

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

Институт Кибернетики
Направление подготовки Стандартизация и метрология
Кафедра Компьютерных измерительных систем и метрологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Калибратор фиктивной мощности

УДК 621.317.785

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г21	Дурова Татьяна Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры КИСМ	Фомичев Ю.М.	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хаперская А.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
КИСМ	Стукач О.В.	Д.Т.Н., профессор		

Планируемые результаты обучения по направлению 27.03.01

«Стандартизация и метрология»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения комплексных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОК-12, 13, 15, 16, 19; ПК- 17, 18, 19, 21, 22, 26). Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров, устанавливать оптимальные нормы точности и достоверности контроля, выбирать средства измерений и контроля, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-3, 4, 8, 12, 23, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: по созданию проектов стандартов, методических и нормативных материалов и технических документов, по нормоконтролю и экспертизе технической документации, участвовать в проведении сертификации продукции, услуг, систем качества и систем экологического управления предприятием, участвовать в аккредитации органов по сертификации, измерительных и испытательных лабораторий	Требования ФГОС (ОК-17, 19; ПК- 1, 6, 7, 8, 11, 14, 16, 17, 18, 21, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: участвовать в оперативной работе систем качества, анализировать оценку уровня брака и предлагать мероприятия по его предупреждению и устранению, участвовать в практическом освоении систем менеджмента качества.	Требования ФГОС (ОК-3, 9, 15, ПК-2, 5, 11, 12, 13, 15, 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Использовать базовые знания в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; проводит анализ затрат на обеспечение требуемого качества и деятельности подразделения, проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений.	Требования ФГОС (ОК-8, 9, 18, ПК-10, 25). Критерий 5 АИОР (п.2.1, 1.3, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-3, 4, 5). Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-3, 18, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-17,19). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-1, 13, 14, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6, 7). Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт Кибернетики
 Направление подготовки Стандартизация и метрология
 Кафедра Компьютерных измерительных систем и метрологии

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Г21	Дуровой Татьяне Сергеевне

Тема работы:

Калибратор фиктивной мощности	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 958/с от 11.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p align="center">Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является калибратор фиктивной мощности, обеспечивающий задание режимов поверки в диапазоне нагрузок поверяемых счётчиков</p>
<p align="center">Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Выбор функционального построения калибратора фиктивной мощности. Разработка и исследование преобразователей «напряжение-напряжение», «напряжение ток»</p>

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Функциональные схемы калибратора фиктивной мощности, принципиальные и функциональные схемы преобразователей «напряжение-напряжение», «напряжение ток»
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Мезенцева И.Л.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Хаперская А.В.

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры КИСМ	Фомичев Юрий Михайлович	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г21	Дурова Татьяна Сергеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 8Г21	ФИО Дуровой Татьяне Сергеевне
-----------------------	---

Институт	ИК	Кафедра	КИСМ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Стандартизация и метрология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются компьютерные модели электрических схем структурных элементов калибратора фиктивной мощности, применяемые в производственных помещениях
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Анализ выявленных вредных факторов: – повышенный уровень электромагнитных излучений; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – отклонение показателей микроклимата в помещении.
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Анализ выявленных опасных факторов: – электрический ток; – пожароопасность.
2. Экологическая безопасность:	Рассматривается влияние на: – гидросферу (сбросы); – литосферу (отходы).
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	К чрезвычайной ситуации относится пожар
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные правовые нормы трудового законодательства; – компоновка рабочей зоны.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г21	Дурова Татьяна Сергеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Г21	Дуровой Татьяне Сергеевне

Институт		Кафедра	
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Стандартизация и метрология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Норматив заработной платы сотрудников ТПУ; 2. Коэффициенты для расходования заработной платы
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка конкурентоспособности, рассмотрение альтернатив проведения НИ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов разработки программы, определение трудоемкости, построение диаграммы Ганта, формирование бюджета НИИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	
---	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хаперская Алена Васильевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г21	Дурова Татьяна Сергеевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 96 с., 34 рисунка, 23 таблицы, 18 источников.

Ключевые слова: калибратор, мощность, функциональная схема, принципиальная схема, преобразователь, напряжение, ток.

Объектом исследования является калибратор фиктивной мощности, обеспечивающий задание режимов поверки в диапазоне нагрузок поверяемых счётчиков.

Цель работы: разработка и исследование преобразователей «напряжение-напряжение» и «напряжение-ток», входящих в калибратор фиктивной мощности.

В процессе исследования проводился поиск и анализ научной литературы, нормативно-технической документации.

Результатом проделанной работы являются функциональное построение калибратора фиктивной мощности, разработанные функциональные и принципиальные схемы преобразователей «напряжение-напряжение», «напряжение-ток».

Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

статический счетчик: Счетчик, в котором ток и напряжение воздействуют на твердотельные (электронные) элементы для создания на выходе импульсов, число которых пропорционально измеряемой энергии;

испытание: Экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик, свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий;

метрологическое обеспечение измерений: Систематизированный, строго определенный набор средств и методов, направленных на получение измерительной информации, обладающей свойствами, необходимыми для выработки решений по приведению объекта управления в целевое состояние.

фиктивная мощность: Мощность, подаваемая на счетчик, по своему действию эквивалентная мощности, выделяемой в нагрузке.

Обозначения и сокращения

- ПКЭ – показатели качества электроэнергии;
- АСП – автоматизированное средство поверки;
- СИ – средство измерения;
- БГР – блок гальванической развязки;
- КФМ – калибратор фиктивной мощности;
- ГСИ – государственная система обеспечения единства измерений;
- МК – микроконтроллер;
- ВС – внешняя синхронизация;
- МЦАП – масштабирующий цифро-аналоговый преобразователь;
- АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;
- ПНН – преобразователь «напряжение-напряжение»;
- ПНТ – преобразователей «напряжение-ток»;
- ПК – персональный компьютер;
- ООС – отрицательная обратная связь;
- ПСД – плата сбора данных;
- ОУ – операционный усилитель;
- УМ – усилитель мощности;
- АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;
- ФЧХ – фазо-частотная характеристика;
- ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;
- ЭМП – электромагнитное поле;
- ВДУ – временно допустимые уровни;
- НТИ – научно-техническое исследование;
- НР – научный руководитель;
- С – студент.

Оглавление

Введение	13
1 Требования, предъявляемые к современным автоматизированным средствам поверки	15
2 Способы построения калибратора фиктивной мощности	22
2.1 Построение калибратора фиктивной мощности типа «Вектор»	22
2.2 Калибратор фиктивной мощности с коррекцией напряжения на каждом выходе	31
3 Преобразователь «напряжение-напряжение»	35
3.1 Требования, предъявляемые к преобразователю «напряжение-напряжение»	35
3.2 Способы построения преобразователя «напряжение-напряжение»	36
3.2.1 Преобразователь «напряжение-напряжение» на основе усилителя мощности с многообмоточным трансформатором	36
3.2.1.1 Построение принципиальной схемы преобразователя	36
3.2.1.2 Расчет усилителя мощности	40
3.2.1.3 Экспериментальные исследования	42
3.2.2 Преобразователь «напряжение-напряжение» на основе мостового усилителя мощности	45
3.2.2.1 Построение принципиальной схемы преобразователя	45
3.2.2.2 Расчет преобразователя	47
3.2.2.3 Экспериментальные исследования	49
4 Преобразователь «напряжение-ток»	53
4.1 Требования, предъявляемые к преобразователю «напряжение-ток»	53
4.2 Построение принципиальной схемы преобразователя	53
4.3 Экспериментальные исследования	57
5 Социальная ответственность	62
5.1 Производственная безопасность	62
5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	62
5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	67
5.2 Экологическая безопасность	68

5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	70
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
5.4.1	Режим труда и отдыха	71
5.4.2	Организация рабочего места	71
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	73
6.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	73
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	73
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений	74
6.1.3	Технология QuaD	76
6.1.4	SWOT-анализ	77
6.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	79
6.3	Планирование научно-исследовательских работ	80
6.3.1	Составление перечня работ	80
6.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	81
6.3.3	Разработка графика проведения научного исследования	82
6.3.4	Определение бюджета научно-технического исследования	84
6.3.4.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования	84
6.3.4.2	Расчет основной заработной платы исполнителей темы	85
6.3.4.3	Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы	87
6.3.4.4	Расчет отчислений во внебюджетные фонды	87
6.3.4.5	Расчет накладных расходов	88
6.3.4.6	Формирование бюджета затрат научно-технического исследования	88
6.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	89
	Заключение	93
	Список использованных источников	94

Введение

Рыночные отношения в сфере электроснабжения постоянно развиваются, тарифы на электроэнергию растут, в связи с этим повышаются требования к точности контроля и учета электроэнергии. Применение электронных счетчиков электрической энергии позволяет удовлетворить этим требованиям. В результате обзора по счетчикам электроэнергии, было выявлено, что в настоящее время наибольшее распространение получили счетчики класса точности 1 и 2. Тем не менее, расширяется применение счетчиков более высокого класса точности 0,2S и 0,5S с динамическим диапазоном по измеряемым токам до сотен ампер при прямом включении. Кроме того, повышается интерес к качеству электроэнергии. Появляются счетчики, которые измеряют не только количество энергии, но и ее качество. Некоторые современные счетчики электроэнергии, помимо высокого класса точности, обладают возможностью измерять параметры основных электрических величин: напряжения, силы тока, углов фазовых сдвигов и мощности. Дополнительно можно получить информацию о частоте входного сигнала, об искажениях формы входного сигнала и т.д. На сегодняшний день такие приборы достаточно дорогие, но, можно предположить, что развитие технологий позволит снизить их стоимость и обеспечить массовое применение. В таком случае такие средства измерений станут основными средствами учета электроэнергии и контроля ее качества.

Исходя из этого, возникает проблема метрологического обеспечения таких средств измерений. Помимо обеспечения высокой точности, оно также должно обеспечивать высокую производительность регулировочных и поверочных работ. Установка «Вектор М», разработанная на кафедре компьютерных измерительных систем и метрологии Томского политехнического университета, не удовлетворяет дополнительным требованиям, предъявляемым к автоматизированным средствам поверки. В связи с этим, потребовалось усовершенствовать калибратор фиктивной мощности.

Целью данной работы является разработка преобразователей «напряжение-напряжение» и «напряжение-ток», входящих в калибратор фиктивной мощности. Разрабатываемые преобразователи должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к автоматизированным средствам поверки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выявить требования, предъявляемые к автоматизированным средствам поверки;
- выбрать наиболее эффективный способ построения преобразователей;
- построить и рассчитать электрические схемы преобразователей;
- провести экспериментальные исследования разработанных схем.

Применение калибратора фиктивной мощности позволяет автоматизировать поверочные работы. Кроме того, разработанный калибратор мощности может формировать искаженные сигналы, что позволяет поверять современные счетчики электроэнергии.

1 Требования, предъявляемые к современным автоматизированным средствам поверки

Автоматизация испытаний счетчиков электрической энергии и приборов, предназначенных для измерения показателей качества электроэнергии (ПКЭ), предполагает наличие у автоматизированных средств поверки (АСП) следующих информационных функций:

- запись в энергонезависимую память программ испытаний приборов в виде последовательных сочетаний тестовых значений тока, напряжения, коэффициента мощности для различных видов сигналов;
- возможность изменения, дополнения, удаление записанных программ;
- оперативный вызов из памяти программ испытаний конкретного типа прибора;
- диалоговый (пошаговый) или автоматический (по полной программе) режим испытаний с индикацией исполняемых сочетаний напряжения, тока, коэффициента мощности и состояния процесса поверки;
- автоматическая запись уставок и расчет погрешности испытуемых средств измерений с оперативной индикацией, протоколированием и архивированием результатов.

Память программ является главным условием реализации автоматического режима поверки. Наиболее приемлемый вариант набора программ поверки с клавиатуры компьютера (управляющего пульта), что обеспечивает возможность модификации базы данных [1].

Для реализации этих функций автоматизированная система поверки должна содержать такие функциональные устройства как:

- источник фиктивной мощности, который обычно представляет собой двухканальный (ток и напряжение) одно- или трехфазный синтезатор опорного гармонического напряжения с программным управлением (I , U , φ) и других видов испытательных сигналов;

- мощные аналоговые преобразователи напряжения в ток, напряжения в напряжение, используемые для питания последовательных и параллельных цепей испытуемых счетчиков и приборов для измерения ПКЭ с программным управлением значениями выходных тока и напряжения;

- эталонные средства измерения (СИ), обеспечивающие требуемые нормированные метрологические характеристики;

- устройство обработки результатов измерений при поверке – вычислитель погрешности с программной записью уставок (постоянной счетчика, времени усреднения и др.);

- индикаторы исполняемых режимов, значения погрешностей, состояния процесса поверки;

- программное обеспечение, установленное на компьютере.

Современные средства испытаний счетчиков на точность должны отвечать техническим требованиям, установленным ГОСТ 8.584 [2] и ГОСТ 31819.22 [3].

В соответствии с требованиями ГОСТ 8.584 [2] испытания счетчиков электроэнергии проводятся при следующих условиях:

- синусоидальная форма тока и напряжения с коэффициентом искажения формы кривой не более 0,2 %;

- отклонение частоты выходных токов и напряжений не должно превышать 0,3 %;

- отклонение значения каждого из фазных токов и напряжений не должно превышать 1 % задаваемого значения;

- дискретность задания углов фазового сдвига не более 1° в диапазоне от минус 180° до плюс 180° .

АСП должны обеспечивать определение значений энергии при поверке с суммарной погрешностью, не превышающей 1/4 допускаемого значения основной погрешности для электронных счетчиков соответствующего класса.

Стандарт ГОСТ 31819.22 [3] устанавливает проведение испытаний с

целью проверки дополнительной погрешности в диапазоне от 0,4 % до 0,5 % при наличии гармоник напряжения и тока. Следовательно, АСП должны обеспечивать установку амплитуд гармоник с точностью не более 0,1 %.

АСП должны воспроизводить напряжения, определяемые расширенным рабочим диапазоном счетчиков от 0,8 до 1,15 от $U_{ном}$ или даже предельным значением от 0 до 253 В. Выходная мощность канала напряжения АСП определяется потреблением испытываемых счетчиков по цепи напряжения (2 Вт и 10 ВА) и числом одновременно поверяемых приборов.

Реальное потребление мощности у электронных счетчиков имеет большой разброс в зависимости от схемной реализации источника питания. Характер импеданса счетчика с бестрансформаторным источником питания является емкостным, как правило, с пиковой нагрузкой по току.

Коэффициент гармоник K_g не более 0,2 % обеспечивается применением в АСП электронных усилителей с обратными связями по мгновенному значению, в которых при реактивном и меняющемся характере импеданса нагрузки может возникнуть паразитная генерация.

Широкое распространение счетчиков с датчиками в канале тока в виде шунта, у которых цепи тока и напряжения гальванически связаны и не могут быть разделены на время поверки, привело к дополнительным сложностям при построении канала напряжения АСП. При организации групповой поверки таких счетчиков требуется n гальванически не связанных каналов напряжения. Наибольшее распространение получило применение блока гальванической развязки (БГР), но это ограничивает допустимую нагрузку канала напряжения и требует подключения счетчиков с одинаковыми входными импедансами, т.е. практически однотипных счетчиков [1].

Канал тока АСП должен обеспечивать поверку следующих параметров счетчика: проверку самохода, проверку стартового тока, проверку погрешности, вызванной изменением тока, проверку точности при наличии гармоник, испытание на влияние субгармоник [3].

Для испытания влияния субгармоник на точность измерений энергии в ГОСТ 31819.22 [3] приведена рекомендуемая форма сигнала тока и его спектральный состав для частоты 50 Гц. Сигнал с таким спектральным составом называют интергармоническим. Для этого используют испытательный цикл: два периода «включено», два периода «отключено».

Так как АСП должны обеспечивать поверку не только счетчиков, но и ПКЭ, следовательно, появляются дополнительные требования по формированию сигналов. А именно, АСП должны воспроизводить сигналы сложной формы:

- отклонение частоты $\pm 0,4$ Гц;
- медленные изменения напряжения ± 10 % от номинала;
- колебания и фликер;
- одиночные быстрые изменения напряжения ± 5 % от номинала;
- искаженность напряжения (гармоники до 50) и др.

Современные методы построения измерителей мощности (широкоимпульсного, широкоамплитудного, аналогово-цифрового преобразования) позволяют обеспечивать относительную погрешность эталонных измерителей электроэнергетических величин от 0,01 %. Все это делает возможным создание поверочных установок высокого класса точности. При этом существуют два принципа построения поверочных установок:

- метод непосредственного сличения показаний эталонного и поверяемого приборов;
- метод калибратора мощности.

В обоих случаях, для обеспечения требуемой мощности во входных цепях поверяемого прибора необходим источник фиктивной мощности.

В первом случае требования к источнику фиктивной мощности просты:

- допустимые отклонения тока и напряжения от установленных значений ± 1 %;
- искажения формы кривой от 1 % до 2 %;
- дискретность задания фазового сдвига – 1° .

Такие характеристики достигаются введением относительно неглубоких обратных связей по мгновенному значению в преобразователях «напряжение-напряжение» и «напряжение-ток». С помощью обратных связей по интегральному значению можно обеспечить высокую стабильность выдаваемой мощности. Большинство отечественных и зарубежных АСП построены с использованием этого метода. Основные технические характеристики установок, их производители и цена приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Основные технические характеристики АСП

Технические характеристики, цена	ЦУ-7009-60 (3-х фазная)	ЦУ-7008 (однофазная)	ЦУ-7012	ЦУ-7016	ЦУ-6804М (3-х фазная)
Диапазон токов, А	0,01...60	0,01...60	0,001...12	0,01...120	0,001...10
Диапазон напряжений, В	20...450	187...242	20...500	176...264	20...288
Диапазон частот, Гц	45...65	50 ± 0,3	45...65	50 ± 0,3	(47,5...63) ± 0,1
Выходная мощность канала U , ВА	50...150	200...300	50	200...300	15
Выходная мощность канала I , ВА	60...200	160...300	60	160...300	20
Погрешность измерения P , %	±0,05	±0,2	±0,05	±0,2	±0,05
Погрешность измерения Q , %	±0,1		±0,1		±(0,1...0,2)
Коэффициент искажения синусоидальности, %	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0
Количество измеряемых гармоник	1	1	1...40	–	–
Измерение субгармоник	–	–	–	–	–
cos φ, φ				0...359,95°, Δφ = 1°	0,01...1; –(0,01...1); Δ(cosφ) = 0,01
Цена, тыс. руб.	1700	(зависит от комплектации)	(зависит от комплектации)	≈ 1500	470

Продолжение таблицы 1.1

Технические характеристики, цена	УАПС-1, УАПС-1М (3-х фазная)	УАПС-2 (однофазная)	СУ-001 (однофазная)	УППУ-МЭ
Диапазон токов, А	0,01...50 (100)	0,01...100	0,01...120	0,00001...50 (100)
Диапазон напряжений, В	57,7...230	170...240	150...288	0,001...480
Диапазон частот, Гц.	47...63	47...63	47...63	45...70
Выходная мощность канала U , ВА	40...80	60	200	150
Выходная мощность канала I , ВА	150	170	170	150
Погрешность измерения P , %	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,02$
Погрешность измерения Q , %	$\pm 0,3$			$\pm 0,03$
Коэффициент искажения синусоидальности, %	1,0	2,0	2,0	
Количество измеряемых гармоник	3; 5	3; 5	1	0...40
Измерение субгармоник	+	+	-	+
$\cos \varphi$, φ	$(0...360)^\circ \pm 0,6^\circ$	$-180...+180^\circ$; $\Delta\varphi = \pm 0,6^\circ$	$-(0,01...1)$; $0,01-1$; $\Delta(\cos\varphi) = 1$	$0...359,95^\circ$; $\Delta\varphi = 1^\circ$
Цена, тыс. руб.	≈ 700	560...610	≈ 600	$\approx 973,500$

Применение метода калибратора мощности позволяет исключить из структуры эталонный счетчик, при этом требуемое значение погрешности задания мощности обеспечивается косвенным методом – путем прецизионного задания выходных значений напряжения, тока и коэффициента мощности, с учетом известного соотношения для активной мощности:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (1.1)$$

где P – активная мощность, Вт;

U – действующее значение напряжения, В;

I – действующее значение тока, А;

φ – фазовый сдвиг между сигналами тока и напряжения.

Даже при среднеквадратичном законе сложения погрешностей сомножителей (1.1), требования к погрешности задания значений напряжения, силы тока и коэффициента мощности получаются очень жесткими. Если точность задания силы тока и напряжения можно обеспечить, используя отрицательную обратную связь (ООС) по интегральному значению, то для удержания фазового сдвига в пределах сотых долей градуса (как и малых искажений сигнала) требуются глубокие ООС по мгновенному значению. С учетом реактивной изменяющейся нагрузки возникает проблема обеспечения устойчивости системы. В калибраторах, работающих в узком частотном диапазоне (от 45 до 65 Гц), эта задача решается расчетом и выбором корректирующих цепей. В связи с требованиями проверки влияния гармоник на погрешность измерения, полосу пропускания усилителей мощности (каналы тока и напряжения) необходимо расширить до (2–2,5) кГц. Для этого требуется построение соответствующих усилителей мощности. Применение современной элементной базы позволяет решить данную задачу. Тем не менее, проблема устойчивости все равно остается.

2 Способы построения калибратора фиктивной мощности

2.1 Построение калибратора фиктивной мощности типа «Вектор»

На кафедре Компьютерных измерительных систем и метрологии Национального исследовательского Томского политехнического университета разработана установка для поверки счетчиков электрической энергии переменного тока «Вектор М» (далее установка «Вектор М»), предназначенная для регулировки и поверки средств измерений электроэнергетических величин промышленной частоты. А именно для поверки однофазных и трехфазных СИ активной и реактивной мощности и энергии, действующих значений напряжения и тока и однофазных и трехфазных счетчиков активной и реактивной электрической энергии в автоматическом режиме.

Установка «Вектор М» работает на основе альтернативного метода - калибратора фиктивной мощности (КФМ). Этот подход позволяет исключить из процедуры поверки использование таких измерительных приборов, как вольтметры, амперметры, ваттметры (счетчики), фазометры, и освобождает оператора от ручных операций по установке испытательных режимов.

При разработке установки «Вектор М» признано рациональным построение трехфазной установки на основе трех функционально самостоятельных однофазных мобильных блоков с возможностью их объединения в синхронизируемую трехфазную систему. Это позволяет организовать одно рабочее место для регулировки и поверки 8 трехфазных счетчиков или 24 однофазных, или при добавлении контроллеров групповой поверки, три независимых места для поверки однофазных счетчиков. Кроме того, отдельная компоновка увеличивает надежность, исключая случаи, когда выход из строя, например, общего источника питания или контроллера парализует работу сразу всей установки.

Таким образом, поверочная схема может быть построена на основе метода калибратора мощности. На рисунке 1 приведена структурная схема КФМ, входящего в установку «Вектор М».

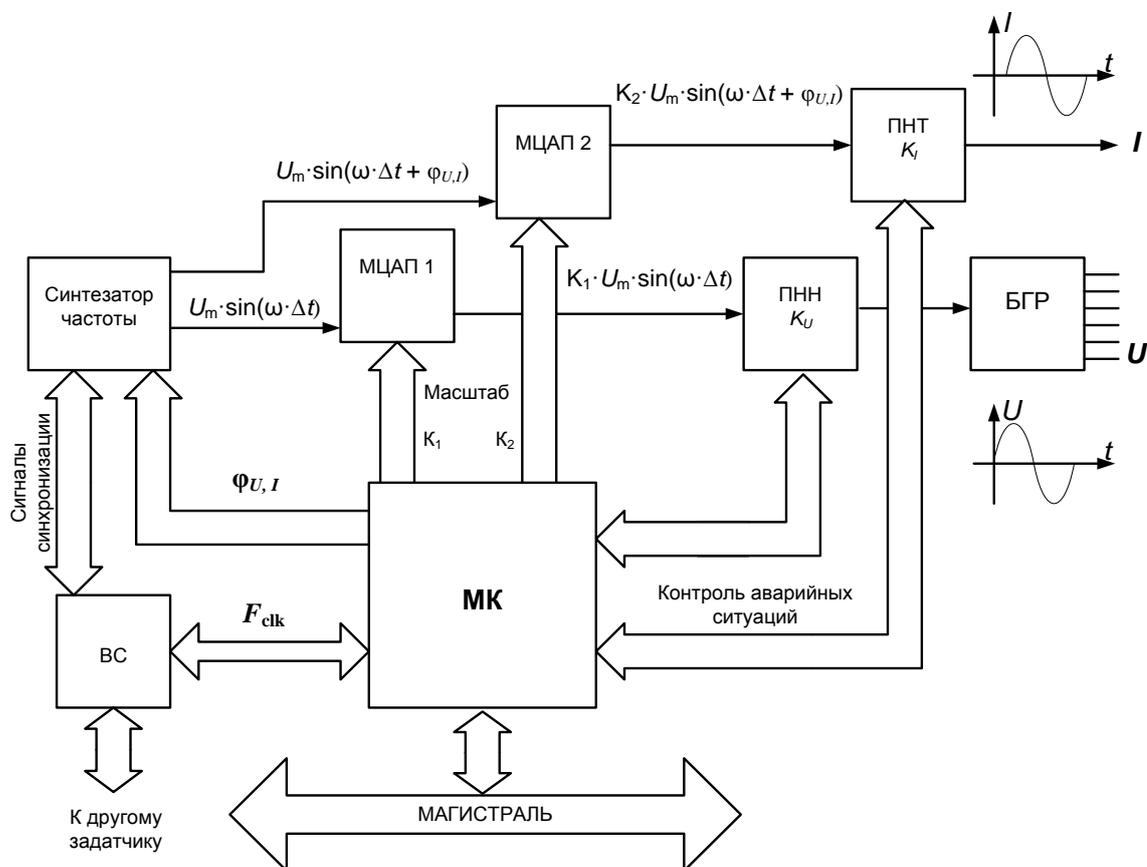


Рисунок 1 - Структурная схема калибратора фиктивной мощности, входящего в установку «Вектор М»

В состав калибраторов указанного типа входят следующие основные блоки:

- МК – микроконтроллер управляет работой калибратора по заданной программе и осуществляет контроль аварийных ситуаций;
- ВС – внешняя синхронизация может задаваться МК или от другого датчика при объединении калибраторов в трехфазную систему;
- синтезатор частоты – позволяет получить сигналы синусоидальной формы заданной частоты (определяется тактовой частотой F_{clk}) и фазовым сдвигом ($\varphi_{U,I}$);
- МЦАП 1 и МЦАП 2 – масштабирующие цифроаналоговые преобразователи (ЦАП), позволяющие устанавливать значения выходного

сигнала по заданной программе (масштабирование определяется коэффициентами K_I и K_2);

- ПНН, ПНТ – мощные аналоговые выходные каскады преобразователей «напряжение-напряжение» и «напряжение-ток» с постоянными коэффициентами преобразования K_U и K_I соответственно;

- БГР – блок гальванической развязки, предназначен для получения шести гальванически не связанных каналов напряжения;

- магистраль – осуществляет коммуникацию калибратора с персональным компьютером (ПК).

Программа работы калибратора зависит от типа поверяемых счетчиков электрической энергии и задается в управляющей программе на ПК, в память которого также заносятся результаты поверки/калибровки, которые затем оформляются в виде протоколов испытаний. Расширение области применения электронных счетчиков классов точности 0,2S и 0,5S и появление новых нормативных документов [2,3,7] привело к необходимости модернизации метрологического обеспечения испытаний счетчиков. В современных электронных счетчиках используются аналогово-цифровые преобразователи (АЦП), преобразующие мгновенные значения входных сигналов с последующим вычислением измеряемых величин, появились дополнительные функции, связанные с определением качества электрической энергии, например, получение информации о частоте входного сигнала, об искажениях формы входного сигнала и т.д., что также требует проведение их дополнительных метрологических испытаний. Установка «Вектор М» не удовлетворяет дополнительным требованиям к АСП. Калибратор фиктивной мощности должен формировать сигналы сложной формы, следовательно, необходимо его усовершенствование.

Точность калибраторов фиктивной мощности можно повысить за счет использования аналогово-цифрового преобразования выходных сигналов, расчета значений U , I , φ и мощности, внесения коррекции во входные сигналы усилителей мощности.

В работе, проведенной на кафедре, были рассмотрены возможности уменьшения погрешности калибраторов фиктивной мощности, а также формирование сигналов специальных видов.

Стандарты предыдущего поколения устанавливали требования, в которых поверка осуществлялась при синусоидальной форме сигналов тока и напряжения, которые формировал цифровой синтезатор с заданным сдвигом по фазе относительно друг друга. С помощью МЦАП, ПНТ и ПНН устанавливаются требуемые значения тока, напряжения и фазового сдвига. ПНТ и ПНН – это, фактически, усилители мощности, которые должны обладать постоянными и стабильными коэффициентами преобразования, а также очень малыми фазовыми сдвигами ($\varphi \leq 0,01^\circ$). Эти параметры обеспечиваются за счет введения очень глубоких обратных отрицательных связей, порядка 1000. Несмотря на реактивную (емкостную, индуктивную), изменяющуюся по величине нагрузку в узком диапазоне частот (от 45 до 65 Гц), задача решалась применением специально разработанных цепей коррекции.

Современные стандарты устанавливают требования, согласно которым, необходимо проверять погрешность измерения счетчиками при воздействии сигналов сложной формы: с содержанием высших гармоник (40-50) или субгармоник (интергармоник). Это привело к необходимости расширения полосы рабочих частот ПНТ и ПНН до (2-3) кГц. Для определения влияния субгармоник необходимо сформировать сигнал, вид которого приведен на рисунке 2, т. е. требуется изменение скачком тока нагрузки.

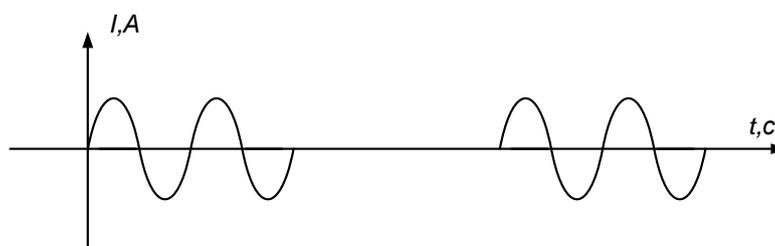


Рисунок 2 - Форма сигнала для получения субгармонических составляющих

Все это усложнило задачу обеспечения устойчивости при больших глубинах ООС по мгновенному значению [1].

Для достижения поставленной цели были проведены исследования возможности применения в КФМ обратной связи не только по мгновенному значению, но и периодической автоматической коррекции погрешности. На рисунке 3 приведена функциональная схема такого КФМ.

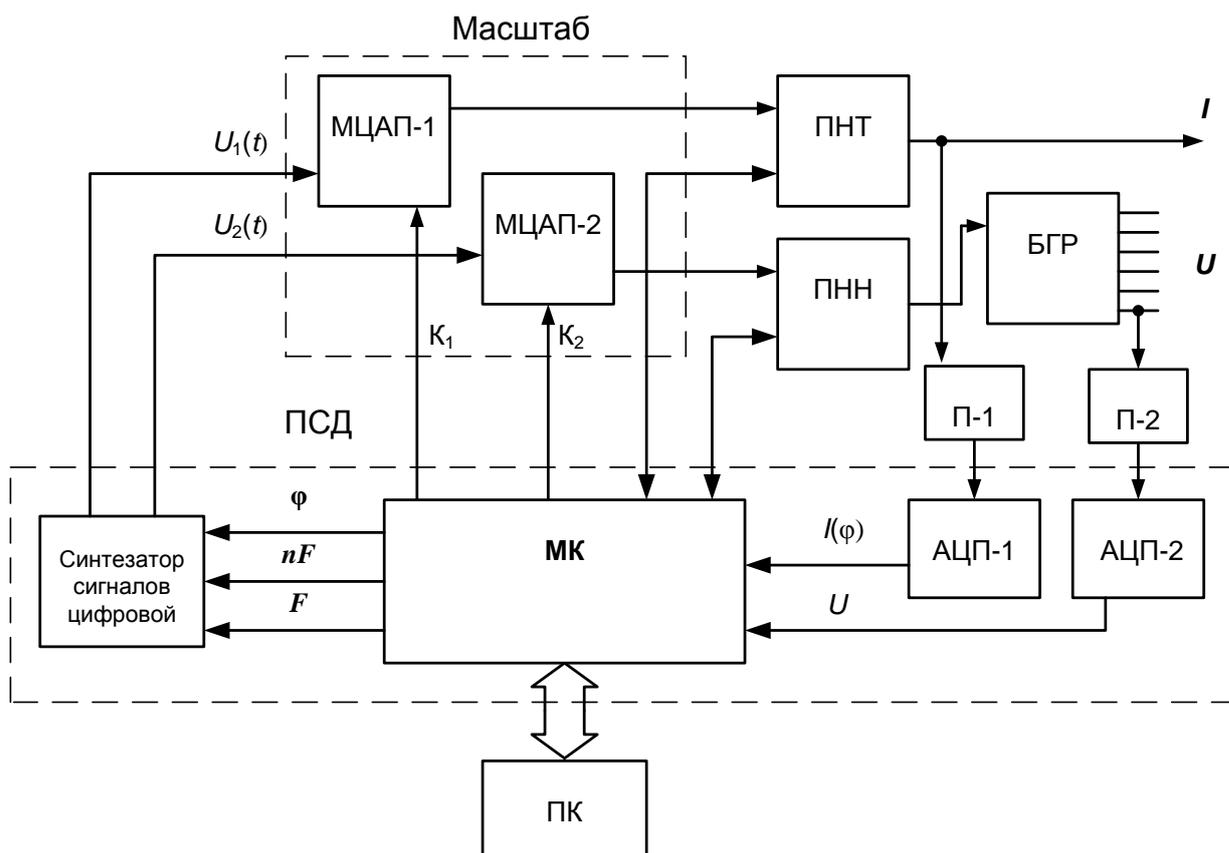


Рисунок 3 - Функциональная схема КФМ с обратной связью по мгновенному значению и автоматической коррекцией погрешности

Предлагаемая схема калибратора состоит из следующих основных блоков:

- АЦП, АЦП2-измерительные преобразователи напряжения и тока
- МЦАП-1 и МЦАП-2 – масштабирующие ЦАП;
- ПНТ и ПНН – также как и в рассмотренных ранее калибраторах,

являются мощными аналоговыми выходными каскадами;

– П-1 и П-2 – измерительные преобразователи (резистивный делитель напряжения, трансформатор тока или токовый шунт) для приведения выходных сигналов напряжения и тока к уровню измеряемых сигналов АЦП.

– БГР – блок гальванической развязки, предназначен для получения шести гальванически не связанных каналов напряжения.

– ПК – управляет работой калибратора, сохраняет в память результаты поверки/калибровки счетчиков и позволяет формировать протокол испытаний.

Работа КФМ осуществляется следующим образом:

– по команде с компьютера синтезатор формирует сигналы с заданной амплитудой, формой, частотой и фазовым сдвигом для каналов тока и напряжения;

– масштабирующая цепь (МЦАП) выставляет, за счет заданных коэффициентов K_1 и K_2 , необходимую амплитуду на вход преобразователей ПНТ и ПНН, которые имеют постоянные коэффициенты преобразования;

– выходные сигналы нормируются преобразователями П-1 и П-2 и подаются на АЦП.

– АЦП-1 и АЦП-2 преобразуют сигналы тока ($I_{(\phi)}$) и напряжения (U) в цифровой код, а полученный код поступает в управляющую программу на ПК, где вычисляется мощность выходного сигнала;

– полученный результат вычисления мощности сравнивается с заданным значением, при возникшей разнице значений происходит коррекция задаваемых значений мощности. Так как отличие выходной мощности компенсируется, соответственно, уменьшается погрешность калибровки мощности;

– цикл повторяется через (3-5) мин или при установке новых параметров выходных сигналов.

Рассматриваемое решение было исследовано с применением современных плат сбора данных (ПСД), например, NI 6251 [8] (на рисунке 3 объединены в ПСД). Данная плата в своем составе имеет двухканальный

ЦАП и быстродействующий АЦП, а также позволяет интегрировать ее в измерительную установку. При этом нет необходимости дополнительно разрабатывать драйвера обмена с компьютером, так как компания производитель (National Instruments, США) предоставляет их в комплекте с платой.

Такой подход позволяет избежать сложных конструктивных особенностей и режимов работы генераторов для формирования сигналов сложной формы (рисунок 2).

ПСД позволяет воспроизводить и измерять следующие параметры сигналов: амплитудные (действующие) значения напряжения, фазовый сдвиг между сигналами, частоту гармонических сигналов, активную, реактивную и полную мощности как синусоидальных, так и несинусоидальных сигналов (дополнительно рассчитывается мощность искажения), коэффициент гармоник (коэффициент искажения синусоидальности кривой).

На кафедре компьютерных измерительных систем и метрологии проводились исследования метрологических характеристик ПСД [9].

На базе платы NI USB-6251 и программной среды LabVIEW 2009 был реализован синтезатор (генератор) и анализатор сигналов, рисунок 4.

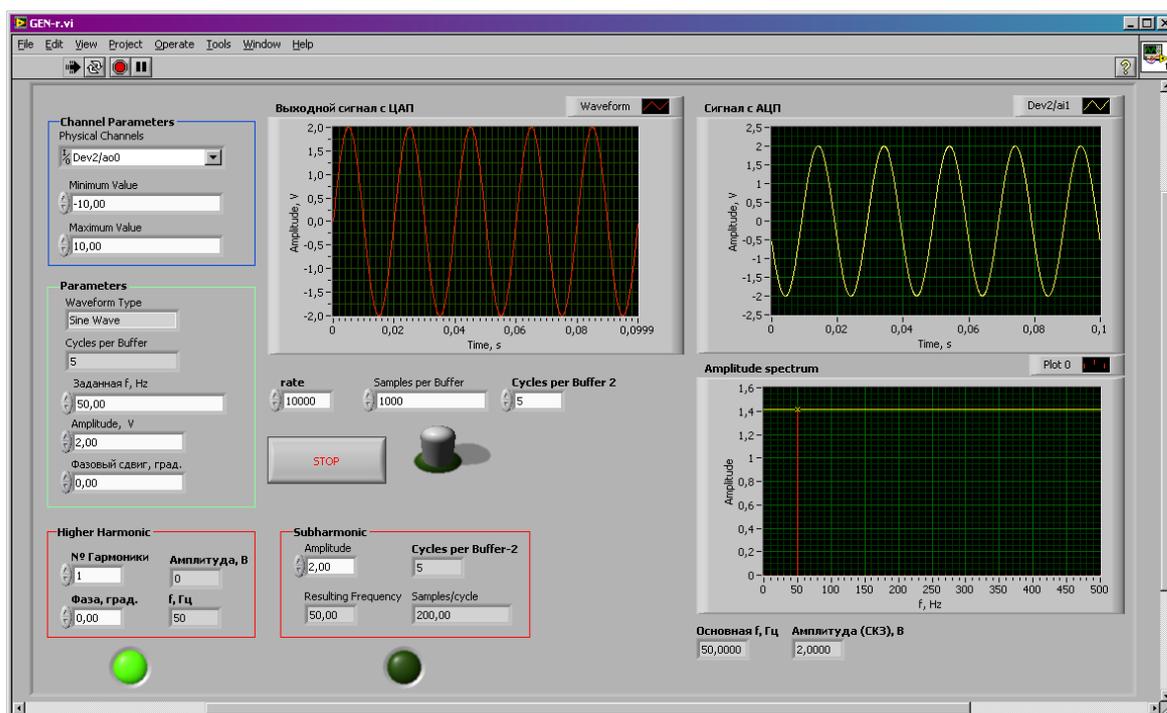


Рисунок 4 - Генератор и анализатор сигналов

Данное программное обеспечение позволяет сформировать сигнал синусоидальной формы, сигнал с интергармоническими составляющими (субгармониками) или высшими гармониками (рисунок 5), а затем передать его на ЦАП.

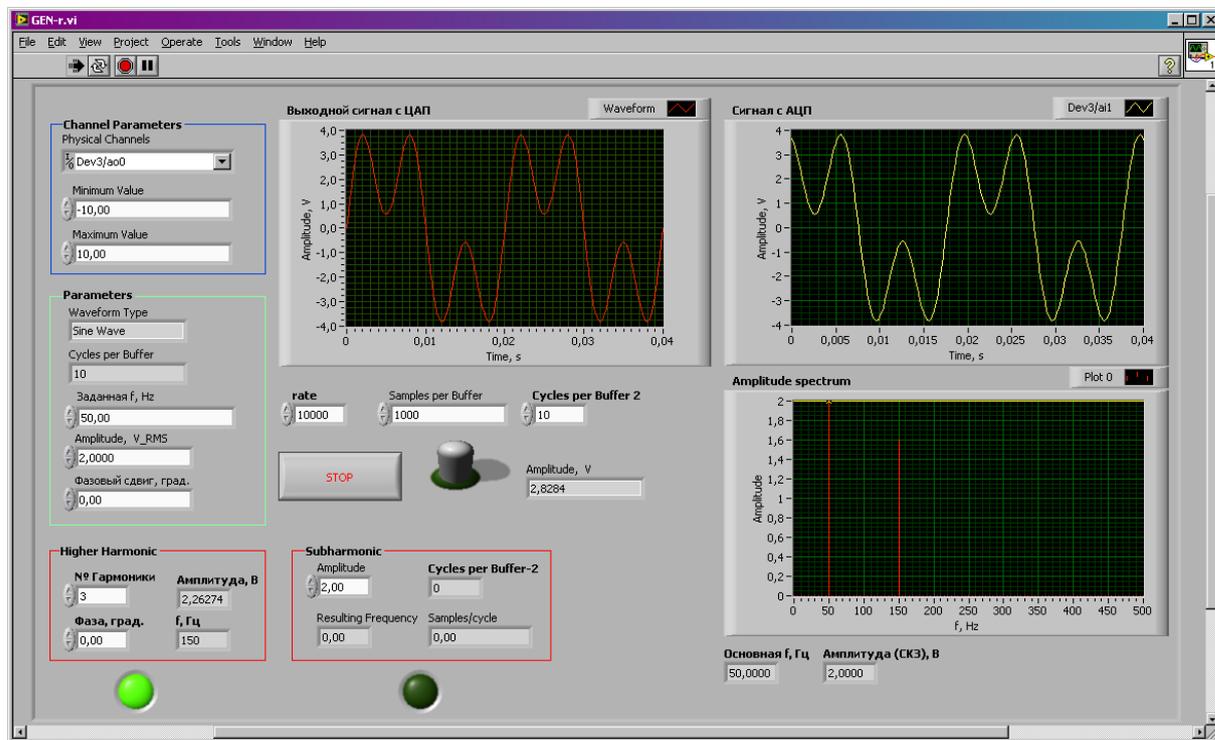


Рисунок 5 - Генератор и анализатор сигналов в режиме формирования сигнала с высшими гармоническими составляющими (в сигнале присутствует 3 гармоника)

Одновременно с этим производится измерение с помощью АЦП платы NI USB-6251 сгенерированного сигнала и определение погрешности генерации его амплитуды и частоты. Эту операцию предлагалось использовать в разрабатываемом КФМ, когда проводится контроль выходных сигналов измерительных трактов для повышения класса точности калибратора.

На рисунке 4 приводится пример прямого измерения генерируемого сигнала, из которого видно, что погрешность генерации сигналов пройденных через ЦАП и АЦП сводится к малому значению. Это обеспечивается высокой разрядностью используемых преобразователей.

Измерение мощности сигналов производилось на основе уже

разработанных программных продуктов, предложенных авторами в работе [10]. Исследования и установление метрологических характеристик используемой платы проводилось на эталонном оборудовании.

На текущем этапе работ проверялась точность:

- 1) ЦАП – для формирования гармонических сигналов с заданной частотой и амплитудой;
- 2) АЦП – для измерения амплитуды и частоты сигналов.

Для определения точности проведенных измерений использовалось поверенное оборудование, относящиеся к рабочим эталонам: частотомер ЧЗ-35А, мультиметр Agilent 3458А, калибратор Fluke 5520А.

Исследовались погрешности формирования действующих значений напряжения ЦАП платы сбора данных, диапазон частот формирования сигналов от 50 Гц до 2,5 кГц.

Погрешность формирования частоты генерируемых сигналов (δf) с ЦАП контролировалась с помощью частотомера ЧЗ-35А. Для измерения значений напряжения U_0 в диапазоне от 0,5 до 7 В в работе был использован мультиметр Agilent 3458А.

Относительная погрешность измерений рассчитывалась по формуле:

$$\delta = \pm \frac{X_0 - X_{\text{э}}}{X_{\text{э}}} \cdot 100 \% , \quad (2.1)$$

где δ , относительная погрешность измерений, %;

X_0 – заданные значения соответствующей физической величины;

$X_{\text{э}}$ – показания рабочего эталона.

Результаты измерений показали, что погрешность формируемых значений амплитуды и частоты напряжения не превышает 0,04 %, т.е. ЦАП исследуемой платы позволяет формировать выходные сигналы с необходимым запасом точности.

Также исследовались погрешности измерения действующих значений напряжения, для чего был использован калибратор Fluke 5520А как источник входных сигналов напряжения в диапазоне частот от 50 Гц до 2,5 кГц,

диапазон измеряемых напряжений U_0 от 0,5 до 3,5 В. Относительная погрешность измерений рассчитывается по формуле (2.1). Контроль значений частоты генерируемых сигналов (δf) осуществлялся частотомером ЧЗ-35А.

Результаты измерений показали, что погрешность измерений значений напряжений не превышает 0,04 %, т. е. не выходит за пределы установленных в технической документации на NI USB-6251 [8].

Таким образом, в статье [9] было экспериментально показано, что синтезатор сигналов на базе платы сбора данных обеспечивает формирование и измерение параметров сигналов в частотном диапазоне от 50 Гц до 2,5 кГц с погрешностью до 0,05 %, что удовлетворяет требованиям по запасу точности для построения КФМ с классом точности 0,1.

При поверке разнотипных счетчиков, из-за расхождения входных параметров счетчиков, возникает дополнительная погрешность. В связи с этим, при таком построении следует поверять только однотипные счетчики (так как расхождения входных параметров небольшие). Это является основным недостатком данного построения.

Преимуществом такого построения является достаточно простая конструкция.

2.2 Калибратор фиктивной мощности с коррекцией напряжения на каждом выходе

Возможен также второй способ построения КФМ с использованием шести АЦП. На рисунке 6 приведена функциональная схема КФМ с устройствами измерений на базе АЦП.

В состав функциональной схемы входят микроконтроллер, выполняющий основные математические операции по обработке и преобразованию сигналов в установке и управляющее всеми узлами и устройствами КФМ.

Цифровой синтезатор сигналов, который на основе данных, поступающих с МК с помощью МЦАП, формирует непрерывные синусоидальные сигналы - сигнал тока и шесть сигналов напряжения. Все сигналы напряжения синфазны между собой, а фазовый сдвиг между ними и сигналом тока может быть задан любым.

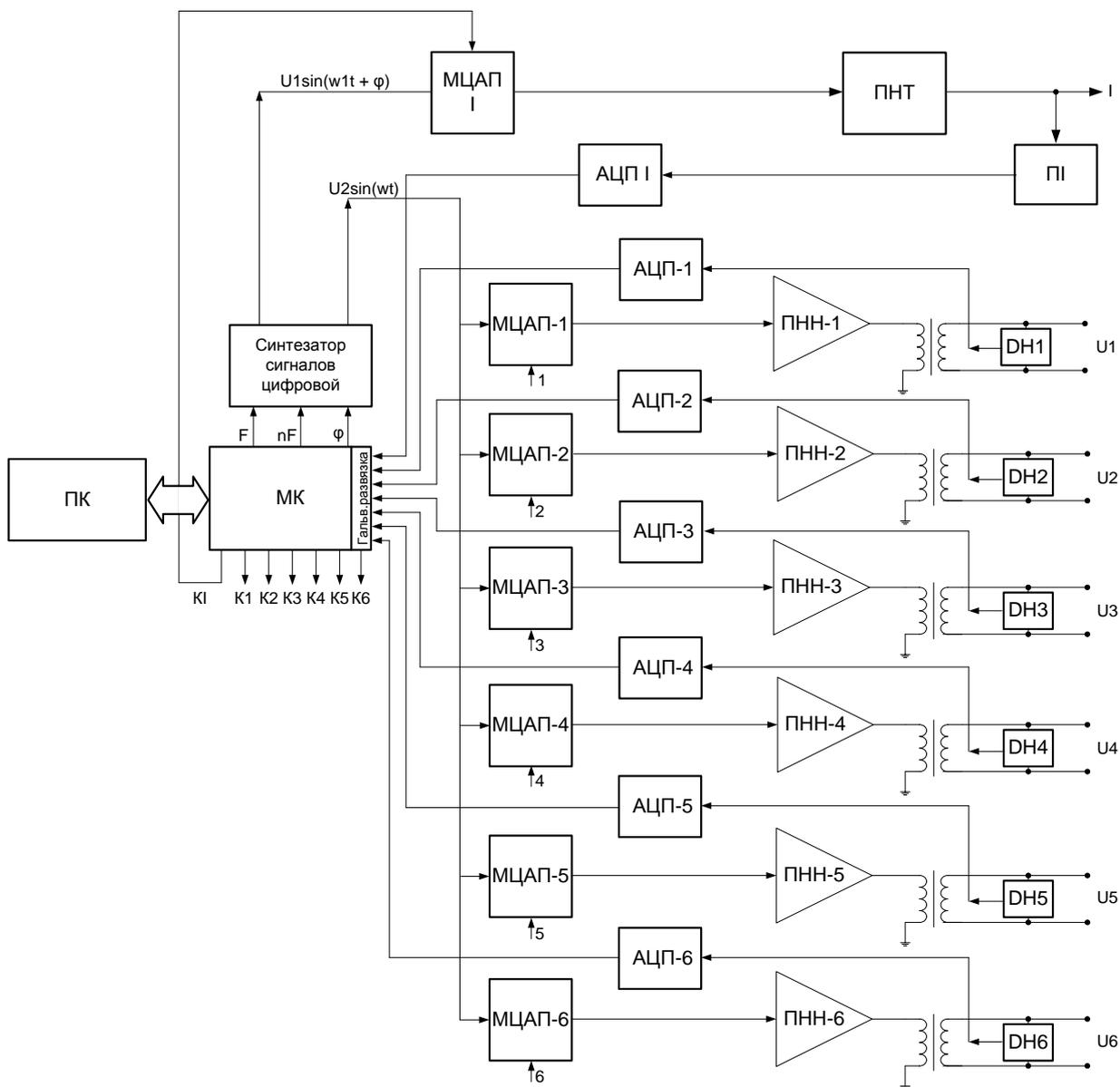


Рисунок 6 - Схема КФМ с коррекцией напряжения на каждом выходе

Преобразователь напряжение - ток имеет такое же построение как и в предыдущей схеме. Шесть каналов преобразователей напряжения представляют собой усилители мощности, собранные по мостовой схеме на

микросхемах TDA 2030 (аналог K174 УН19). Необходимые значения выходного напряжения (не более 260 В) получаются с помощью трансформаторов, выходные обмотки которых между собой и общим проводом (землей) гальванически не связаны.

Выходные напряжения делятся с помощью прецизионных резистивных делителей (ДН1 - ДН6). Результаты деления используются для их контроля.

Для измерения напряжения каналов ПНН используются АЦП1 - АЦП6. Эти АЦП питаются от своих изолированных источников питания.

Связь этих АЦП с МК осуществляется через гальваническую развязку.

Основной рабочий цикл установки связи с первой измерительной задачей - формирование измерительных сигналов тока, напряжения, фазового сдвига и т.д. по команде с компьютера.

Работа КФМ осуществляется следующим образом:

- с компьютера подается команда, по которой синтезатор формирует сигналы с заданной амплитудой, формой, частотой и фазовым сдвигом для каналов тока и напряжения;
- масштабирующая цепь (МЦАП) выставляет, за счет заданных коэффициентов $K_1 - K_6$, необходимую амплитуду на вход преобразователей ПНТ и ПНН, имеющих постоянные коэффициенты преобразования;
- выходные сигналы нормируются преобразователем тока ПТ и преобразователями напряжения ДН1-ДН6 и подаются на АЦП;
- АЦП1 и АЦП-1 - АЦП-6 преобразуют сигналы тока ($I_{(\phi)}$) и напряжения (U) в цифровой код, полученный код поступает в управляющую программу на ПК, где вычисляется мощность выходного сигнала по каждому каналу;
- полученный результат вычисления мощности сравнивается с заданным значением, при возникшей разнице значений происходит коррекция входных сигналов каналов тока и напряжений. За счет этого отличие выходной мощности от заданной компенсируется, соответственно, уменьшается погрешность калибровки мощности;

– цикл повторяется через (3-5) мин или при установке новых параметров выходных сигналов.

Достоинством такого построения является возможность поверять разнотипные счетчики, так как мощности корректируются на каждом выходе.

Недостаток заключается в более сложной конструкции (в данном способе построения требуется шесть трансформаторов, шесть делителей, шесть усилителей напряжения и семь АЦП гальванически развязанных).

Проанализировав требования, предъявляемые калибратору мощности, в частности, к генерируемому сигналу, была поставлена цель разработать преобразователи «напряжение-напряжение» и «напряжение-ток».

3 Преобразователь «напряжение-напряжение»

3.1 Требования, предъявляемые к преобразователю «напряжение-напряжение»

В соответствии с требованиями ГОСТ 8.584 [2] испытания счетчиков проводятся при синусоидальной форме тока и напряжения. Коэффициент искажения формы сигнала должен быть не более 0,2 %.

Выходное напряжение должно быть в пределах действующих значений от 0 до 260 В.

Согласно требованиям ГОСТ 31819.22 [3] частота испытательного напряжения должна быть от 45 до 65 Гц. При исследовании влияния искажения сигнала за счет дополнительных гармоник полоса рабочих частот расширяется. Полоса рабочих частот разрабатываемого преобразователя «напряжение-напряжение» должна быть от 45 Гц до 2 кГц.

При наличии гармоник проверка точности проводится при следующих условиях:

- ток основной частоты $I_1 = 0,5 \cdot I_{max}$;
- напряжение основной частоты $U_1 = U_{ном}$;
- коэффициент мощности основной частоты 1;
- напряжение пятой гармоники $U_5 = 0,1 \cdot U_{ном}$;
- ток пятой гармоники $I_5 = 40$ % от тока основной частоты;
- коэффициент мощности гармоник составляет 1;
- напряжение основных и высших гармоник находятся в фазе при пересечении положительного нулевого уровня.

Суммарная активная мощность основной и высших гармоник составляет $1,04 \cdot P_1$, Вт.

Полная потребляемая мощность при нормальной температуре и номинальной частоте для каждой цепи напряжения при номинальном напряжении с внутренним источником электропитания не должна превышать

10 ВА. Если одновременно поверяется m счетчиков, то полная мощность $S_{\text{ВЫХ}\Sigma}$, ВА, определяется по формуле:

$$S_{\text{ВЫХ}\Sigma} = m \cdot 10. \quad (3.1)$$

При проверке шести счетчиков полная мощность равна:

$$S_{\text{ВЫХ}\Sigma} = 6 \cdot 10 = 60 \text{ ВА.}$$

3.2 Способы построения преобразователя «напряжение-напряжение»

3.2.1 Преобразователь «напряжение-напряжение» на основе усилителя мощности с многообмоточным трансформатором

3.2.1.1 Построение принципиальной схемы преобразователя

Преобразователь "напряжение-напряжение" может быть выполнен на основе усилителя мощности с повышающим трансформатором, имеющим шесть выходных обмоток. Принципиальная схема такого преобразователя представлена на рисунке 7.

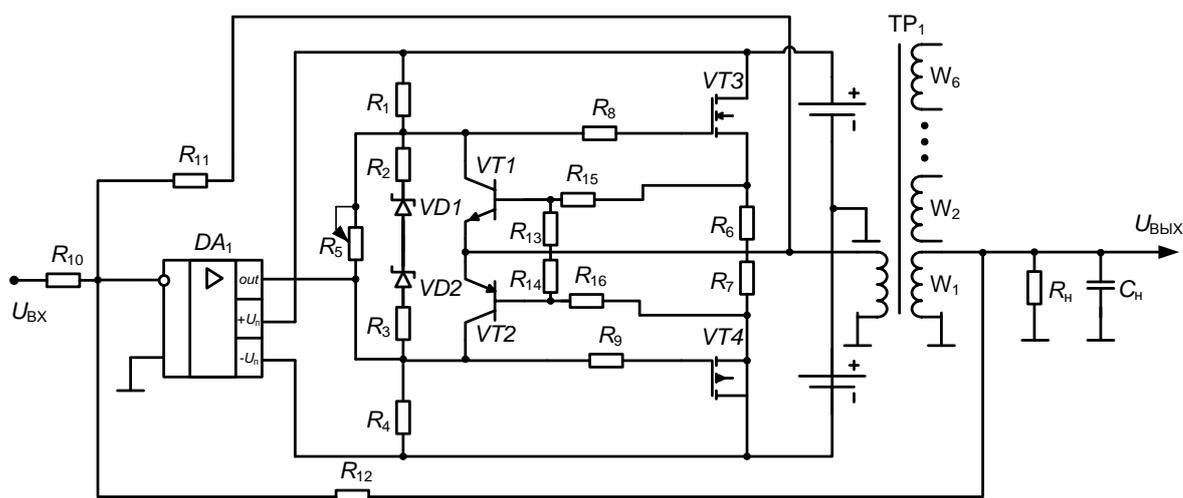


Рисунок 7 – Принципиальная схема ПНН на основе усилителя мощности с многообмоточным трансформатором

Схема представляет собой двухтактный повторитель на мощных разнотипных полевых транзисторах, работающих в классе АВ и высоковольтный операционный усилитель LM343Н (аналог К1408 УД1).

Максимальное напряжение на выходе повторителя $U_{\text{вых повт}}$ составляет 20 В.

Действующее значение напряжения на выходе преобразователя $U_{\text{вых}}$, В, равно:

$$U_{\text{ВЫХ}} = 1,1 \cdot U_{\text{НОМ}} = 1,1 \cdot 220 = 242 \text{ В}, \quad (3.2)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение ($U_{\text{НОМ}} = 220 \text{ В}$).

В связи с этим, коэффициент трансформации выходного трансформатора N равен:

$$N = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ ПОВТ}}} = \frac{242}{20} = 12. \quad (3.3)$$

Для расчета схемы на рисунке 8 приведена функциональная схема преобразователя.

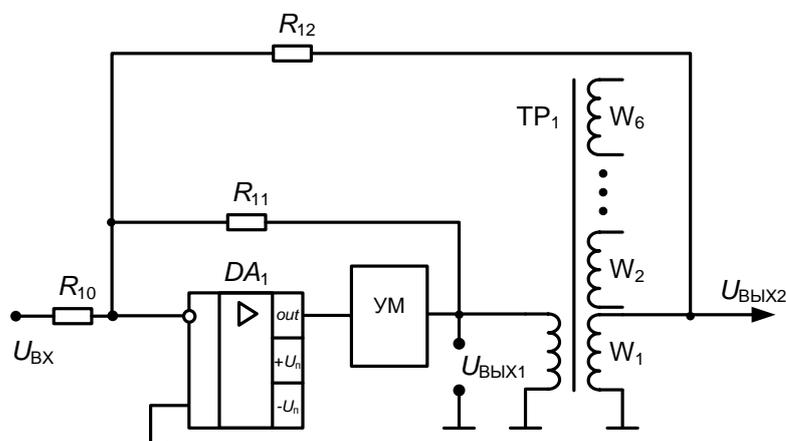


Рисунок 8 – Функциональная схема ПНН на основе усилителя мощности с многообмоточным трансформатором

Основные характеристики операционного усилителя LM343Н:

- напряжение питания $E_{\text{п}} = \pm (7 - 40) \text{ В}$;
- коэффициент усиления по напряжению $K = 70000$;
- напряжение смещения нуля $e_{\text{см}} = 8 \text{ мВ}$;
- частота единичного усиления $f_1 = 0,5 \text{ МГц}$;
- скорость нарастания выходного напряжения $V = 2 \text{ В/мкс}$;
- максимальное выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = (20 - 25) \text{ В}$.

Операционный усилитель (ОУ) и усилитель мощности (УМ) охвачены отрицательной обратной связью по напряжению, глубиной:

$$F = (1+k\beta_1), \quad (3.4)$$

где k – общий коэффициент усиления;

β_1 – коэффициент обратной связи по внутренней петле.

Коэффициент усиления рассчитывается по формуле:

$$k = K \cdot K_{\text{повт}}, \quad (3.5)$$

где K - коэффициент усиления операционного усилителя;

$K_{\text{повт}}$ - коэффициент усиления повторителя.

$$K_{\text{повт}} = \frac{S \cdot z_H}{1 + S \cdot z_H}, \quad (3.6)$$

где S - крутизна транзистора ($S = 10 \text{ A/B}$);

z_H - сопротивление нагрузки .

Для проверки статических счетчиков используется, как правило, емкостная нагрузка (1 мкФ). Так как проектируемая схема предназначена для проверки шести счетчиков, следовательно, суммарная нагрузка равна 6 мкФ.

Емкостное сопротивление равно:

$$x_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = z_H, \quad (3.7)$$

где C - емкость, равная 6 мкФ;

ω - угловая частота, рад/с.

Угловая частота определяется по формуле:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}, \quad (3.8)$$

где f - частота сигнала ($f = 50 \text{ Гц}$).

Сумма емкости пересчитывается в первичную обмотку трансформатора с учетом коэффициента трансформации следующим образом:

$$C_3 = N^2 \cdot x_c = 12^2 \cdot 6 = 864 \text{ мкФ}, \quad (3.9)$$

тогда

$$x_c = \frac{1}{314 \cdot 864} = 3,7 \text{ Ом},$$

$$K_{\text{повт}} = \frac{10 \cdot 3,7}{1 + 10 \cdot 3,7} = 0,97,$$

$$k = 70000 \cdot 0,97 = 67900.$$

Коэффициент обратной связи по внутренней петле рассчитывается как:

$$\beta_1 = \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{11}} = \frac{10}{10 + 700} = 0,014, \quad (3.10)$$

где R_{10} - сопротивление, равное 10 Ом;

R_{11} - сопротивление, равное 700 Ом.

Следовательно, глубина обратной связи равна:

$$F = 1 + 67900 \cdot 0,014 = 951.$$

Коэффициент усиления по внутренней петле равен:

$$K_{oc1} = \frac{U_{вых1}}{U_{вх}} = \frac{R_{11}}{R_{10}} = \frac{700}{10} = 70. \quad (3.11)$$

Такой глубины (951) достаточно для обеспечения нелинейных искажений не более 0,1 %. Вторая петля отрицательной обратной связи (ООС) охватывает и трансформатор. Т.к. коэффициент трансформации $N=12$, то общий коэффициент усиления без внешней петли обратной связи равен:

$$K_2 = \frac{U_{вых2}}{U_{вх}} = K_{oc1} \cdot N = 70 \cdot 12 = 840. \quad (3.12)$$

Если охватить внешней петлей обратной связи (R_{10} , R_{12}), то коэффициент усиления с этой обратной связью равен:

$$K_{oc2} = \frac{U_{вых}}{U_{св}} = \frac{\gamma \cdot K_2}{1 + K_2 \beta_2}, \quad (3.13)$$

где $U_{св}$ – напряжение связи, В;

γ – коэффициент прямой связи;

β_2 – коэффициент обратной связи.

Коэффициент прямой связи определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{R_{12}}{R_{10} + R_{12}} = \frac{1000}{1000 + 10} = 0,99, \quad (3.14)$$

где R_{12} - сопротивление, равное 10 кОм.

Коэффициент обратной связи равен:

$$\beta_2 = \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{12}} = \frac{10}{10 + 1000} = 0,0099. \quad (3.15)$$

Следовательно, коэффициент усиления с внешней петлей обратной

связи равен:

$$K_{oc2} = \frac{0,99 \cdot 840}{1 + 840 \cdot 0,0099} = 90.$$

Глубина равна:

$$F = 1 + K_2\beta_2 = 1 + 840 \cdot 0,0099 \approx 10. \quad (3.16)$$

Таким образом, глубина ООС равна 10, следовательно, трансформатор (его свойства) будет обрабатываться в 10 раз. Коэффициент преобразования (общего усиления) напряжения с внешней петлей обратной связи равен 90.

Необходимая точность калибровки напряжения будет обеспечиваться за счет АЦП, входящих в КФМ.

3.2.1.2 Расчет усилителя мощности

В соответствии со стандартом ГОСТ 31819.22 [3] потребляемая одним статическим счетчиком с внутренним источником питания активная мощность $P = 2$ Вт и полная $S_{\text{вых}} = 10$ ВА.

Расчет повторителя производится исходя из полной мощности, т.е. когда подключено шесть счетчиков $S_{\text{вых}\Sigma} = 60$ ВА.

Расчет производится по полной мощности.

Если считать максимальные выходные напряжения $U_{\text{вых}} = 242$ В, то выдаваемый ток $I_n, \text{А}$, рассчитывается по формуле:

$$I_n = \frac{S_{\text{вых}\Sigma}}{U_{\text{вых}}} = \frac{60 \text{ ВА}}{242 \text{ В}} = 0,25 \text{ А}. \quad (3.17)$$

КПД выходного трансформатора $\eta_{\text{тр}}$ был принят 0,9. Тогда транзисторы усилителя мощности должны отдавать:

$$S'_{\text{вых}\Sigma} = \frac{S_{\text{вых}\Sigma}}{\eta_{\text{тр}}} = \frac{60}{0,9} = 67 \text{ ВА}. \quad (3.18)$$

Ток в первичной обмотке $I, \text{А}$, (действующее значение) равен:

$$I = I_n \cdot N = 0,25 \cdot 12 = 3 \text{ А}. \quad (3.19)$$

Или амплитудное значение $I_m, \text{А}$, равен:

$$I_m = 1,41 \cdot I \approx 4,2 \text{ А}. \quad (3.20)$$

Ток, потребляемый от источника питания, с учетом постоянного тока смещения $I_{\Pi} \approx 1,3$ А. При этом почти вся мощность, потребляемая от источника питания ($E_n = 35$ В) будет выделяться на транзисторах:

$$P = E_n \cdot I_{\Pi} = 35 \cdot 1,3 = 45,5 \text{ Вт.} \quad (3.21)$$

Исходя из рассчитанных мощности и тока, выбираются транзисторы IRF5210, IRF540.

Характеристики транзистора IRF5210:

- максимальная рассеиваемая мощность $P_d = 200$ Вт;
- максимальное напряжение сток-исток $|U_{си}| = 100$ В;
- максимальное напряжение затвор-исток $|U_{зи}| = 10$ В;
- максимальный постоянный ток стока $|I_c| = 40$ А;
- сопротивление сток-исток открытого транзистора $R_{си} = 0,06$ Ом;
- крутизна $S = 10$ А/В.

Характеристики транзистора IRF540:

- максимальная рассеиваемая мощность $P_d = 130$ Вт;
- максимальный постоянный ток стока $|I_c| = 28$ А;
- максимальное напряжение сток-исток $|U_{си}| = 100$ В;
- максимальное напряжение затвор-исток $|U_{зи}| = 10$ В;
- сопротивление сток-исток открытого транзистора $R_{си} = 0,77$ Ом;
- крутизна $S = 8,7$ А/В.

Для расчета резисторов R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 задается начальный режим работы выходных транзисторов. Ток делителя задается 3 мА, тогда общее сопротивление равно:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 21 \text{ кОм.} \quad (3.22)$$

Напряжения $U_{зи}^A \approx 3,5$ В. Ток в рабочей точке $I_c^A = (50 \div 100)$ мА.

Потенциометр R_5 предназначен для подстройки начального режима работы ($R_5 = 500$ кОм). Сопротивления R_6, R_7 выбираются для построения схемы защиты от короткого замыкания на выходе. Мощные полевые транзисторы ставятся на радиаторы.

3.2.1.3 Экспериментальные исследования

До проведения экспериментального исследования необходимо установить начальный режим работы. Для этого с помощью потенциометра R_5 устанавливаются токи в рабочей точке полевых транзисторов (I_C^A от 50 до 100 мА).

Вводится внешняя и внутренняя отрицательные параллельные связи по напряжению. С помощью анализатора частотных характеристик (анализатор) исследуется амплитудно-частотная (АЧХ) и фазо-частотная (ФЧХ) характеристики с емкостной нагрузкой $C_H = 6$ мкФ. Структурная схема эксперимента представлена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Структурная схема эксперимента для построения АЧХ и ФЧХ

Полученные графики представлены на рисунке 10.

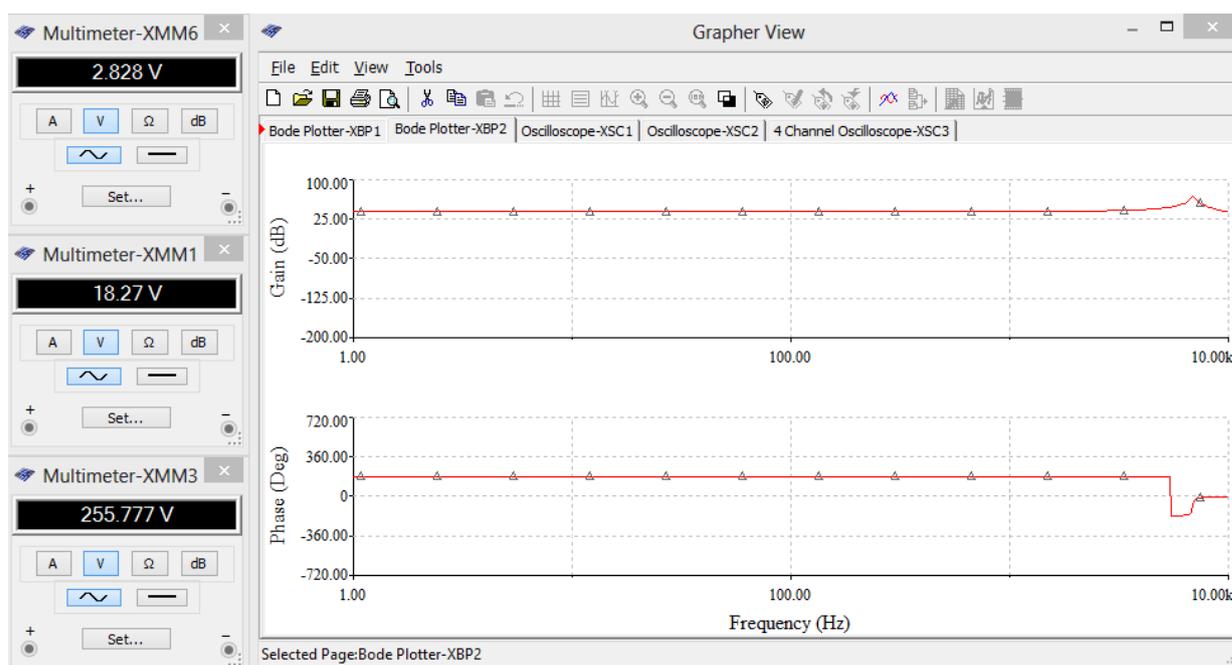


Рисунок 10 – Графики АЧХ и ФЧХ с емкостной нагрузкой $C_H = 6$ мкФ

По полученным графикам видно, что в диапазоне частот от 45 Гц до 2 кГц линейная зависимость сохраняется, фазовый сдвиг равен $\varphi = 180^\circ$, выходной сигнал находится в противофазе с входным сигналом, так как используется инвертирующий ОУ. Также можно заметить, что дополнительный фазовый сдвиг мал.

Для исследования того, как передается искаженный сигнал, подается искаженный входной сигнал $U_5 = 0,1 \cdot U_{\text{НОМ}}$ и строятся графики входного и выходного сигнала с емкостной нагрузкой.

Так как в Multisim нет генератора искаженного сигнала, то для получения искаженного сигнала используется схема, представленная на рисунке 11.

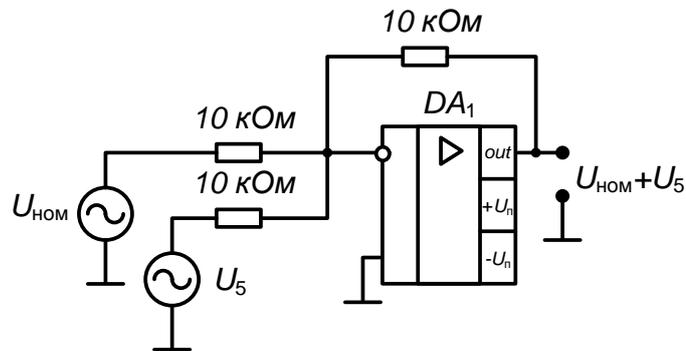


Рисунок 11 – Схема для генерации искаженного сигнала

Графики входных сигналов (красный и зеленый) и их суммы (искаженный сигнал - синий) представлены на рисунке 12.

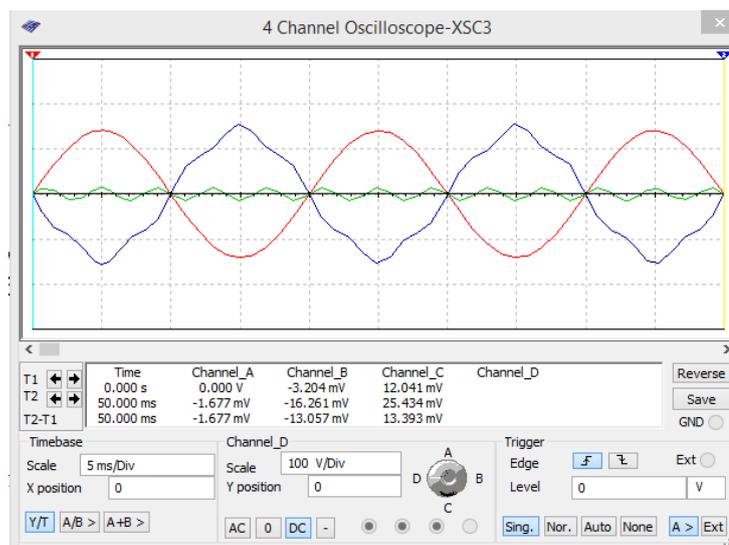


Рисунок 12 – Графики входных сигналов и их суммы

Полученный искаженный сигнал подается на вход исследуемой схемы. Графики входного и выходного сигнала представлены на рисунке 13.

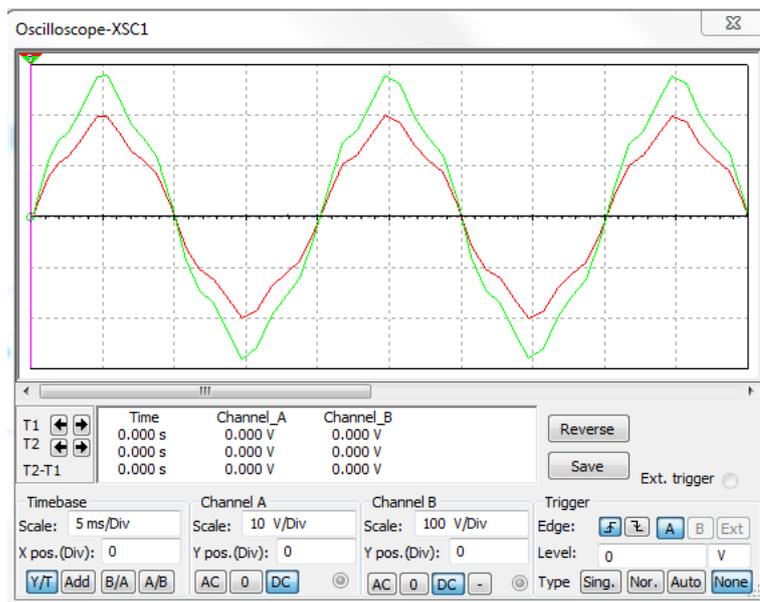
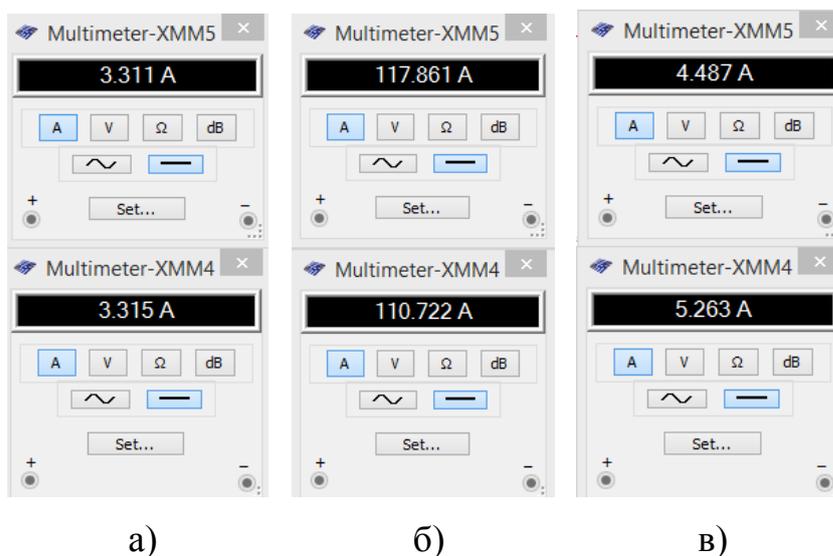


Рисунок 13 – Графики искаженного входного и выходного сигналов

По рисунку видно, что выходной сигнал (зеленый) по форме повторяет входной сигнал (красный).

Далее проверяется работа защиты от короткого замыкания. Для этого осуществляется короткое замыкание на выходе. На рисунке 14 представлена работа защиты от короткого замыкания.



а - до замыкания; б - после замыкания при отключенной защите;
в - после замыкания при включенной защите

Рисунок 14 – Работа защиты от короткого замыкания

Когда защита отключена, ток возрастает до 110 А, при этом на транзисторах рассеивается мощность 3,5 кВт. В связи с этим транзисторы выйдут из строя. Если стоит защита, то токи при коротком замыкании равны 5 А. Таким образом, защита ограничивает ток потребления от источника питания.

3.2.2 Преобразователь «напряжение-напряжение» на основе мостового усилителя мощности

3.2.2.1 Построение принципиальной схемы преобразователя

Для второго варианта построения КФМ требуется шесть преобразователей «напряжение-напряжение», каждый из которых работает на один счетчик, при этом требуемая мощность уменьшается в шесть раз. Строить преобразователь «напряжение-напряжение» как в первом случае нецелесообразно. Проведенные исследования показали, что хорошие результаты (простота реализации, большая амплитуда выходного напряжения, достаточная мощность) обеспечиваются при мостовой схеме построения ПНН.

Требуемое напряжение источника питания при одной и той же амплитуде сигнала в нагрузке в мостовой схеме почти в два раза ниже, чем в немостовых схемах. При одинаковом напряжении источника питания в мостовой схеме можно получить в два раза большую амплитуду сигнала в нагрузке, что при одинаковой заданной мощности позволит снизить импульс тока через транзисторы в два раза по сравнению с немостовыми схемами. Недостатками мостовой схемы являются существенное усложнение (два дополнительных мощных транзистора со схемами управления) и проблематичность введения обратной связи для стабилизации режима покоя.

В настоящее время существует микросхема TDA2030 (аналог К174УН19) в интегральном исполнении. При построении ПНН по мостовой схеме на таких микросхемах указанные недостатки устраняются.

Микросхема TDA2030 представляет собой одноканальный низкочастотный усилитель мощности с защитой от перегрева и короткого замыкания в цепи нагрузки. Микросхема рассчитана на широкий диапазон питающих напряжений и два варианта включения по питанию: однополярный и двухполярный.

Структурная схема TDA2030 показана на рисунке 15.



Рисунок 15 – Структурная схема TDA2030

Характеристики TDA2030

- Напряжение питания V_s от 6 до 18 В
- Дифференциальный вход V_i ± 15 В
- Выходной пиковый ток I_O 3,5 А
- Рассеиваемая мощность P_{tot} при $t = 90$ °С; 20 Вт
- Выходная мощность ($E_p = \pm 14$ В, КНИ=0,5%):
 - при $R_h = 4$ Ом от 12 до 14 Вт
 - при $R_h = 8$ Ом от 8 до 9 Вт
- КНИ ($E_p = \pm 12$ В):
 - при $P < 12$ Вт, $R_h = 4$ Ом 0,5 %
 - при $P < 8$ Вт, $R_h = 8$ Ом 0,5 %
- Полоса пропускания (по уровню -3дБ) от 10 до 14000 Гц
- Потребляемый ток:
 - при $P = 14$ Вт, $R_h = 4$ Ом 900 мА
 - при $P = 8$ Вт, $R_h = 8$ Ом 500 мА
- Коэффициент усиления напряжения 31600

Стоимость данной микросхемы в среднем составляет 19 рублей.

Микросхемы TDA2030 могут быть охвачены глубокими ОС. Схема ПНН на основе такой микросхемы представлена на рисунке 16.

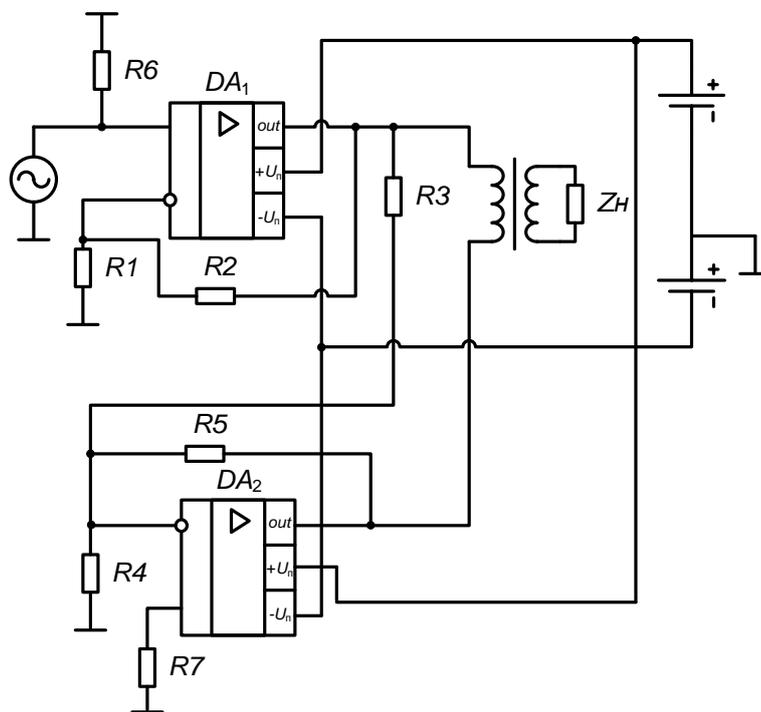


Рисунок 16 – Принципиальная схема ПНН на основе микросхемы TDA2030

Резисторы R6, R7 предназначены для компенсации входных токов.

3.2.2.2 Расчет преобразователя

На рисунке 17 отдельно представлен первый ОУ, охваченный последовательной ООС по напряжению.

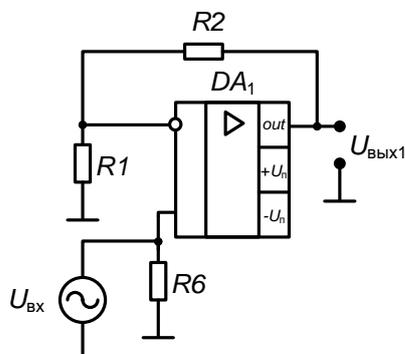


Рисунок 17 - Операционный усилитель, охваченный последовательной ООС по напряжению

Полученный на выходе операционного усилителя сигнал $U_{\text{вых1}}$, В рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{вых1}} = U_{\text{вх}} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right). \quad (3.23)$$

Второй операционный усилитель, охваченный параллельной ООС по напряжению, представлен на рисунке 18.

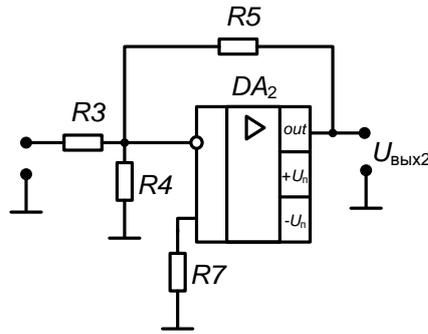


Рисунок 18 - Операционный усилитель, охваченный параллельной ООС по напряжению

Данная схема может быть преобразована по теореме об эквивалентном генераторе. Полученная схема представлена на рисунке 19.

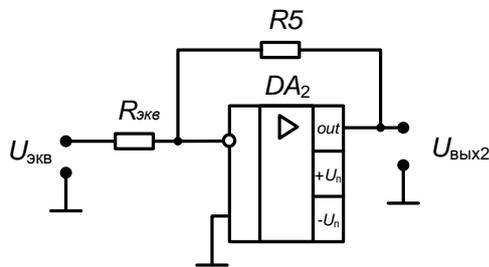


Рисунок 19 – Эквивалентная схема операционного усилителя, охваченного параллельной ООС по напряжению

Преобразование происходит следующим образом:

$$U_{\text{эКВ}} = U_{\text{вых1}} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}, \quad (3.24)$$

$$R_{\text{эКВ}} = R_3 || R_4 = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}, \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} U_{\text{вых2}} &= \frac{R_5}{R_{\text{эКВ}}} \cdot U_{\text{эКВ}} = U_{\text{вых1}} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_5}{R_{\text{эКВ}}} = U_{\text{вх}} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_5}{R_{\text{эКВ}}} = \\ &= U_{\text{вх}} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_5}{R_3}. \end{aligned} \quad (3.26)$$

Для того чтобы напряжение на выходе второго ОУ $U_{\text{вых}2}$, В, было равно напряжению на выходе первого ОУ $U_{\text{вых}1}$, необходимо, чтобы резисторы R_2, R_3, R_5 были равны и были равны резисторы R_1 и R_4 .

Тогда напряжение на нагрузке $U_{\text{н}}$, В рассчитывается следующим образом:

$$U_{\text{н}} = (U_{\text{вых}1} + U_{\text{вых}2}) \cdot N = 2 \cdot U_{\text{ex}} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right), \quad (3.27)$$

где N – коэффициент трансформации.

Подбирая сопротивления R_1 и R_2 , можно добиться необходимого напряжения на нагрузке. Для исследования схемы были выбраны следующие параметры:

- $R_6 = R_7 = 1$ кОм;
- $R_1 = R_4 = 1$ кОм;
- $R_2 = R_3 = R_5 = 15$ кОм;
- Коэффициент трансформации $N=11$.

В этом случае напряжение на нагрузке равно:

$$U_{\text{н}} = 2 \cdot U_{\text{ex}} \cdot \left(1 + \frac{15}{1}\right) \cdot 11 = 352 \cdot U_{\text{ex}}.$$

Глубина ООС рассчитывается по формуле:

$$F = 1 + K_{\text{oy}} \cdot \beta_{\text{св}}, \quad (3.28)$$

где K_{oy} - коэффициент усиления микросхемы TDA 2030;

$\beta_{\text{св}}$ – коэффициент обратной связи.

$$\beta_{\text{св}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{1 + 15} = 0,06. \quad (3.29)$$

Тогда

$$F = 1 + 31600 \cdot 0,06 = 1897.$$

3.2.2.3 Экспериментальные исследования

Сигналы на выходе первого и второго операционных усилителей должны быть одинаковой амплитуды, но находиться в противофазе, так как

второй операционный усилитель инвертирующий. Для того чтобы убедиться в этом, на выходы операционных усилителей подключается двухканальный осциллограф. Полученные графики представлены на рисунке 20.

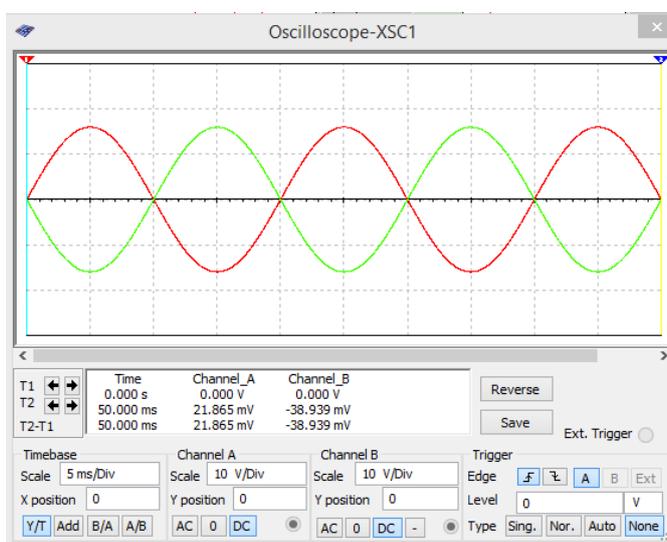


Рисунок 20 – Сигналы на выходах операционных усилителей

Далее рассматривается сигнал между выходами операционных усилителей. Полученный график представлен на рисунке 21.

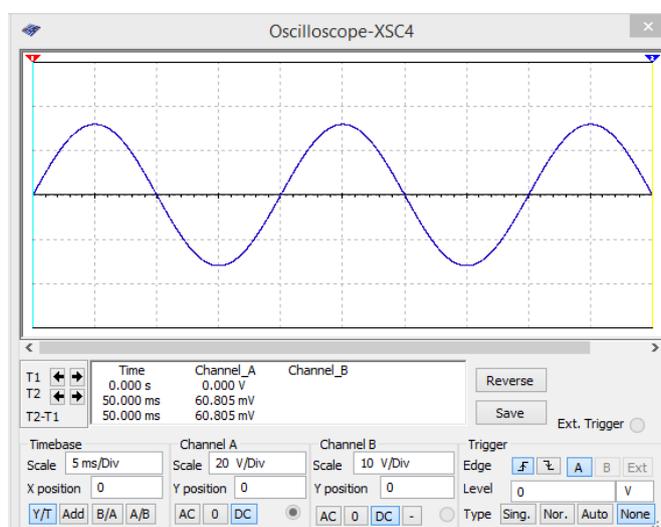


Рисунок 21 – Сигнал между выходами операционных усилителей

Таким образом, по графику можно заметить, что сигнал между выходами операционных усилителей равен сумме сигналов на выходе каждого операционного усилителя.

Далее для построения АЧХ и ФЧХ собирается схема, представленная на рисунке 9. Полученные графики АЧХ и ФЧХ с емкостной нагрузкой $C_H = 1 \text{ мкФ}$ представлены на рисунке 22.

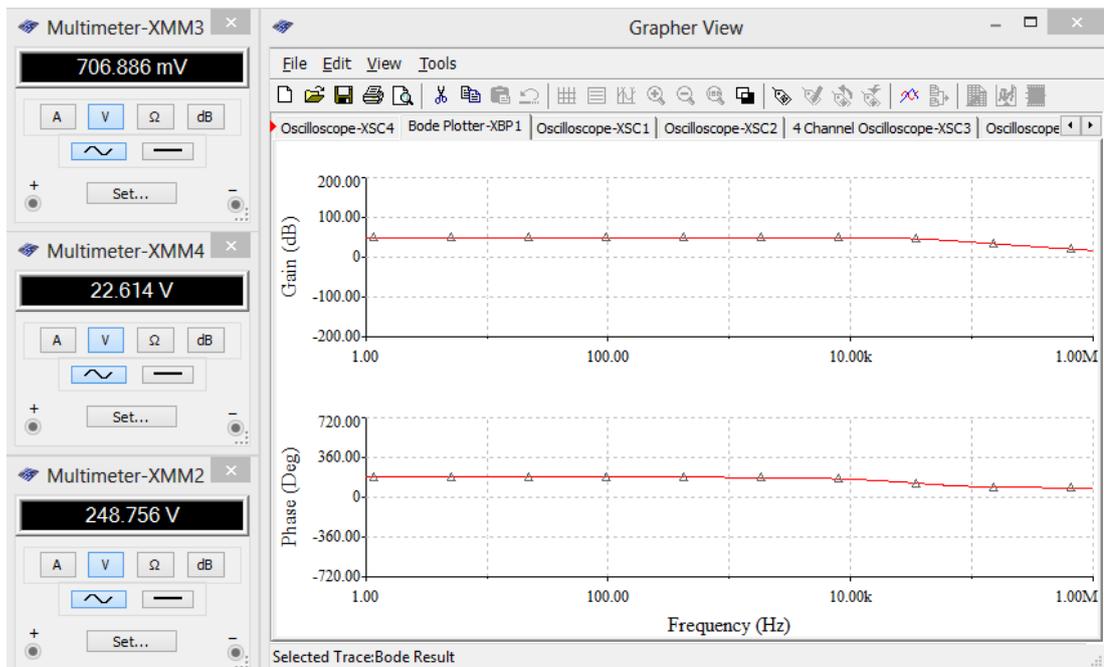


Рисунок 22 – Графики АЧХ и ФЧХ с емкостной нагрузкой $C_H = 1 \text{ мкФ}$

По полученным графикам видно, что в диапазоне частот от 45 Гц до 2 кГц линейная зависимость сохраняется, фазовый сдвиг равен $\varphi = 180^\circ$, выходной сигнал находится в противофазе с входным сигналом, так как используется инвертирующий ОУ. Дополнительный фазовый сдвиг мал.

Для исследования как передается искаженный сигнал, подается искаженный входной сигнал и строятся графики входного и выходного сигнала с емкостной нагрузкой. Графики искаженного входного и выходного сигнала представлены на рисунке 23.

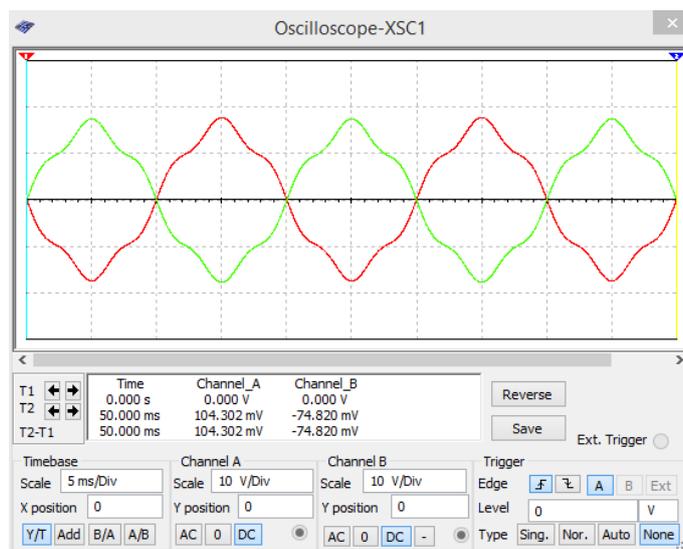
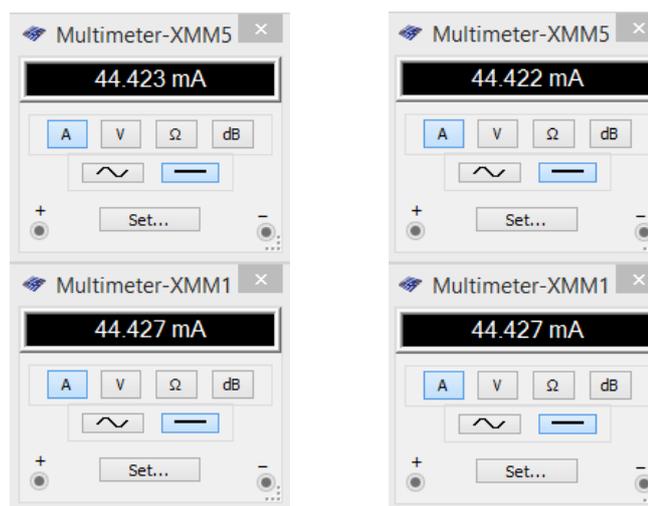


Рисунок 23 – Графики искаженного входного и выходного сигналов

По рисунку видно, что выходной сигнал (зеленый) по форме повторяет входной сигнал (красный).

Как уже выше было отмечено, в микросхеме TDA2030 уже предусмотрена защита от короткого замыкания в цепи нагрузки. Для проверки работы защиты от короткого замыкания осуществляется короткое замыкание на выходе. Полученные результаты представлены на рисунке 24.



а)

б)

а - до замыкания; б - после замыкания

Рисунок 24 – Работа защиты от короткого замыкания

Так как стоит защита, то токи при коротком замыкании равны примерно 44,4 мА и на нагрузке рассеивается мощность примерно 1 ВА. Защита ограничивает ток потребления от источника питания.

Таким образом, проведя экспериментальные исследования, можно сделать вывод, что предложенное построение преобразователей «напряжение-напряжение», представленное на рисунках 7 и 16, удовлетворяет поставленным требованиям.

4 Преобразователь «напряжение-ток»

4.1 Требования, предъявляемые к преобразователю «напряжение-ток»

Разрабатываемый ПНТ должен обеспечивать токи в заданном диапазоне от 10 мА до 100 А и выдавать синусоидальные сигналы, сигналы с содержанием гармоник (до 40 гармоник) и субгармоник. Согласно требованиям ГОСТ 31819.22 [3] нормируются следующие метрологические характеристики:

- нестабильность – не более 0,05 % за 5 минут;
- искажения сигнала – менее 0,2 %;
- полоса рабочих частот от 45 Гц до 2 кГц.

4.2 Построение принципиальной схемы преобразователя

По выходной цепи преобразователь «напряжение-ток» должен представлять собой источник тока, поэтому в схеме необходимо использовать ООС по току.

На рисунке 25 приведена функциональная схема ПНТ. Выходной каскад - истоковый повторитель на мощных разнотипных полевых транзисторах (ПТ1 и ПТ2), питание повторителя осуществляется от двух источников, соединенных последовательно, средняя точка с землей не связана.

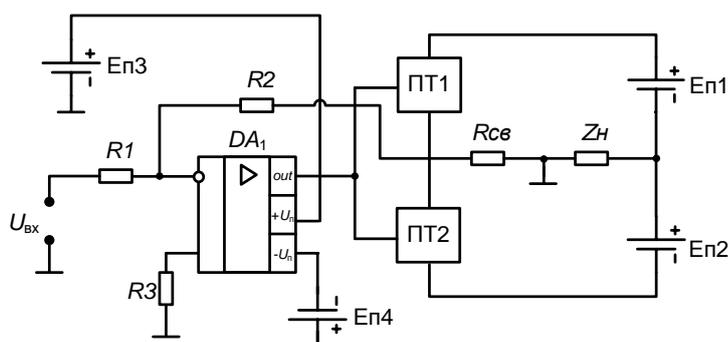


Рисунок 25 - Функциональная схема ПНТ

В качестве предварительного усилителя используется операционный усилитель. Преобразователь «напряжение-ток» охвачен ООС по току через сопротивления R_1 , R_2 , $R_{св}$.

Для определения типа связи на выходе создается холостой ход и короткое замыкание. При холостом ходе (сопротивление на нагрузке $R_H = \infty$), ток через $R_{св}$ не протекает от $E_{п1}$, $E_{п2}$, и напряжение обратной связи отсутствует ($U_{св}=0$), обратной связи нет. При коротком замыкании ($R_H = 0$) через $R_{св}$ протекают токи от $E_{п1}$ и $E_{п2}$, выделяется $U_{св}$, т.е. действует ООС. Следовательно, схема охвачена ООС по току.

Как видно из рисунка 25 ток связи равен току нагрузки ($I_{св} = I_H$). С другой стороны ток связи рассчитывается как:

$$I_{св} = \frac{U_{вх} \cdot \frac{R_2}{R_1}}{R_{св}}. \quad (4.1)$$

Отсюда получаем, что ток нагрузки равен:

$$I_H = U_{вх} \cdot \frac{R_2}{R_1 \cdot R_{св}}. \quad (4.2)$$

Глубина ООС определяется по формуле:

$$F = 1 + K_{оу} \cdot K_{повт} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \quad (4.3)$$

где $K_{оу}$ – коэффициент усиления операционного усилителя;

R_1 – сопротивление, равное 10 кОм;

R_2 – сопротивление, равное 4 кОм;

$K_{повт}$ – коэффициент усиления повторителя:

$$K_{повт} = \frac{R_{св} \cdot S}{1 + R_{св} \cdot S} = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{1 + 20 \cdot 10^{-3} \cdot 10} = 0,16, \quad (4.4)$$

где $R_{св}$ – сопротивление равное $20 \cdot 10^{-3}$ Ом;

S – крутизна, равная 10 А/В.

Таким образом, глубина ООС равна:

$$F = 1 + 600 \cdot 10^3 \cdot 0,16 \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 4 \cdot 10^3} = 68572.$$

На рисунке 26 приведена принципиальная схема ПНТ. Максимальный ток нагрузки $I_H = 100$ А (действующее значение), выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = 1,5$ В (действующее значение). Минимальный ток нагрузки $I_H = 20$ мА. Максимальная выходная мощность от 150 до 200 Вт.

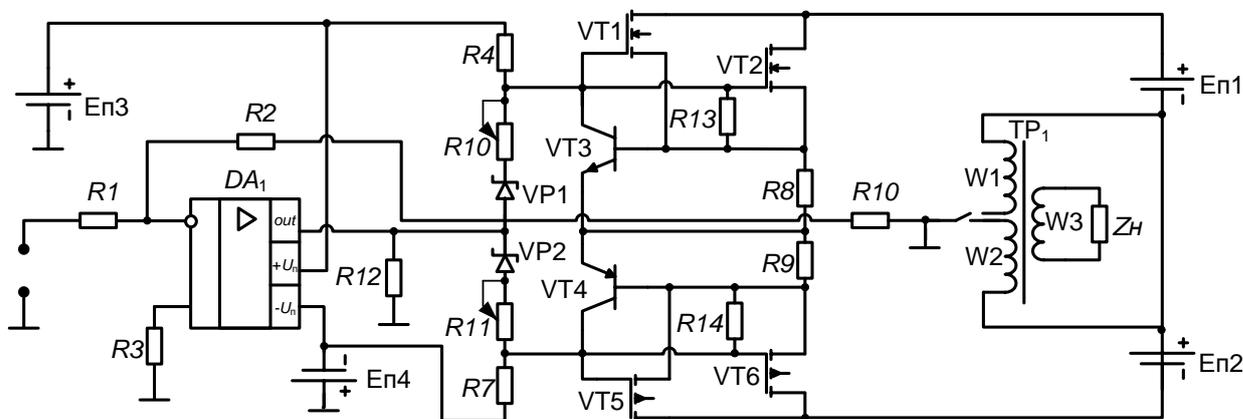


Рисунок 26 - Принципиальная схема ПНТ

VT3 и VT4 - транзисторы защиты от холостого хода на выходе.

Нагрузка к ПНТ (токовые входы поверяемых счетчиков) включается через выходной трансформатор, который имеет две первичных обмотки, соединенных последовательно (W_1 ; W_2) и выходную обмотку (W_3). При токах нагрузки от 10 А до 100 А трансформатор работает как понижающий с коэффициентом трансформации равным:

$$N_1 = \frac{W_3}{W_2} = \frac{1}{5}. \quad (4.5)$$

При токах менее 10 А коэффициент трансформации равен:

$$N_2 = \frac{W_3}{W_1} = 1. \quad (4.6)$$

Использование трансформатора, помимо обеспечения максимального тока, позволяет убрать влияние смещения нуля.

Для точного контроля тока может использоваться измерительный трансформатор тока (или набор шунтов). Нагрузкой ПНТ являются токовые входы поверяемых счетчиков (например, для шунтового счетчика $R_{\text{ш}} = 350$ мкОм) и соединительные провода, т.е. характер нагрузки – индуктивно-резистивная.

Необходимое действующее значение напряжения $U_H = 2,1$ В, на первичной обмотке трансформатора действующее значение напряжения составляет:

$$U_1 = \frac{U_H}{N_1} = \frac{2,1}{1/5} = 10,5 \text{ В.} \quad (4.7)$$

Или амплитудное значение равно:

$$U_{1м} = 10,5 \cdot 1,41 = 14,8 \text{ В.}$$

Амплитудное значение плюс остаточное напряжение на транзисторах и падение напряжения на резисторах R_9, R_{11} приводят к необходимости $E_{п} \approx 20$ В.

Крайний случай, когда нагрузка чисто индуктивная, тогда при токе $I_{нм} = 140$ А транзисторы в первичную обмотку выдают ток равный:

$$I = I_{нм} \cdot N_1 = \frac{140}{5} = 28 \text{ А,} \quad (4.8)$$

где $I_{нм}$ – амплитудное значение тока нагрузки, А.

При этом от источника питания потребляется ток:

$$I_{п} = \frac{I_{нм}}{\pi} = \frac{28}{3,14} = 6,5 \text{ А.} \quad (4.9)$$

На каждом транзисторе будет рассеиваться мощность $P_{тр}$, Вт, равная:

$$P_{тр} = I_{п} \cdot E_{п} = 6,5 \cdot 20 = 130 \text{ Вт.} \quad (4.10)$$

Требования к транзисторам для данной схемы следующие: $P_c > 130$ Вт, $I_c = 28$ А, $U_{си} = 50$ В.

Таким параметрам удовлетворяют транзисторы IRF 1310N и IRF 5210.

Характеристики транзистора IRF 1310N:

- максимальная рассеиваемая мощность $P_d = 160$ Вт;
- максимальный постоянный ток стока $|I_c| = 42$ А;
- максимальное напряжение сток-исток $|U_{си}| = 100$ В;
- максимальное напряжение затвор-исток $|U_{зи}| = 20$ В;
- сопротивление сток-исток открытого транзистора $R_{си} = 0,036$ Ом;
- крутизна $S = 14$ А/В.

Характеристики транзистора IRF 5210:

- максимальная рассеиваемая мощность $P_d = 200$ Вт;
- максимальный постоянный ток стока $|I_c| = 40$ А;
- максимальное напряжение сток-исток $|U_{си}| = 100$ В;
- максимальное напряжение затвор-исток $|U_{зи}| = 10$ В;
- сопротивление сток-исток открытого транзистора $R_{си} = 0,06$ Ом;
- крутизна $S = 10$ А/В.

В качестве предварительного усилителя был выбран операционный усилитель ОРА 27.

Основные характеристики ОРА 27:

- напряжение питания $E_p = \pm 15$ В;
- коэффициент усиления $K_U = 600 \cdot 10^3$;
- максимальный выходной ток $I_{вых\ max} = 25$ мА;
- напряжение смещения $e_{см} = 100$ мкВ.

Сопротивления R_4 , R_5 , R_6 , R_7 и стабилитрон 3,6 В обеспечивают начальный режим выходных транзисторов.

Ток делителя задается $I_d = 2$ мА, потенциометры R_5 , R_6 по 200 Ом позволяют установить начальный режим I_c^A от 50 до 80 мА.

4.3 Экспериментальные исследования

Как уже было отмечено выше, на выходе трансформатора должен быть ток. Выбором сопротивлений R_1 и R_2 можно разбить выходной ток на поддиапазоны.

При исследовании выбирается сопротивление $R_1 = 10$ кОм, а R_2 выбирается исходя из поддиапазона.

Выходной ток разбивается на следующие поддиапазоны:

- от 0,01 до 1 А ($R_2 = 200$ Ом);
- от 1 до 10 А ($R_2 = 2$ кОм);
- от 10 до 100 А ($R_2 = 4$ кОм).

При этом входное напряжение изменяется от 0,1 до 1 В. Результаты экспериментов представлены на рисунках 27-29.

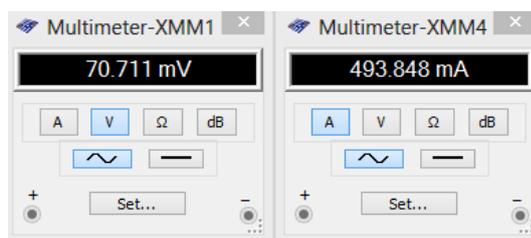


Рисунок 27 – Поддиапазон выдаваемых токов от 0,01 до 1 А

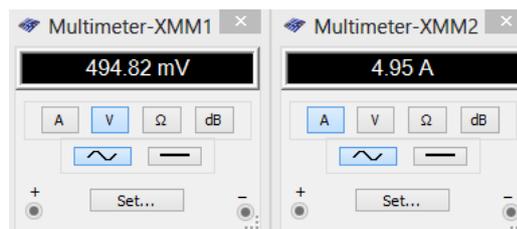


Рисунок 28 – Поддиапазон выдаваемых токов от 1 до 10 А

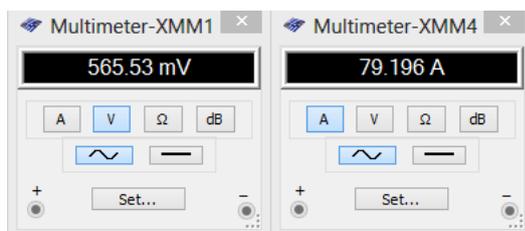


Рисунок 29 – Поддиапазон выдаваемых токов от 10 до 100 А

По результатам исследования видно, что предложенная схема ПНТ обеспечивает выходные токи в заданном диапазоне от 0,01 до 100 А.

Для построения АЧХ и ФЧХ собирается схема, представленная на рисунке 9. Полученные графики АЧХ и ФЧХ с резистивной нагрузкой $R_H = 20$ мОм представлены на рисунке 30.

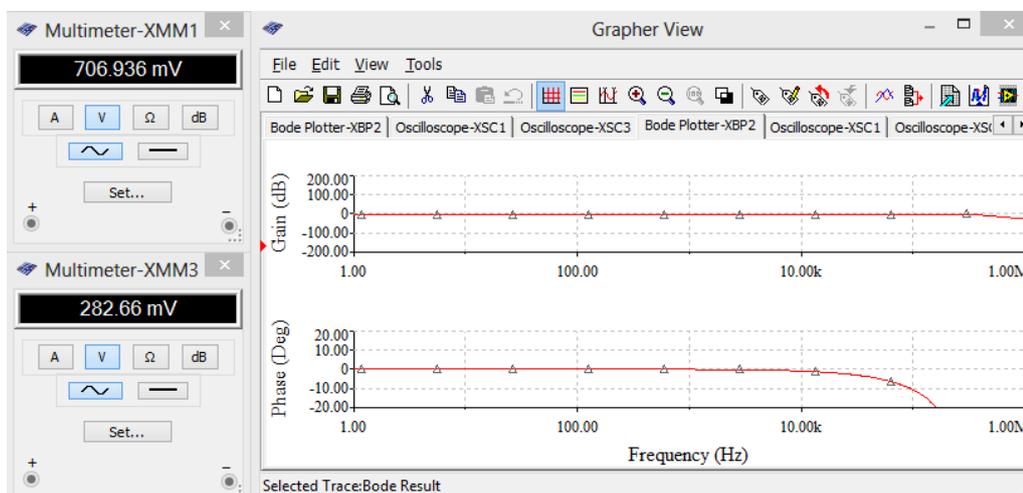


Рисунок 30 – АЧХ и ФЧХ с резистивной нагрузкой $R_H = 20$ мОм

По полученным графикам видно, что в диапазоне частот от 45 Гц до 2 кГц линейная зависимость сохраняется. Дополнительный фазовый сдвиг мал.

Нагрузкой ПНТ являются токовые входы поверяемых счетчиков и соединительные провода. Для поверки шести счетчиков требуется 2 м провода. Индуктивность прямого провода длиной 2 м и диаметром 0,5 см равна 6,3 нГн. При построении АЧХ и ФЧХ с индуктивно-резистивной нагрузкой приняты $L = 10$ нГн и $R_n = 20$ мОм. Полученные графики представлены на рисунке 32.

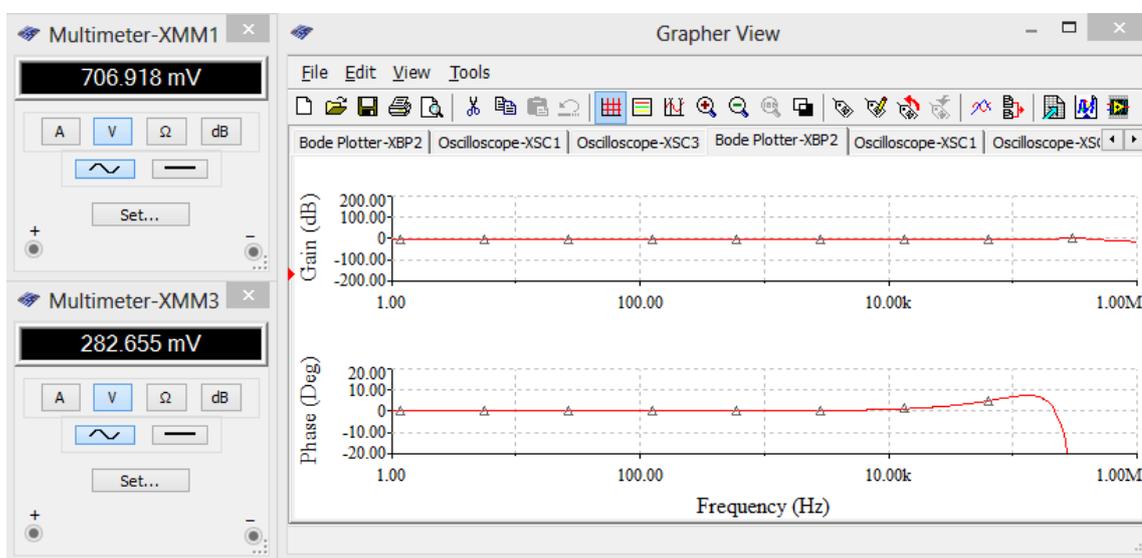


Рисунок 31 – АЧХ и ФЧХ с индуктивно-резистивной нагрузкой
($R_n = 20$ мОм, $L=10$ нГн)

Анализируя графики, можно сделать вывод, что в диапазоне частот от 45 Гц до 2 кГц линейная зависимость сохраняется. Дополнительный фазовый сдвиг мал. Можно заметить, что ФЧХ при индуктивно-резистивной нагрузке отличается от ФЧХ при чисто резистивной нагрузке. При частотах выше 10 кГц происходит подъем ФЧХ.

И в том и в другом случае система остается устойчивой.

Для исследования как передается искаженный сигнал, подается искаженный входной сигнал. Графики искаженного входного и выходного сигнала представлены на рисунке 32.

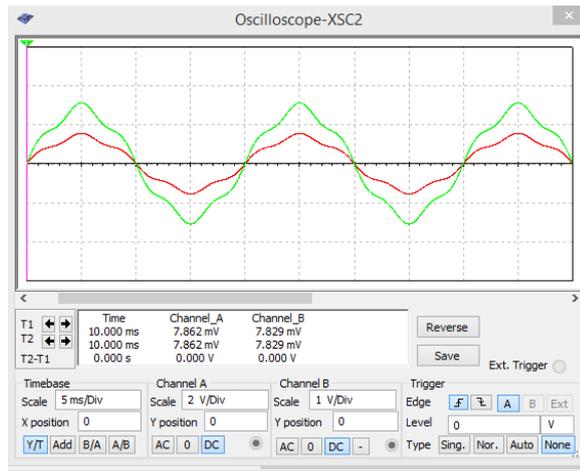


Рисунок 32 – Графики искаженного входного и выходного сигналов

По рисунку видно, что выходной сигнал (зеленый) по форме повторяет входной сигнал (красный).

Чтобы исследовать, как передается сигнал, содержащий субгармоники, была собрана схема, представленная на рисунке 33.

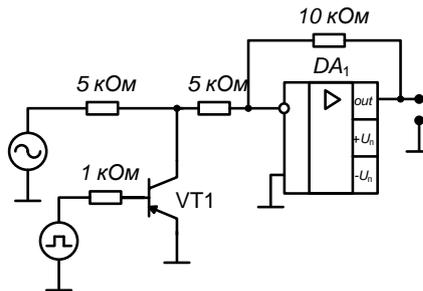


Рисунок 33 – Схема для генерации сигнала для испытания на влияние субгармоник

Сигнал имеет форму два периода «включено», два периода «отключено». Полученный на выходе ОУ сигнал представлен на рисунке 34.

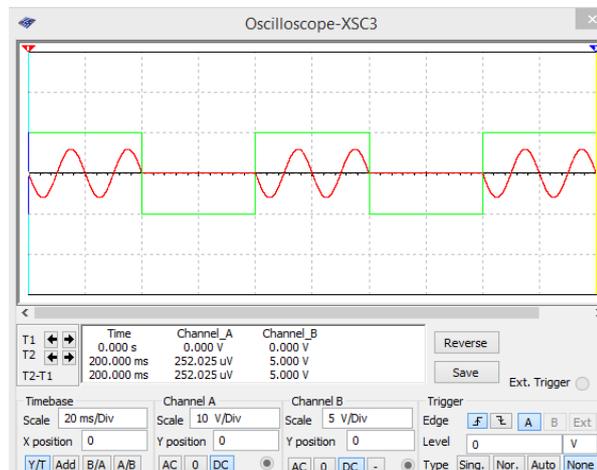


Рисунок 34 – Сигнал для испытания на влияние субгармоник

Такой сигнал (красный) подается на вход преобразователя. Графики входного и выходного сигнала представлены на рисунке 35.

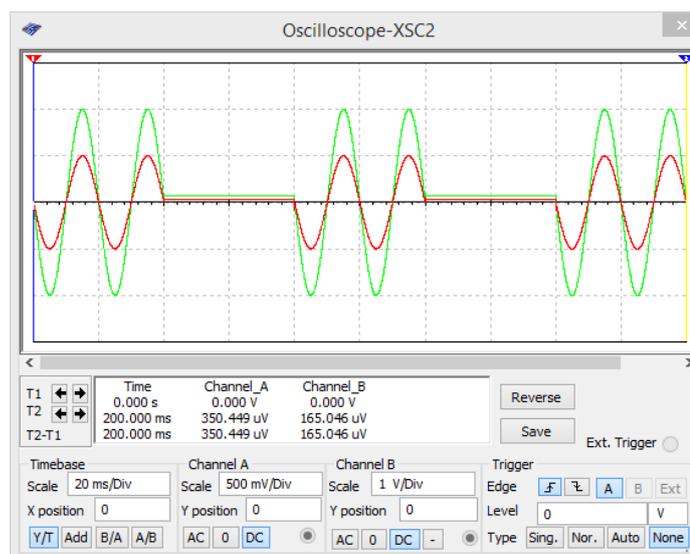


Рисунок 35 – Графики искаженного входного и выходного сигналов

По рисунку видно, что выходной сигнал (зеленый) по форме повторяет входной сигнал (красный).

Таким образом, экспериментальное исследование преобразователя «напряжение-ток» показало, что такое построение удовлетворяет поставленным требованиям.

5 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа проводилась на кафедре компьютерных измерительных систем и метрологии в Томском политехническом университете и заключалась в разработке компьютерных моделей электрических схем структурных элементов КФМ и их исследовании. Для исследования данной научной работы используется персональный компьютер. Помещение, в котором выполнялась работа, относится к классу помещений без повышенной опасности, так как отсутствуют условия, создающие повышенную или особо повышенную опасность.

Данный раздел предназначен для освещения вопросов, касающихся охраны труда, окружающей среды и обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях. Далее последует анализ вредных и опасных производственных факторов, а так же рекомендации по уменьшению их влияния.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

Влияние среды на безопасность системы «человек - машина» обусловлено воздействием на человека совокупности таких факторов внешней среды как, социально-психологических, физических, биологических, химических и эстетических.

Важнейшее условие обеспечения безопасности машин и механизмов - учет и выполнение требований безопасности на всех этапах их создания, начиная с разработки технического задания и кончая сдачей опытных образцов в серийное производство. Перечень таких требований определяется на основе анализа опасных зон производственного оборудования.

Работа с компьютером вызывает значительное умственное напряжение и нагрузку пользователя, высокую напряженность зрительной работы и является причиной достаточно ощутимой нагрузки на мышцы рук при длительной работе с мышью и клавиатурой. Для оптимального поддержания рабочей позы пользователя необходимо рациональное расположение требуемых элементов и рациональная конструкция рабочего места. Также при работе с компьютером необходимо рационально распределять время на работу и отдых. При несоблюдении правильного режима возможны проявления болезненных ощущений, усталости, нервного напряжения и т.п.

При работе за персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) возникает ряд физических вредных факторов:

- повышенный уровень электромагнитного излучения;
- шум, при работе за компьютером;
- недостаточная освещенность в рабочей зоне;
- отклонение показателей микроклимата.[11]

Компьютер при работе создает вокруг себя электромагнитное поле (ЭМП), которое обладает способностью биологического специфического и теплового воздействия на организм человека. При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечнососудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови.

Временно допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей при работе с компьютером приведены в таблице 5.1. [12]

Таблица 5.1 – Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора должен находиться на расстоянии от 0,6 до 0,7 м, но не ближе, чем 0,5 м от глаз. Также должна быть учтена схема размещения рабочих мест с ПЭВМ: расстояние между рабочими местами – 2 м, между боковыми поверхностями мониторов – не менее 1,2 м.

Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека. При длительном воздействии шума на организм человека снижается острота зрения, слуха, повышается кровяное давление, снижается внимание. Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно сосудистой и нервной систем.

При выполнении основной работы на компьютере уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. Для снижения уровня шума, производимого персональными компьютерами, рекомендуется регулярно проводить их техническое обслуживание: чистка от пыли, замена смазывающих веществ; также применяются звукопоглощающие материалы. Для снижения уровня шума с улицы рекомендуется установка герметичных стеклопакетов, а также посадка зеленых насаждений на прилегающей территории.

Рациональное освещение помещения и рабочего места является одним из важнейших условий для обеспечения безопасных и благоприятных условий труда, т.к. оно определяет трудовую эффективность и влияет на самочувствие и восприятие человека. Нерациональное освещение может вызвать утомление организма, зрения, а также травматизм на рабочем месте.

Освещенность на рабочем месте должна соответствовать гигиеническим нормам. Увеличение освещенности рабочей поверхности до определенного предела улучшает видимость объекта, увеличивает скорость различения предметов и повышает производительность труда.

В соответствии с СП 52.13330.2011 [13] работа за компьютером с относительной продолжительностью зрительной работы менее 70 %

относится к разряду II, подразряду Б. В помещениях, предназначенных для работы с ПЭВМ, освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения должна быть не менее 300 лк. Коэффициент пульсации освещенности не должен превышать 5 %, коэффициент естественной освещенности (КЕО) не должен превышать 2,1 % в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [14] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [15].

Микроклимат также является немаловажной характеристикой производственных помещений. В рабочем помещении должны быть обеспечены оптимальные параметры микроклимата, т.к. эти параметры обеспечивают хорошее самочувствие человека, состояние теплового комфорта, необходимую работоспособность. В результате чего повышается производительность труда. Для обеспечения на рабочем месте благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, в санитарных нормах [16] установлены оптимальные и метеорологические условия для рабочей зоны помещения. В тех случаях, когда по технологическим требованиям и иным обоснованиям не могут быть обеспечены оптимальные параметры, устанавливаются допустимые. Допустимые условия микроклимата не вызывают нарушений здоровья у человека, но могут явиться причиной возникновения теплового дискомфорта, ухудшения самочувствия и снижения работоспособности.

Показателями, характеризующими микроклимат рабочей зоны, являются такие показатели как температура воздуха, относительная влажность воздуха и скорость движения воздуха.

Оптимальные показатели микроклимата рабочей зоны представлены в таблице 5.2, допустимые показатели – в таблице 5.3.

Таблица 5.2 – Оптимальные показатели микроклимата

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

Таблица 5.3 – Допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
Теплый	21,0-22,9	24,1-25,0	15-75	0,1	0,2
Холодный	20,0-21,9	25,1-28,0	15-75	0,1	0,1

Для поддержания необходимой комфортной температуры помещения используется кондиционер. Для обеспечения естественной вентиляции воздуха следует периодически проводить проветривание помещения. Также необходимо производить влажную уборку, и при необходимости устанавливать увлажнители воздуха в помещении.

Наряду с физическими факторами при работе с ПЭВМ, можно и отнести психофизические вредные факторы:

- перенапряжение зрительных и слуховых анализаторов;
- эмоциональные перегрузки;
- монотонность труда;
- умственное перенапряжение.

Воздействие указанных неблагоприятных факторов приводит к снижению работоспособности, вызванное развивающимся утомлением. Появление и развитие утомления связано с изменениями, возникающими во время работы в центральной нервной системе, с тормозными процессами в коре головного мозга. Негативное влияние оказывает длительное неизменное положение тела.

К индивидуальным средствам защиты можно отнести следующее:

- периодически останавливаться на отдых, давая глазам перерыв и время на отдых от перенапряжения, которое они испытывают в период работы с компьютером;

– периодически устраивать небольшую прогулку по офису или близлежащей территории, что бы снизить уровень раздражительности и утомленности от постоянного нервного напряжения.

5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

При работе с ПЭВМ к опасным факторам рабочей зоны относятся:

- опасность пожара;
- опасность поражения электрическим током.

В связи с наличием электрооборудования для данного производственного объекта характерным является возможность поражения электрическим током. Для снижения данного риска необходимо соблюдать нормы электробезопасности.

Электробезопасность - это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного для жизни воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Опасность поражения электрическим током, в отличие от прочих опасностей, усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно. Опасность обнаруживается слишком поздно - когда человек уже поражён.

Помещение, где расположены персональные вычислительные машины, относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствуют такие факторы как сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы, высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам и механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

Персональный компьютер питается от сети 220 В переменного тока с

частотой 50 Гц. Это напряжение опасно для жизни, поэтому обязательны следующие меры предосторожности:

- перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей

- при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо, не делая никаких самостоятельных исправлений, сообщить человеку, ответственному за оборудование

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током следует отнести:

- с целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов должны быть заземлены.

- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели должны быть запрещены.

- все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал.

- необходимо постоянно следить за исправностью электропроводки.

Основными опасными факторами пожара являются тепловое излучение, высокая температура, отравляющее действие дыма (продуктов сгорания: окиси углерода и др.) и снижение видимости при задымлении.

Пожарная опасность ПЭВМ обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляция обмоток трансформаторов, различных электромагнитов, проводов и кабелей.

5.2 Экологическая безопасность

Как правило, любая деятельность человека, в особенности связанная с производственной деятельностью, оказывает негативное влияние на окружающую среду.

Охрана окружающей среды характеризуется различного рода мероприятиями, влияющими на атмосферу, гидросферу и литосферу.

Помещение с персональным компьютером относится к пятому классу, размер санитарно-защитной зоны которого равен 50 метров, так как работа на персональном компьютере не является экологически опасной.

Атмосфера всегда содержит определенное количество примесей, поступающих от естественных и антропогенных источников. К числу примесей, выделяемых естественными источниками, относят: пыль (растительного и вулканического, космического происхождения), туман, дымы, газы от лесных и степных пожаров и др.

Основное антропогенное загрязнение атмосферного воздуха создают ряд отраслей промышленности. Разработанные в ходе выполнения ВКР компьютерные модели не осуществляют выбросов вредных веществ в атмосферу при их использовании. Загрязнение атмосферного воздуха может возникнуть в случае возникновения пожара в помещении, тогда дым и газы от пожара будут являться антропогенным загрязнением атмосферного воздуха.

Основными источниками загрязнений гидросферы являются промышленность и сельское хозяйство. Внутренние водоемы загрязняются сточными водами различных отраслей промышленности. Бытовые сточные воды помещения образуются при эксплуатации туалетов, столовой, а также при мытье рук, полов и т.п. Данные воды отправляются на городскую станцию очистки.

Основными видами загрязнения литосферы являются твердые бытовые и промышленные отходы. В ходе выполнения ВКР, образовывались различные твердые отходы. К ним можно отнести: бумагу, использованные картриджи, отходы от продуктов питания и личной гигиены, отходы от канцелярских принадлежностей и т.д.

Защита почвенного покрова и недр от твердых отходов реализуется за счет сбора, сортирования и утилизации отходов и их организованного захоронения.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее характерной чрезвычайной ситуацией для производственных помещений является пожар. Пожары на предприятиях обычно возникают в результате повреждения электропроводки и электрооборудования, находящегося под током, повреждения отопительных систем, емкостей с легковоспламеняющимися жидкостями и в результате нарушений техники безопасности.

Основными опасными факторами пожара являются тепловое излучение, высокая температура, отравляющее действие дыма (продуктов сгорания: окиси углерода и др.) и снижение видимости при задымлении.

Пожарная опасность ПЭВМ обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляция обмоток трансформаторов, различных электромагнитов, проводов и кабелей.

Для предотвращения пожара помещение с ПЭВМ должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения.

В число предупредительных мероприятий могут быть включены мероприятия, направленные на устранение причин, которые могут вызвать пожар или взрыв, на ограничение распространения пожаров, создание условий для эвакуации людей и имущества при пожаре, своевременное обнаружение пожара и оповещение о нем, тушение пожара, поддержание сил ликвидации пожаров в постоянной готовности. Кроме того, необходимо выполнять работы в помещении только с исправным оборудованием и электропроводки и к одному источнику электропитания должен подключаться только один потребитель электроэнергии.

В случае возникновения такой ЧС как пожар, необходимо предпринять меры по эвакуации из помещения в соответствии с планом эвакуации, которые расположены на каждом этаже здания. При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду,

после чего поставить в известность о случившемся инженера по технике безопасности.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Режим труда и отдыха

В санитарных нормах [15] установлено, что вид выполняемой деятельности относится к группе В, т.е. является творческой работой в режиме диалога с ПЭВМ. Категория тяжести и напряженности работы для данной группы устанавливается по суммарному времени работы с ПЭВМ за рабочую смену.

Для сохранения здоровья и оптимального обеспечения работоспособности пользователя ПЭВМ должны быть регламентировано установлены перерывы в работе. Для восьмичасовой рабочей смены и третьей категории тяжести устанавливается перерыв в 70 мин. Следует устанавливать перерыв через два часа после начала смены и через два часа после обеденного перерыва продолжительностью по 20 минут каждый либо по 15 минут, но через каждый час работы. Продолжительность непрерывной работы с ПЭВМ не должна превышать двух часов. Во время перерывов рекомендуется выполнять специальные комплексы упражнений с целью снятия утомления, нервного и эмоционального напряжения.

5.4.2 Организация рабочего места

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 [17] конструкция рабочего места и взаиморасположение всех его элементов должны соответствовать физиологическим, антропометрическим и психологическим требованиям, а также характеру производимой работы.

Согласно [18] высота рабочей поверхности в среднем устанавливается

на уровне нерегулируемой высоты в 0,725 м. Пространство для ног должно быть не менее 0,6 м, шириной – не менее 0,5 м, глубиной на уровне колен – не менее 0,45 м. Высота сиденья устанавливается на уровне 0,42 м. Монитор компьютера следует размещать на расстоянии от 0,6 до 0,7 м и на 20 градусов ниже глаз пользователя.

Для обеспечения оптимальных условий труда пользователя ПЭВМ необходимо также учитывать такие факторы как освещение, шум, микроклимат.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время любой прибор необходимо поверять. При этом средства поверки должны иметь высокую точность и удовлетворять современным требованиям. Кроме того, ручной труд отходит на задний план и любой процесс автоматизируется. В связи с этим на российском рынке разрабатываются средства поверки счетчиков электроэнергии.

Сегментирование рынка по разработке средств поверки счетчиков электроэнергии производится по следующим критериям: размер компании и стоимость продукта. Карта сегментирования представлена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Карта сегментирования рынка по разработке средств поверки счетчиков электроэнергии

Параметр		Вид управления средством поверки	
		Ручное	Автоматизированное
Размер компании	Крупная		
	Средняя		
	Мелкая		
Стоимость	Высокая		
	Средняя		
	Низкая		

Анализируя таблицу, можно сделать вывод, что в настоящее время в крупных и средних компаниях наиболее востребованы автоматизированные средства поверки. Это объясняется тем, что ручное управление средством поверки приводит к возникновению дополнительной погрешности (погрешности оператора), а также усложняется сам процесс поверки.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для оценки сравнительной эффективности научной проводится анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Данный анализ проводится с помощью оценочной карты, представленной в таблице 6.2. В таблице представлены следующие конкурентные товары: калибратор типа «Вектор» (Ф), калибратор типа «Ресурс-К2М» (к1), калибратор типа «Эника» (к2).

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
3. Помехоустойчивость	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
4. Надежность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
5. Уровень шума	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
6. Безопасность	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
8. Простота эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
9. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
3. Цена	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
4. Наличие сертификации разработки	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
Итого	1	Суммарная оценка			4,3	4	4,1

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (6.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основными преимуществами перед конкурентами являются удобство в эксплуатации, помехоустойчивость и функциональная мощность.

Коэффициент конкурентоспособности предприятия:

$$k_k = \frac{K_{\phi}}{K_{\text{ксп}}} = \frac{4,3}{(4 + 4,1)/2} = 1,06. \quad (6.2)$$

Так как $k_k > 1$, следовательно, предприятие конкурентоспособно.

6.1.3 Технология QuaD

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

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины групп показателей оценки коммерческого потенциала разработки и оценки качества разработки. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений по технологии QuaD представлена в таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	70	100	0,7	0,07
2. Помехоустойчивость	0,05	75	100	0,75	0,0375
3. Надежность	0,05	80	100	0,8	0,04
4. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	85	100	0,85	0,0425
5. Уровень шума	0,05	70	100	0,7	0,035
6. Безопасность	0,15	95	100	0,95	0,1425
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,15	85	100	0,85	0,1275
8. Простота эксплуатации	0,05	80	100	0,8	0,04
9. Ремонтопригодность	0,05	65	100	0,65	0,0325
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	75	100	0,75	0,0375
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	70	100	0,7	0,035
3. Цена	0,1	75	100	0,75	0,075
4. Наличие сертификации разработки	0,1	65	100	0,65	0,065
Итого	1				0,78

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{\text{ср}} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (6.3)$$

где $П_{\text{ср}}$ - средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i - вес показателя (в долях единицы);

B_i - средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение $П_{\text{ср}}$ позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя $П_{\text{ср}}$ получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 - то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 - то перспективность средняя. Если от 39 до 20 - то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже - то перспективность крайне низкая.

Таким образом, в результате расчетов получили $П_{\text{ср}} = 78 \%$, следовательно, перспективность разработки выше среднего.

6.1.4 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов. Описываются сильные и слабые стороны проекта, выявляются возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 6.4.

Для выявления соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды необходимо построить интерактивные матрицы проекта. Полученные матрицы представлены в таблицах 6.5-6.8.

Таблица 6.4 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Автоматизированное управление С2. Высокая точность С3. Низкая стоимость производства С4. Генерация сложных сигналов	Слабые стороны проекта: Сл1. Возможное появление чрезвычайных ситуаций Сл2. Ограниченная целевая аудитория
Возможности: В1. Рост рынка В2. Обеспечение безопасной дальнейшей эксплуатации В3. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных проектов	В1С2С4 – увеличение доли рынка за счет использования всех функциональных возможностей и технических характеристик; В2С1 – автоматизированное управление позволяет изолировать оператора от элементов электрической цепи; В3С1С2С4 – продвижение разработки с акцентированием внимания на достоинствах	В1Сл2 – расширение области применения расширит и целевую аудиторию; В2Сл1 – обеспечение безопасности при эксплуатации снижает риск появления чрезвычайных ситуаций
Угрозы: У1. Повышение цен на материалы У2. Ужесточение требований пользователей У3. Противодействие со стороны конкурентов: снижение цен, разработка новой конструкции	У1С3 – из-за низкой стоимости производства, при росте цен на материалы, стоимость разработки увеличится не существенно; У2С1С2С4 – расширение функциональных возможностей; У3С2С3С4 – доработка конструкции, снижение цен	У2Сл1 – усиление защит от возникновения чрезвычайных ситуаций

Для выявления соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды необходимо построить интерактивные матрицы проекта. Полученные матрицы представлены в таблицах 6.5-6.8.

Таблица 6.5 – Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей проекта

		Сильные стороны проекта			
		С1	С2	С3	С4
Возможности проекта	В1	-	+	-	+
	В2	+	-	-	-
	В3	+	+	-	+

Таблица 6.6 – Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей проекта

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	-	+
	B2	+	-
	B3	-	-

Таблица 6.7 – Интерактивная матрица сильных сторон и угроз проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	-	+	-
	У2	+	+	-	+
	У3	-	+	+	+

Таблица 6.8 – Интерактивная матрица слабых сторон и угроз проекта

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл1	Сл2
	У1	-	-
	У2	+	-
	У3	-	-

6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для определения возможных альтернатив при проведении научного исследования используется морфологический подход. Составляется морфологическая матрица для определения морфологических характеристик системы исследования.

Морфологическая матрица для калибратора фиктивной мощности представлена в таблице 6.9.

Таблица 6.9 - Морфологическая матрица для калибратора фиктивной мощности

	1	2	3
А. Плата сбора данных	NI USB-6251	NI USB 6259	NI USB 6215
Б. Выходные трансформаторы	один	шесть	-
В. ПНН	УМ с многообмоточным трансформатором	Мостовая схема на основе микросхемы TDA 2030	-
Г. Управление	ПК	Ручное	-

Из полученной морфологической матрицы, можно получить как минимум 3 варианта реализации и направления научных исследований при работе над проектом:

- исполнение 1. А1Б2В2Г1;
- исполнение 2. А1Б1В1Г1;
- исполнение 3. А2Б2В2Г1.

6.3 Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1 Составление перечня работ

При разработке и исследовании компьютерных моделей структурных элементов калибратора фиктивной мощности запланирована занятость каждого из участников разработки и сроки проведения отдельных работ.

Проектный анализ содержит в себе расчет расходов по разработке компьютерных моделей. Экономический анализ - анализ трудовых и денежных затрат и научно - технической результативности при реализации данной научной работы.

Для выполнения научного исследования была создана рабочая группа, в которую вошли научный руководитель (НР) и студент (С), выполняющий

написание бакалаврской ВКР.

В данном подразделе был создан перечень работ и отдельных этапов в рамках проведения исследования, а также приведены исполнители по каждому виду работ. Данный перечень представлен в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Перечень работ, этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	Номер работы	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материала по теме	С
	3	Выбор направления исследования	НР, С
	4	Календарное планирование работ по теме	НР, С
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Изучение теоретического материала по выбранному направлению	С
	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	С
	7	Построение моделей и проведение эксперимента	НР, С
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	С
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	НР, С

6.3.2 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.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (6.4)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость выполнения работы, чел.-дн.;

t_{max} – максимальная трудоемкость выполнения работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (6.5)$$

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

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

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика следует перевести длительность каждого этапа работ из рабочих дней в календарные. Продолжительность выполнения работы в календарных днях T_{Ki} рассчитывается по формуле:

$$T_{Ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (6.6)$$

где $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (6.7)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения представлены в таблице 6.11.

На основании таблицы 6.11 был построен календарный план-график. Данный график строится для наибольшего по длительности исполнения работ в рамках исследовательской работы на основании таблицы 6.12 с разбиением по месяцам, а затем по декадам за период времени написания дипломной работы.

На графике продолжительности выполнения работ для научного руководителя выделены косой штриховкой, а студента – сплошной заливкой.

Таблица 6.11 – Временные показатели проведения НТИ

Номер работы	Исполнители	Трудоемкость работ			Длительность работ в рабочих днях T_{pi} , раб. дн.	Длительность работ в календарных днях T_{Ki} , кал. дн.
		t_{min} , чел.-дн.	t_{max} , чел.-дн.	$t_{ожи}$, чел.-дн.		
1	НР	1	2	1,4	1,4	2
2	С	6	8	6,8	6,8	9
3	НР	2	3	2,4	1,2	2
	С	5	6	5,4	2,7	3
4	НР	3	5	3,8	1,9	2
	С	4	6	4,8	2,4	3
5	С	15	20	17	17	21
6	С	12	14	12,8	12,8	16
7	НР	5	7	5,8	2,9	4
	С	10	12	10,8	5,4	7
8	С	2	3	2,4	2,4	3
9	НР	1	2	1,4	0,7	1
	С	3	5	3,8	1,9	2

Таблица 6.12 – Календарный план-график

Номер работы	Исполнители	T_{Ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
			Февраль		Март			Апрель			Май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	НР	2	█											
2	С	9	█	█										
3	НР	2		█										
	С	3		█										
4	НР	2		█										
	С	3		█										
5	С	21			█	█	█							
6	С	16					█	█	█					
7	НР	4							█					
	С	7							█	█				
8	С	3								█				
9	НР	1									█			
	С	2									█	█		

6.3.4 Определение бюджета научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования (НТИ) необходимо обеспечить полное и достоверное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением. Для определения бюджета НТИ в рамках выполнения ВКР с учетом выбранного направления исследования и исполнителей работ были рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата исполнителей темы, дополнительная заработная плата исполнителей темы, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления), накладные расходы.

Все затраты, за исключением затрат на материалы, одинаковые для всех видов исполнений.

6.3.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты Z_M на i -й материальный ресурс рассчитывается по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m (C_i \cdot N_{расхi}), \quad (6.8)$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

m – количество видов материальных ресурсов, используемых для выполнения научного исследования;

C_i – цена на приобретение i -го вида приобретаемого материального ресурса;

$N_{расхi}$ – количество материального ресурса i -го вида, которое планируется для использования при выполнении научного исследования.

Для реализации данного научного проекта необходимы структурные элементы калибратора фиктивной мощности.

После проведения расчетов материальных затрат результаты занесли в

таблицу 6.13.

Таблица 6.13 – Материальные затраты

Наименование	Количество, шт.			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
ПНН	6	1	6	69	743	186	414	743	1116
ПНТ	1	1	1	528	528	1251	528	528	1251
ПК	1	1	1	38500	38500	38500	38500	38500	38500
						Итого	39442	39771	40867

6.3.4.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и студента-дипломника, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется исходя из трудоемкости выполнения каждой работы и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Заработная плата участников выполнения НТИ учитывает основную заработную плату и дополнительную и рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6.9)$$

где $Z_{осн}$ – величина основной заработной платы;

$Z_{доп}$ – величины дополнительной заработной платы (15 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата одного исполнителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (6.10)$$

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

T_p - продолжительность работ, выполняемых исполнителем, раб. дн.

Среднедневная заработная плата $Z_{дн}$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (6.11)$$

где Z_m – месячный должностной оклад, руб.;

M – количество месяцев работы исполнителя без отпуска в течение года (при шестидневной рабочей неделе и отпуске в 48 рабочих дней

значение M составляет 10,4 месяца);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Для расчета действительного годового фонда рабочего времени была заполнена таблица 6.14.

Таблица 6.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	НР	С
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней:		
- выходные дни;	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
- отпуск;	48	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	252	252

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (6.12)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 30 % от заработной платы по тарифной ставке;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, принятый за 20 % от заработной платы по тарифной ставке;

k_p – районный коэффициент, принятый для Томска за 1,3.

В свою очередь тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{тс} = T_{ci} \cdot k_T, \quad (6.13)$$

где T_{ci} – тарифная ставка работника первого разряда, равная 600 руб.;

k_T – тарифный коэффициент, учитываемый по единой тарифной сетке для бюджетных организаций: для НР $k_{T(НР)}$ принимается равным 2,047; для С $k_{T(С)} = 1,407$.

По результатам расчетов была заполнена таблица 6.15.

Таблица 6.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	k_T	$Z_{ТС}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
НР	2,047	1228,20	0,3	0,2	1,3	2394,99	1413,50	11	15548,50
С	1,407	844,20	0,3	0,2	1,3	1646,19	310,86	64	19865,04
Итого									35413,54

6.3.4.3 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом Российской Федерации доплат за отклонения от нормальных условий труда, а также выплаты, связанные с обеспечением компенсаций и гарантий.

Дополнительная заработная плата $Z_{доп}$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (6.14)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

В результате получили следующие значения:

$$Z_{доп(НР)} = 2332,28;$$

$$Z_{доп(С)} = 2979,76.$$

6.3.4.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Данная статья расходов отражает обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством Российской Федерации, органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Отчисления во внебюджетные фонды $Z_{внеб}$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (6.15)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, принятый равным 27,1 % для учреждений, осуществляющих научную деятельность.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 6.16.

Таблица 6.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	$k_{\text{внеб}}$	$Z_{\text{внеб}}$, руб.
НР	15548,50	2332,28	0,271	4845,69
С	19865,04	2979,76	0,271	6190,94
Итого	35413,54	5312,04	-	11036,63

6.3.4.5 Расчет накладных расходов

Накладные расходы учитывают затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии, услуг связи, размножение материалов, печать и ксерокопирование материалов и т.д.

Накладные расходы $Z_{\text{накл}}$ определяются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (6.16)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент накладных расходов, принятый в размере 16 %.

Были получены следующие значения:

Исполнение 1 = 14592,67;

Исполнение 2 = 14645,31;

Исполнение 3 = 14820,67.

6.3.4.6 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования

Рассчитанная величина затрат на научно-исследовательскую работу является базой для формирования бюджета затрат на проект. Определение бюджета затрат на НТИ представлено в таблице 6.17.

Таблица 6.17 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Материальные затраты НИИ	39442	39771	40867
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	35413,54	35413,54	35413,54
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5312,04	5312,04	5312,04
Отчисления во внебюджетные фонды	11036,63	11036,63	11036,63
Накладные расходы	14592,67	14645,31	14820,67
Бюджет затрат НИИ	105796,90	106178,50	107449,90

В результате полученных данных в пунктах 6.3.4.1 – 6.3.4.5, был рассчитан бюджет затрат научно-исследовательской работы. Наиболее низким оказался бюджет затрат первого исполнения. Затраты на его реализацию составляют 105796,9 рублей.

6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (6.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Рассчитывается интегральный финансовый показатель для каждого исполнения:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{105796,90}{107449,90} = 0,98;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{106178,50}{107449,90} = 0,99;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{107449,90}{107449,90} = 1.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (6.18)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Бальная оценка каждого варианта исполнения по техническим критериям, учитывающая также и конкурентные технические решения, рассмотренные ранее, представлена в таблице 6.18.

Таблица 6.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Повышение производительности труда пользователя	0,15	4	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	3
4. Энергосбережение	0,20	4	4	4
5. Надежность	0,25	5	5	5
6. Материалоемкость	0,1	5	4	3
ИТОГО	1	4,65	4,4	4,15

$$I_{p-\text{исп1}} = 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 = 4,65;$$

$$I_{p-\text{исп2}} = 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 = 4,4;$$

$$I_{p-\text{исп3}} = 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,1 = 4,15.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}}, \quad I_{исп2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}}, \quad I_{исп3} = \frac{I_{р-исп3}}{I_{финр}}, \quad (6.19)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки, представленное в таблице 4.19, позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср12} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} = \frac{4,74}{4,44} = 1,07, \quad (6.20)$$

$$\mathcal{E}_{ср13} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп3}} = \frac{4,74}{4,15} = 1,14,$$

$$\mathcal{E}_{ср21} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}} = \frac{4,44}{4,74} = 0,94,$$

$$\mathcal{E}_{ср23} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп3}} = \frac{4,44}{4,15} = 1,07,$$

$$\mathcal{E}_{ср31} = \frac{I_{исп3}}{I_{исп1}} = \frac{4,15}{4,74} = 0,88,$$

$$\mathcal{E}_{ср32} = \frac{I_{исп3}}{I_{исп2}} = \frac{4,15}{4,44} = 0,93.$$

Таблица 6.19 - Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	0,99	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,40	4,15
Интегральный показатель эффективности	4,74	4,44	4,15
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,07	0,94	0,88
	1,14	1,07	0,93

Исходя из полученных данных и проведенного анализа эффективности, можно сделать вывод, что первый вариант исполнения является наиболее

эффективным с позиции финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Таким образом, в результате работы была проведена оценка потенциальных потребителей результатов исследования, был проведен анализ конкурентных решений и формирование бюджета затрат, формирования сроков исполнения. Бюджет затрат первого исполнения составил 105796,90 руб., для второго исполнения – 106178,50 руб., а для третьего - 107449,90 руб. Следовательно, наименее затратным является первое исполнение.

Кроме того, была проведена оценка сравнительной эффективности исследования и выбран наилучший вариант исполнения. Также можно сделать вывод, что наиболее эффективным является первое исполнение.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был проделан обзор научной литературы, нормативно-технической документации в области счетчиков электроэнергии и выявлены тенденции в развитии этих счетчиков. Результаты обзора показали, что происходит повышение класса точности счетчиков (0,2S и 0,5S). Также было выявлено, что современные счетчики позволяют измерять ряд параметров качества электроэнергии. На основе анализа нормативно-технической документации по счетчикам электроэнергии было выполнено следующее:

- сформулированы требования к перспективной поверочной аппаратуре счетчиков;
- выбрано функциональное построение автоматизированных средств поверки на основе калибратора фиктивной мощности;
- сформулированы требования к преобразователям «напряжение-напряжение» и «напряжение-ток», входящим в состав калибратора фиктивной мощности;
- разработаны функциональные и принципиальные схемы преобразователей;
- произведен расчет электрических схем;
- проведены экспериментальные исследования с использованием программного обеспечения Multisim.

Экспериментальные исследования схем показали, что предложенное построение преобразователей «напряжение-напряжение», «напряжение-ток» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к современным автоматизированным средствам поверки, следовательно, найденные решения могут использоваться при построении калибратора фиктивной мощности.

В программе Multisim отсутствует математическое описание реального трансформатора. Поэтому, прежде чем использовать данное построение преобразователей, необходимо провести эксперименты на реальных макетах. Не исключено, что потребуется внести изменения в разработанные схемы.

Список использованных источников

- 1 Фомичев Ю.М., Силушкин С.В. Современное состояние автоматизированных систем поверки средств измерений параметров электрической энергии // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 2 (8). – URL: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/692/504>.
- 2 ГОСТ 8.584-2004 Государственная система обеспечения единства измерений. Счетчики статические активной электрической энергии переменного тока. Методика поверки. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 14 с.
- 3 ГОСТ 31819.22-2012. Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 22. Статические счетчики активной энергии классов точности 1 и 2. – М.: Стандартинформ, 2012. – 19 с.
- 4 НИИ электроизмерительных приборов ОАО "НИИ ЭЛЕКТРОМЕРА". Отдел метрологического обеспечения средств измерения электрических величин переменного тока. Разработки отдела [Электронный ресурс]: 2012. – URL: <http://www.electromera.ru/dep46/>
- 5 Нижегородское НПО им. М.В. Фрунзе. Установки для автоматизированной метрологической поверки счетчиков электроэнергии (УАПС) [Электронный ресурс]: 2012. – URL: <http://www.nzif.ru/modules/myReviews/viewcat.php?cid=136>
- 6 Научно-производственное предприятие «Эника». Продукция. Калибраторы КФМ-06 [Электронный ресурс]: 2012. – URL: <http://www.enica.net.ru/>
- 7 ГОСТ Р 8.656 - 2009 ГСИ. Средства измерений показателей качества электрической энергии. Методика поверки. – М.: Стандартинформ, 2009. – 20 с.
- 8 National Instruments [Электронный ресурс] / NI 625x Specifications, 2007. – Режим доступа: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371291h.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

- 9 Силушкин С.В., Муравьев С.В., Фомичев Ю.М., Емельянова Е.Ю. Цифровой измеритель мощности сигналов сложной формы на базе PXI-платформы // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 4. – С. 176-181.
- 10 Фомичев Ю.М., Силушкин С.В. Исследование возможности повышения класса точности калибратора мощности энергии // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4 (10). – С. 85-92. URL: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/817/575>.
- 11 ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением N 1) - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 4 с.
- 12 ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности (с Изменением N 1) - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.
- 13 СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. - М: Минрегион России, 2011. – 69 с.
- 14 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий (с изменениями от 15 марта 2010). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901859404> (дата обращения: 23.03.2016).
- 15 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы (с изменениями от 25 апреля 2007). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/4179328/> (дата обращения: 23.03.2016).
- 16 СанПиН 2.2.4.548-96 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к микроклимату

производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/4173106/> (дата обращения: 23.03.2016).

- 17 ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.
- 18 ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. - М.: Стандартинформ, 2008. – 10 с.