

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

<b>Тема работы</b>
Автоматизированная система коррекции искажения формы сигнала сильноточным токовым шунтом

УДК 004.896:621.317.727:621.317.

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E71	Александров Артем Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Заревич А.И.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Дукарт С.А.	к.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Аверкиев А.А.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Т.Е..	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Общекультурные (универсальные) компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности;
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
ОПК(У)-2	Владеет физико-математическим аппаратом, необходимым для описания мехатронных и робототехнических систем
ОПК(У)-3	Владеет современными информационными технологиями, готовностью применять современные средства автоматизированного проектирования и машинной графики при проектировании систем и их отдельных модулей, а также для подготовки конструкторско-технологической документации, соблюдать основные требования информационной безопасности
ОПК(У)-4	Готов собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-5	Способен использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
<b>Профессиональные компетенции выпускников</b>	
ПК(У)-1	Способен составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и

	модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники
<b>ПК(У)-2</b>	Способен разрабатывать программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования
<b>ПК(У)-3</b>	Способен разрабатывать экспериментальные макеты управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводить их экспериментальное исследование с применением современных информационных технологий
<b>ПК(У)-4</b>	Способен осуществлять анализ научно-технической информации, обобщать отечественный и зарубежный опыт в области средств автоматизации и управления, проводить патентный поиск
<b>ПК(У)-5</b>	Способен проводить эксперименты на действующих макетах, образцах мехатронных и робототехнических систем по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств
<b>ПК(У)-6</b>	Способен проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных пакетов с целью исследования математических моделей мехатронных и робототехнических систем
<b>ПК(У)-7</b>	Готов участвовать в составлении аналитических обзоров и научно-технических отчетов по результатам выполненной работы, в подготовке публикаций по результатам исследований и разработок
<b>ПК(У)-8</b>	Способен внедрять результаты исследований и разработок и организовывать защиту прав на объекты интеллектуальной собственности
<b>ПК(У)-9</b>	Способен участвовать в качестве исполнителя в научно-исследовательских разработках новых робототехнических и мехатронных систем
<b>ПК(У)-10</b>	Готов участвовать в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей
<b>ПК(У)-11</b>	Способен производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием
<b>ПК(У)-12</b>	Способен разрабатывать конструкторскую и проектную документацию механических, электрических и электронных узлов мехатронных и робототехнических систем в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями
<b>ПК(У)-13</b>	Готов участвовать в проведении предварительных испытаний составных частей опытного образца мехатронной или робототехнической системы по заданным программам и методикам и вести соответствующие журналы испытаний
<b>ДПК (У)-1</b>	Способен проводить проверку технического состояния оборудования, настройку систем управления и обработки информации с использованием соответствующих инструментальных средств

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.06. Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения – осенний/весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021
--	------------

Студенту:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	60
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
	Социальная ответственность	20

**Составил руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Заревич А.И.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.06. Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 Мамонова Т.Е.  
 \_\_\_\_\_  
 (Подпись)                      (Дата)                      (ФИО)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
8E71	Александрову Артему Владимировичу

Тема работы:

Автоматизированная система коррекции искажения формы сигнала сильноточным токовым шунтом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 50-13/с от 19.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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></p>	<p>Объектом исследования являются методы восстановления формы сложного сигнала. Цель работы – является повышение точности осциллографического метода измерения мгновенных значений переменного тока сложной формы.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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 литературный обзор по теме сильноточных токовых шунтов, определить основные источники погрешности преобразования измеряемого тока, определить методы, позволяющие снизить данные погрешности и реализовать автоматизированную систему, осуществляющую коррекцию сигнала, искажённого токовым шунтом, провести её экспериментальное исследование</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>- графики экспериментально полученных поправок к амплитудным характеристикам измерительных каналов цифрового осциллографа; - презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Дукарт Сергей Александрович</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Аверкиев Алексей Анатольевич</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p> </p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику:</b></p>	<p> </p>
---	----------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Заревич А.И.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E71	Александров А.В.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8E71	Александрову Артему Владимировичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление</b>	15.03.06. Мехатроника и робототехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Бюджет проекта – не более 453945,7 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 257657,6 руб
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	-Коэффициент дополнительной заработной платы 12%; -Накладные расходы 16%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Описание целевой аудитории - Проведение QuaD-анализа.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: определение структуры работ, определение трудоемкости работ, разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты, затраты на специальное оборудование, заработная плата (основная и дополнительная), социальные отчисления, накладные расходы.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение потенциального эффекта исследования

#### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ

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

Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент ОСГН ШБИП	Дукарт Сергей Александрович	к.и.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8E71	Александров Артем Владимирович		



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8E71	Александров Артем Владимирович

<b>Школа</b>	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение автоматизации и робототехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

Автоматизированная система коррекции искажения формы сигнала сильноточным токовым шунтом

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – процесс искажения формы сигнала путем воздействия на систему сильноточным токовым шунтом. Рабочая зона – место в комнате, за рабочим персональным компьютером. Область применения – проведение экспериментов студентами или научными сотрудниками.</p>
---	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018). ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Поправкой) СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы</p>
--	---

	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (с Изменением N 1) ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации (с изменениями на 31 декабря 2020 года)
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: 1. Отклонение показателей микроклимата 2. Превышение уровня шума 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Загрязнение гидросферы и литосферы при утилизации электроприборов и канцелярии.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: пожары, обрушения помещений, землетрясения, наводнения, ураганы, эпидемии, пандемии, теракты. Наиболее типичная ЧС: пожар.

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Аверкиев Алексей Анатольевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е71	Александров Артем Владимирович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 87 страниц., 22 рисунка., 25 таблиц., 21 источник, 2 приложения.

ключевые слова: сильноточный токовый шунт, автоматизированная измерительная система, цифровая обработка сигналов, погрешности измерения, LabVIEW, DAQ.

keywords: high-current shunt, automated measuring system, digital signal processing, measurement errors, LabVIEW, DAQ.

Объектом исследования являются методы восстановления формы сложного сигнала.

Цель работы – является повышение точности осциллографического метода измерения мгновенных значений переменного тока сложной формы.

В работе было использовано следующее оборудование:

- персональный компьютер с операционной системой Windows 10;
- программный пакет LabVIEW;
- с набором драйверов DAQmx;
- DAQ устройство M серии NI USB 6251;
- генератор сигнала АКТАКОМ AWG-4105 (2 экземпляра);
- осциллограф цифровой АКТАКОМ АСК-2041.

В процессе исследования проводились: экспериментальные исследования по восстановлению формы сложного сигнала, искаженного токовым шунтом

В результате исследования было показано, что использование цифровых фильтров в качестве корректирующей цепи позволяет существенно минимизировать искажения формы сигнала с выхода токового шунта.

Область применения: измерения токов сложной формы, учебный процесс в ВУЗах по направлениям автоматизация, электроника, метрология.

## Оглавление

Введение .....	15
1 Сильноточные токовые шунты переменного тока .....	18
1.1 Электрическая модель шунта переменного тока.....	18
1.2 Паразитные эффекты.....	20
1.3 Метрологические характеристики шунта .....	21
1.4 Виды и конструкции сильноточных токовых шунтов переменного тока.....	23
1.4.1 Плоские шунты .....	23
1.4.2 Коаксиальные шунты .....	26
1.4.3 Стержневые шунты .....	28
1.5 Сравнительный анализ шунтов различных конструкций.....	31
2 Методы минимизации искажений токовым шунтом переменного тока.....	33
2.1 Конструктивные параметры коаксиального шунта.....	33
2.2 Расширение амплитудно-частотной характеристики коаксиального шунта.....	35
3 Автоматизированная система коррекции сигнала шунта.....	40
3.1 Подходы к использованию цифровой коррекции сигнала шунта .....	40
3.2 Описание экспериментальной установки.....	41
3.2.1 Характеристики экспериментального оборудования.....	42
3.2.2 Система восстановления формы сигнала .....	47
3.3 Эксперимент по восстановлению формы сигнала шунта.....	49
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ .....	53
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	53
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	53
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	54
4.1.3 Технология QuaD.....	54
4.1.4 SWOT-анализ .....	56
4.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	57

4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	57
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	58
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования .....	59
4.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	60
4.3.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	60
4.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ 61	
4.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	63
4.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	65
4.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	65
4.3.6	Накладные расходы .....	66
4.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	67
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	68
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	70
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	70
5.2	Производственная безопасность .....	71
5.2.1	Отклонение показателей микроклимата .....	72
5.2.2	Превышение уровня шума .....	74
5.2.3	Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	75
5.2.4	Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего) .....	76
5.2.5	Повышенная напряженность электрического поля .....	76
5.2.6	Поражение электрическим током .....	77
5.3	Экологическая безопасность .....	77
5.3.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	77
5.3.2	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду .....	78
5.3.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	78
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	79

5.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований .....	79
5.4.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	79
5.4.3	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	79
	Заключение.....	81
	Список использованных источников.....	82
	ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Временные показатели осуществления разработки.....	
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Календарный план-график проведения работ .....	

## Введение

В современных технологических процессах используются источники импульсного тока сложной формы. Амплитудные и временные параметры, формируемых этими источниками импульсов, влияют на качество технологического процесса и конечного продукта. Типичной задачей в таких применениях является измерение формы больших импульсных и кратковременных токов в широком частотном диапазоне. Важно с достаточной для практики точностью измерять эти параметры для целенаправленного управления технологическим процессом.

Актуальность работы обусловлена возрастающими требованиями промышленности и науки в измерении импульсов тока большой амплитуды, для выполнения которых применяются токовые шунты. Проблемой разработки преобразователей больших токов для измерения импульсов тока занимаются ведущие испытательные лаборатории силового оборудования разных стран, такие как CESI (Италия), ESEF (Франция) и др. Для преобразователей импульсных токов большой амплитуды (например, токовых шунтов) [1, 2] актуальна задача определения метрологических характеристик. При этом необходимо контролировать параметры изменения тока во времени. Для регистрации этих величин необходимо иметь обладающие достаточной точностью измерительные преобразователи тока. [1, 2]

В качестве измерительных преобразователей тока произвольной формы традиционно используются широкополосные импульсные трансформаторы тока, датчики на эффекте Холла, пояс Роговского и резистивные токовые шунты.

Особое значение для средств измерений переменного тока имеют шунты переменного тока [3], обеспечивающие построение измерителей и калибраторов тока, мощности, энергии и угла фазового сдвига. Шунт представляет собой четырехполюсник, содержащий в простейшем случае резистивную и контактную части. Контактная часть содержит два токовых и два потенциальных контакта. Основными преимуществами шунтов перед другими статическими

преобразователями (например, трансформаторами) являются: независимость от рода тока (постоянный, переменный, импульсный), сохранение формы кривой измерительного тока, возможность аттестации шунтов на постоянном токе и неизменность коэффициента преобразования в широком диапазоне частот переменного тока, вплоть до единиц мегагерц. При регистрации больших быстроизменяющихся токов первостепенное значение приобретают динамические характеристики этих преобразователей.

Динамической называется характеристика, описывающая поведение шунта во временной и частотной областях. К таким характеристикам относятся амплитудно-частотная (АЧХ), фазочастотная (ФЧХ) и переходная характеристики. Под этими терминами, применительно к шунтам, понимается частотная зависимость его полного сопротивления, обусловленная паразитными параметрами. То есть, как и любой электронный компонент, шунт обладает помимо омического сопротивления и паразитными параметрами – ёмкостью и индуктивностью. А значит, его полное сопротивление зависит от частоты преобразуемого тока.

Фактически, токовый шунт является сопротивлением крайне малого значения – порядка десятков мОм и менее. В силу своего малого сопротивления, он не вносит существенного влияния в измерительную цепь. При этом, падение напряжения на таком малом сопротивлении пропорционально протекающему через него току по закону Ома.

С позиции преобразований, производимых токовым шунтом, его можно отнести к линейным фильтрам низких частот. Таким образом, шунт вносит искажения в исходный сигнал, обусловленные подавлением его высокочастотных составляющих.

В ряде исследований [4] было показано, что минимизация этих искажений может быть достигнута за счёт использования корректирующих цепей. Эти цепи представляют собой разнообразные фильтры верхних частот. Их совместное использование с токовым шунтом позволяет существенно линеаризовать АЧХ такой системы. То есть избавиться от частотной зависимости коэффициента



преобразования шунта. В этих работах корректирующие цепи выполнялись на основе электронных компонент. Это делало такие системы не адаптивными и для каждого нового шунта необходимо было создавать свою корректирующую цепь.

В данной работе предлагается реализация корректирующей цепи программно, как элемента системы цифровой обработки сигнала. При этом сигнал с выхода шунта поступает на вход устройства сбора данных, далее он преобразуется корректирующим блоком и уже затем, в восстановленном виде отображается на экране.

**Объектом исследования** являются методы восстановления формы сложного сигнала.

**Целью работы** является повышение точности осциллографического метода измерения мгновенных значений переменного тока сложной формы.

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

1. Провести рассмотрение токовых шунтов и конкретизировать факторы, приводящие к искажению сигналов тока. Рассмотреть способы коррекции этих искажений.
2. Разработать систему, автоматически реализующую коррекцию формы сигнала.
3. Провести экспериментальное исследование влияния корректирующих фильтров на восстановление формы сигналов токового шунта.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что проведенные в данной работе исследования могут предложить апробированные алгоритмы для дальнейших работ, направленных на минимизацию систематической искажений, возникающей при измерениях мгновенных значений токов сигналов сложной формы.

## 1 Сильноточные токовые шунты переменного тока

Настоящий раздел работы посвящён видам токовых шунтов. Дано описание конструкции разработанного в ТПУ сильноточного токового шунта. Приведены причины, вызывающие искажения измеряемого тока.

### 1.1 Электрическая модель шунта переменного тока

Резистивный шунт переменного тока представляет собой измерительный преобразователь входного переменного тока в пропорциональное ему выходное переменное напряжение, фазовый сдвиг между которыми в идеальном случае должен быть равен нулю [6]. Такой резистивный преобразователь включается в электрическую цепь по четырехзажимной схеме (рисунок 1.1). Входной ток подается на токовые выходы (ТВ), а выходное напряжение снимается с потенциальных выводов (ПВ).

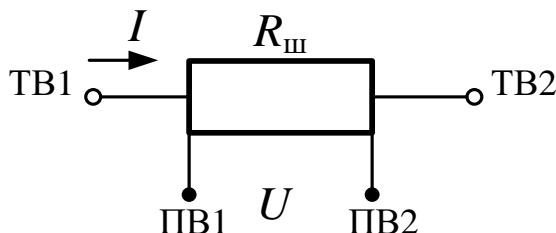


Рисунок 1.1 – Схематическое обозначение шунта

К резистивным преобразователям переменного тока, как и к любым измерительным преобразователям, предъявляются требования линейности функции преобразования в динамическом и частотном диапазонах.

Эти требования в определенной степени позволяет удовлетворить выбор для резистивного элемента шунта материала с большим удельным сопротивлением, например, манганин. Манганин выбирается чаще других сплавов (нихрома, константана, маргалина и др.), благодаря возможности обеспечения надежного электрического контакта с токовыми медными

выводами, малым температурному коэффициенту сопротивления и удельной термо-ЭДС в паре с медью [7].

Шунт переменного тока описывается стандартной электрической моделью, состоящей из активного сопротивления  $R_{ш}$ , индуктивности  $L$  и емкости  $C$  (рисунок 1.2).

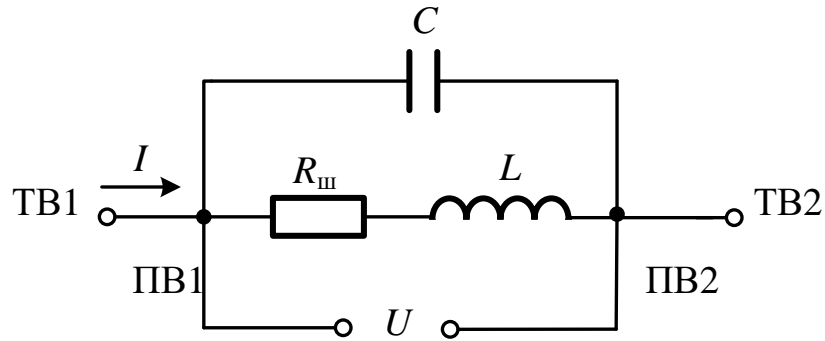


Рисунок 1.2 – Электрическая модель шунта переменного тока

Для измерений больших токов обычно используют шунт с сопротивлением менее 0,1 Ом, так чтобы влиянием паразитной емкости можно было пренебречь вплоть до высоких частот.

Из стандартной модели следует, что комплексный коэффициент преобразования  $\dot{Z}$  шунта определяется выражением [8]:

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R_{ш} + j\omega L = z e^{j\varphi}, \quad (1.1)$$

где  $\dot{I}$  – комплексный действующий ток;

$\dot{U}$  – комплексное действующее напряжение;

$\omega L$  – реактивная составляющая, вызванная влиянием остаточного магнитного поля;

$z$  – модуль коэффициента преобразования шунта;

$\varphi$  – угол фазового сдвига между векторами тока  $\dot{I}$  и напряжения  $\dot{U}$ .

В соответствии с выражением (1.1) комплексный коэффициент преобразования шунта имеет активную и реактивную составляющие. Активная

составляющая представлена в виде активного сопротивления, которое определяется по формуле:

$$R_{\text{ш}} = \frac{U}{I}, \quad (1.2)$$

где  $I$  и  $U$  – значения входного тока и выходного напряжения.

## 1.2 Паразитные эффекты

Зависимость активного сопротивления шунта переменного тока от частоты сигнала вызвана влиянием паразитных эффектов, а именно поверхностного эффекта (скин-эффекта) и эффекта близости [9].

*Поверхностный эффект* (скин-эффект) выражается в неравномерном распределении плотности переменного тока по сечению резистивного элемента шунта. Плотность тока с повышением частоты сосредоточена в поверхностном слое и практически отсутствует в центральной части шунта. Следовательно, центральная часть сечения практически не используется, что приводит к увеличению активного сопротивления шунта при прохождении переменного тока относительно постоянного. Для определения динамических характеристик резистивных преобразователей тока на высоких частотах необходимо учитывать вклад изменения сопротивления шунта, возникающего за счет скин-эффекта. По известной формуле можно рассчитать глубину скин-слоя:

$$d_{\text{skin}}(f) = \sqrt{\frac{\rho}{\mu \pi f}}, \quad (1.3)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала;

$\mu$  – магнитная проницаемость материала;

$f$  – частота сигнала.

С ростом частоты линии плотности электрического тока смещаются к внешней поверхности резистивного элемента, что уменьшает его поперечное сечение.

Уменьшение поперечного сечения ведет к изменению активной составляющей полного сопротивления шунта за счет скин-эффекта и вследствие

этого уменьшается полоса пропускания. Однако, степень неравномерного распределения плотности тока зависит не только от частоты сигнала, но и от увеличения площади поперечного сечения и физических параметров используемого материала, а именно от магнитной проницаемости  $\mu$  и удельного сопротивления  $\rho$  резистивного элемента [9].

*Эффект близости* проявляется при протекании тока высокой частоты по проводникам, расположенным близко друг от друга, таким образом, нарушается равномерное симметричное распределение плотности тока по их сечениям. Распределения магнитных полей указывают на то, что при протекании однонаправленных токов в проводниках наблюдается вытеснение плотности тока к поверхностям проводников, наиболее удаленных друг от друга. Если по проводам протекают противоположно направленные токи, то наибольшее значение плотность тока достигает в близкорасположенных поверхностях.

Вызываемая эффектом близости неравномерность распределения тока по сечению проводов приводит к увеличению потерь энергии, а также к увеличению разницы активного сопротивления шунта между переменным и постоянным токами.

### 1.3 Метрологические характеристики шунта

Основными метрологическими характеристиками измерительного преобразователя переменного тока, в том числе и шунта, в соответствии с ГОСТ 8.009 являются:

- коэффициент преобразования (функция преобразования);
- динамические характеристики.

Для шунта, предназначенного для измерений больших переменных токов, помимо характеристик определенных в [10], необходимо учитывать энергетические характеристики (нагрузочная способность).

**Нагрузочная способность.** Под нагрузочной способностью понимается максимальная энергия, выделяемая на шунте, при которой температура перегрева не превышает установленного значения. В шунтах, используемых для

измерений однократных импульсов или повторяющихся кратковременных сигналов, имеет место адиабатический режим нагревания. При этом вся энергия, выделяющаяся при протекании тока по резистивному элементу, расходуется на его нагрев. Соответствующая нагрузочная способность резистивного элемента определяется интегралом Джоуля:

Таким образом, можно, для заданной нагрузочной способности определить площадь поперечного сечения резистивного элемента и максимально возможное значение тока.

**Динамическая характеристика.** Важнейшим качественным показателем шунта является динамическая характеристика (ДХ), которая описывает его поведение в частотной и временной областях, т.е. при изменении во времени измеряемой величины.

Выделяют пять видов динамических характеристик средств измерений [10]:

- дифференциальное уравнение;
- импульсная характеристика;
- переходная характеристика;
- передаточная функция;
- совокупность амплитудно- и фазочастотной характеристик.

Для токового шунта в основном нормируются переходная, импульсная, амплитудно- (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики. Для определения данных характеристик необходимо воздействовать на шунт следующими сигналами:

- ступенчатым импульсом, описываемым единичной функцией;
- единичным импульсом, описываемым дельта-функцией или функцией Дирака;
- синусоидальным установившимся сигналом.

Между динамическими характеристиками средств измерений существует связь, следовательно, имеется возможность определить любую другую.

В динамическом режиме характер изменения функции преобразования шунта можно описать линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами.

Основные метрологические характеристики резистивных преобразователей тока зависят от конструктивных особенностей резистивного элемента шунта. Поэтому далее рассмотрим существующие конструкции шунтов.

#### **1.4 Виды и конструкции сильноточных токовых шунтов переменного тока**

Для регистрации больших токов в широком частотном диапазоне используются шунты с бифилярным расположением элементов, содержащие проводники с прямым и обратным направлением тока. Такая конструкция позволяет существенно снизить собственную индуктивность шунта [11].

В соответствии с конструктивным исполнением резистивного элемента выделяют плоские, дисковые, стержневые и коаксиальные шунты переменного тока. На практике для измерений быстроизменяющихся сигналов чаще используются плоские и коаксиальные резистивные преобразователи, которые будут рассмотрены подробнее.

##### **1.4.1 Плоские шунты**

Плоский шунт переменного тока представляет собой одну из наиболее простых конструкций для изготовления. Бифилярная конструкция плоского шунта показана на рисунке 1.3. На медные токовые выводы подается измеряемый ток, который проходит по ленте, сложенной вдвое с зазором, выполненной из, например манганина.

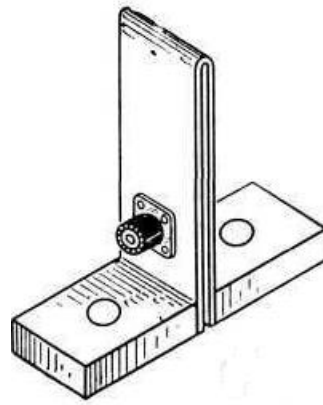


Рисунок 1.3 – Бифилярный плоский шунт

При минимальном зазоре с ростом частоты наблюдается вытеснение тока к краям ленты, таким образом, проявляется краевой эффект или эффект близости. Также с ростом частоты переменного тока обнаруживается смещение тока к внутренним поверхностям ленты, которое приводит к изменению активного сопротивления шунта на постоянном токе и фазовому сдвигу между входным током и выходным напряжением. Для уменьшения влияния краевого и поверхностного эффектов необходимо уменьшать толщину ленты и расстояние между поверхностями бифиляра.

Разработкой плоских шунтов занимались как российские, так и зарубежные ученые [16-21]. В настоящее время существует большое разнообразие конструкций данных шунтов.

На рисунке 1.4 представлен шунт, резистивный элемент которого изогнут и образует несколько ребер, обеспечивающих эффективное охлаждение за счет большой площади теплоотдачи и низкую индуктивность [17].



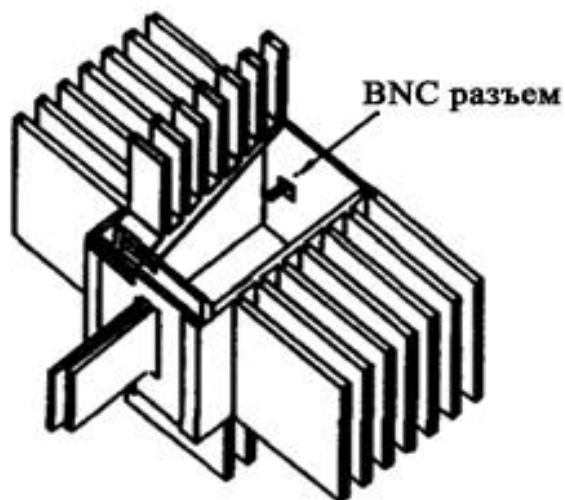


Рисунок 1.4 – Плоский шунт переменного тока

а) конструкция интегрированного шунта; б) поперечное сечение шунта

Также возможен пример шунта, получившего название «Сэндвич». Данная конструкция состоит из тонкой плоской резистивной ленты, которая сложена в несколько раз [17]. За счет неоднократного сложения резистивной ленты и расположения изолирующего материала между ее сторонами компенсируется эффект близости и уменьшается собственная индуктивность шунта. Уменьшение толщины ленты приводит к минимизации скин-эффекта, который проявляется только выше 100 кГц без потери нагрузочной способности шунта. Однако уменьшение толщины ленты требует увеличения габаритных размеров шунта.

Существенными *недостатками* плоских шунтов считается чувствительность конструкции к влиянию магнитных полей, образуемых токовыми цепями. Также наличие поверхностного эффекта и эффекта близости ограничивают его применение для прецизионных измерений в широком частотном диапазоне.

*Достоинством* плоских шунтов является то, что конструкция резистивной части дает возможность применения простой и современной технологии изготовления и подгонки сопротивления шунта, а также позволяет точнее выдержать зазор между поверхностями ленты и повысить условия теплоотдачи.

### 1.4.2 Коаксиальные шунты

Конструктивно коаксиальный шунт состоит из двух вложенных друг в друга цилиндров, по которым ток протекает в противоположных направлениях (рисунок 1.5). Внутренний цилиндр изготавливают из резистивного материала с большим удельным сопротивлением, например манганина, а внешний – с меньшим, например из меди.

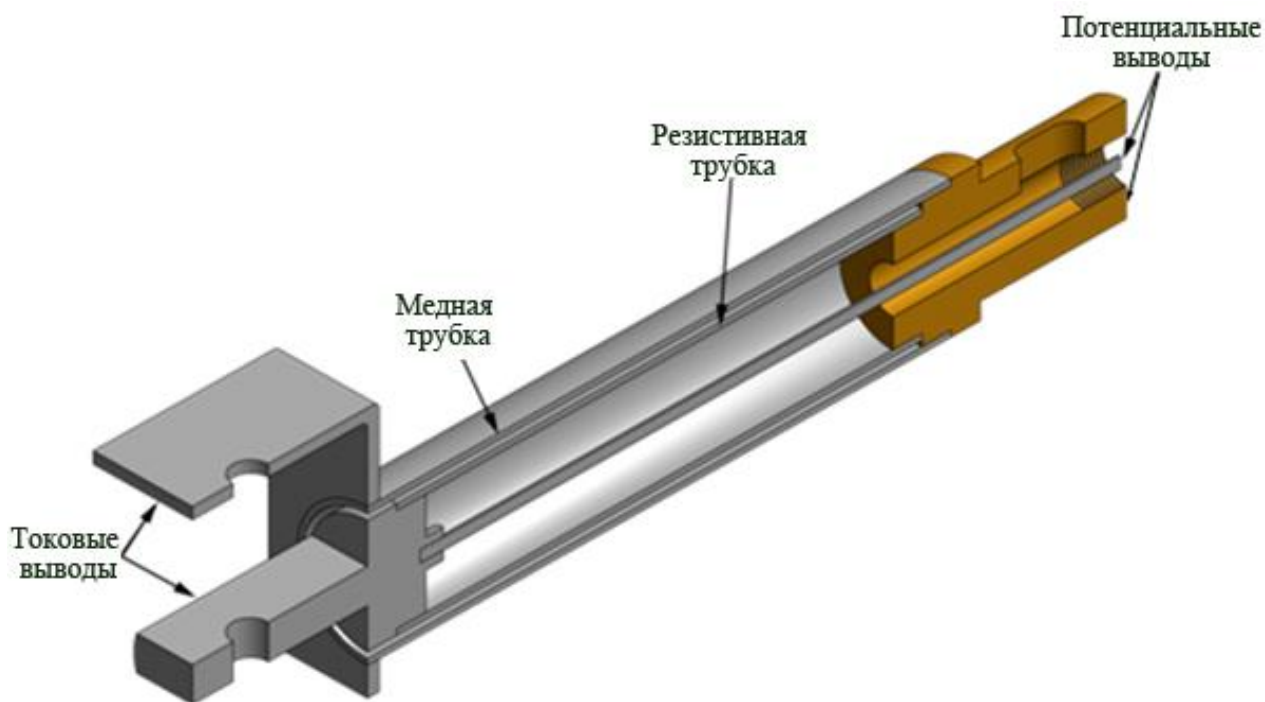


Рисунок 1.5 – Конструкция коаксиального шунта

Погрешность при измерении тока с помощью коаксиального шунта возникает из-за нежелательного влияния магнитного поля и поверхностного эффекта.

В зазоре между внутренним и внешним цилиндрами сосредоточено собственное магнитное поле шунта, а за пределами конструкции и внутри внутренней трубки поле полностью отсутствует. Таким образом, индуктивность коаксиального шунта можно определить по формуле [15]:

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot l \cdot \ln \frac{r_{\text{внут}}}{r_{\text{внеш}}}, \quad (14)$$

где  $l$  – длина резистивной трубки коаксиального шунта, м;

$r_{\text{внут}}$  – внутренний радиус внешней медной трубки, м;

$r_{\text{внеш}}$  – внешний радиус внутренней резистивной трубки, м.

Плотность тока при повышении частоты распределяется по сечению резистивного элемента неравномерно, следовательно, проявляется поверхностный эффект. Для уменьшения влияния паразитных параметров и эффектов необходимо снижать толщину внутреннего цилиндра и уменьшать зазор между трубками, что значительно минимизирует частотную погрешность.

Исследованиями свойств коаксиальных шунтов переменного тока занимались такие ученые как Силсби Ф.Б., Соудерс Т.М, Джонсон С.М., Малевски Р., Филипски П.С., Феррейра Дж.А. и др. [16-18].

Наиболее известными производителями коаксиальных шунтов являются компании T&M Research Products (США), Fluke (США), LEMSYS (Швейцария) и др. [37-39]. Компания T&M Research Products выпускает коаксиальные шунты с сопротивлением от 100 мОм до 1 мОм в частотном диапазоне до 2 ГГц с точностью 4 %, линейка шунтов представлена на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Линейка коаксиальных шунтов фирмы T&M Research Products

Главным *недостатком* коаксиальных шунтов является сложность их изготовления, так как технологически трудно придать резистивной пластине строго цилиндрическую форму и устранить влияние продольного шва на равномерное распределение тока. На высоких частотах возникает скин-эффект,

который приводит к неравномерному распределению плотности тока по сечению шунта, поэтому происходит изменение активной составляющей шунта.

Главным *достоинством* шунтов коаксиальной конструкции является их безиндуктивность. Магнитное и электрическое поля шунта сосредоточены в пространстве между цилиндрами. Поэтому есть возможность расположить потенциальные выводы в зоне, в которой магнитное поле отсутствует. Уменьшение зазора между цилиндрами приводит к минимизации собственной индуктивности шунта, а также, вследствие цилиндрической симметрии отсутствуют краевые эффекты, и остаточная реактивность шунта поддается точному расчету.

### 1.4.3 Стержневые шунты

Стержневой шунт (или шунт типа «беличье колесо») состоит из некоторого числа одинаковых стержней или резисторов, равномерно расположенных по окружности двух металлических дисков (рисунок 1.7) [20].

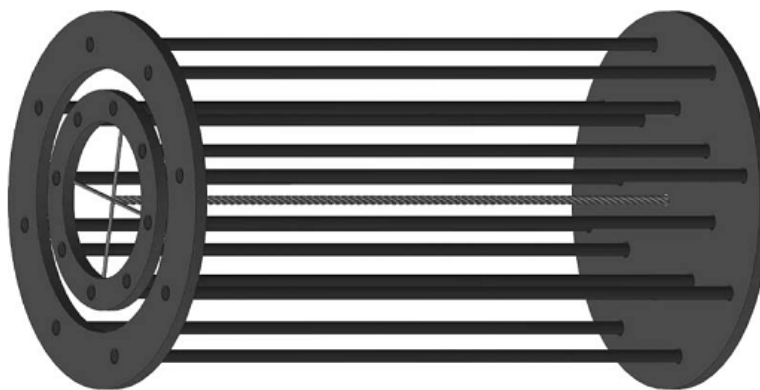


Рисунок 1.7 – Шунт типа «беличье колесо»

Токи отдельных стержней соединяются в центре двух дисков. Благодаря симметричному расположению стержней вклады в постоянную времени от взаимных индуктивностей отдельных стержней одинаковы. Токи в близко расположенных друг к другу резистивных стержнях протекают в

противоположных направлениях. На высоких частотах, ток распространяется неравномерно по поверхности стержней.

Таким образом, если в соседних проводниках протекают токи одинакового направления, то эти проводники следует удалять друг от друга. Уменьшение постоянной времени приводит к нежелательному увеличению габаритных размеров резистивной части.

В связи с тем, что уровень различного рода наводок в измерительной цепи пропорционален измеряемому току, мощность шунта при фиксированном относительном уровне наводок пропорциональна квадрату измеряемого тока. Поэтому повышение уровня эффективного тока требует существенного увеличения объема резистивного материала. Однако увеличивать объем материала за счет увеличения диаметра резистивных стержней или увеличения их количества недопустимо, так как это неизбежно приводит к росту искажений от эффекта близости. Таким образом, остается единственный путь – увеличение диаметра «беличьего колеса» без изменения диаметров стержней.

Сплошные стержни большого поперечного сечения подвержены влиянию поверхностного эффекта даже при промышленных частотах. Для уменьшения погрешности от поверхностного эффекта применяют шунты со стержнями небольшого диаметра.

Сравнительный анализ влияния поверхностного эффекта на изменение сопротивления проводников показывает, что для высокочастотных шунтов целесообразно применять прямоугольные резистивные стержни [20].

Компания Fluke (США) производит линейку шунтов, обеспечивающих измерения токов от 1 мА до 100 А в частотном диапазоне от 0 Гц до 100 кГц (рисунок 1.8а). В данных шунтах используется радиальная конструкция резистивного элемента, которая обеспечивает высокую производительность. Кроме этого, открытая конструкция способствует максимальному увеличению потока воздуха, в результате чего шунты обладают минимальным эффектом изменения коэффициента мощности. Это позволяет использовать каждый шунт в широком диапазоне токов при сохранении стабильного сопротивления.



а) производство фирмы Fluke; б) производство компании НПП МАРС-ЭНЕРГО  
Рисунок 1.8 – Шунты типа «белічыё колесо»

На рисунке 1.8б приведен шунт типа «белічыё колесо», изготавливаемый российской компанией НПП МАРС-ЭНЕРГО [20]. Данный шунт используется как первичный преобразователь тока в составе эталонных средств измерений мощности, а также применяется в качестве эталонного средства измерений при поверке/калибровке токовых шунтов.

Шунт компании НПП МАРС-ЭНЕРГО состоит из трех стеклотекстолитовых пластин круглой формы, между которыми установлены резисторы по схеме параллельного включения. Такая конструкция шунта позволяет минимизировать паразитные индуктивности и емкости; взаимную индуктивность между цепями тока и напряжения; токи утечки и другие.

Основное *достоинство* шунтов конструкции «белічыё колесо» в том, что они способны рассеивать большие мощности и используются для измерений переменных токов до десятков и сотен килоампер.

*Недостатками* такой конструкции при измерении больших токов являются большие габаритные размеры и проявление поверхностного эффекта даже при промышленных частотах.

## 1.5 Сравнительный анализ шунтов различных конструкций

В ходе исследований существующих резистивных преобразователей тока выделены достоинства и недостатки каждой конструкции [18-19]. Сравнительный анализ представлен в таблице 1.1. В таблице 1.2 приведены метрологические характеристики шунтов, выпускаемых в серийном производстве.

Таблица 1.1 – Сравнительный анализ шунтов переменного тока

Конструкция шунта	Достоинства	Недостатки
Плоский	1) простота изготовления; 2) возможность подгонки сопротивления; 3) габаритные размеры	1) наличие поверхностного эффекта; 2) наличие эффекта близости; 3) чувствительность к влиянию магнитных полей
Коаксиальный	1) отсутствие эффекта близости; 2) малая индуктивность; 3) температурная стабильность сопротивления; 4) линейность; 5) малые габаритные размеры на токи от 1 кА	1) сложность изготовления цилиндрической формы; 2) наличие скин-эффекта
Стержневой	1) высокая нагрузочная способность; 2) стабильность активного сопротивления	1) наличие поверхностного эффекта; 2) большие габаритные размеры

На основании сравнительного анализа конструкций шунтов переменного тока, очевидно, что коаксиальная конструкция предпочтительна. Она обеспечивает устранение эффекта близости и имеет минимальную индуктивную составляющую в выходном напряжении, также обладает наилучшими динамическими характеристиками и высокой помехоустойчивостью.

Таким образом, анализ литературных источников показывает то, что электрическая модель шунтов для измерений больших переменных токов может быть представлена последовательным соединением активного сопротивления, паразитной индуктивности и ёмкости.

Обзор конструкций токовых шунтов показывает, что для прецизионных измерений токов произвольной формы предпочтительной является коаксиальная конструкция, благодаря отсутствию эффекта близости и высокой помехоустойчивости.



## **2 Методы минимизации искажений токовым шунтом переменного тока**

В данном разделе рассмотрены конструктивные особенности и выделены факторы, влияющие на частотные характеристики разработанного в ТПУ сильноточного коаксиального шунта. Приведены причины, вызывающие искажения измеряемого тока. Предложены способы улучшения динамических характеристик коаксиального шунта, основанные на применении корректирующих цепей.

### **2.1 Конструктивные параметры коаксиального шунта**

Из обзора конструкций шунтов следует, что предпочтительным для измерений больших переменных токов является коаксиальный шунт. Такой шунт для измерений больших переменных токов должен обладать следующими свойствами:

- широкая полоса пропускания;
- высокая нагрузочная способность;
- линейность коэффициента преобразования;
- малая индуктивность.

Расчет геометрических и электрических параметров коаксиального шунта, описанный в [12, 13], показывает, что значение индуктивности зависит от толщины стенки резистивного цилиндра и зазора между ним и внешним цилиндром. Следовательно, увеличение толщины и индуктивности приводит к уменьшению полосы пропускания. При этом происходит увеличение величины рабочего тока.

В ходе работ, проводимых в ТПУ, необходимо было создать шунт для измерения параметров тока сложной формы. Для простоты расчётов был выбран ток в виде последовательности коротких импульсов. Параметры тока приведены в таблице 2.1.

Далее были выбраны параметры коаксиального шунта. Они приведены в

таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Параметры измеряемого тока

Параметры тока	Значения
Максимальная амплитуда	1 кА
Минимальная амплитуда	100 А
Длительность импульса	1 мс
Длительность фронта	6,23 мкс
Период следования	5 мс

Таблица 2.2 – Параметры коаксиального шунта

Параметры шунта	Значения
Номинальный ток	1 кА
Сопротивление	750 мкОм
Длина резистивного элемента	90 мм
Внутренний радиус резистивного элемента	9 мм
Толщина диэлектрика	1 мм
Толщина резистивного элемента	1 мм

В соответствии с представленными параметрами был изготовлен прототип коаксиального шунта. Он изображён на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Разработанный коаксиальный шунт на 1 кА

Для данного экземпляра шунта были рассчитаны частотные зависимости его сопротивления (АЧХ). Они приведены на рисунке 2.2, кривые 1. Также параметры шунта были измерены экспериментально. Результаты этих измерений также показаны на рисунке 2.2, кривые 2.

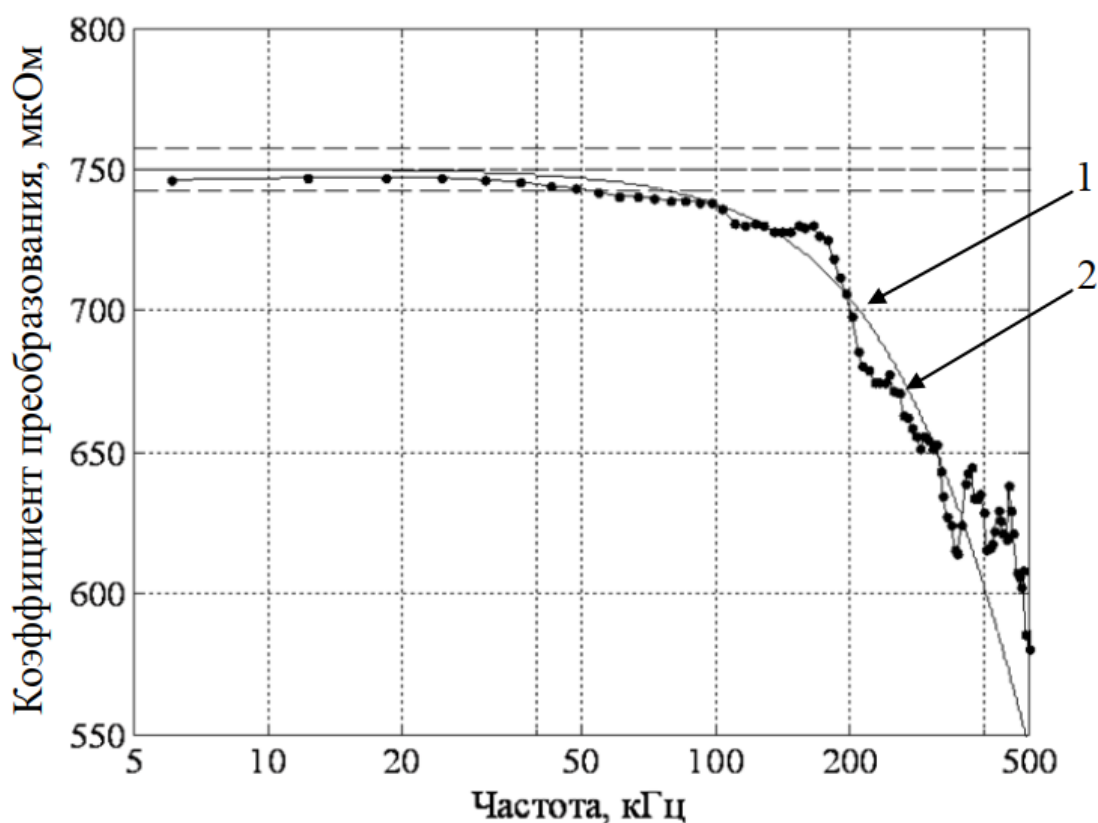


Рисунок 2.2 – АЧХ шунта, полученные по теоретическим (кривая 1) и по экспериментальным (кривая 2) исследованиям

Из графика экспериментальной АЧХ (кривая 2) видно, что для исследуемой конструкции коаксиального шунта при затухании на уровне 1 % верхняя граничная частота составила 80 кГц. При этом верхняя граничная частота по уровню минус 3 дБ составляет порядка 500 кГц.

## 2.2 Расширение амплитудно-частотной характеристики коаксиального шунта

В ходе проведенных исследований определено, что в указанной полосе частот АЧХ шунта хорошо аппроксимируется звеном первого порядка.

Следовательно, улучшение динамических характеристик шунта в виде расширения полосы пропускания на заданном уровне ослабления АЧХ можно проводить с помощью линейных корректирующих цепей (линейный корректор), которые компенсируют спад АЧХ. Линейный корректор представляет собой дополнительный пассивный или активный узел, подключаемый к выходу шунта, и реализующий один из структурных методов коррекции погрешности.

Метод коррекции искажений заключается в создании корректирующего воздействия, управляемого влияющим фактором и направленного на компенсацию искажений, создаваемых этим же фактором в измерительном преобразователе или создании воздействия, управляемого искажениями измерительного преобразователя и направленного на их уменьшение.

Для улучшения частотных характеристик коаксиальных шунтов целесообразно использовать мультипликативный метод повышения точности, основанный на применении амплитудных корректоров (АК) [10].

Амплитудный корректор – это четырехполюсник, который при использовании мультипликативного метода включается последовательно с корректируемым устройством [10]. В качестве примера проведем схему коррекции, предложенную в работе [11] (рисунок 2.3).

Исследования показали, что не позволяет полностью скорректировать АЧХ шунта с использованием одного АК. Расширения АЧХ можно достичь различными другими вариантами активных корректоров, в которых их передаточные функции полностью корректировали бы характеристику шунта, представленную функцией первого порядка.

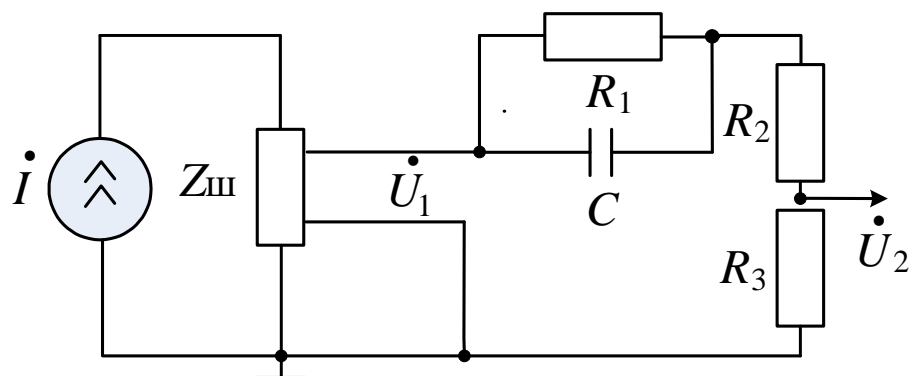


Рисунок 2.3 – Схема четырехзажимного подключения шунта и пассивной цепи коррекции

Примеры таких вариантов показаны на рисунке 2.4.

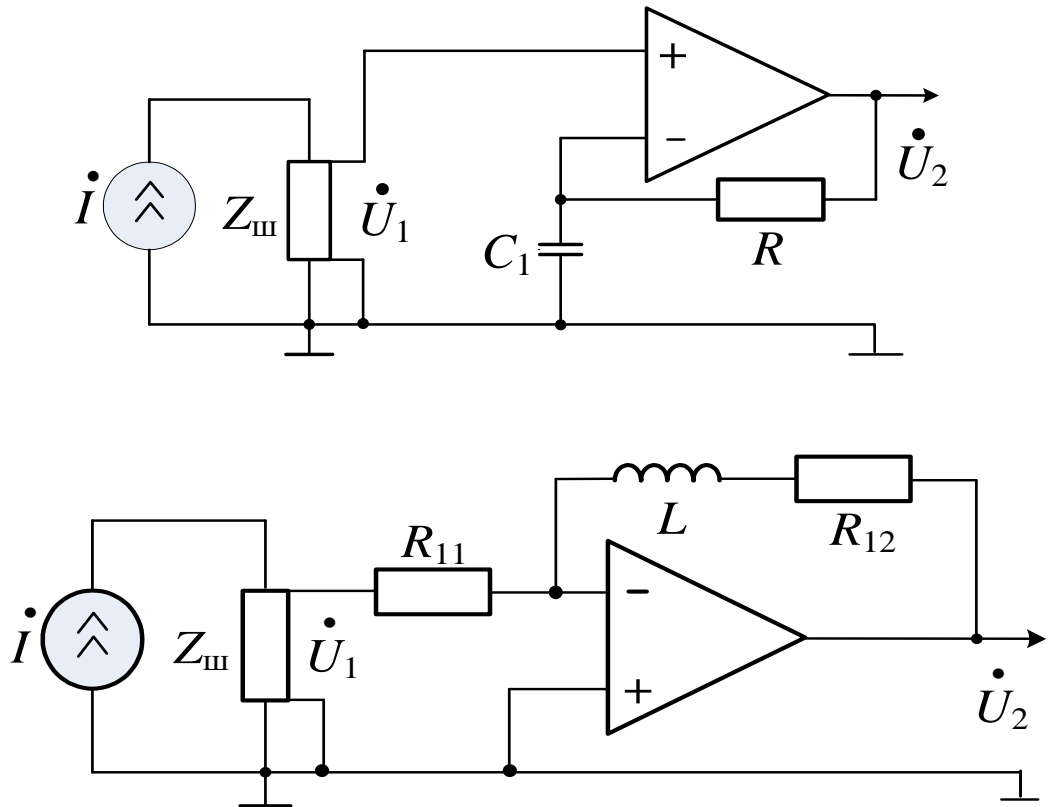


Рисунок 2.4 – Варианты усовершенствованных схем активных корректоров преобразователей тока в напряжение

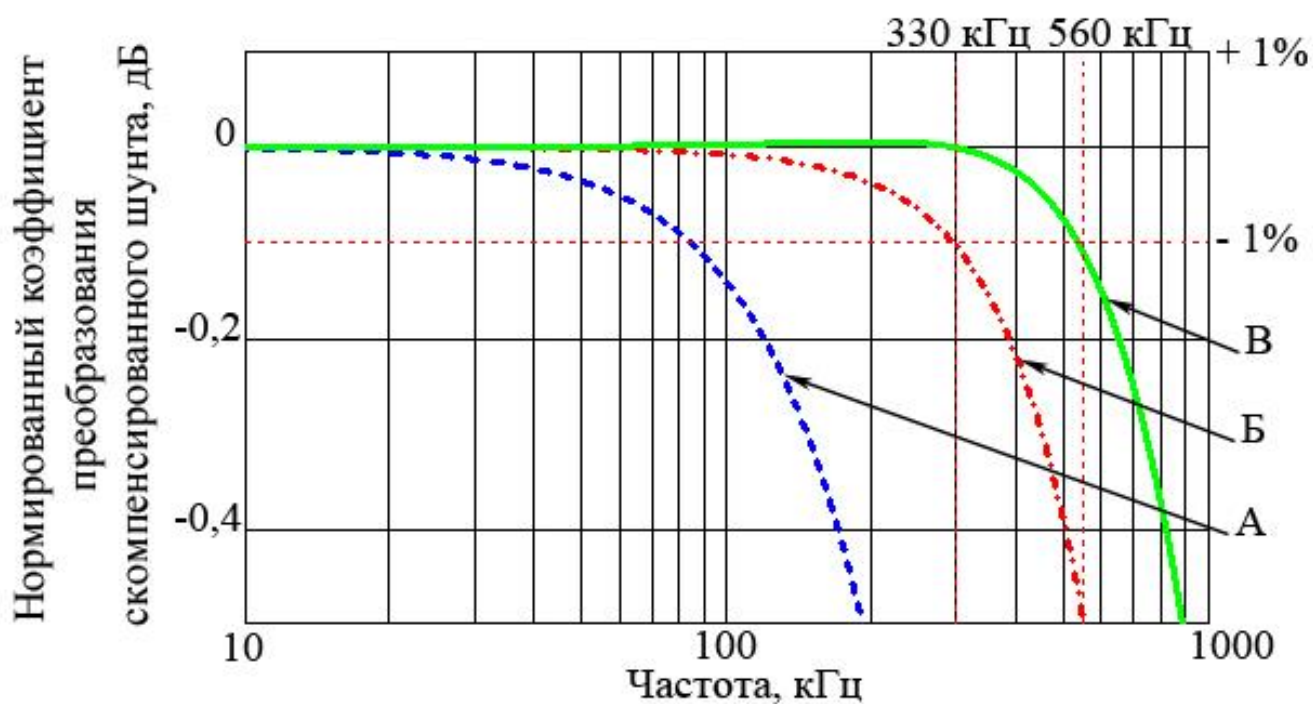
При этом предполагается, что в полосе рабочих частот операционный усилитель ведет себя как безынерционный элемент. В этом случае модули коэффициентов преобразования схем пропорциональны отношению двух полиномов первого порядка, которые компенсируются при равенстве постоянных времени шунта и корректирующих цепей.

Так как шунт имеет низкое омическое сопротивление, а сопротивления в пассивных частях АК обычно ниже сотен Ом, то их можно рассматривать как низкоомные резисторы, для которых инерционность определяется паразитной

индуктивностью.

В ходе проведенных исследований был реализован амплитудный корректор, приведенный на рисунке 2.5, состоящий из сопротивлений с номиналами  $R_{11} = 560$  Ом,  $R_{12} = 1000$  Ом и индуктивности  $L = 3,9 \cdot 10^{-4}$  Гн.

На рисунке 2.5 приведены графики расчетных АЧХ шунта без компенсации (А) и с компенсацией (Б, В).



А – шунт; Б – известная схема АК (рисунок 2.4);

В – предложенная схема АК (рисунок 2.5б)

Рисунок 2.5 – Амплитудно-частотные характеристики шунта без компенсации и с компенсацией

Из полученных зависимостей видно, что известная схема АК позволяет расширить частотный диапазон исследуемой конструкции шунта лишь до 300 кГц, в то время как предложенная схема АК (рисунок 2.4) обеспечивает расширение – до 560 кГц с затуханием на уровне 1 %. Кроме того, предложенная схема позволяет производить подстройку постоянной времени АК с помощью регулируемой индуктивности  $L$ .

Результаты экспериментального исследования такой схемы приведены на рисунке 2.6 (АЧХ). Здесь также, кривыми 1 обозначены результаты расчётов, а

кривыми 2 – результаты экспериментальных измерений.

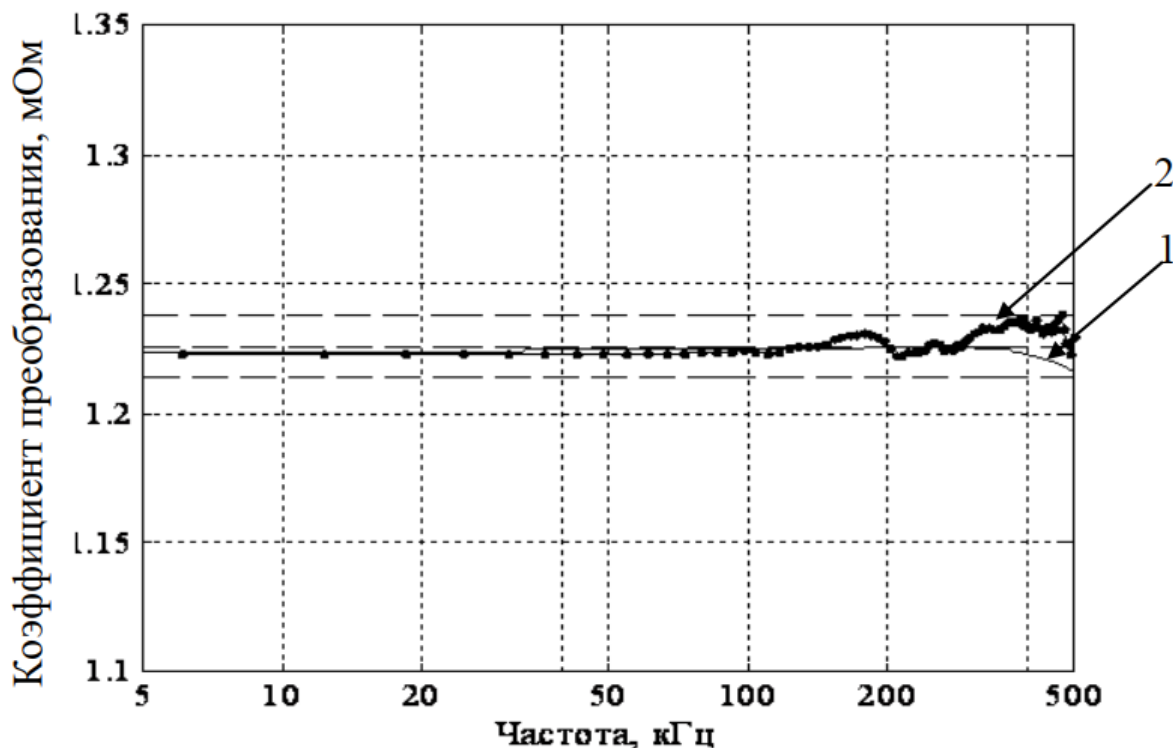


Рисунок 2.6 – АЧХ скорректированного шунта

Видно, что предложенные схемы действительно расширяют частотный диапазон токового шунта минимизируя искажения сигнала в области высоких частот.

Таким образом, в ходе исследований показано, что для улучшения частотных свойств коаксиальных шунтов при заданном уровне затухания АЧХ могут использоваться линейные корректоры. Использование амплитудных корректоров (АК), состоящих из звеньев первого порядка, позволяет уменьшить частотную погрешность (увеличить частотный диапазон шунта) не менее, чем в три раза. Продемонстрировано, что АК позволяет расширить частотный диапазон исследуемого шунта до 560 кГц с затуханием на уровне 1 %.

### **3 Автоматизированная система коррекции сигнала шунта**

В настоящем разделе работы проведены экспериментальные исследования, реализующие цепи коррекции формы сигнала на основе программных средств в среде LabVIEW путём использования цифровых фильтров.

#### **3.1 Подходы к использованию цифровой коррекции сигнала шунта**

Как отмечалось ранее, цепи амплитудной коррекции, реализованные схемотехнически в виде электронных схем, при всём положительном влиянии на искажения, вносимые в сигнал шунтом, обладают и рядом недостатков.

Во-первых, данные цепи создаются под конкретную модель токового шунта. Следовательно, при эксплуатации не одного, а ряда шунтов необходимо изготовление соответственного набора цепей коррекции.

Во-вторых, будучи изготовленными из набора элементов, в силу погрешности изделий, цепи не могут быть полностью идентичны и нуждаются в индивидуальной настройке.

В-третьих. В силу того, что обычно токовые шунты эксплуатируются в условиях значительных электромагнитных возмущений и импульсных помех. Эти факторы могут вызывать сбои в работе цепей коррекции.

Логичным выходом из сложившихся ограничений является реализация цепей коррекции в цифровом виде. Тогда сигнал с выхода шунта поступает на устройство сбора данных и оцифровывается. Далее поток данных поступает на вход цифровой обработки, реализующий те или иные варианты обработки сигнала. В нашем случае – это будет фильтрация набором программных фильтров.

Очевидным преимуществом такого подхода является его чрезвычайная гибкость, снимающая какие-либо ограничения на обработку сигнала.

В нашем эксперименте мы не могли воспользоваться рассмотренным токовым шунтом в силу отсутствия сейчас источника большого тока. При этом



если воспользоваться доступным источником тока, то напряжение с выхода шунта будет составлять доли милливольт. Такие значения существенно меньше уровня шумов и не могут быть оцифрованы имеющимися в нашем распоряжении устройствами сбора данных.

Поэтому было принято решение вместо шунта использовать дифференцирующую  $RC$ -цепь. Такая цепь является фильтром верхних частот первого порядка и как было показано, отражает характер искажений, который вносит в сигнал шунт. Хотя надо понимать, что шунт преобразует ток в напряжение, а  $RC$ -цепь – напряжение в напряжение. Однако, с позиции цифровой обработки сигнала, это не принципиально. Поскольку мы восстанавливаем лишь форму сигнала.

Для доказательства положительного влияния цепей коррекции сигнала нам необходимо снять АЧХ исходной  $RC$ -цепи и АЧХ  $RC$ -цепи с коррекцией. Также необходимо визуально пронаблюдать восстановление формы известного сигнала, например прямоугольного импульса или меандра.

### **3.2 Описание экспериментальной установки**

Эксперимент был проведён в условиях учебной лаборатории. Для этого было использовано следующее оборудование:

- ПК с установленным программным пакетом LAbVIEW с набором драйверов DAQmx;
- DAQ устройство М серии NI USB 6251;
- генератор сигнала АКТАКОМ AWG-4105;
- осциллограф цифровой АКТАКОМ АСК-2041;
- $RC$ -цепь, смонтированная на лабораторном макете;
- комплект коаксиальных кабелей и проводов.

Генератор использовался для задачи периодических сигналов стандартных форм. Цифровой осциллограф АСК-2041 для наблюдения формы исходного сигнала и сигнала искаженного  $RC$ -цепью.

Внешний вид экспериментальной установки приведен на рисунке 3.1.

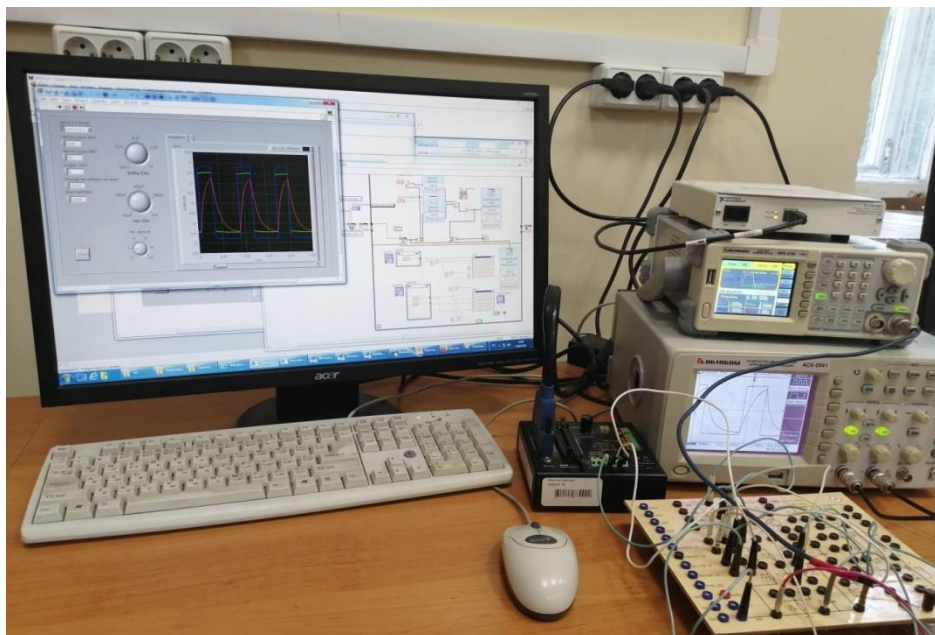


Рисунок 3.1 – Экспериментальная установка

Выходы генератора AWG-4105 и  $RC$ -цепи был параллельно подключены к входам осциллографа АСК-2041 и аналоговым входам DAQ устройства NI USB 6251. При генерации использовались сигналы различных форм: синусоида, меандр, пилообразный, треугольный.

Схема экспериментальной установки изображена на рисунке 3.2.

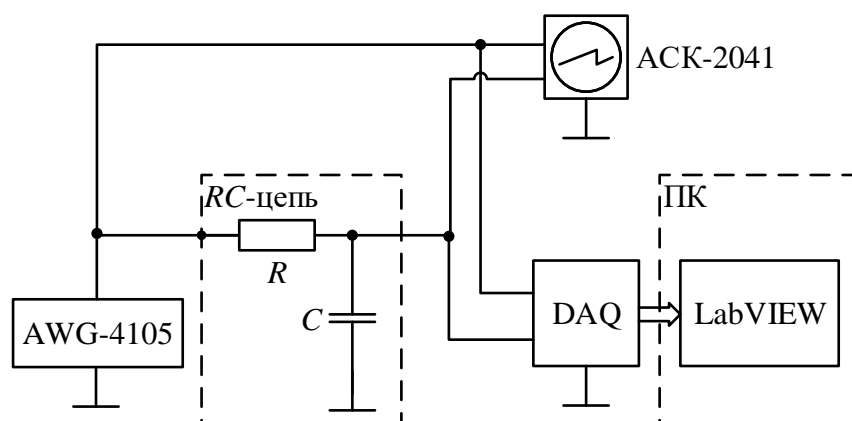


Рисунок 3.2 – Схема экспериментальной установки

### 3.2.1 Характеристики экспериментального оборудования

В работе использовалась  $RC$ -цепь, которая имеет следующие параметры:

$R = 2200 \text{ Ом};$

$C = 1 \text{ мкФ}.$

Частота среза:

$$f_{\text{ср}} = \frac{1}{2\pi RC} = 72,343 \text{ Гц.}$$

DAQ- устройство М серии NI USB 6251:

DAQ-устройство М серии NI USB 6251 предназначено для осуществления функционала модуля ввода вывода для среды разработки LabVIEW. Устройство обладает следующими техническими характеристиками:

- 16 каналов аналогового входа;
- 2 канала аналогового выхода;
- 24 канала дискретного ввода / вывода;
- разрядность АЦП: 16 бит;
- максимальная частота выборок входного сигнала 1,25 MS/s;
- максимальная частота выборок выходного сигнала 2,86 MS/s;
- два 32-битных счетчика/таймера.

Устройство предназначено для экономичной и надежной реализации функционала сбора данных для обширного спектра областей применения, от простой автоматизации лабораторных исследований и до сложных научно-исследовательских работ, а также испытаний на производстве. Внешний вид устройства приведен на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Внешний вид DAQ-устройства NI USB 6251

NI USB 6251 выполняет цифроаналоговые и аналогово-цифровые преобразования для генерации и считывания сигналов, а также воспринимает и формирует дискретные сигналы цифрового ввода/вывода.

Устройство управляется по средствам набора драйверов NI-DAQ, представляющего собой обширную подбору функций и виртуальных приборов, по средствам которых осуществляется настройка и программирование всех свойств и возможностей.

Основной задачей нашего ВП является анализ периодических и не периодических сигналов, поступающих на аналоговый ввод устройства. Качество анализа напрямую зависит от того, насколько точно сигнал был передан в среду LabVIEW. Поэтому остановимся подробнее на техническом устройстве системы аналогового ввода и возможности её использования.

Схема устройства канала аналогового ввода приведена на рисунке 3.4.

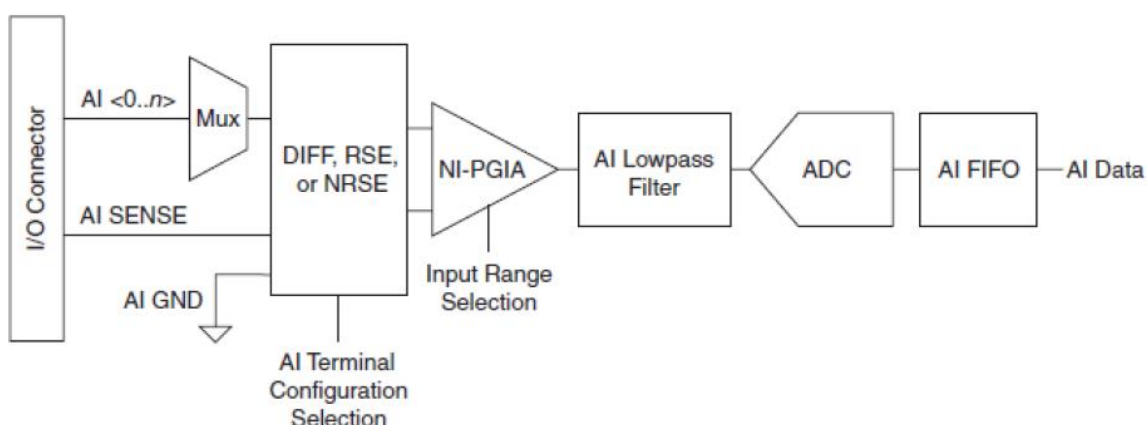


Рисунок 3.4 – Подсистема аналогового ввода

Как видно из схемы основными элементами считывания аналогового сигнала состоит из следующих принципиальных узлов:

- I/O Connector - разъем ввода-вывода (физическое подключение);
- Mux - мультиплексор, поочередно подающий сигналы с каждого канала аналогового ввода,
- DIFF, RSE or NRSE - система конфигурации подключения канала;

- NI-PGIA - инструментальный измерительный усилитель с программируемым коэффициентом усиления – минимизирует времена установления для всех диапазонов входного сигнала;
- AI Lowpass Filter - низкочастотный фильтр, при влечении отсекает частоты выше заранее сконфигурированной;
- ADC - АЦП преобразует сигнал в цифровую форму;
- AI FIFO - буфер аналогового ввода типа «очередь». NI USB 6251 может выполнять как многократные так и одиночные аналого-цифровые преобразования с заданием бесконечного или конечного количества отсчетов. Во избежание потерь данных FIFO-буфер большого объема хранит данные в процессе измерений аналогового входного сигнала. Так же реализован функционал многократных аналого-цифровых преобразований с режимом прямого доступа к памяти (ПДП), по средствам программируемого ввода-вывода или прерываний.

Диапазон амплитудных значений аналогового ввода является рядом входных напряжений, преобразованных в цифровую форму с заданным допуском. На разрешающую способность канала аналогового ввода, которая представляет собой напряжение, соответствующее одному кванту АЦП, напрямую влияет заданный диапазон входного измерения. В нашем случае 16-разрядный АЦП преобразует аналоговые входные сигналы в одну из  $65536 = 2^{16}$  кодовых комбинаций, таким образом, в одно из 65536 возможных чисел, равномерно распределенный по диапазону. Следовательно, для диапазона входного сигнала от  $-5$  В до  $5$  В каждому кванту 16-разрядного АЦП соответствует напряжение  $160$  мкВ.

Широкие возможности управления позволяют проводить измерения аналоговых величин, как с аппаратной синхронизацией, так и с программной. При программной синхронизации сбора данных частотой дискретизации управляет ПО. Для того, чтобы инициировать очередное аналого-цифровое преобразование, ПО посылает устройству сбора данных специальную команду. В NI-DAQmx режим программной синхронизации сбора данных называют

синхронизацией по требованию (on-demand). Этот режим называют также непосредственным или статическим режимом и обычно используется для получения одного отсчета данных. При аппаратной синхронизации сбора данных – частотой дискретизации управляет аппаратно-формируемый цифровой сигнал AI Sample Clock, который может либо генерироваться самим устройством сбора данных, либо подаваться на него с внешнего генератора.

Аппаратная синхронизация по сравнению с программной имеет следующие преимущества:

- возможно задание значительно меньшего интервала дискретизации;
- интервал времени между отсчетами является детерминированным;
- возможно использование аппаратного запуска.

### **Генератор Актаком AWG-4105**

Универсальный генератор стандартных (5 форм) и специальной формы сигналов (48 типов), пачек импульсов. 2 канала. Полоса – от 1мкГц до 5 МГц (синус). Дискретизация 125 Мвыб/сек. количество точек - 16К.

### **Осциллограф АКТАКОМ АСК-2041**

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

Принцип действия осциллографа основан на аналого-цифровом преобразовании входного сигнала с задаваемой частотой выборки, регистрации цифровых данных в запоминающем устройстве для последующей цифровой обработки и отображения на жидкокристаллическом матричном цветном или монохромном дисплее.

Программное обеспечение (ПО) осциллографа предназначено для управления режимами работы, обработки цифровых данных, их отображения на

дисплее, передачи на USB-накопитель. ПО обеспечивает выполнение следующих функций обработки цифровых данных:

- автоматических измерений (до 24 параметров);
- курсорных измерений;
- математической обработки, включая функцию быстрого преобразования Фурье (БПФ).

### 3.2.2 Система восстановления формы сигнала

Система восстановления формы сигнала реализована программно в среде LabVIEW. Она взаимодействует с устройством сбора данных, формирует поток данных с каждого из двух аналоговых входов DAQ-устройства.

Далее эти данные визуализируются на экране. Поток данных, полученный с выхода RC-цепи поступает на вход блока коррекции. Этот блок представлен двумя фильтрами верхних и нижних частот, соответствующими масштабными множителями и итоговым сумматором. Настраивая параметры этого блока, мы имеем возможность оказывать гибкое воздействие на сигнал, изменяя его частотные компоненты так, чтобы устранить искажения, созданные токовым шунтом (в нашем случае – RC-цепью).

Полный состав системы представлен в таблице 3.1, блок-схема программы – на рисунке 3.5.

Таблица 3.1 – Состав системы восстановления формы сигнала

Блок LabView	Краткое описание работы
DAQmx Create Channel	Создает каналы для измерения величин
DAQmx Timing	Устанавливает источник тактовых импульсов тактовых импульсов выборки, частоту тактовых импульсов и количество выборок для сбора или генерации.

DAQmx Start Task	Переводит задачу в рабочее состояние, чтобы начать измерение или генерацию.
DAQmx Read	Считывает один или несколько сигналов из задачи, содержащей один или несколько аналоговых входных каналов.
Property Node	Получает и устанавливает свойства ссылки
Filters	Обрабатывает сигналы через фильтры
Waveform Graphs	Графическое отображение графиков, сигналов

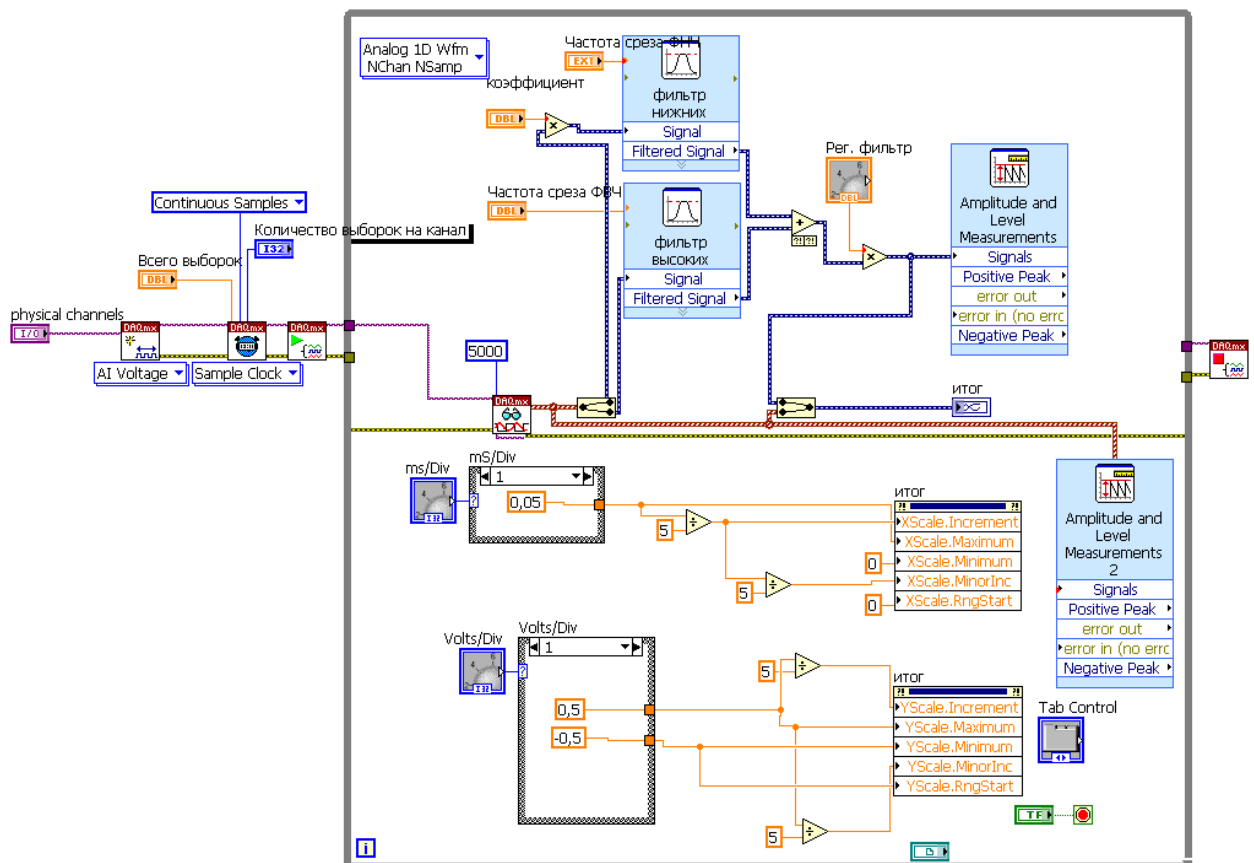


Рисунок 3.5 – Блок-схема программы восстановления формы сигнала



### 3.3 Эксперимент по восстановлению формы сигнала шунта

В эксперименте на вход *RC*-цепи подавался гармонический сигнал с частотой от 1 Гц до 100 кГц. Этот сигнал, а также сигнал с выхода *RC*-цепи далее поступал в компьютер через DAQ-устройство NI USB 6251. Выходной сигнал *RC*-цепи проходил через блок восстановления формы (блок амплитудной коррекции).

АЧХ *RC*-цепи рассчитывалась по отношению амплитуды сигнала с выхода генератора к амплитуде сигнала с выхода *RC*-цепи.

АЧХ для комплекса, включающего *RC*-цепь и блок амплитудной коррекции рассчитывалась по отношению амплитуды сигнала с выхода генератора к амплитуде сигнала с выхода блока амплитудной коррекции.

Результаты этого эксперимента приведены в таблице 3.2 и на рисунках 3.6 и 3.7.

Таблица 3.2 – АЧХ до и после восстановления

Частота, Гц	Норм. АЧХ <i>RC</i> -цепи, разы	Норм. АЧХ восстановленная, разы	Норм. АЧХ <i>RC</i> -цепи, дБ	Норм. АЧХ восстановленная, дБ
2	1,000	0,991	0	-0,075
5	0,997	1,000	-0,027	0
10	0,985	1,000	-0,129	0
20	0,955	0,983	-0,396	-0,151
40	0,856	0,974	-1,352	-0,228
80	0,647	0,975	-3,783	-0,220
100	0,567	0,975	-4,924	-0,220
200	0,328	0,960	-9,671	-0,352
500	0,139	0,940	-17,119	-0,541
1 000	0,080	0,931	-21,980	-0,621
2 000	0,040	0,905	-28,000	-0,865
5 000	0,020	0,897	-34,021	-0,948
10 000	0,010	0,853	-40,042	-1,376
30 000	0,005	0,759	-46,062	-2,400
80 000	0,002	0,474	-54,021	-6,482
100 000	0,000	0,310	-66,062	-10,163

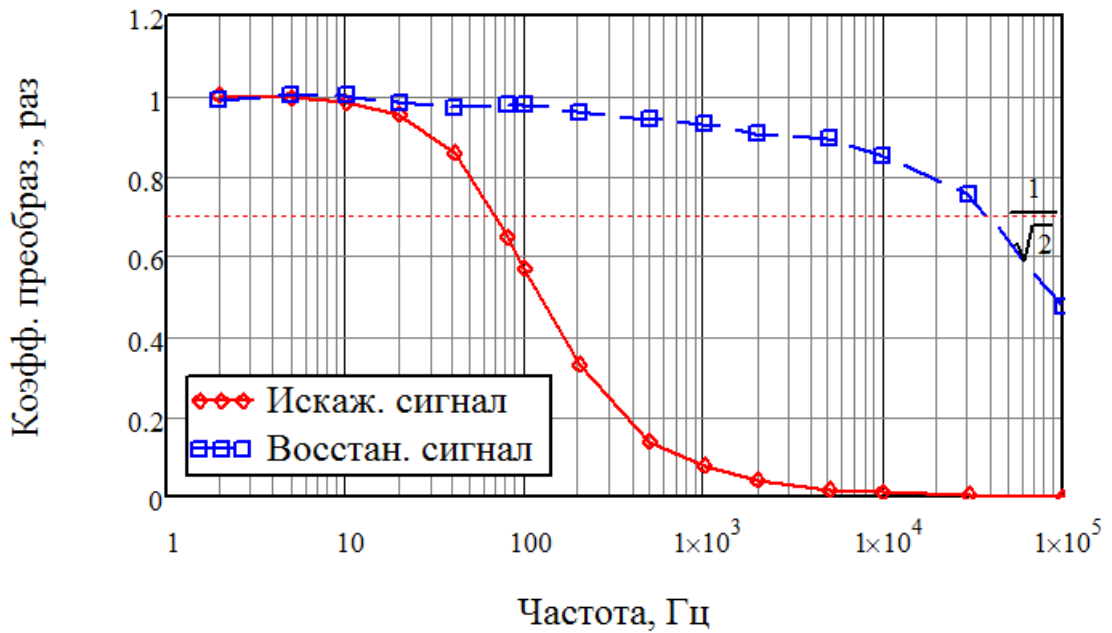


Рисунок 3.6 – АЧХ RC-цепи и системы после восстановления формы



Рисунок 3.7 – АЧХ RC-цепи и системы после восстановления формы

Из представленных данных видно, что исходная RC-цепь имеет полосу пропускания по уровню минус 3 дБ порядка 72,5 Гц. Это соответствует расчётному значению и подтверждает правильность наших измерений.

После восстановления формы, на основе анализа АЧХ, мы видим, что полоса пропускания такой системы уровню минус 3 дБ возросла до 40 кГц. То есть произошло расширение полосы пропускания системы более чем в 500 раз.

Сравнивая данный результат с результатом, описанным в главе 2 работы для коаксиального шунта, можно утверждать, что применение программно настраиваемого блока амплитудной коррекции позволяет достигнуть существенно больших результатов по восстановлению формы сигнала.

Наглядной иллюстрацией этого утверждения служит эксперимент по восстановлению формы прямоугольного импульса (рисунок 3.8).

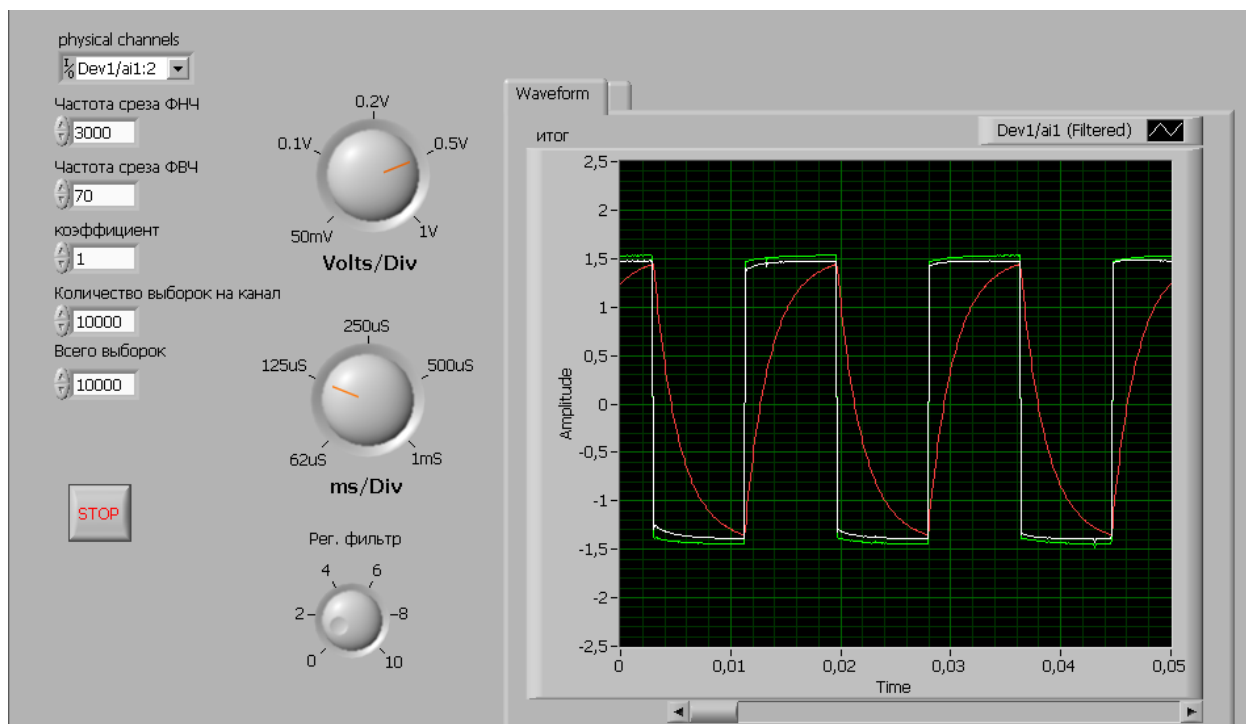


Рисунок 3.8 – Интерфейс программы восстановления формы сигнала

В данном опыте на вход  $RC$ -цепи мы подавали сигнал в виде последовательности прямоугольных импульсов с частотой следования 40 Гц.

Искаженный сигнал с выхода  $RC$ -цепи изображён красной линией.

Исходный сигнал (зелёная линия) и восстановленный сигнал (белая линия) визуально почти идентичны. Незначительная разница объясняется хоть и широкой, но всё-таки конечной полосой пропускания результирующей системы.

Таким образом, в данной главе экспериментально продемонстрирован факт возможности восстановления формы исходного сигнала, искажённого при прохождении через токовый шунт. Это сделано на примере  $RC$ -цепи, искажения, вносимые которой аналогичны таковым для токового шунта.



## **4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В современных технологических процессах используются источники импульсного тока сложной формы. Амплитудные и временные параметры, формируемых этими источниками импульсов, влияют на качество технологического процесса и конечного продукта. Типичной задачей в таких применениях является измерение формы больших импульсных и кратковременных токов в широком частотном диапазоне. Важно с достаточной для практики точностью измерять эти параметры для целенаправленного управления технологическим процессом.

Актуальность работы обусловлена возрастающими требованиями промышленности и науки в измерении импульсов тока большой амплитуды, для выполнения которых применяются токовые шунты. Проблемой разработки преобразователей больших токов для измерения импульсов тока занимаются ведущие испытательные лаборатории силового оборудования разных стран, такие как CESI (Италия), ESEF (Франция) и др. Для преобразователей импульсных токов большой амплитуды (например, токовых шунтов) актуальна задача определения метрологических характеристик (и, в частности, динамического поведения).

Такая задача традиционно требует для своего решения наличия дорогостоящих источников гармонического или импульсного тока большой амплитуды и труднореализуемых методов измерения малых импедансов. Альтернативой этим подходам являются методы определения динамических характеристик преобразователей, основанные на формировании короткого импульсного воздействия на исследуемый преобразователь и последующей цифровой обработки его входных и выходных сигналов.

Объектом исследования являются сильноточные токовые шунты как разновидность преобразователей тока.

Результат данной работы предназначен для использования в исследовательских работах. В дальнейшем можно будет использовать на реальном стенде, при подключении настоящего высокоточного шунта на 1кА и более.

#### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

Данный проект имеет узкую направленность и является экспериментальным. Основная цель – исследование возможности программного обеспечения для восстановления искаженного сигнала. Можно утверждать об отсутствии аналогов на рынке. Использование датчиков не рассмотрено, т.к. это совершенно иная технология.

#### **4.1.3 Технология QuaD**

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $P_{cp}$  - средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  - вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  - средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. В таблице 4.1 сведены значения показателя и перспективность разработки.

Таблица 4.1 – Показатели перспективности

Перспективность	Значение показателя $P_{cp}$ , ед.
Высокая	100 - 80
Выше среднего	79 - 60
Средняя	69 - 40
Ниже среднего	32 - 20
Низкая	менее 19

В таблице 4.2 приведена таблица для QuaD – анализа.

Таблица 4.2 – QuaD-анализ

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы	Макс. балл	Отн. значение	Средневз. значение
Показатели оценки качества разработки					
Число детектируемых фракций	0,1	100	100	1	0,1
Помехоустойчивость	0,1	20	100	0,2	0,02
Надежность	0,1	80	100	0,8	0,08
Инфицированность	0,1	40	100	0,4	0,04
Удобство пользовательского интерфейса	0,1	70	100	0,7	0,07
Ремонтопригодность	0,1	60	100	0,6	0,06
Простота эксплуатации	0,08	90	100	0,9	0,072
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Цена	0,1	95	100	0,95	0,095
Послепродажное обслуживание	0,07	90	100	0,9	0,063
Срок выхода на рынок	0,05	80	100	0,8	0,04
Наличие сертификации разработки	0,1	0	100	0	0
Итого	1				0,64

Таким образом, данная разработка имеет перспективность выше среднего.

#### 4.1.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Подобный анализ применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта. Полученная матрица SWOT-анализа приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Возможность конфигурации. С2. Простота эксплуатации. С3. Сниженная себестоимость оборудования. С4. Повышенная точность.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Высокие требования к вычислительной мощности оборудования. Сл2. Необходимость создания нового фильтра, как способ восстановления сигнала. Сл3. Зависимость от освещения помещения Сл4. Зависимость от наличия загрязнений
<b>Возможности:</b> В1. Тенденция к внедрению систем на производствах, для более точного определения входного сигнала.. В2. Тенденция к снижению влияния производства на экологию	1. Быстрая реконфигурация при изменений условий использования. 2. Рост престижа компании благодаря эко-движению.	1. Распространение тензорных вычислительных устройств снизит себестоимость вычислений.
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на разработку. У2. Неудовлетворительное качество работы разработки.	1. Организация рекламной кампании.	1. Внедрение защитного кожуха для предотвращения загрязнениям. 2. Повышение точности работы системы



		благодаря более качественного фильтра.
--	--	---

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для организации и систематизации работы был составлен план работ в рамках выпускной квалификационной работы. Выделены два исполнителя:

- Студент (С),
- Руководитель (Р).

План работ приведен в таблице 4.

Таблица 4.4 – Этапы работы проекта

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания	1	Постановка задачи	Р
	2	Разработка и утверждение ТЗ	Р, С
	3	Составление календаря проекта	Р, С
Теоретические исследования	4	Сбор информации по восстановлению и шунтам	Р, С
	5	Анализ видов фильтров и шунтов	С
Экспериментальные исследования	6	Создание модели программного обеспечения	С
	7	Тестирование модели на различных видах сигналов	С
	8	Тестирование программы с реальным генератором	С
	9	Тестирование программы с шунтом первого порядка на основе RC цепи	С

	10	Настройка восстановления реального сигнала.	С
	11	Проверка работы алгоритма на тестовых сигналах	С
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Р, С

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5},$$

где  $t_{ож\ i}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.

$t_{\min\ i}$  - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн

$t_{\max\ i}$  - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{p_i}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Расчеты сведены в таблицу в приложении А.

### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для сравнительно небольших по объему научных тем. наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где  $T_{ki}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях

$T_{pi}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где  $T_{кал}$  - количество календарных дней в году

$T_{вых}$  - количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  - количество праздничных дней в году

Согласно производственному календарю за 2021 год число календарных дней составляет 365, из них рабочих 247, выходных и праздничных 118. Коэффициент календарности составляет  $k_{кал} = 1,48$ .

Расчеты с округлением до целого числа сведены в таблицу в приложении А.

На основе таблицы строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта за период времени дипломирования. График приведен в приложении Б.

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} ,$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_r$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

При разработке проекта было использовано бесплатное программное обеспечение, распространяемое в сети Интернет:

- Графический редактор – Multisim,
- Графический редактор – LabView.

Для сбора экспериментальных данных была проведена закупка проводов для подключения. Транспортные расходы на доставку отсутствуют. Затраты сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5– Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы, руб
Щуп к осциллографу с делителем Р6100	Шт	1	729	729
Итого				729

#### 4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В таблице 4.6 приведено оборудование, необходимое для работы над проектом и его дальнейшей эксплуатации.

Начисление амортизации осуществляется для накопления денежных средств с целью полного восстановления (реновации) основных средств и нематериальных активов. Проведем расчет амортизационных отчислений линейным способом.

Норма амортизации рассчитывается по следующей формуле:

$$A_H = \frac{1}{N} \cdot 100\%,$$

где  $N$  - срок полезного использования.

Таблица 4.6 – Расчет бюджета для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб
Этап разработки			
Ноутбук	шт.	1	89990
Этап эксплуатации			
Микрокомпьютер Nvidia Jetson Nano Developer Kit	шт.	1	10990
Микрокомпьютер Raspberry Pi 3B	шт.	1	4300
Веб-камера Logitech HD Pro C920	шт.	1	7899
Неуправляемый коммутатор с 5 портами DES-1005C	шт.	1	499
Коммутационный кабель	шт.	1	300
Монитор	шт.	1	5 999
Клавиатура	шт.	1	399
Компьютерная мышь	шт.	1	240
Блок питания для Nvidia Jetson Nano	шт.	1	1080
Блок питания для Raspberry Pi 3B	шт.	1	1080
HDMI-кабель	шт.	1	400
Всего			123176

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются по следующей формуле:

$$A_G = C_{осн} \cdot A_n,$$

где  $C_{осн}$  - стоимость основного средства,

$A_n$  - норма амортизации.

Ежемесячные амортизационные отчисления рассчитываются по следующей формуле:

$$A_M = \frac{A_G}{12},$$

где  $A_G$  - годовые амортизационные отчисления.

Итоговая сумма амортизации основных средств рассчитывается по формуле:

$$A = A_m \cdot n,$$

где  $n$  - количество месяцев использования основного средства или нематериального актива.

В таблице 4.7 приведены рассчитанные затраты на амортизацию оборудования. Число месяцев использования основного средства принято за 4 месяца, т.к. срок исполнения проекта 102 календарных дня.

Таблица 4.7 - Сроки полезного использования основных средств

Наименование	Группа	Подгруппа	Максимальный срок полезного использования, лет
Ноутбук	II	Машины офисные прочие	3

Таблица 4.8 – затраты на амортизацию

Наименование	Затраты, руб.
Амортизация оборудования	10000

### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{дн}$  - среднедневная заработная плата работника, руб.

$T_p$  - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D},$$

где  $Z_M$  - месячный должностной оклад работника, руб.

$M$  - количество месяцев работы без отпуска в течение года

$F_D$  - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{PP} + k_D) \cdot k_P,$$

где  $Z_{TC}$  - заработная плата по тарифной ставке, руб.,

$k_{PP}$  – премиальный коэффициент,

$K_D$  - коэффициент доплат и надбавок,

$K_P$  - районный коэффициент.

Должностные оклады исполнителей проекта представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Должностные оклады исполнителей проекта

Исполнители	Районный коэффициент (Томск)	Размер месячного должностного оклада без учёта районного коэффициента, руб.
Студент	1,3	21760
Научный руководитель	1,3	33664

Расчет действительного годового фонда рабочего времени персонала приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Студент	Научный руководитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Для 5-дневной рабочей недели  $M = 11,2$  месяца. Расчет среднедневной зарплаты представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 - Расчет среднедневной зарплаты

Исполнители	Оклад	$K_P$	$k_{PP}$	$K_D$	$F_D$	$M$	$Z_{дн}$
Студент	21760,0	1,3	0,3	0,2	247,0	11,2	1924,0
Научный руководитель	33664,0	1,3	0,3	0,2	247,0	11,2	2976,6



В таблице 4.12 приведен расчет затрат на основную заработную плату.  $T_p$  вычисляется на основании соответствующего столбца таблицы «Временные показатели осуществления разработки приложения» из Приложения А.

Таблица 4.12 – Расчет затрат на основную заработную плату

Исполнители	$Z_{он}$	$T_p$	$Z_{осн}$
Студент	1924,0	67,1	129103,2
Научный руководитель	2976,6	17,5	52090,6
Итого			181193,8

#### 4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где  $k_{доп}$  - коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0.12 – 0.15).

Расчет затрат на дополнительную плату приведен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Расчет затрат на дополнительную плату

Исполнитель	$Z_{осн}$	$k_{доп}$	$Z_{доп}$
Студент	129103,2	0,12	15492,4
Научный руководитель	52090,6	0,12	6250,9
Итого			21743,3

#### 4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

К отчислениям во внебюджетные фонды относятся отчисления:

- отчисления органам государственного социального страхования (ФСС);
- отчисления в пенсионный фонд (ПФ);
- отчисления медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

где  $k_{внеб}$  - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонда, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Согласно Налоговому кодексу Российской Федерации бюджетные отчисления состоят из:

- на обязательное пенсионное страхование: 22%
- на обязательное социальное страхование: 2,9%
- на обязательное медицинское страхование - 5,1%.

Страховой взнос на травматизм для научного руководителя и студента (согласно классификатору ОКВЭД-2 класс профессионального риска – 1) составляет 0,2%. Расчёт затрат на отчисления во внебюджетные фонды приведён в таблице 4.14.

Таблица 4.14. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Z <sub>осн</sub> , руб.	Z <sub>доп</sub> , руб.	K <sub>внеб</sub>	Z <sub>внеб</sub> , руб.
Студент	129103,2	15492,4	0,302	38989,2
Научный руководитель	52090,6	6250,9	0,302	15731,4
Итого:				54720,5

#### 4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов; печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр},$$

где  $k_{нр}$  - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно принять в размере 16%. Результаты расчета накладных расходов приведены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Накладные расходы

Статья затрат	Сумма, руб
Материальные затраты	500,0
Затраты на специальное оборудование	123176,0
Затраты на амортизацию	9999
Затраты на основную заработную плату	181193,8
Затраты на дополнительную заработную плату исполнителям проекта	21743,3
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	54720,5
Итого	391332,5
$k_{нр}$	0,16
Накладные расходы	62613,2

#### 4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Итоговый бюджет затрат представлен в таблице 4.16.

Таблица 4.16 - Расчёт бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма	Удельный вес
Материальные затраты	500,0	0,1
Затраты на специальное оборудование	123176,0	27,1
Затраты на амортизацию	9998,9	2,2
Затраты на основную заработную плату	181193,8	39,9
Затраты на дополнительную заработную плату исполнителям проекта	21743,3	4,8
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	54720,5	12,1
Накладные расходы	62613,2	13,8
Общий бюджет	453945,7	100

#### **4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

В рамках данного раздела был проведён QuaD – анализ разработки. Перспективность проекта выше среднего. Был проведен SWOT-анализ проекта, для выявления его сильных и слабых стороны. Произведено планирование работ и расчёт трудоёмкости. Результаты наглядно представлены с помощью диаграммы Ганта. Произведён расчёт бюджета проекта, заработных плат, накладных расходов, материальных затрат, затрат на приобретение оборудования и его амортизацию. Общая длительность работы над проектом составила 102 календарный день: с 13.01.2021 по 02.06.2021. Потенциальная стоимость разработки оценивается в 453945,7 рублей.

В ходе выполнения данного раздела была произведена оценка экономических аспектов разработки предлагаемой автоматизированной системы восстановления формы сигнала. В частности, были выявлены потенциальные

потребители; определены возможные пути снижения влияния выявленных угроз методом SWOT-анализа.

## **5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Задачей данной выпускной квалификационной работы является проектирование автоматизированной системы коррекции искажения сигнала. Работа выполняется на персональном компьютере в помещении.

При выполнении работ разработчик должен быть ознакомлен с вредными и опасными факторами труда, с мерами по снижению влияния этих факторов, а также с комплексом мер и действий в чрезвычайной ситуации. В данном разделе также рассматриваются условия труда и трудовые отношения к разработке.

При анализе возможных вредных и опасных факторов были выявлены следующие факторы: освещение, микроклимат, шум, нервно-психические перегрузки, электрический ток, короткое замыкание, статическое электричество. Работа осуществляется за ПК, утилизация которого негативно влияет на литосферу.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Трудовой кодекс Российской Федерации (ТК РФ) регламентирует отношения между работником и работодателем, касающихся оплаты труда, и трудового распорядка.

Согласно ТК РФ:

- запрещено использование принудительного труда;
- запрещена дискриминация сотрудников;
- нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю;
- в течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается;
- сотруднику должен быть предоставлен ежегодный оплачиваемый отпуск в размере 28 календарных дней;

– список обязанностей, режим работы и размер заработной платы должны быть зафиксированы в трудовом договоре.

Согласно ГОСТ 12.2.032 – 78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т. д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

Высота рабочей поверхности при печати на ЭВМ для мужчин и женщин должна составлять 655 мм. Высота сиденья – 420 мм.

Органы управления (клавиатура и компьютерная мышь) должны быть размещены так, чтобы не допустить перекрещивания рук.

Общие требования к размещению средств отображения информации:

– Очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от сагиттальной плоскости.

– Часто используемые средства отображения информации, требующие менее точного и быстрого считывания показаний, допускается располагать в вертикальной плоскости под углом  $\pm 30^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 30^\circ$  от сагиттальной плоскости.

– Редко используемые средства отображения информации допускается располагать в вертикальной плоскости под углом  $\pm 60^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 60^\circ$  от сагиттальной плоскости (при движении глаз и повороте головы).

## **5.2 Производственная безопасность**

На здоровье разработчика влияют вредные и опасные факторы. К вредным можно отнести:

- Недостаточная освещенность рабочей зоны;
- Отклонение параметров микроклимата;
- Повышенный уровень шума;
- Психофизиологические перегрузки.
- К опасным относятся:
- Электрический ток;
- Короткое замыкание;
- Статическое электричество.

Проведем анализ вышеперечисленных факторов и определим соответствие рабочего места установленным санитарным нормам.

### **5.2.1 Отклонение показателей микроклимата**

Под микроклиматом понимают внутренний климат помещения, в котором выполняется работа. Микроклимат влияет на продуктивность работы разработчика. Нормативные показатели микроклимата (температура воздуха, относительная влажность воздуха и т.д.)

В зависимости от категории работ установлены различные требования к показателям микроклимата. Работа за ЭВМ относится к категории Ia, поскольку является малоподвижной и низкоинтенсивной.

Требования к микроклимату для категории Ia и Ib представлены в таблице 5.1.

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.



Таблица 5.1 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(22-24)	(21-25)	(60-40)	(0,1)
Теплый	(23-25)	(22-26)	(60-40)	(0,1)

Помимо этих требований рекомендуется также проводить ежедневную влажную уборку в местах постоянной работы ЭВМ.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	ниже оптимальных величин	выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2

## 5.2.2 Превышение уровня шума

Производственным шумом называют совокупность шумов и звуков, возникающих в процессе производства и негативно влияющих на работу и здоровье работника.

При шуме работник быстрее устает, у него появляется эмоциональное напряжение, снижается концентрация, при сильном шуме оказывается негативное влияние на слух. Выделяют несколько категорий производственных помещений, для каждой из которых установлены нормы шума.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 уровень шума в помещениях для работы с ПК не должен превышать 50 дБА., помимо этого, помещения для работы с ПК не должны граничить с производственными помещениями с высоким уровнем шума. Однако, можно использовать шумоподавляющие материалы, которые могут значительно уменьшить шум из соседних помещений. В качестве индивидуальной защиты от шума можно использовать беруши или специальные наушники.

В таблице 5.3 приведены предельно допустимые, согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96, уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука при выполнении работ, связанных с программированием в помещениях программистов вычислительных машин.

Таблица 5.3 – Предельно допустимые уровни звукового давления и эквивалентные уровни звука

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

### 5.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Правильное освещение благоприятно влияет на работу и здоровье разработчика. При неправильном освещении работник быстро утомляется, в его работе возникают неточности, ухудшается настроение. Также плохое освещение влияет на здоровье: увеличивается нагрузка на глаза, в следствие чего может развиваться близорукость, появиться спазм аккомодации и т.д. Освещение на рабочем месте должно быть оснащено такими источниками света, чей спектр приближен к солнечному свету, и чья яркость и освещенность соответствует нормам. Источники должны распределяться равномерно по рабочему помещению во избежание переадаптации зрения.

Таблица 5.4 - Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

Освещенность на рабочем столе	(300-500) лк
Освещенность на экране ПЭВМ	Не выше 300 лк
Блики на экране	Не выше 40 кд/м <sup>2</sup>
Прямая блесккость источника света	200 кд/м <sup>2</sup>
Показатель ослепленности	Не более 20
Показатель дискомфорта	Не более 15
Отношение яркости между рабочими поверхностями	(3:1-5:1) 10:1
Коэффициент пульсации	Не более 5%

Для того чтобы снизить влияние данного фактора на здоровье, необходимо соблюдать допустимое время нахождения перед монитором компьютера и делать перерывы в работе. Помимо этого, возможно использование дополнительных источников света, таких как настольные лампы.

#### **5.2.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)**

Для обеспечения необходимых показателей микроклимата необходимо использовать системы отопления и вентиляции, исключить возникновение сквозняков.

Для минимизации уровня шума необходимо своевременно заменять вышедшие из строя осветительные приборы естественного освещения, проводить техническое обслуживание систем вентиляции и систем охлаждения ЭВМ. Возможно использование звуконепроницаемых перегородок между рабочими местами.

Для обеспечения достаточного уровня освещенности необходимо использовать локальные источники света, а также проводить своевременную замену осветительных приборов.

#### **5.2.5 Повышенная напряженность электрического поля**

В результате работы электронных устройств, таких как мониторы и персональные электронно-вычислительные машины, в аудитории может возникать повышенная напряженность электрического поля.

Повышенная напряженность электрического поля оказывает негативное воздействие на человека, выражаемая в виде торможения рефлексов, нарушения памяти, ухудшения работы головного мозга, понижения кровяного давления, нарушений в печени и селезенке, замедления сокращений сердца, помутнения хрусталика глаза.

Исходя из гигиенических требований к персональным электронно-вычислительным машинам пребывание в электрическом поле напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня, а нахождение в поле от 5 до 20 кВ/м включительно допускается в течение одного часа. Необходимо отслеживать время, проведенное за работой, при необходимости осуществлять перерывы и проветривать помещение.

## **5.2.6 Поражение электрическим током**

При работе с компьютером, а также при работе с электроприборами и РС цепью, существует опасность поражения электрическим током при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей), при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением, имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развертки.

Поражение электрическим током является наиболее опасным из всех видов вредного воздействия, по причине того, что электрический ток является невидимым для глаз человека. Действие электрического тока на организм носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток производит термическое электролитическое и биологическое действие.

Для того, чтобы избежать поражение электрическим током, помещение, где размещается рабочее место и разрабатываемое устройство, должно быть оборудовано защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации. Основными техническими средствами защиты являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, знаки и плакаты безопасности. Перед началом работы с разрабатываемой системой, необходимо изучить правила электробезопасности.

## **5.3 Экологическая безопасность**

### **5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Разрабатываемое в рамках работы решение является программным обеспечением. Таким образом, непосредственное вклинение разработки на окружающую среду отсутствует.

### **5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Среди косвенных факторов, влияющих на литосферу, стоит отметить истощение редкоземельных запасов, необходимых для производства ЭВМ, а также загрязнению гидросферы и литосферы в процессе утилизации отходов. К отходам, которые могут возникнуть в процессе разработки и эксплуатации проектируемого решения можно отнести:

- Бумага;
- Канцелярные принадлежности;
- Люминесцентные лампы;
- Электротехника (светодиодные лампы, ЭВМ, компьютерная периферия).

### **5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

В данном проекте основным мероприятием по защите окружающей среды является переработка и утилизация отходов.

Согласно ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов» регламентированы следующие этапы технологического цикла отходов:

- 1) появление;
- 2) сбор и накопление;
- 3) идентификация;
- 4) сортировка (с обезвреживанием при необходимости);
- 5) паспортизация;
- 6) упаковка и маркировка;
- 7) транспортирование и складирование (размещение);
- 8) хранение;
- 9) избавление (путем утилизации и/или удаления отходов).

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Проектируемое программное обеспечение предназначено для анализа изображений и вывода полученной информации в удобном для восприятия пользователем. Данное ПО не вырабатывает никаких управляющих воздействий. Таким образом, объект исследования не способен инициировать ЧС.

### **5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований**

Чрезвычайные ситуации, которые потенциально могут возникнуть в процессе разработки ПО:

- Техногенные (пожары, обрушение помещений);
- Природные (землетрясения, наводнения, ураганы);
- Биологические (эпидемии, пандемии);
- Социальные (терроризм).

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация – возникновение пожара в помещении.

Наиболее вероятные причины пожара связаны с использованием электроэнергии:

- Короткое замыкание;
- Перегрузка сети;
- Искрение.

### **5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

В качестве противопожарных мероприятий должны быть применены следующие меры:

- в помещении должны находиться средства обнаружения возгорания, средства тушения пожара, средства оповещения, средства связи, план эвакуации и указатели выходов;

- все сотрудники должны быть проинструктированы о мерах пожарной безопасности и порядке действий при срабатывании пожарной тревоги;

- электрическая проводка электрооборудования и осветительных приборов должна быть исправна;

- отделка помещения должна быть выполнена из негорючих материалов.

Согласно «Правилам противопожарного режима в Российской Федерации» при обнаружении пожара или признаков горения в здании необходимо:

- немедленно сообщить об этом по телефону в пожарную охрану с указанием наименования объекта защиты, адреса места его расположения, места возникновения пожара, а также фамилии сообщаемого информацию;

- принять меры по эвакуации людей, а при условии отсутствия угрозы жизни и здоровью людей меры по тушению пожара в начальной стадии.

В результате выполнения раздела по социальной ответственности были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности на рабочем месте. Произведен анализ вредных и опасных производственных факторов, возникающих при проектировании и использовании объекта исследования в результате работы с ЭВМ. Рассмотрены меры минимизации влияния отходов, возникающих при проектировании и эксплуатации на окружающую среду. Выявлена наиболее вероятная чрезвычайная ситуация – пожар и рассмотрены меры ее предотвращения.



## Заключение

В работе, на основе анализа литературных источников, проведён обзор конструкций и видов токовых шунтов. Показано, что шунты коаксиальной конструкции обладают наиболее широкой полосой пропускания, а следовательно, могут быть использованы для измерения мгновенных значений токов сложной формы.

Проведён анализ методов уменьшения частотных искажений коэффициента преобразований сильноточного токового коаксиального шунта. В их основе лежит использование цепей амплитудной коррекции, компенсирующей искажение шунтом сигнала в диапазоне частот.

Показано, что цепи амплитудной коррекции могут быть реализованы не только в виде конкретных радиотехнических цепей, но и программно путём использования комбинация цифровых фильтров верхних и нижних частот.

Проведены экспериментальные исследования, реализующие цепи коррекции формы сигнала на основе программных средств в среде LabVIEW путём использования цифровых фильтров.

Проведенные в исследования могут предложить апробированные алгоритмы для дальнейших работ, направленных на минимизацию систематической искажений, возникающей при измерениях мгновенных значений сигналов сложной формы.

## Список использованных источников

1. Болотин И.Б. Измерения при испытании аппаратов в режимах короткого замыкания: учеб. для вузов / И.Б. Болотин, Л.З. Эйдель. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 200 с.
2. Борилов В.Н. Методы и средства измерений электрических параметров процесса формирования покрытий при импульсном энергетическом воздействии в растворах: дис... докт. тех. наук: 05.11.01: защищена 29.03.12 / Борилов Валерий Николаевич. – Томск, 2012. – 302 с.
3. Пентегов И.В. Измерение и запись импульсов сварочного тока с использование плоских шунтов / И.В. Пентегов // Автоматическая сварка. – 1964.
4. Kawamura T. Recent Developments on High Current Measurement Using Current Shunt / T. Kawamura, E. Haginomori, Y. Goda, T. Nakamoto // Transactions on electrical and electronic engineering. – 2007. – Vol. 2. – №. 5. – P. 516-522.
5. Johnson C.M. Current measurement using compensated coaxial shunts/ C.M. Johnson, P.R. Palmer // IEE Proceedings – Science, Measurement and Technology. – Vol. 141. – №. 6. – 1994. – P. 471-480.
6. Векслер М.С. Оценка частотных погрешностей шунтов переменного тока / М.С. Векслер, А.М.Теплинский // Метрологическое обеспечение электроприборостроения. – 1984. – С. 45-48.
7. Векслер М.С. Шунты переменного тока / М.С. Векслер, А.М. Теплинский. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.
8. Нейман Л. Р. Теоретические основы электротехники: учеб. для вузов / Л. Р. Нейман, П. Л. Калантаров. – 5-е изд., перераб. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 296 с.
9. ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 44 с.

10. Ferreira J.A. Integration of High Frequency Current Shunts in Power Electronic Circuits / J.A. Ferreira, W.A. Cronje, W.A. Relihan // IEEE Transactions on Power Electronics. – Vol. 10. – № 1. – 1995. – P. 32- 37.
11. Castelli F. The Flat Strap Sandwich Shunt // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – Vol. 48. – N.5. – 1999. – P. 894- 898.
12. Laug O.B. A four terminal current shunt with calculable AC response / O.B. Laug, T.M. Souders, B.C. Waltrip // NIST Technical Note 1462, Electronics and Electrical Engineering Laboratory, Gaithersburg, USA. – August 2004. – P. 48-52.
13. Бедарева Е.В. Аналитическое описание динамических характеристик коаксиальных шунтов // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 15-19 апреля 2013 г.) / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2013. – Т. 1 . – С. 127-128.
14. Malewski R. Micro-ohm shunts for precise recording of short circuit currents // IEEE transactions on Power Apparatus and Systems – Vol. PAS-96. – № 2. – March/April 1977. – P. 579-585.
15. Бедарева Е.В. Исследование динамических характеристик коаксиального шунта // Современные техника и технологии: сборник трудов XVII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 18-22 апрель 2011 г.) / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2011. – Т. 1 . – С. 156-157.
16. Malewski R. Elimination of the Skin Effect Error in Heavy-Current Shunts / R. Malewski, C.T. Nguyen, K. Feser, N. Hylten-Cavallius // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems (March 1981). – Vol. PAS-100. –№ 3. – P. 1333-1340.
17. Moran P. Coaxial shunt intended for transient current measurement in a pseudospark switch / P. Moran, Gibert A., G.J. Francois, P. Pignolet // IEE

Proceedings. Science, Measurement and Technology (March 1996). – Vol. 143. – № 2. – P. 119-124.

18. Бедарева Е.В. Влияние способов подключения потенциальных выводов на динамические характеристики коаксиальных шунтов / Е.В. Бедарева, Э.И. Цимбалист, С.В. Муравьев, П.Ф. Баранов // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – №. 4. – С. 159-164.

19. ГОСТ 492-2006. Никель, сплавы никелевые и медно-никелевые обрабатываемые давлением. Марки. – Введ. 2008-01-01. – М.: Изд-во. Стандартиформ, 2008. – 15 с.

20. Ланнэ А.А. Оптимальный синтез линейных электрических цепей: учеб. для вузов / А.А. Ланнэ. – М.: Связь, 1969. – 294 с.

21. Наталинова Н.М. Исследование резистивных преобразователей для компьютерных систем измерения токов сложной формы в составе технологических установок : автореф. дис...канд. тех. наук / Н.М. Наталинова. Томск: ТПУ, 2009. – 18 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

### Временные показатели осуществления разработки

Содержание	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ		Примечание
	$t_{\min}$ , чел-дни	$t_{\max}$ , чел-дни	$t_{ожг}$ , чел-дни		$T_{pi}$ , рабочих дней	$T_{ki}$ , календарных дней	
Постановка задачи	1	3	1,8	Р	1,8	3	
Разработка и утверждение ТЗ	2	5	3,2	Р, С	1,6	2	
Составление календаря проекта	1	2	1,4	Р, С	0,7	1	
Сбор информации по восстановлению сигнала и шунтам	2	5	3,2	Р, С	3,2	5	Не зависит от числа исполнителей
Анализ видов фильтров и шунтов	7	20	12,2	С	12,2	18	
Создание модели программного обеспечения	4	7	5,2	С	5,2	8	
Тестирование модели на различных видах сигнала	1	2	1,4	С	1,4	2	
Тестирование программы с реальным генератором	4	10	6,4	С	6,4	9	
Тестирование программы с шунтом первого порядка на основе RC цепи	14	30	20,4	С	20,4	30	
Проверка работы алгоритма на тестовых данных	1	5	2,6	С	2,6	4	
Составление пояснительной записки	14	30	20,4	Р, С	10,2	15	

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

## Календарный план-график проведения работ

