.4	30.407	30.4	30.407
90.	3.12	3,1200	3.12	3.1204	31.2	31.206	31.2	31.206
91.	3.2	3,1999	3.2	3.2005	32	32.008	32	32.008
92.	3.28	3,2798	3.28	3.28006	32.8	32.807	32.8	32.807
93.	3.36	3,3599	3.36	3.3604	33.6	33.608	33.6	33.608
94.	3.44	3,4400	3.44	3.4403	34.4	34.405	34.4	34.405
95.	3.52	3,5199	3.52	3.5204	35.2	35.209	35.2	35.209
96.	3.6	3,6000	3.6	3.6004	36	36.005	36	36.005
97.	3.68	3,6799	3.68	3.6804	36.8	36.808	36.8	36.808
98.	3.76	3,7600	3.76	3.7603	37.6	37.609	37.6	37.609
99.	3.84	3,8399	3.84	3.8404	38.4	38.409	38.4	38.409
100	3.92	3,9199	3.92	3.9204	39.2	39.207	39.2	39.207
101	4	4,0000	4	4.0004	40	40.007	40	40.007

Приложение Б

Таблица 1 – Результаты эксперимента 1.Развертка 10 мкс/дел,
чувствительность 1В/дел

Луч 1, В	D1, В	$\Delta 1$, В	Луч 2, В	D2, В	$\Delta 2$, В
-3.9200	0.0806	0.0806	-3.9044	0.0962	0.0962
-3.8678	0.0651	0.0651	-3.8030	0.1051	0.1051
-3.7785	0.0642	0.0642	-3.7389	0.1027	0.1027
-3.6859	0.0625	0.0625	-3.6608	0.1040	0.1040
-3.6295	0.0667	0.0667	-3.5823	0.0981	0.0981
-3.5280	0.0670	0.0670	-3.4974	0.1011	0.1011
-3.4471	0.0681	0.0681	-3.4330	0.1023	0.1023
-3.3769	0.0664	0.0664	-3.3234	0.1010	0.1010
-3.2806	0.0613	0.0613	-3.2551	0.0973	0.0973
-3.2379	0.0584	0.0584	-3.1888	0.0962	0.0962
-3.1534	0.0540	0.0540	-3.1159	0.0879	0.0879
-3.0619	0.0489	0.0489	-3.0381	0.0833	0.0833
-2.9985	0.0518	0.0518	-2.9648	0.0812	0.0812
-2.9060	0.0531	0.0531	-2.8780	0.0836	0.0836
-2.8234	0.0570	0.0570	-2.7998	0.0839	0.0839
-2.7472	0.0568	0.0568	-2.7040	0.0842	0.0842
-2.6422	0.0542	0.0542	-2.6367	0.0822	0.0822
-2.5996	0.0520	0.0520	-2.5633	0.0820	0.0820
-2.5192	0.0494	0.0494	-2.4879	0.0719	0.0719
-2.4341	0.0424	0.0424	-2.4005	0.0703	0.0703
-2.3597	0.0430	0.0430	-2.3537	0.0695	0.0695
-2.2767	0.0431	0.0431	-2.2445	0.0672	0.0672
-2.1968	0.0463	0.0463	-2.1673	0.0665	0.0665
-2.1184	0.0463	0.0463	-2.0997	0.0676	0.0676
-2.0184	0.0456	0.0456	-2.0037	0.0615	0.0615
-1.9601	0.0452	0.0452	-1.9487	0.0610	0.0610
-1.8799	0.0448	0.0448	-1.8751	0.0569	0.0569
-1.7993	0.0406	0.0406	-1.7700	0.0514	0.0514
-1.7202	0.0406	0.0406	-1.7196	0.0502	0.0502
-1.6394	0.0406	0.0406	-1.6314	0.0495	0.0495
-1.5593	0.0429	0.0429	-1.5539	0.0467	0.0467
-1.4798	0.0489	0.0489	-1.4784	0.0526	0.0526
-1.3877	0.0487	0.0487	-1.3837	0.0510	0.0510
-1.3202	0.0482	0.0482	-1.3200	0.0520	0.0520
-1.2401	0.0480	0.0480	-1.2394	0.0514	0.0514

-1.1616	0.0455	0.0455	-1.1491	0.0480	0.0480
-1.0811	0.0395	0.0395	-1.0814	0.0420	0.0420
-1.0002	0.0394	0.0394	-1.0006	0.0405	0.0405
-0.9199	0.0401	0.0401	-0.9197	0.0390	0.0390
-0.8408	0.0400	0.0400	-0.8473	0.0391	0.0391
-0.7579	0.0398	0.0398	-0.7566	0.0391	0.0391
-0.6815	0.0371	0.0371	-0.6804	0.0376	0.0376
-0.6010	0.0346	0.0346	-0.6006	0.0370	0.0370
-0.5338	0.0331	0.0331	-0.5272	0.0339	0.0339
-0.4529	0.0330	0.0330	-0.4506	0.0320	0.0320
-0.3654	0.0315	0.0315	-0.3717	0.0277	0.0277
-0.2823	0.0339	0.0339	-0.2899	0.0289	0.0289
-0.2083	0.0328	0.0328	-0.2222	0.0279	0.0279
-0.1217	0.0296	0.0296	-0.1209	0.0268	0.0268
-0.0582	0.0223	0.0223	-0.0559	0.0224	0.0224
0.0191	0.0164	0.0164	0.0238	0.0205	0.0205
0.0812	0.0099	0.0099	0.0878	0.0132	0.0132
0.1622	0.0077	0.0077	0.1683	0.0099	0.0099
0.2456	0.0050	0.0050	0.2427	0.0056	0.0056
0.3312	0.0081	0.0081	0.3276	0.0086	0.0086
0.4051	0.0078	0.0078	0.4017	0.0084	0.0084
0.4963	0.0059	0.0059	0.5028	0.0083	0.0083
0.5608	0.0033	0.0033	0.5675	0.0066	0.0066
0.6362	0.0022	0.0022	0.6422	0.0062	0.0062
0.7184	-0.0038	-0.0038	0.7190	-0.0040	-0.0040
0.7998	-0.0044	-0.0044	0.8000	-0.0059	-0.0059
0.8660	-0.0041	-0.0041	0.8518	-0.0078	-0.0078
0.9581	-0.0047	-0.0047	0.9581	-0.0102	-0.0102
1.0376	-0.0047	-0.0047	1.0327	-0.0112	-0.0112
1.1154	-0.0065	-0.0065	1.1067	-0.0104	-0.0104
1.2000	-0.0101	-0.0101	1.1951	-0.0162	-0.0162
1.2567	-0.0111	-0.0111	1.2560	-0.0178	-0.0178
1.3404	-0.0165	-0.0165	1.3290	-0.0230	-0.0230
1.4329	-0.0185	-0.0185	1.4246	-0.0283	-0.0283
1.4880	-0.0161	-0.0161	1.4808	-0.0299	-0.0299
1.5904	-0.0163	-0.0163	1.5688	-0.0316	-0.0316
1.6684	-0.0154	-0.0154	1.6482	-0.0336	-0.0336
1.7396	-0.0164	-0.0164	1.7204	-0.0342	-0.0342
1.8375	-0.0214	-0.0214	1.8145	-0.0359	-0.0359
1.8830	-0.0240	-0.0240	1.8781	-0.0367	-0.0367
1.9656	-0.0276	-0.0276	1.9601	-0.0369	-0.0369
2.0553	-0.0317	-0.0317	2.0445	-0.0398	-0.0398
2.1214	-0.0297	-0.0297	2.1191	-0.0396	-0.0396
2.2166	-0.0293	-0.0293	2.1995	-0.0405	-0.0405

2.2934	-0.0254	-0.0254	2.2801	-0.0402	-0.0402
2.3678	-0.0256	-0.0256	2.3553	-0.0424	-0.0424
2.4742	-0.0288	-0.0288	2.4459	-0.0437	-0.0437
2.5205	-0.0314	-0.0314	2.5076	-0.0464	-0.0464
2.6007	-0.0331	-0.0331	2.5933	-0.0489	-0.0489
2.6798	-0.0397	-0.0397	2.6660	-0.0542	-0.0542
2.7593	-0.0395	-0.0395	2.7428	-0.0550	-0.0550
2.8414	-0.0395	-0.0395	2.8194	-0.0592	-0.0592
2.9211	-0.0374	-0.0374	2.9037	-0.0581	-0.0581
3.0010	-0.0374	-0.0374	2.9720	-0.0601	-0.0601
3.0903	-0.0377	-0.0377	3.0718	-0.0613	-0.0613
3.1591	-0.0386	-0.0386	3.1327	-0.0653	-0.0653
3.2396	-0.0392	-0.0392	3.2128	-0.0668	-0.0668
3.3166	-0.0413	-0.0413	3.2840	-0.0739	-0.0739
3.3978	-0.0412	-0.0412	3.3644	-0.0757	-0.0757
3.4797	-0.0413	-0.0413	3.4363	-0.0783	-0.0783
3.5599	-0.0402	-0.0402	3.5236	-0.0775	-0.0775
3.6391	-0.0404	-0.0404	3.5998	-0.0785	-0.0785
3.7221	-0.0404	-0.0404	3.6885	-0.0779	-0.0779
3.7971	-0.0419	-0.0419	3.7591	-0.0808	-0.0808
3.8796	-0.0435	-0.0435	3.8394	-0.0842	-0.0842
3.9525	-0.0475	-0.0475	3.9088	-0.0912	-0.0912

Таблица 2 – Результаты эксперимента 2.Развертка 100 мкс/дел,
чувствительность 1В/дел

Луч 1, В	D1, В	$\Delta 1$, В	Луч 2, В	D2, В	$\Delta 2$, В
-3.9207	0.0791	0.0791	-3.8874	0.1124	0.1124
-3.8714	0.0611	0.0611	-3.8282	0.0970	0.0970
-3.7840	0.0600	0.0600	-3.7528	0.0962	0.0962
-3.6912	0.0581	0.0581	-3.6523	0.0910	0.0910
-3.6318	0.0625	0.0625	-3.5973	0.0908	0.0908
-3.5303	0.0632	0.0632	-3.5133	0.0898	0.0898
-3.4493	0.0652	0.0652	-3.4295	0.0869	0.0869
-3.3808	0.0643	0.0643	-3.3580	0.0865	0.0865
-3.2815	0.0596	0.0596	-3.2669	0.0855	0.0855
-3.2366	0.0565	0.0565	-3.1995	0.0852	0.0852
-3.1536	0.0531	0.0531	-3.1186	0.0842	0.0842
-3.0645	0.0479	0.0479	-3.0305	0.0811	0.0811
-2.9980	0.0501	0.0501	-2.9633	0.0809	0.0809
-2.9076	0.0511	0.0511	-2.8822	0.0792	0.0792
-2.8256	0.0571	0.0571	-2.8005	0.0796	0.0796
-2.7484	0.0569	0.0569	-2.7271	0.0788	0.0788
-2.6444	0.0547	0.0547	-2.6388	0.0786	0.0786
-2.5996	0.0536	0.0536	-2.5672	0.0755	0.0755
-2.5182	0.0513	0.0513	-2.4832	0.0744	0.0744
-2.4312	0.0435	0.0435	-2.4162	0.0696	0.0696
-2.3596	0.0442	0.0442	-2.3325	0.0691	0.0691
-2.2736	0.0442	0.0442	-2.2525	0.0643	0.0643
-2.1960	0.0466	0.0466	-2.1694	0.0663	0.0663
-2.1180	0.0466	0.0466	-2.1074	0.0612	0.0612
-2.0190	0.0453	0.0453	-2.0062	0.0607	0.0607
-1.9600	0.0448	0.0448	-1.9577	0.0564	0.0564
-1.8798	0.0444	0.0444	-1.8550	0.0561	0.0561
-1.7987	0.0405	0.0405	-1.7911	0.0506	0.0506
-1.7201	0.0411	0.0411	-1.7094	0.0525	0.0525
-1.6389	0.0414	0.0414	-1.6339	0.0487	0.0487
-1.5573	0.0437	0.0437	-1.5484	0.0516	0.0516
-1.4787	0.0437	0.0437	-1.4740	0.0529	0.0529
-1.3869	0.0434	0.0434	-1.3767	0.0532	0.0532
-1.3204	0.0426	0.0426	-1.3033	0.0508	0.0508
-1.2400	0.0421	0.0421	-1.2320	0.0502	0.0502
-1.1613	0.0395	0.0395	-1.1603	0.0429	0.0429
-1.0812	0.0396	0.0396	-1.0772	0.0395	0.0395
-1.0001	0.0395	0.0395	-1.0132	0.0371	0.0371
-0.9196	0.0407	0.0407	-0.9203	0.0370	0.0370

-0.8405	0.0405	0.0405	-0.8441	0.0372	0.0372
-0.7556	0.0402	0.0402	-0.7607	0.0383	0.0383
-0.6823	0.0376	0.0376	-0.6763	0.0360	0.0360
-0.6013	0.0355	0.0355	-0.6075	0.0360	0.0360
-0.5328	0.0337	0.0337	-0.5316	0.0303	0.0303
-0.4508	0.0336	0.0336	-0.4444	0.0267	0.0267
-0.3646	0.0324	0.0324	-0.3887	0.0253	0.0253
-0.2824	0.0345	0.0345	-0.2945	0.0233	0.0233
-0.2075	0.0337	0.0337	-0.2145	0.0219	0.0219
-0.1221	0.0303	0.0303	-0.1417	0.0210	0.0210
-0.0548	0.0233	0.0233	-0.0509	0.0164	0.0164
0.0225	0.0178	0.0178	0.0110	0.0156	0.0156
0.0827	0.0125	0.0125	0.0826	0.0119	0.0119
0.1652	0.0107	0.0107	0.1814	0.0065	0.0065
0.2513	0.0091	0.0091	0.2400	0.0057	0.0057
0.3364	0.0124	0.0124	0.3221	0.0048	0.0048
0.4098	0.0119	0.0119	0.4024	0.0015	0.0015
0.4995	0.0094	0.0094	0.4781	0.0003	0.0003
0.5624	0.0058	0.0058	0.5651	-0.0001	-0.0001
0.6391	0.0038	0.0038	0.6342	-0.0007	-0.0007
0.7186	-0.0023	-0.0023	0.7200	-0.0009	-0.0009
0.7999	-0.0031	-0.0031	0.7992	-0.0033	-0.0033
0.8689	-0.0029	-0.0029	0.8772	-0.0022	-0.0022
0.9585	-0.0032	-0.0032	0.9530	-0.0058	-0.0058
1.0400	-0.0032	-0.0032	1.0400	-0.0057	-0.0057
1.1170	-0.0046	-0.0046	1.1022	-0.0093	-0.0093
1.2000	-0.0069	-0.0069	1.1995	-0.0102	-0.0102
1.2617	-0.0082	-0.0082	1.2592	-0.0161	-0.0161
1.3472	-0.0131	-0.0131	1.3485	-0.0183	-0.0183
1.4349	-0.0148	-0.0148	1.4115	-0.0256	-0.0256
1.4925	-0.0128	-0.0128	1.4915	-0.0273	-0.0273
1.5913	-0.0125	-0.0125	1.5628	-0.0323	-0.0323
1.6718	-0.0114	-0.0114	1.6507	-0.0291	-0.0291
1.7488	-0.0125	-0.0125	1.7236	-0.0297	-0.0297
1.8393	-0.0167	-0.0167	1.8265	-0.0292	-0.0292
1.8870	-0.0189	-0.0189	1.8884	-0.0316	-0.0316
1.9704	-0.0240	-0.0240	1.9653	-0.0322	-0.0322
2.0608	-0.0277	-0.0277	2.0391	-0.0408	-0.0408
2.1232	-0.0253	-0.0253	2.1208	-0.0424	-0.0424
2.2211	-0.0249	-0.0249	2.1833	-0.0436	-0.0436
2.2990	-0.0220	-0.0220	2.2804	-0.0423	-0.0423
2.3723	-0.0225	-0.0225	2.3595	-0.0422	-0.0422
2.4754	-0.0265	-0.0265	2.4457	-0.0413	-0.0413
2.5211	-0.0299	-0.0299	2.5213	-0.0452	-0.0452

2.6010	-0.0324	-0.0324	2.5881	-0.0456	-0.0456
2.6821	-0.0389	-0.0389	2.6609	-0.0541	-0.0541
2.7599	-0.0387	-0.0387	2.7575	-0.0579	-0.0579
2.8426	-0.0386	-0.0386	2.8029	-0.0597	-0.0597
2.9223	-0.0357	-0.0357	2.9028	-0.0623	-0.0623
3.0017	-0.0358	-0.0358	2.9791	-0.0647	-0.0647
3.0968	-0.0363	-0.0363	3.0478	-0.0647	-0.0647
3.1596	-0.0372	-0.0372	3.1461	-0.0690	-0.0690
3.2398	-0.0378	-0.0378	3.2023	-0.0700	-0.0700
3.3179	-0.0411	-0.0411	3.2816	-0.0716	-0.0716
3.3985	-0.0409	-0.0409	3.3738	-0.0767	-0.0767
3.4804	-0.0410	-0.0410	3.4398	-0.0771	-0.0771
3.5603	-0.0395	-0.0395	3.5207	-0.0779	-0.0779
3.6397	-0.0396	-0.0396	3.6004	-0.0791	-0.0791
3.7254	-0.0398	-0.0398	3.6774	-0.0810	-0.0810
3.7979	-0.0410	-0.0410	3.7681	-0.0813	-0.0813
3.8796	-0.0431	-0.0431	3.8301	-0.0812	-0.0812
3.9542	-0.0462	-0.0462	3.9194	-0.0810	-0.0810

Таблица 3 – Результаты эксперимента 3. Развертка 10 мкс/дел,
чувствительность 10 мВ/дел

Луч 1, В	D1, В	$\Delta 1$, В	Луч 2, В	D2, В	$\Delta 2$, В
-0.0380	0.0020	0.0020	0.0020	0.0016	0.0016
-0.0373	0.0020	0.0020	0.0020	0.0015	0.0015
-0.0364	0.0020	0.0020	0.0020	0.0015	0.0015
-0.0356	0.0019	0.0019	0.0019	0.0015	0.0015
-0.0349	0.0019	0.0019	0.0019	0.0015	0.0015
-0.0342	0.0019	0.0019	0.0019	0.0015	0.0015
-0.0334	0.0018	0.0018	0.0018	0.0015	0.0015
-0.0325	0.0018	0.0018	0.0018	0.0014	0.0014
-0.0317	0.0018	0.0018	0.0018	0.0014	0.0014
-0.0310	0.0018	0.0018	0.0018	0.0014	0.0014
-0.0302	0.0018	0.0018	0.0018	0.0014	0.0014
-0.0295	0.0018	0.0018	0.0018	0.0014	0.0014
-0.0285	0.0018	0.0018	0.0018	0.0014	0.0014
-0.0279	0.0018	0.0018	0.0018	0.0013	0.0013
-0.0270	0.0018	0.0018	0.0018	0.0013	0.0013
-0.0262	0.0018	0.0018	0.0018	0.0013	0.0013
-0.0254	0.0017	0.0017	0.0017	0.0012	0.0012
-0.0247	0.0017	0.0017	0.0017	0.0012	0.0012
-0.0240	0.0017	0.0017	0.0017	0.0012	0.0012
-0.0231	0.0017	0.0017	0.0017	0.0012	0.0012
-0.0223	0.0016	0.0016	0.0016	0.0012	0.0012
-0.0216	0.0016	0.0016	0.0016	0.0012	0.0012
-0.0207	0.0016	0.0016	0.0016	0.0011	0.0011
-0.0201	0.0015	0.0015	0.0015	0.0011	0.0011
-0.0193	0.0015	0.0015	0.0015	0.0010	0.0010
-0.0186	0.0015	0.0015	0.0015	0.0010	0.0010
-0.0176	0.0014	0.0014	0.0014	0.0009	0.0009
-0.0169	0.0014	0.0014	0.0014	0.0009	0.0009
-0.0163	0.0015	0.0015	0.0015	0.0008	0.0008
-0.0153	0.0015	0.0015	0.0015	0.0008	0.0008
-0.0145	0.0014	0.0014	0.0014	0.0007	0.0007
-0.0137	0.0014	0.0014	0.0014	0.0007	0.0007
-0.0130	0.0014	0.0014	0.0014	0.0007	0.0007
-0.0124	0.0013	0.0013	0.0013	0.0006	0.0006
-0.0115	0.0013	0.0013	0.0013	0.0006	0.0006
-0.0107	0.0013	0.0013	0.0013	0.0006	0.0006
-0.0099	0.0013	0.0013	0.0013	0.0005	0.0005
-0.0092	0.0013	0.0013	0.0013	0.0005	0.0005
-0.0083	0.0013	0.0013	0.0013	0.0005	0.0005

-0.0074	0.0013	0.0013	0.0013	0.0006	0.0006
-0.0067	0.0012	0.0012	0.0012	0.0006	0.0006
-0.0060	0.0012	0.0012	0.0012	0.0005	0.0005
-0.0054	0.0012	0.0012	0.0012	0.0004	0.0004
-0.0044	0.0012	0.0012	0.0012	0.0004	0.0004
-0.0037	0.0011	0.0011	0.0011	0.0003	0.0003
-0.0028	0.0011	0.0011	0.0011	0.0003	0.0003
-0.0021	0.0011	0.0011	0.0011	0.0002	0.0002
-0.0013	0.0010	0.0010	0.0010	0.0003	0.0003
-0.0007	0.0010	0.0010	0.0010	0.0002	0.0002
0.0001	0.0010	0.0010	0.0010	0.0003	0.0003
0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0003	0.0003
0.0016	0.0009	0.0009	0.0009	0.0003	0.0003
0.0024	0.0009	0.0009	0.0009	0.0003	0.0003
0.0032	0.0008	0.0008	0.0008	0.0003	0.0003
0.0040	0.0008	0.0008	0.0008	0.0002	0.0002
0.0048	0.0008	0.0008	0.0008	0.0002	0.0002
0.0055	0.0007	0.0007	0.0007	0.0002	0.0002
0.0063	0.0007	0.0007	0.0007	0.0001	0.0001
0.0071	0.0007	0.0007	0.0007	0.0001	0.0001
0.0078	0.0007	0.0007	0.0007	0.0001	0.0001
0.0087	0.0006	0.0006	0.0006	0.0001	0.0001
0.0095	0.0006	0.0006	0.0006	0.0001	0.0001
0.0102	0.0006	0.0006	0.0006	0.0000	0.0000
0.0110	0.0006	0.0006	0.0006	-0.0000	-0.0000
0.0118	0.0005	0.0005	0.0005	-0.0001	-0.0001
0.0124	0.0005	0.0005	0.0005	-0.0001	-0.0001
0.0133	0.0005	0.0005	0.0005	-0.0001	-0.0001
0.0139	0.0004	0.0004	0.0004	-0.0001	-0.0001
0.0149	0.0004	0.0004	0.0004	-0.0001	-0.0001
0.0156	0.0004	0.0004	0.0004	-0.0001	-0.0001
0.0163	0.0004	0.0004	0.0004	-0.0002	-0.0002
0.0173	0.0004	0.0004	0.0004	-0.0003	-0.0003
0.0179	0.0004	0.0004	0.0004	-0.0003	-0.0003
0.0188	0.0004	0.0004	0.0004	-0.0003	-0.0003
0.0196	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0003	-0.0003
0.0203	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0003	-0.0003
0.0210	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0003	-0.0003
0.0220	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0004	-0.0004
0.0227	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0004	-0.0004
0.0234	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0004	-0.0004
0.0242	0.0002	0.0002	0.0002	-0.0005	-0.0005
0.0251	0.0001	0.0001	0.0001	-0.0005	-0.0005
0.0256	0.0001	0.0001	0.0001	-0.0005	-0.0005

0.0264	0.0001	0.0001	0.0001	-0.0006	-0.0006
0.0273	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0006	-0.0006
0.0281	0.0001	0.0001	0.0001	-0.0006	-0.0006
0.0289	0.0001	0.0001	0.0001	-0.0006	-0.0006
0.0298	0.0001	0.0001	0.0001	-0.0006	-0.0006
0.0304	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0006	-0.0006
0.0312	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0007	-0.0007
0.0319	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0007	-0.0007
0.0327	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0007	-0.0007
0.0334	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0007	-0.0007
0.0344	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0007	-0.0007
0.0351	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0007	-0.0007
0.0358	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0008	-0.0008
0.0366	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0008	-0.0008
0.0375	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0008	-0.0008
0.0383	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0008	-0.0008
0.0389	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0008	-0.0008
0.0396	-0.0004	-0.0004	-0.0004	-0.0009	-0.0009

Таблица 4 – Результаты эксперимента 4.Развертка 100 мкс/дел,
чувствительность 1В/дел

Луч 1, В	D1, В	Δ 1, В	Луч 2, В	D2, В	Δ 2, В
-0.0380	0.0020	0.0020	-0.0385	0.0015	0.0015
-0.0373	0.0019	0.0019	-0.0380	0.0013	0.0013
-0.0365	0.0019	0.0019	-0.0371	0.0013	0.0013
-0.0357	0.0019	0.0019	-0.0364	0.0012	0.0012
-0.0348	0.0019	0.0019	-0.0356	0.0012	0.0012
-0.0342	0.0019	0.0019	-0.0348	0.0012	0.0012
-0.0332	0.0019	0.0019	-0.0339	0.0012	0.0012
-0.0327	0.0018	0.0018	-0.0333	0.0012	0.0012
-0.0317	0.0018	0.0018	-0.0325	0.0012	0.0012
-0.0310	0.0018	0.0018	-0.0315	0.0011	0.0011
-0.0301	0.0018	0.0018	-0.0309	0.0011	0.0011
-0.0295	0.0018	0.0018	-0.0301	0.0011	0.0011
-0.0286	0.0018	0.0018	-0.0295	0.0010	0.0010
-0.0279	0.0018	0.0018	-0.0287	0.0010	0.0010
-0.0269	0.0018	0.0018	-0.0277	0.0010	0.0010
-0.0263	0.0017	0.0017	-0.0270	0.0010	0.0010
-0.0256	0.0017	0.0017	-0.0263	0.0010	0.0010
-0.0249	0.0016	0.0016	-0.0253	0.0009	0.0009
-0.0241	0.0016	0.0016	-0.0247	0.0009	0.0009
-0.0232	0.0016	0.0016	-0.0240	0.0009	0.0009
-0.0224	0.0016	0.0016	-0.0232	0.0009	0.0009
-0.0216	0.0016	0.0016	-0.0223	0.0009	0.0009
-0.0209	0.0015	0.0015	-0.0214	0.0008	0.0008
-0.0201	0.0015	0.0015	-0.0207	0.0008	0.0008
-0.0193	0.0014	0.0014	-0.0201	0.0008	0.0008
-0.0186	0.0014	0.0014	-0.0194	0.0007	0.0007
-0.0179	0.0014	0.0014	-0.0185	0.0006	0.0006
-0.0171	0.0013	0.0013	-0.0178	0.0007	0.0007
-0.0162	0.0014	0.0014	-0.0170	0.0007	0.0007
-0.0154	0.0014	0.0014	-0.0158	0.0007	0.0007
-0.0146	0.0013	0.0013	-0.0153	0.0007	0.0007
-0.0139	0.0013	0.0013	-0.0143	0.0007	0.0007
-0.0133	0.0013	0.0013	-0.0138	0.0006	0.0006
-0.0125	0.0012	0.0012	-0.0131	0.0006	0.0006
-0.0115	0.0012	0.0012	-0.0122	0.0005	0.0005
-0.0108	0.0012	0.0012	-0.0114	0.0005	0.0005
-0.0100	0.0012	0.0012	-0.0108	0.0005	0.0005
-0.0091	0.0012	0.0012	-0.0099	0.0005	0.0005
-0.0085	0.0011	0.0011	-0.0091	0.0004	0.0004

-0.0078	0.0011	0.0011	-0.0084	0.0004	0.0004
-0.0069	0.0011	0.0011	-0.0076	0.0004	0.0004
-0.0061	0.0010	0.0010	-0.0068	0.0004	0.0004
-0.0055	0.0010	0.0010	-0.0059	0.0004	0.0004
-0.0046	0.0010	0.0010	-0.0055	0.0004	0.0004
-0.0037	0.0010	0.0010	-0.0043	0.0003	0.0003
-0.0029	0.0010	0.0010	-0.0038	0.0002	0.0002
-0.0022	0.0010	0.0010	-0.0030	0.0003	0.0003
-0.0014	0.0010	0.0010	-0.0022	0.0002	0.0002
-0.0008	0.0009	0.0009	-0.0013	0.0002	0.0002
0.0001	0.0009	0.0009	-0.0006	0.0002	0.0002
0.0008	0.0008	0.0008	0.0002	0.0002	0.0002
0.0016	0.0008	0.0008	0.0010	0.0002	0.0002
0.0024	0.0008	0.0008	0.0018	0.0001	0.0001
0.0032	0.0008	0.0008	0.0024	0.0001	0.0001
0.0040	0.0008	0.0008	0.0032	0.0001	0.0001
0.0048	0.0007	0.0007	0.0042	0.0001	0.0001
0.0054	0.0006	0.0006	0.0047	0.0001	0.0001
0.0061	0.0006	0.0006	0.0056	0.0001	0.0001
0.0068	0.0005	0.0005	0.0065	-0.0000	-0.0000
0.0076	0.0005	0.0005	0.0072	-0.0001	-0.0001
0.0085	0.0004	0.0004	0.0078	-0.0001	-0.0001
0.0093	0.0004	0.0004	0.0087	-0.0001	-0.0001
0.0098	0.0005	0.0005	0.0096	-0.0001	-0.0001
0.0109	0.0004	0.0004	0.0103	-0.0001	-0.0001
0.0118	0.0004	0.0004	0.0111	-0.0001	-0.0001
0.0124	0.0004	0.0004	0.0120	-0.0001	-0.0001
0.0131	0.0004	0.0004	0.0126	-0.0002	-0.0002
0.0140	0.0003	0.0003	0.0133	-0.0002	-0.0002
0.0145	0.0003	0.0003	0.0142	-0.0002	-0.0002
0.0155	0.0002	0.0002	0.0150	-0.0002	-0.0002
0.0162	0.0002	0.0002	0.0157	-0.0003	-0.0003
0.0170	0.0002	0.0002	0.0166	-0.0003	-0.0003
0.0180	0.0002	0.0002	0.0173	-0.0003	-0.0003
0.0186	0.0002	0.0002	0.0179	-0.0004	-0.0004
0.0194	0.0002	0.0002	0.0190	-0.0004	-0.0004
0.0201	0.0001	0.0001	0.0194	-0.0004	-0.0004
0.0210	0.0001	0.0001	0.0205	-0.0004	-0.0004
0.0217	0.0001	0.0001	0.0212	-0.0004	-0.0004
0.0225	0.0001	0.0001	0.0219	-0.0004	-0.0004
0.0233	0.0001	0.0001	0.0228	-0.0005	-0.0005
0.0240	0.0001	0.0001	0.0235	-0.0005	-0.0005
0.0249	0.0000	0.0000	0.0242	-0.0005	-0.0005
0.0255	0.0000	0.0000	0.0250	-0.0006	-0.0006

0.0265	-0.0000	-0.0000	0.0258	-0.0006	-0.0006
0.0272	-0.0000	-0.0000	0.0267	-0.0006	-0.0006
0.0279	-0.0000	-0.0000	0.0275	-0.0006	-0.0006
0.0288	-0.0000	-0.0000	0.0282	-0.0006	-0.0006
0.0296	-0.0001	-0.0001	0.0290	-0.0006	-0.0006
0.0303	-0.0001	-0.0001	0.0298	-0.0007	-0.0007
0.0312	-0.0001	-0.0001	0.0304	-0.0008	-0.0008
0.0318	-0.0002	-0.0002	0.0311	-0.0008	-0.0008
0.0326	-0.0002	-0.0002	0.0320	-0.0009	-0.0009
0.0333	-0.0002	-0.0002	0.0327	-0.0009	-0.0009
0.0341	-0.0002	-0.0002	0.0336	-0.0009	-0.0009
0.0351	-0.0003	-0.0003	0.0344	-0.0008	-0.0008
0.0358	-0.0002	-0.0002	0.0350	-0.0008	-0.0008
0.0365	-0.0002	-0.0002	0.0361	-0.0009	-0.0009
0.0373	-0.0003	-0.0003	0.0367	-0.0009	-0.0009
0.0381	-0.0003	-0.0003	0.0375	-0.0008	-0.0008
0.0389	-0.0003	-0.0003	0.0383	-0.0009	-0.0009
0.0397	-0.0003	-0.0003	0.0392	-0.0008	-0.0008