

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

Школа – Информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология
Отделение школы (НОЦ) – Автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование шумов выходного напряжения аналогового генератора «ГС-50» УДК 621.373.1.027.534.83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Михеенко М.О.		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Рыбин Ю.К.	Д.Т.Н., профессор ОАР		
Руководитель ООП	Казаков В.Ю.	к.ф.м.н., доцент ОАР		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Н.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Авдеева И.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов С.В.	доцент, к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.01

«Стандартизация и метрология»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО 3+, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
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 3+ (ОК-1, 8, 9, 10; ПК- 17, 23, 24, 28). Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, проводить анализ состояния и динамики метрологического и нормативного обеспечения производства, производить оценку качества измерений, контроля и испытаний, проводить работы по автоматизации измерений и контроля в производстве и научных исследованиях.	Требования ФГОС 3+ (ОК - 13, ПК - 3, 7, 8, 9, 13, 14). Критерий 5 АИОР (п.1.3, 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P3	выполнять работы в области стандартизации и сертификации: выполнять разработку и экспертизу новых технических регламентов и другой нормативной документации, разрабатывать процедуры оценки соответствия, поддерживать единое информационное пространство планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла изделий.	Требования ФГОС 3+ (ПК-1, 2, 5, 6, 19, 21, 29). Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: исследовать причины появления некачественной продукции, разрабатывать предложения по предупреждению и устранению причин брака, осуществлять приемочный и выходной контроль продукции, а также контроль производства на основе современных технических средств.	Требования ФГОС 3+ (ПК-4, 12, 14, 15, 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P5	Использовать базовые знаний в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения инновационной инженерной деятельности; организовывать работы по защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на них, проводить технико-экономический анализ по проектам связанным с метрологическим обеспечением производства.	Требования ФГОС3+ (ОК-5, ПК-11, 14, 16, 17, 18, 20, 27, 30). Критерий 5 АИОР (п.2.1, 1.3, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
Универсальные компетенции		
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности, заниматься научно- педагогической деятельностью в области метрологии, технического регулирования и управления качеством.	Требования ФГОС 3+ (ОК-1, 3, 4, 5, ПК-32, 33, 34). Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок работ, демонстрировать ответственность за результаты работы.	Требования ФГОС 3+ (ОК-11, 12, ПК-20, 22, 32). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

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, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ (ОК-14, ПК-26) Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду.	Требования ФГОС ВПО 3+ (ОК-7, ПК-10, 14, 20,). Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности, проявлять гражданскую позицию, направленную на его совершенствование.	Требования ФГОС ВПО 3+(ОК-6). Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

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

Школа – Информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) – Автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ В.Ю.Казаков
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Михеенко М.О.

Тема работы:

Исследование шумов выходного напряжения аналогового генератора «ГС-50»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2585/с от 13.04.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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 метрологическая характеристика аналогового генератора «ГС – 50»: погрешность уровня выходного напряжения, вызванная наличием шумов элементов генератора. Исследования проводятся с помощью программы <i>NI Multisim</i>.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования,</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – обзор генераторов сигналов; – принцип действия генератора сигналов прецизионного ГС-50; – моделирование шумов электрических элементов генератора; – результаты измерений нестабильности

<i>конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	амплитуды выходного напряжения генератора ГС-50 в разные моменты времени; – социальная ответственность; – финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Авдеева И.И.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Шапавалова Н.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Генераторы сигналов и их основные метрологические характеристики; Генератор «ГС-50» и его основные метрологические характеристики.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.02.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Рыбин Ю.К.	Д.Т.Н., профессор ОАР		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Михеенко М.О.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Михеенко М.О.

Школа	информационных технологий и робототехники	Отделение	автоматизации и робототехники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	27.04.01 стандартизация и метрология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочая зона, оборудованная персональным компьютером, необходимая для компьютерного моделирования шумовых характеристик генератора «ГС-50» в программе Multisim.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения;	Анализ вредных производственных факторов: – микроклимат; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень электромагнитных излучений. – умственное перенапряжение; – монотонность труда; – статистические физические перегрузки. Анализ опасных производственных факторов: – поражение электрическим током; – опасность возникновения пожара; – короткое замыкание.
2. Экологическая безопасность	Утилизация отходов (твердые бытовые и промышленные отходы).
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Выбор и описание возможных ЧС; типичная ЧС – пожар. – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	– Определение районного коэффициента как нормы льготы в рамках специальных правовых норм трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя. Нормативно-техническая документация (НТД): СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.0.003-2015; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; ГОСТ Р 12.1.019-2009; СНиП 21-01-97; СП 52.13330.2016; ГОСТ 12.1.030-81; ПЭУ 7; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03; ФЗРФ от 22 июля 2008г. №123; ГОСТ 12.2.032-78; ГОСТ 12.1.003-2014.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Авдеева И.И.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Михеенко М.О.		01.03.2018

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Михеенко М.О.

Школа	информационных технологий и робототехники	Отделение	автоматизации и робототехники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	27.04.01 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	стоимость расходных материалов.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	коэффициенты для расчета заработной платы.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– отчисления во внебюджетные фонды (30%).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	– потенциальные потребители результатов исследования; – SWOT – анализ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	– структура работ в рамках научного исследования; – определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; – бюджет научно - технического исследования.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	– оценка экономической эффективности проекта; – оценка научно-технического уровня НИР.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НИ
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.03.2018 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Н.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Михеенко М.О.		

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

Школа – Информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – Стандартизация и метрология
Отделение школы (НОЦ) – Автоматизации и робототехники
Период выполнения (осенний/весенний семестр 2017-2018 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.2018	Глава 1. Генераторы сигналов и их основные метрологические характеристики	
13.03.2018	Глава 2. Генератор «ГС-50» и его основные метрологические характеристики	
30.04.2018	Глава 3. Шумы в электрических элементах	
11.05.2018	Глава 4. Моделирование шумов	
15.05.2018	Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
25.05.2018	Глава 6. Социальная ответственность	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Рыбин Ю.К.	д.т.н., профессор ОАР		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР	Казаков В.Ю.	к.ф.м.н., доцент ОАР		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 97 с., 29 рис., 14 табл., 19 источников, 2 прил.

Ключевые слова: генератор сигналов, выходное напряжение, метрологические характеристики, шумы.

Объектом исследования является метрологическая характеристика аналогового генератора «ГС-50»: погрешность уровня выходного напряжения, вызванная наличием шумов элементов генератора.

Целью данной работы является исследование влияния шумов элементов на метрологическую характеристику генератора «ГС-50»: погрешность уровня выходного напряжения.

В ходе работы был выбран программный пакет *Multisim*, для моделирования шумов электрических элементов генератора, таких как: резисторы, транзисторы и операционные усилители.

В результате работы рассмотрены шумы электрических элементов, таких как: транзисторы, резисторы и операционные усилители. Выявлены шумы амплитуды выходного напряжения генератора ГС-50, которые интегрируют шумы всех элементов.

Степень внедрения: проведенные моделирования шумов в электрических элементах будут использованы при проектировании модернизированного генератора.

Область применения: исследования влияния шумов амплитуды выходного напряжения будут применяться не только для данного генератора, но и могут быть использованы при разработке других генераторов.

Обозначения

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

Генератор ГС-50 – аналоговый генератор «ГС-50»;

ГС – генератор сигналов;

ЗГ – задающий генератор;

ИОН – источник опорного напряжения;

М – магистрант;

МХ – метрологические характеристики;

НИ – научное исследование;

НР – научный руководитель;

ОДЗ – область допустимых значений;

ОУ – операционный усилитель;

ПК – персональный компьютер;

ПСЗ – преобразователь средневыпрямленных значений;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

РЭ – регулирующий элемент;

СВ – случайная величина;

СИ – средство измерений;

СКО – среднее квадратическое отклонение;

СУ – согласующий усилитель;

ФПИ – формирователь прямоугольных импульсов;

ФЧХ – фазо-частотная характеристика;

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений;

РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения;

ГОСТ 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения;

ГОСТ 8.314-78 ГСИ. Генераторы низкочастотные измерительные.

ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности.

ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.030–81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя.

Оглавление

	С.
Введение	15
1 Генераторы сигналов и их основные метрологические характеристики	17
1.1 Генераторы сигналов	17
1.2 Типы источников синусоидального напряжения	18
1.3 <i>RC</i> – генераторы	18
1.4 <i>LC</i> – генераторы	21
1.5 Основные метрологические характеристики генераторов сигналов	22
2 Генератор «ГС-50» и его основные метрологические характеристики	25
2.1 Генератор «ГС-50»	25
2.2 Нелинейные искажения и шумы выходных напряжений генератора ГС-50	27
2.3 Метрологические характеристики генератора «ГС-50»	28
3 Шумы в электрических элементах	30
3.1 Шумы резисторов	30
3.2 Шум транзисторного каскада	32
3.3 Шум операционного усилителя	35
4 Моделирование шумов	37
4.1 Моделирование шумов резистора	37
4.2 Моделирование шумов транзистора	39
4.3 Моделирование шумов операционного усилителя	42
4.4 Выходное напряжение и шумы его амплитуды	46
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50
5.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	50
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	50
5.1.2 SWOT – анализ	50
5.2 Планирование научно-исследовательских работ	51
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	51
	12

5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	52
5.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	57
5.3.1	Расчет материальных затрат НТИ	57
5.3.2	Расчет заработной платы	58
5.3.3	Расчет затрат на социальный налог	59
5.3.4	Расчет затрат на электроэнергию	59
5.3.5	Накладные расходы	60
5.3.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	61
5.4	Оценка экономической эффективности проекта	62
5.5	Оценка научно-технического уровня НИР	62
5.6	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	64
6	Социальная ответственность	65
6.1	Производственная безопасность	66
6.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	66
6.1.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в учебной аудитории при проведении исследований	67
6.1.3	Анализ вредных факторов	68
6.1.4	Анализ опасных факторов	74
6.2	Экологическая безопасность	75
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	76
6.3.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования	76
6.3.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в аудитории при проведении исследований	76
6.3.3	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения пожара	77
6.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	78
6.4.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	78
		13

6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	79
6.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»	80
Заключение	82
Список использованных источников	84
Приложение А	86
Результаты измерений нестабильности амплитуды выходного напряжения	86
Приложение Б Signal generators and their main metrological characteristics	88

Введение

Генератор сигналов – это устройство, позволяющее получать сигнал определенной природы (акустический, электрический или другой), имеющий заданные характеристики (форму, статистические или энергетические характеристики и т.д.). В настоящее время наибольшее распространение получили генераторы электрических сигналов. Такие генераторы входят в состав многих электронных приборов. Они используются в осциллографах, радиоприемниках, телевизорах, универсальных измерительных приборах, микропроцессорных схемах.

Классификация генераторов позволяет разделить модели устройств на группы, в зависимости от технических особенностей устройства и его работы. Существуют разные виды генераторов: если взять за основу частотный диапазон измерений, то различают генератор низкочастотных сигналов и высокочастотный генератор; импульсные генераторы; генераторы шумовых сигналов; синтезаторы. Форма сигнала может представлять собой цифровой импульс, синусоиду или другую периодическую функцию, или полностью произвольную форму. К настоящему времени известно большое количество генераторов сигнала синусоидальной формы, которые занимают особое место среди всех генераторов. Данные генераторы применяются для исследования фильтров электрических сигналов и усилителей, в качестве источников напряжения для возбуждения датчиков физических величин и т.д. При этом данные генераторы имеют неудовлетворительные характеристики по коэффициенту гармоник, по точности и стабильности напряжения, и частоты.

Генератором синусоидальных сигналов с малым коэффициентом гармоник является генератор сигнала ГС-50. Данный генератор представляет собой источник синусоидального сигнала с прецизионной формой волны.

Решение многих практических задач связано с умением правильно обработать и классифицировать исходные данные для того, чтобы анализировать состояние объекта или процесса. Среди широкого круга задач

важную роль играет проблема распознавания случайных составляющих сигнала (шумов), присутствующих практически во всех измерениях сигнала. Шум – это любой сигнал, который имеет нерегулярную, хаотическую форму. Однако, как и любой сигнал, шум также может быть проанализирован.

В данное время существуют генераторы как отечественные, так и зарубежные с малым коэффициентом гармоник, гармоники которых находятся на уровне шумов. Для оценки качества генераторов используется не только коэффициент гармоник, но и другие параметры, например спектральный состав сигнала. Дальнейшее совершенствование таких генераторов должно быть направлено на снижение уровня шумов (уменьшение искажения).

В настоящее время усложнились требования к поверочному оборудованию для поверки аналого-цифровых преобразователей (АЦП), т. к. увеличилась их разрядность. Промышленностью освоены, выпускаются и применяются 20÷24 – разрядные АЦП. Появились фирмы, которые используют высокоразрядные АЦП. При их применении начинают проявляться шумы в выходных сигналах сенсоров измерительных систем. Для поверки АЦП при определении динамических характеристик часто применяются генераторы с малыми нелинейными искажениями и шумами.

Целью данной работы является исследование влияния шумов элементов на метрологическую характеристику генератора «ГС-50»: погрешность уровня выходного напряжения генератора. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- выбрать программный пакет для моделирования;
- рассмотреть шумы в электрических элементах составляющих основу этого генератора;
- исследовать шумы выходного напряжения генератора «ГС-50»;
- предложить методы и технические решения по уменьшению влияния шумов на выходное напряжение генератора.

1 Генераторы сигналов и их основные метрологические характеристики

1.1 Генераторы сигналов

Генератором электрических сигналов называют устройство, посредством которого энергия источника питания преобразуется в электрические колебания определенной формы с заданной амплитудой и частотой. Такой сигнал может быть истинным биполярным сигналом переменного тока (пиковые значения которого попеременно поднимаются выше или опускаются ниже нулевого уровня), или он может колебаться относительно некоторого уровня постоянного напряжения (положительного или отрицательного).

Генераторы сигналов являются источниками измерительных, стимулирующих, синхронизирующих и управляющих сигналов. Они часто представляют собой самостоятельное средство измерения или входят составной частью в другие устройства, приборы и системы.

Генераторы сигналов делятся на несколько групп, которые получили следующие обозначения: Г2 – генераторы шумовых сигналов; Г3 – низкочастотные; Г4 – высокочастотные; Г5 – импульсные; Г6 – генераторы сигналов сложной формы.

Особое место занимают генераторы групп Г3 и Г4. Их широкое распространение обусловлено рядом полезных свойств синусоидальных сигналов. В первую очередь, это неизменность формы при прохождении линейной электрической цепи. Во – вторых, строго известное соотношение между амплитудным, среднеквадратическим и средневыпрямленным значениями, что позволяет поверять измерительные преобразователи и вольтметры переменного напряжения. В – третьих, с помощью данных сигналов можно выявлять малые отклонения от линейности электрических элементов путем измерения высших гармонических составляющих. В-четвертых, использование сигналов синусоидальной формы очень хорошо

согласуется с широко применяемыми методами теоретического анализа цепей и устройств, что позволяет экспериментально проверять правильность теоретических расчетов.

Плюсом генераторов сигналов является то, что они могут выдавать сигнал с заданными параметрами и характеристиками или добавлять к сигналу известные искажения нужной величины и типа, когда нужно, и там, где это необходимо.

1.2 Типы источников синусоидального напряжения

В измерительной технике используется несколько основных типов источников – генераторов синусоидального напряжения:

- низкочастотные RC – генераторы;
- высокочастотные LC – генераторы;
- генераторы с пьезокристаллическими, кварцевыми и электромеханическими резонаторами – включающими внешний контур стабилизации амплитуды, состоящий из преобразователя средневыпрямленных значений, интегратора и источника опорного напряжения;
- генераторы, формирующие синусоидальные сигналы из треугольных сигналов путем их плавного ограничения и аттенюатор;
- генераторы, реализующие цифровые методы синтеза синусоидальных сигналов [1].

1.3 RC – генераторы

RC – генераторы используются в различных областях человеческой деятельности.

Одна из типовых схем RC – генераторов – это схема с использованием цепи Вина, представленная на рисунке 1.1. На частоте генерации такая цепь

имеет угол сдвига фазы, равный 0. Частота колебаний равна 1000 Гц. Обеспечивается высокая точность задания частоты.

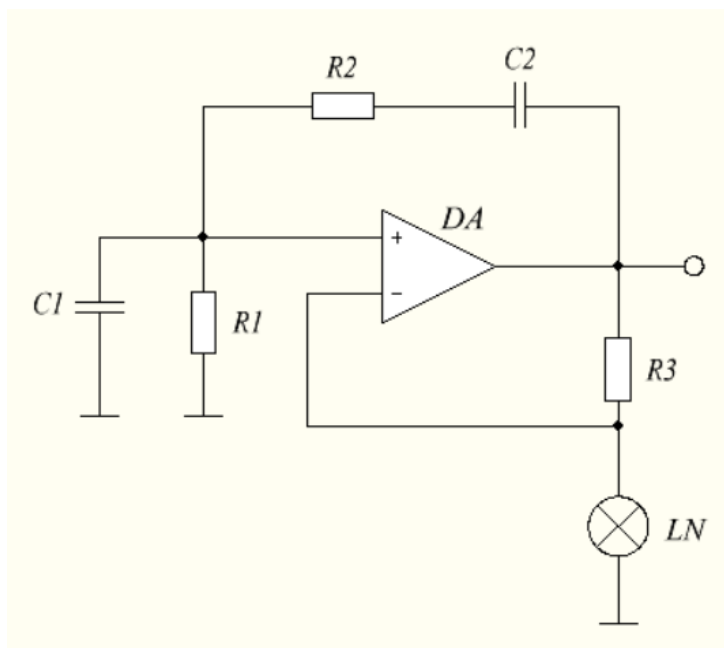


Рисунок 1.1 – Типичная схема RC – генератора на операционном усилителе

Как правило, выполняется условие ($R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$), и частота колебаний рассчитывается по формуле (1.1):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (1.1)$$

Ослабление на заданной частоте f_0 вычисляется по формуле (1.2):

$$1 + \left(\frac{R_1}{R_2}\right) + \left(\frac{C_1}{C_2}\right), \quad (1.2)$$

и равное 3 при $R_1 = R_2$ и $C_1 = C_2$. Для соблюдения баланса амплитуд подключается цепь отрицательной обратной связи. Коэффициент усиления усилителя должен быть на уровне чуть больше 3 (условия баланса амплитуд).

Стабилизация амплитуды на выходе достигается за счет нелинейности усилителя или лампы накаливания. С увеличением амплитуды сигнала на выходе усилителя его коэффициент усиления падает, и при некоторой амплитуде устанавливается баланс амплитуд. Наступает стационарный режим генерации почти синусоидальных колебаний [1].

Использование инерционных нелинейных элементов в отрицательной обратной связи, например, маломощной миниатюрной лампы накаливания или термопары, дает лучшие результаты. Также применяются электронные способы ограничения амплитуды сигнала на выход генератора.

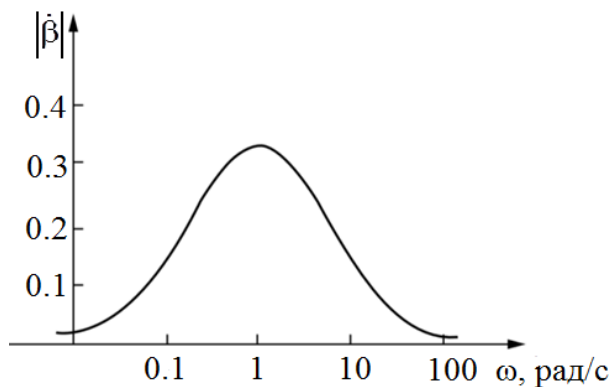


Рисунок 1.2 – Амплитудно-частотная характеристика избирательной цепи

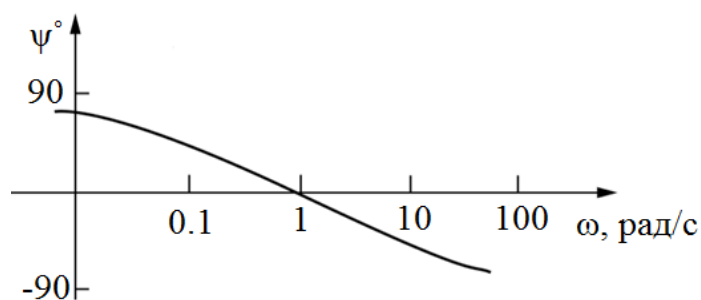


Рисунок 1.3 – Фазо-частотная характеристика избирательной цепи

Как видно, из рисунков, АЧХ и ФЧХ избирательной цепи в генераторе довольно пологие. Значит, стабильность частоты не может быть высокой. Это присуще практически для всех известных схем RC – генераторов синусоидального напряжения. Главные достоинства таких генераторов заключаются в отсутствии катушек индуктивности, которые сложны в изготовлении, а также в широком диапазоне частот при изменении параметров R и C элементов [1].

1.4 LC – генераторы

Частота колебаний в LC – генераторах обратно пропорциональна корню квадратному из произведения LC, поэтому номинальное значение емкости и индуктивности с ростом частоты убывают медленнее, чем в RC-колебательных системах. В качестве линейной частотно-зависимой цепи при высоких частотах генерируемых колебаний используется LC-избирательная цепь. Операционные усилители, служащие активными элементами при низких частотах, с повышением частоты утрачивают усилительные свойства и в LC-генераторах не применяются. Наиболее распространены LC-генераторы синусоидальных сигналов, в которых цепь положительной обратной связи выполнена на LC-резонансных контурах, а активный элемент – на биполярном или полевом транзисторе. Схема подобного генератора на полевом транзисторе с резонансным контуром в цепи тока изображена на рисунке 1.4.

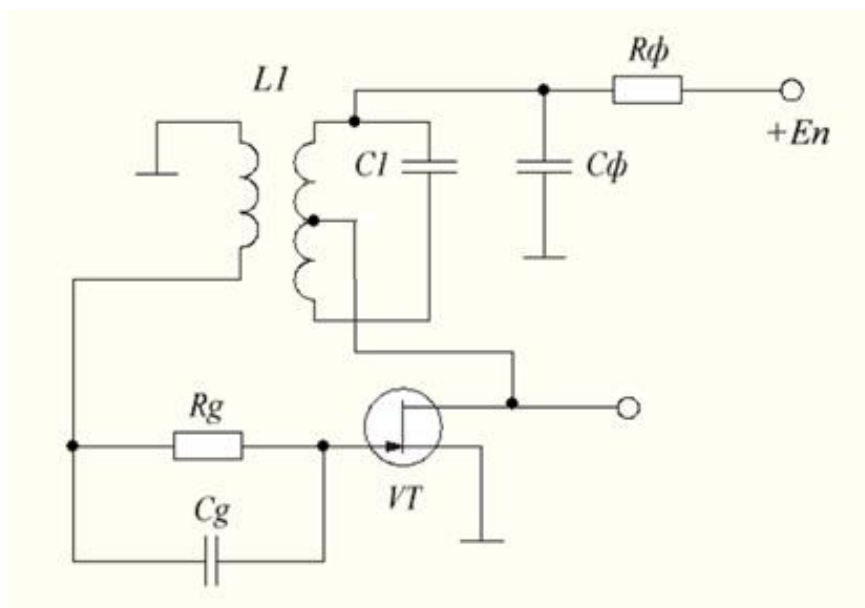


Рисунок 1.4 – LC-генератор на полевом транзисторе

Колебательный контур в ней образован индуктивностью L_1 первичной обмотки трансформатора и емкостью конденсатора C . Вторичная обмотка этого трансформатора через цепочку из резисторов R_g и конденсатора C_g подсоединена к затвору полевого транзистора VT . Сток этого транзистора соединен с отводом первичной обмотки трансформатора колебательного

контура. Такое включение называется частичным и используется для уменьшения влияния нагрузки генератора на добротность колебательного контура [2].

Более упрощенная схема генератора без цепей питания, смещения и дополнительных элементов приведена на рисунке 1.5.

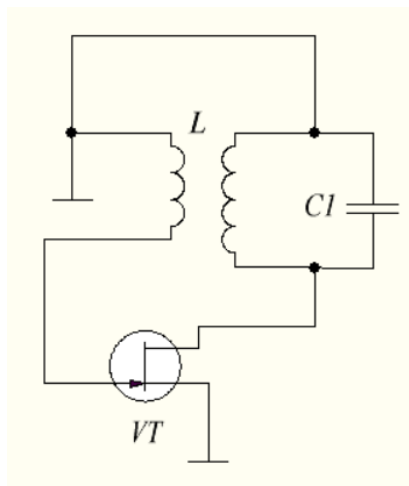


Рисунок 1.5 – Упрощенная схема LC -генератора

В области высоких частот, когда требуются небольшие величины L и имеется возможность обеспечить высокую добротность LC -контура, применяют LC -генераторы, также как и LC -избирательные усилители. При затруднительном построении LC -генератора, на низких частотах, используют RC цепи тех же типов, что и для избирательных усилителей [2].

1.5 Основные метрологические характеристики генераторов сигналов

Для генераторов сигналов нормируют следующие метрологические характеристики в соответствии с ГОСТ 8.314 и ГОСТ 8.009:

- коэффициент гармоник выходного напряжения;
- нестабильность частоты;
- погрешность установки частоты по шкале частот;
- погрешность выходного регулятора напряжения;
- погрешность установки частоты по шкале интерполяции;

- погрешность установки выходного напряжения [3].

Определение коэффициента гармоник выходного напряжения

Генераторы сигналов помимо колебаний основной частоты, так же генерируют сигналы напряжения гармоник, которые являются помехами. С помощью коэффициента гармоник выходного напряжения можно оценить такие гармоники, которые возникают из-за нелинейных искажений сигнала. Для генераторов общего назначения коэффициент гармоник составляет 0,3...2%. Высококачественные генераторы имеют коэффициент гармоник в пределах 0,02...0,05% [3].

С помощью измерителя нелинейных искажений, селективного вольтметра или анализатора гармоник, определяют коэффициент гармоник выходного напряжения K_f .

Определение нестабильности частоты

Одним из важнейших свойств генератора сигналов является высокая стабильность частоты генерируемого колебания. В генераторах сигнала используют такие дестабилизирующие факторы, как: непостоянство электрических параметров элементов и деталей; влияния нагрузки, включаемой в выходную цепь генератора; изменение напряжения питания; изменение геометрических размеров деталей колебательных контуров. Снижение данных факторов обеспечивается рациональным конструированием приборов [3].

С помощью частотомера или при помощи частотного компаратора определяют нестабильность частоты на определенных частотах, которые указаны в нормативно-технической документации на конкретный тип генератора сигналов.

Погрешность установки частоты по шкале частот

Погрешность установки частоты по шкале частот определяют с помощью частотомера. При максимальном выходном напряжении и номинальной нагрузке определяют погрешность установки частоты. Основную погрешность, для генераторов с диапазонно-кварцевой стабилизацией частоты, определяют сравнением с образцовой частотой. Если у поверяемого генератора отклонение частоты от образцовой, воспроизводимой стандартом частоты, то определяют с помощью частотного компаратора [3].

Определение погрешности установки выходного напряжения

Большое выходное напряжение обеспечивают низкочастотные генераторы. С помощью устройств, таких как, образцовый вольтметр или термоэлектрический компаратор определяют погрешность генератора.

Погрешность установки выходного напряжения генераторов, имеющих в качестве индикатора вольтметр со шкалой, определяют не менее чем в трех отметках шкалы на каждом поддиапазоне вольтметра на опорной частоте генератора и в одной отметке шкалы, соответствующей номинальному выходному напряжению, не менее чем на пяти других частотах диапазона, указанных в нормативно-технической документации на прибор конкретного типа, в том числе на частотах, соответствующих началу и концу диапазона.

Погрешность установки выходного напряжения у генераторов, имеющих в качестве индикатора выходного напряжения вольтметр с отметкой номинального значения, определяют при установке напряжения на это значение, которое указывают в нормативно-технической документации для генератора конкретного типа на опорной частоте и на крайних частотах диапазона [3].

Импульсы, образованные на выходе усилителя – ограничителя, преобразуются цепью состоящей из ключей $K_{л1}$, $K_{л2}$, повторителя напряжения, ФПИ, конденсаторов C_1 и C_2 в напряжение постоянного тока с уровнем пропорциональным амплитуде импульсов УО. Полученное и усиленное согласующим усилителем напряжение постоянного тока управляет сопротивлением канала одного из дифференциально включенных полевых транзисторов регулирующего элемента (РЭ). Сопротивление второго транзистора, подключенного к источнику опорного напряжения ИОН₁, остается постоянным. На основной вход ФПИ поступает напряжение переменного тока с выхода первого интегратора активной фазирующей цепи, сдвинутое на 90° относительно выходного напряжения ЗГ.

Напряжение с выхода задающего генератора поступает также на внешний контур стабилизации амплитуды, включающий в себя: преобразователь средневыпрямленных значений (ПСЗ), интегратор и источник опорного напряжения ИОН₂.

Выпрямленный сигнал отрицательной полярности с выхода ПСЗ через резистор R_9 поступает на вход интегратора ИНТ и сравнивается с положительным напряжением источника ИОН₂. В случае появления рассогласования, сигналом с выхода интегратора производится изменение уровня ограничения усилителя ограничителя в направлении уменьшения рассогласования.

Аттенюатор A_m предназначен для ступенчатого ослабления выходного напряжения прибора.

Для предотвращения срыва колебаний при переключениях частоты предусмотрено быстродействующее устройство запуска, включающее в себя компаратор КОМПАР и автоколебательный мультивибратор АМВ.

2.2 Нелинейные искажения и шумы выходных напряжений генератора ГС-50

В каждом устройстве присутствуют нелинейные составляющие, поэтому форма сигнала на выходе усилителей отличается от формы сигнала на входе. Нелинейным искажением называется изменение формы сигнала. Причина нелинейных искажений заключается в том, что когда на вход подаем гармонический сигнал частотой f , то на выходе будет возникать сигнал, включающий в себя постоянную составляющую, основную частоту и высшие гармоники с частотами $2f$, $3f$, $4f$... На рисунке 2.2 изображен спектр выходного сигнала нелинейного устройства при подаче на его вход одного гармонического сигнала.

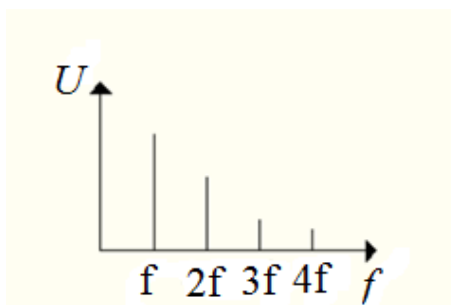


Рисунок 2.2 – Спектр выходного сигнала нелинейного устройства при подаче на его вход одного гармонического сигнала

Источником нелинейных искажений является усилитель. Резисторы и конденсаторы считаются линейными элементами, когда в них увеличение напряжения на резисторе в два раза, приведет к изменению тока в два раза. Соотношение между токами и напряжениями в элементах, должны быть прямо пропорциональны по закону Ома. Как только линейная связь нарушается, т.е. если они не прямо пропорциональны, значит, это приводит к нелинейному искажению выходного напряжения.

Кроме нелинейных искажений выходные сигналы генераторов содержат еще и шумы, которые тоже искажают сигнал.

Основной задачей работы является исследовать шумы, так как нелинейные искажения в этом генераторе уже были уменьшены до минимальных значений, практически до уровня шумов элементов. Дальнейшее уменьшение шумов должно привести к улучшению формы выходного напряжения. Задача заключается именно в этом, что бы исследовать эти шумы.

В следующей главе будут подробно рассмотрены шумы в электрических элементах, таких как: резисторы, транзисторы и операционные усилители (ОУ).

2.3 Метрологические характеристики генератора «ГС-50»

Генератор сигналов ГС-50 обеспечивает установку частоты выходного сигнала в диапазоне частот от 10 Гц до 100 кГц [4].

Установка частоты осуществляется дискретно на четырёх поддиапазонах:

- 10-100 Гц через 1 Гц – 1 поддиапазон;
- 100-1000 Гц через 10 Гц – 2 поддиапазон;
- 1000-10000 Гц через 100 Гц – 3 поддиапазон;
- 10000-10000000 Гц через 1000 Гц – 4 поддиапазон [4].

Основная погрешность дискретной установки частоты не превышает:

- $\pm 1 \%$ в диапазоне частот от 10 Гц до 10 кГц на 1,2 и 3 поддиапазонах;
- $\pm 1,5 \%$ в диапазоне частот от 10 до 100 кГц на 4 поддиапазоне.

Неравномерность уровня выходного напряжения на выходе «0°» в диапазоне частот относительно уровня выходного напряжения на частоте 1 кГц не превышает:

- $\pm 1,0 \%$ в диапазоне частот от 10 до 20 Гц;
- $\pm 0,5 \%$ в диапазоне частот от 20 Гц до 100 кГц.

Коэффициент гармоник выходного сигнала не превышает:

- 0,0003 % в диапазоне частот от 10 до 20 Гц (1 поддиапазон)
- 0,0002 % в диапазоне частот от 20 Гц до 10 кГц (1, 2, 3 поддиапазон);
- 0,0003 % в диапазоне частот от 10 до 20 кГц (4 поддиапазон);
- 0,003 % в диапазоне частот от 20 до 100 кГц (4 поддиапазон).

Наибольшее значение уровня составляющих с частотой питающей сети и ее гармоник относительно установленного уровня выходного напряжения не превышает 0,0002 %.

На выходе «90°» при подключенной нагрузке (600 ± 6) Ом обеспечивается синусоидальный сигнал с наибольшим уровнем не менее 5 В и фазовым сдвигом 90° относительно сигнала на выходе «0°».

Погрешность фазового сдвига не превышает:

- $\pm 2^\circ$ в диапазоне частот от 10 до 1,0 кГц;
- $\pm 5^\circ$ в диапазоне частот от 1 до 100 кГц.

Прибор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм, по истечении времени установления рабочего режима равного 15 минут.

Прибор сохраняет свои технические характеристики при питании его от сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В, частотой $(50 \pm 1,0)$ Гц с коэффициентом гармоник до 5 % и напряжением (220 ± 11) В, частотой (400 ± 10) Гц с коэффициентом гармоник до 5 % [4].

3 Шумы в электрических элементах

3.1 Шумы резисторов

Впервые наблюдал тепловой шум Дж. Джонсон в 1928 году, поэтому иногда принято тепловые шумы называть шумами Джонсона по имени их открывателя. Шумы в резисторах обусловлены хаотическим перемещением носителей зарядов, собственно, что вызывает возникновение вспомогательного шумового напряжения на выводах резисторов и создает помехи при прохождении сигнала. Тепловой шум будет исчезать в том случае, когда температура будет равна абсолютному нулю по Кельвину.

Частотный спектр теплового шума является непрерывным. При тепловом шуме он равномерно распределен по всей частотной полосе.

При нагревании до температуры T , на выводах резистора будет возникать шумовая ЭДС. Шум резистора, можно назвать «белый» шум, так как на всех частотах эффективное значение шумовой ЭДС $e_{шR}$ будет одинаково. При анализе шумовых характеристик устройства используют эквивалентную схему. На данной схеме шумящий резистор заменяют последовательным соединением шумовой ЭДС и нешумящего резистора, как это показано на рисунке 3.1.

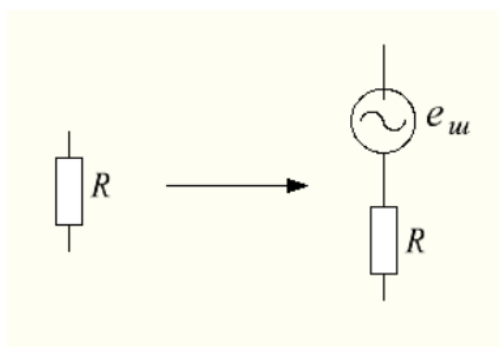


Рисунок 3.1 – Эквивалентная шумовая схема резистора

С помощью формулы (3.1) вычисляется средний квадрат шумовой ЭДС (дисперсия):

$$\overline{(e_{ш}^2)} = 4kTR\Delta f, \quad (3.1)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана,

T – температура сопротивления в К,

R – сопротивление резистора, Ом;

Δf – полоса пропускания цепи.

На рисунке 3.2 представлена эквивалентная шумовая схема резистора с генератором шумового тока.

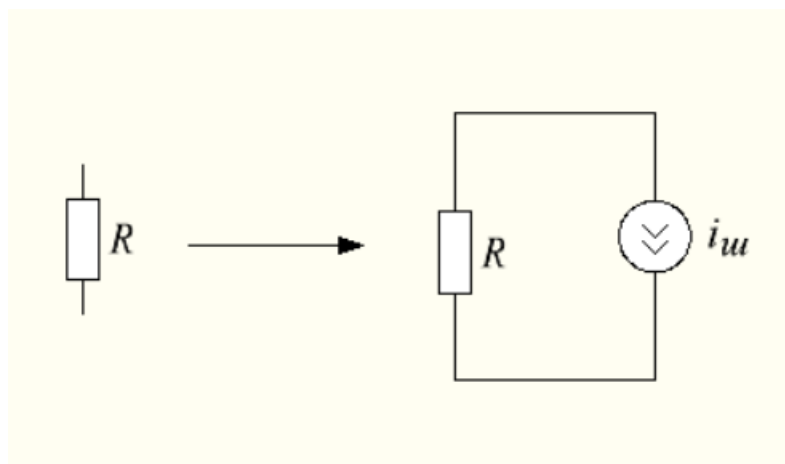


Рисунок 3.2 – Эквивалентная шумовая схема резистора с генератором шумового тока

С помощью выражения (3.2) можно определить квадрат шумового тока в схеме, представленной на рисунке 3.2:

$$\overline{(i_u)^2} = 4kTG\Delta f, \quad (3.2)$$

где $G = 1/R$ – проводимость резистора.

Для борьбы с шумами есть несколько способов. Первый способ, это использовать такие типы резисторов, в которых шумовые свойства будут менее значимы, за счет технологии изготовления. Постоянные резисторы шумят меньше, чем переменные. Поэтому переменные резисторы стараются полностью исключить или использовать с небольшим номиналом. Второй способ, это использовать резисторы большей мощности рассеяния, так как с помощью данных резисторов можно значительно уменьшить тепловой шум. Такой же эффект получается при принудительном охлаждении резисторов, например, если установить рядом с элементами вентилятор [5].

3.2 Шум транзисторного каскада

Основное назначение транзисторного каскада – усилить сигнал. Помимо того, что через усилитель проходит сигнал, через него проходят еще и шумы.

Для начала рассмотрим эквивалентную шумовую схему р-п-перехода диода представленную на рисунке 3.3.

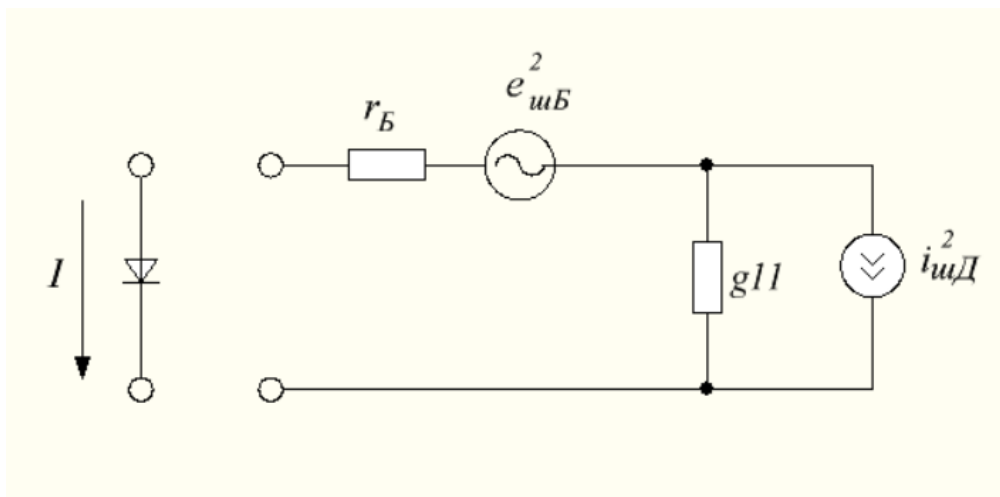


Рисунок 3.3 – Эквивалентная шумовая схема р-п-перехода диода

В эквивалентную схему включают шумовую ЭДС $e_{шБ}^2$, появление которой обусловлено наличием сопротивления r_B . Воспользуемся формулой (3.3) для вычисления квадрата шумовой ЭДС:

$$e_{шБ}^2 = 4kTr_B\Delta f, \quad (3.3)$$

где Δf – полоса пропускания устройства, в схему которого входит диод.

Дробовой шум является еще одним источником шума, который появляется в результате флуктуаций постоянного тока через диод I . Данный источник показан на эквивалентной шумовой схеме р-п-перехода, генератором токового шума $i_{шД}^2$ и проводимостью g_{11} . С помощью формулы (3.4) рассчитывается квадрат шумового тока $i_{шД}^2$ [5]:

$$i_{шД}^2 = 2kTg_{11}\Delta f = 2eI\Delta f, \quad (3.4)$$

где e – заряд электрона.

Для описания шумовых свойств транзисторного каскада будет использован материал указанный выше, для шумов резистора и шумов – р-п-перехода диода.

Принципиальная и эквивалентная шумовая схема транзисторного каскада представлены на рисунках 3.4 и 3.5.

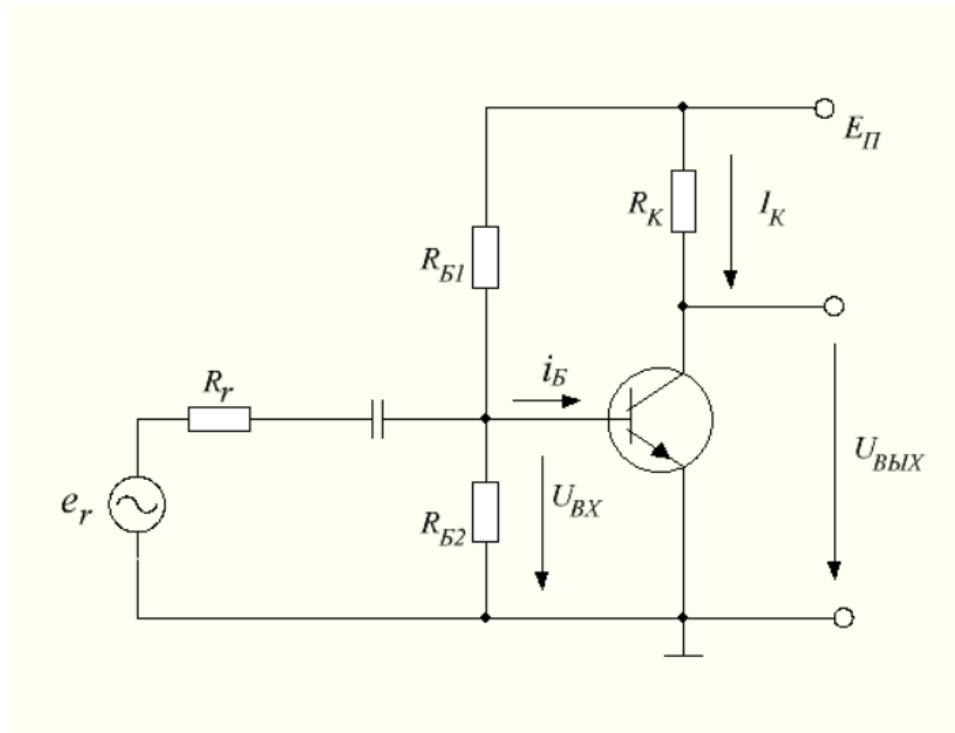


Рисунок 3.4 – Принципиальная схема транзисторного каскада

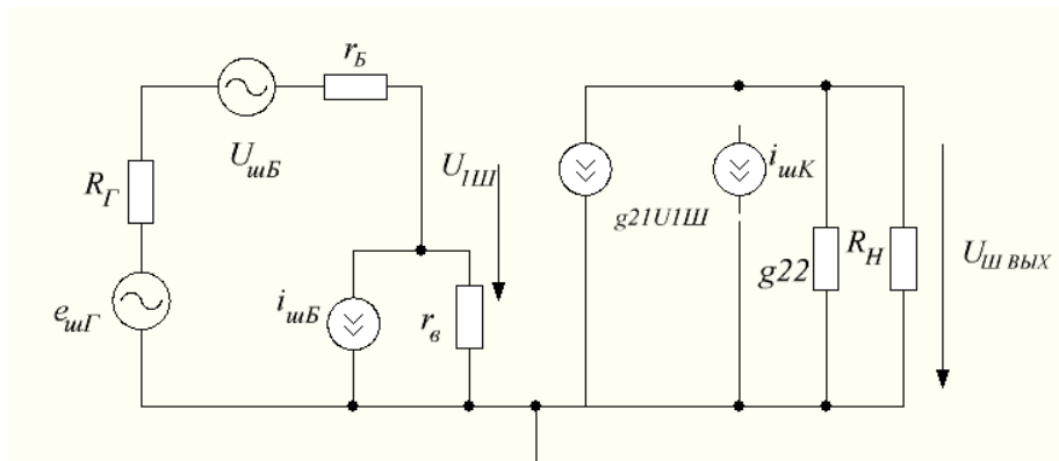


Рисунок 3.5 – Эквивалентная шумовая схема каскада

Выражения, описывающие шумовые источники:

– шум сопротивления генератора

$$\overline{(e_{u\Gamma}^2)} = 4kTR_{\Gamma}\Delta f; \quad (3.5)$$

– шум сопротивления r_{β} :

$$\overline{(u_{u\beta}^2)} = 4kTr_{\beta}\Delta f; \quad (3.6)$$

– дробовой шум базового тока:

$$\overline{(i_{u\beta}^2)} = 2eI_{\beta}\Delta f = 2kT\Delta f / r_{\beta}, \quad (3.7)$$

где I_{β} – постоянная составляющая тока базы,

– дробовой шум коллекторного тока:

$$\overline{(i_{u\kappa}^2)} = 2eI_{\kappa}\Delta f, \quad (3.8)$$

где I_{κ} – постоянная составляющая коллекторного тока.

В эквивалентной шумовой схеме каскада на выходном контуре протекает выходной шумовой ток. Его составляющие: дробовой шум коллекторного тока (выражение (2.8)), шум сопротивления нагрузки

$$\overline{(e_{uH}^2)} = 4kTR_H\Delta f \quad (3.9)$$

и шум источника тока $g_{21}\cdot u_{1Ш}$, значение которого определяется результирующим шумовым напряжением $u_{1Ш}$ во входном контуре.

Получим формулу для результирующего значения квадрата шумового напряжения $\overline{(u_{1Ш}^2)}$ входного контура, используя выражения (3.5) – (3.7):

$$\overline{(u_{1Ш}^2)} = \frac{\overline{(e_{u\Gamma}^2)} \cdot r_{\beta}^2}{(R_{\Gamma} + r_{\beta} + r_{\beta})^2} + \frac{\overline{(u_{u\beta}^2)} \cdot r_{\beta}^2}{(R_{\Gamma} + r_{\beta} + r_{\beta})^2} + \frac{\overline{(i_{u\beta}^2)} \cdot r_{\beta}^2 \cdot (R_{\Gamma} + r_{\beta})^2}{(R_{\Gamma} + r_{\beta} + r_{\beta})^2}. \quad (3.10)$$

Источником тока $g_{21}\cdot u_{1Ш}$ управляет шумовое напряжение $\overline{(u_{1Ш}^2)}$.

С помощью формулы (2.10) рассчитывается квадрат шумового напряжения $\overline{(u_{2Ш}^2)}$:

$$\overline{(u_{2Ш}^2)} = (g_{21} \cdot R_H)^2 \cdot \overline{(u_{1Ш}^2)}, \quad (3.11)$$

где $g_{21} \cdot R_H$ – коэффициент усиления каскада по напряжению.

Получим формулу (2.11) для расчета результирующего шумового напряжения $\overline{(u_{\text{Швых}})^2}$:

$$\overline{(u_{\text{Швых}})^2} = (g_{21} \cdot R_H)^2 \cdot \overline{(u_{1\text{Ш}})^2} + \overline{(i_{\text{шК}})^2} + \overline{(e_{\text{шН}})^2}, \quad (3.12)$$

где два последних слагаемых определяются выражениями (3.7) и (3.9).

В полученной формуле (2.11) для результирующего шумового напряжения основной вклад несет первое слагаемое. Поэтому, приближенно можно считать, что $\overline{(u_{\text{Швых}})^2}$ определяется только шумами входного контура каскада [5].

3.3 Шум операционного усилителя

Операционным называют усилитель постоянного тока, предназначенный для выполнения совместно с внешними элементами различных операций над входными сигналами и способный работать с глубокой обратной связью.

На рисунке 3.6 представлена схема операционного усилителя (ОУ) с источниками шума. Если заземлить неинвертирующий вход и подключить генератор сигнала, то в результате получим эквивалентную шумовую схему, представленную на рисунке 3.7 [5].

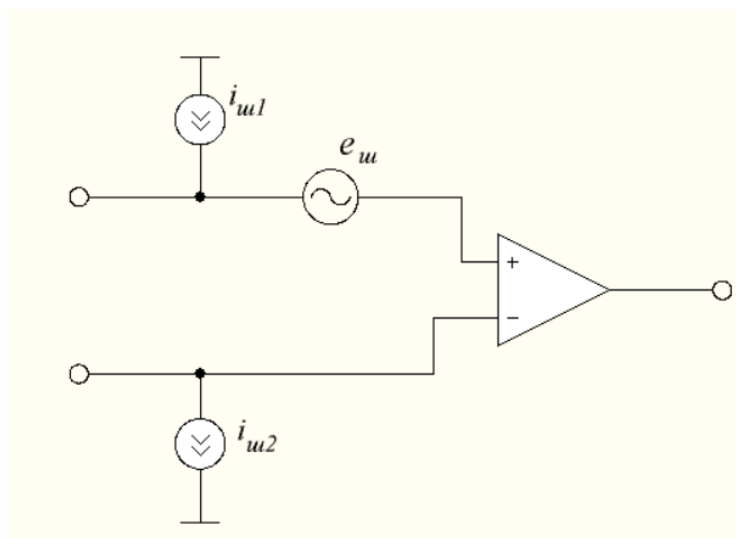


Рисунок 3.6 – Схема ОУ с источниками шума

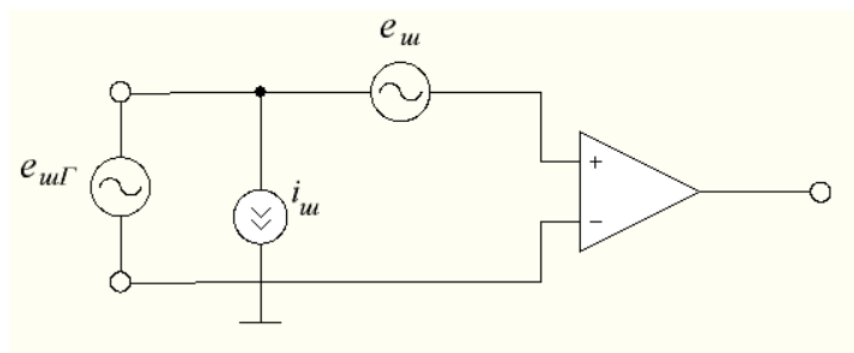


Рисунок 3.7 – Эквивалентная шумовая схема ОУ

Запишем формулу, для расчета суммарного напряжения шума на выходе ОУ в соответствии с рисунком 3.7:

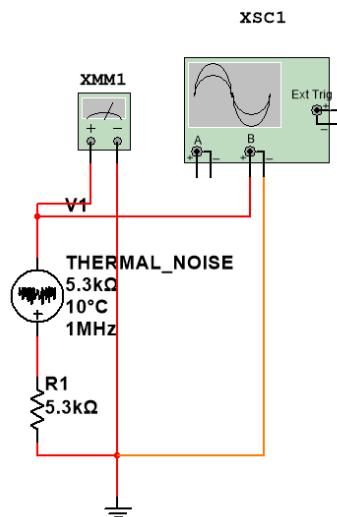
$$\overline{(e_{ш\text{сумм}}^2)} = \overline{(e_{шГ}^2)} + \overline{(e_{ш}^2)} + \overline{(i_{ш}^2)} \cdot R_f^2, \quad (3.13)$$

где $\overline{(e_{шГ}^2)} = 4kTR_f\Delta f$, а $\overline{(e_{ш}^2)}$ и $\overline{(i_{ш}^2)}$ – приведенные ко входу источники шумового напряжения и тока, характеризующие собственный шум ОУ. Параметры этих источников берутся из паспортных данных ОУ [5].

4 Моделирование шумов

4.1 Моделирование шумов резистора

Для измерения и наблюдения напряжения шумов резистора с помощью программы *Multisim* была собрана схема, представленная на рисунке 4.1.



На рисунке представлены следующие обозначения:

R1 – шумящий резистор;

XMM1 – мультиметр;

XSC1 – осциллограф;

V1 – THERMAL_NOISE (источник ЭДС шума резистора).

Рисунок 4.1 – Схема для измерения и наблюдения напряжения шумов резистора

Для проведения моделирования на резисторе R1 задаем номинальное значение сопротивления. В источнике ЭДС шума резистора выставляем номинальное значение сопротивления резистора R1 и устанавливаем показатель температуры.

На резисторе с номинальным значением сопротивления 5,3 кОм, мультиметр измеряет среднеквадратическое значение в 9,4 мкВ.

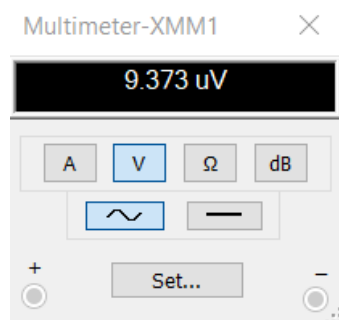


Рисунок 4.2 – Показания мультиметра при измерении напряжения шума резистора

Для наблюдения напряжения шумов резистора был подключен осциллограф (один конец подключили к проводу, где проходит шум, второй конец к общему проводу).

На рисунке 4.3 представлена зависимость времени (мс/дел) от уровня напряжения (мкВ/дел) полученная с помощью осциллографа.

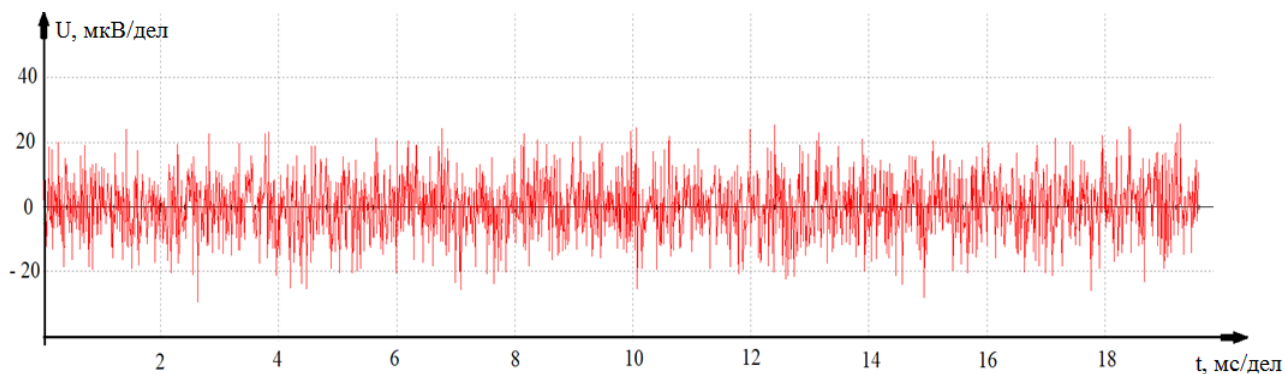


Рисунок 4.3 – Случайные напряжения шумов резистора

Для проведения измерения напряжения шумов резистора будем использовать три показателя температуры: $t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В работе используем два типа резистора, такие как: С2–23, С2–29.

Для измерения напряжения шумов данных резисторов, были выбраны максимальное, минимальное и среднее значение сопротивления. По данным значениям сопротивления будут измерены напряжения шумов резистора в определенном температурном режиме.

Таблица 4.1 – Показания напряжения шумов резистора C2-23 при заданных условиях температуры

Заданное значение сопротивления резистора C2-23		Показания мультиметра при заданных температурах резистора C2-23		
		$t = 10^{\circ}C$	$t = 25^{\circ}C$	$t = 40^{\circ}C$
R_{\max}	100 кОм	39,291 мкВ	40,962 мкВ	41,978 мкВ
R_{\min}	30,1 Ом	692,316 нВ	710,713 нВ	716,839 нВ
$R_{\text{сред}}$	3,3 кОм	7,246 мкВ	7,567 мкВ	7,622 мкВ

Таблица 4.2 – Показания напряжения шумов резистора C2-29 при заданных условиях температуры

Заданное значение сопротивления резистора C2-29		Показания мультиметра при заданных температурах резистора C2-29		
		$t = 10^{\circ}C$	$t = 25^{\circ}C$	$t = 40^{\circ}C$
R_{\max}	53 кОм	29,55 мкВ	29,822 мкВ	31,022 мкВ
R_{\min}	301 Ом	2,187 мкВ	2,247 мкВ	2,345 мкВ
$R_{\text{сред}}$	5,3 кОм	9,043 мкВ	9,422 мкВ	9,659 мкВ

Из полученного моделирования шумов резистора, можно сделать вывод: данные резисторы C2–23 и C2–29 были выбраны с целью исследования зависимости напряжения шума от технологии изготовления (от материала) данных резисторов. Так как технология изготовления различна, то шумят данные резисторы тоже по–разному, как видно из таблиц 4.1 и 4.2.

4.2 Моделирование шумов транзистора

Для того, что бы посмотреть шумит ли транзистор, смоделировали схему для измерения и наблюдения напряжения шумов транзистора с помощью программы *Multisim*, представленную на рисунке 4.4.

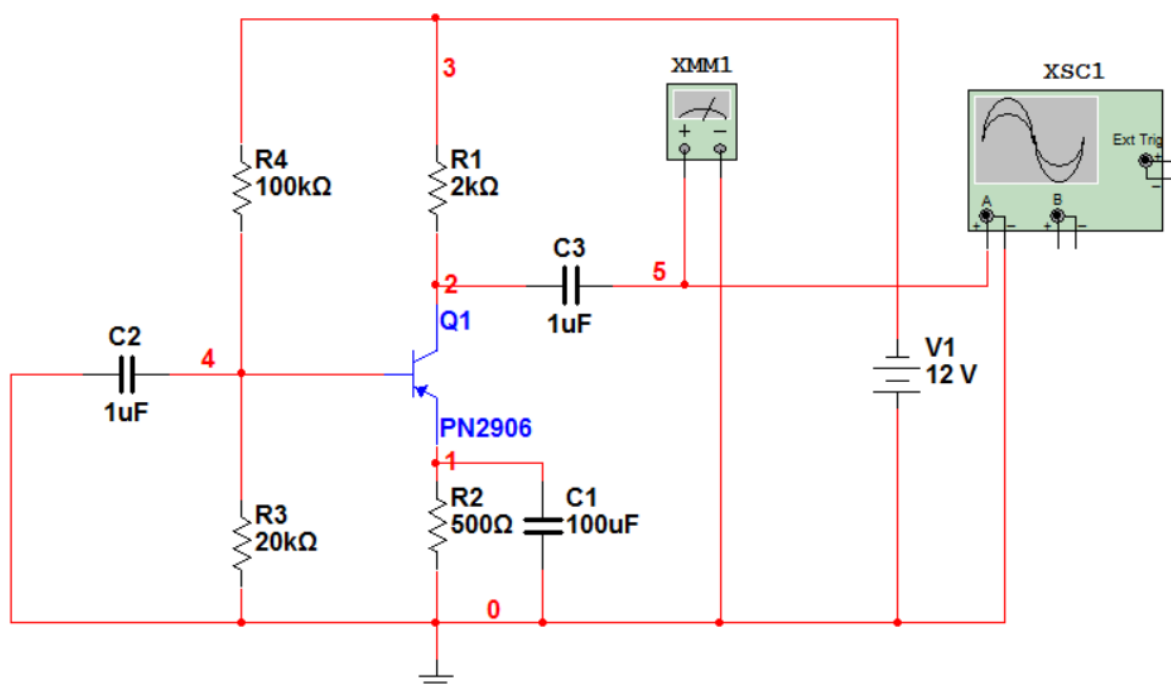


Рисунок 4.4 – Схема для измерения и наблюдения напряжения шумов транзистора

С помощью мультиметра провели измерения напряжения шумов транзистора. В результате получили среднеквадратическое значение равное 0 В.

При наблюдении на осциллографе шумов транзистора была получена зависимость времени от уровня напряжения в виде прямой линии.

Из полученного результата измерения и наблюдения, следует вывод, что в программе *Multisim* разработчики не предусмотрели встроенные шумы резисторов и транзистора, поэтому решили исследовать шумы выходного напряжения, только за счет резисторов, для которых были установлены источники ЭДС шума.

Для того, что бы посмотреть, как будут меняться показания напряжения шумов резисторов и транзистора, подключим 4 источника ЭДС шума к каждому резистору. На рисунке 4.5 представлена схема для измерения и наблюдения шумов транзистора и резисторов собранная с помощью программы *Multisim*.

напряжения получается за счет решения дифференциальных уравнений. Шумы транзистора, по всей видимости, вызваны шумами метода интегрирования этих дифференциальных уравнений. Так как в программе *Multisim* разработчики не предусмотрели шумы резисторов и транзистора, поэтому исследовали шумы выходного напряжения, только за счет резисторов, для которых были установлены источники ЭДС шума.

Недостатком данной модели является то, что не все элементы в программе *Multisim* имеют шумы, в частности транзисторы. Дальнейшее предложение по данному моделированию заключается в том, чтобы разработать эту модель шумов транзистора в программе *Multisim*.

4.3 Моделирование шумов операционного усилителя

Для измерения и наблюдения напряжения шумов операционного усилителя и резисторов с помощью программы *Multisim* была собрана схема, представленная на рисунке 4.7.

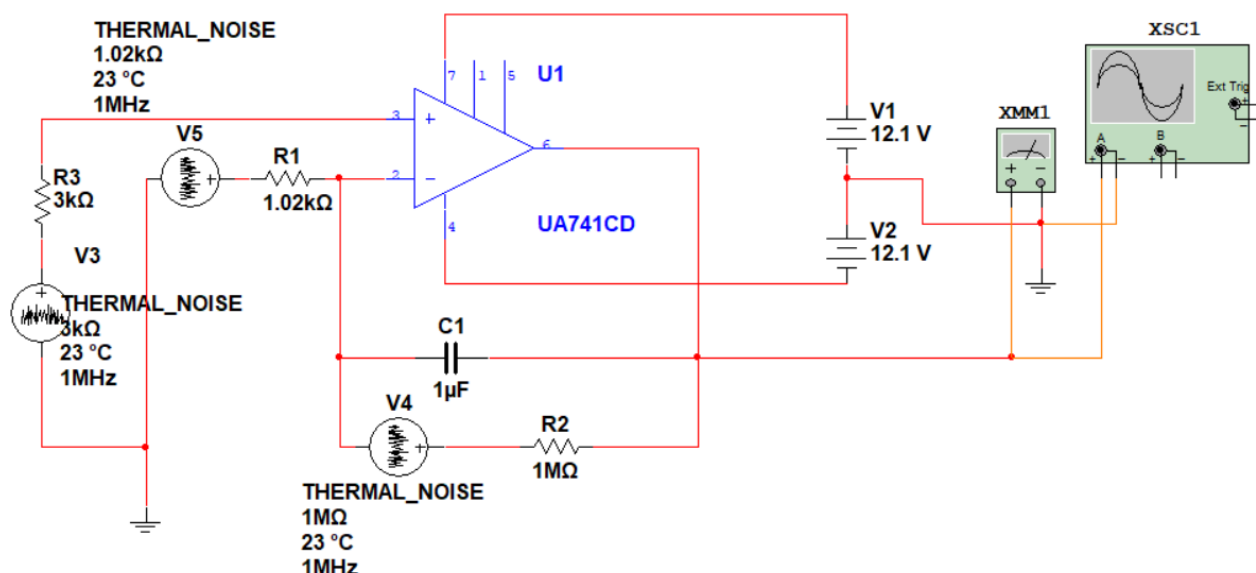


Рисунок 4.7 – Схема для измерения и наблюдения напряжения шумов ОУ и резисторов

В студенческой версии программы *Multisim* разработчики не предусмотрели шумы операционного усилителя. Поэтому исследовали шумы выходного напряжения, только за счет резисторов, для которых были установлены источники ЭДС шума.

При учете шумов трех элементов резисторов получается значение 7,502 мкВ;

Для наблюдения напряжения шумов ОУ и резисторов был подключен осциллограф. На рисунке 4.8 представлена зависимость времени (мс/дел) от уровня напряжения (мкВ/дел) полученная с помощью осциллографа.

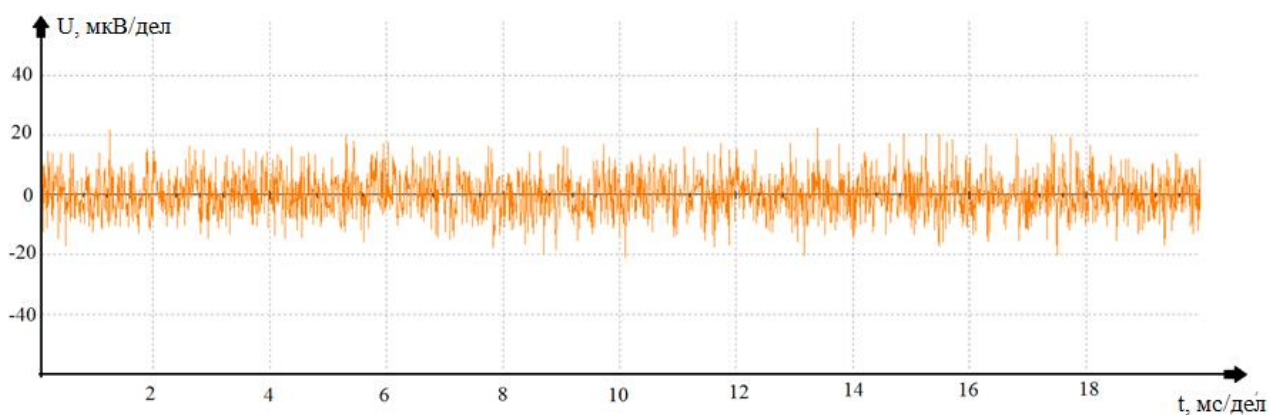


Рисунок 4.8 – Случайные напряжения шумов ОУ и резисторов

Из полученного моделирования операционного усилителя, можно сделать вывод: так как в программе *Multisim* разработчики не предусмотрели шумы ОУ, поэтому исследовали шумы выходного напряжения, только за счет резисторов.

Определим, какой из резисторов создает максимальные шумы выходного напряжения. Для этого установим источник ЭДС шума на резистор R3 с номинальным значением сопротивления 3 кОм. Для измерения и наблюдения напряжения шумов на данном резисторе с помощью программы *Multisim* была собрана схема, представленная на рисунке 4.9.

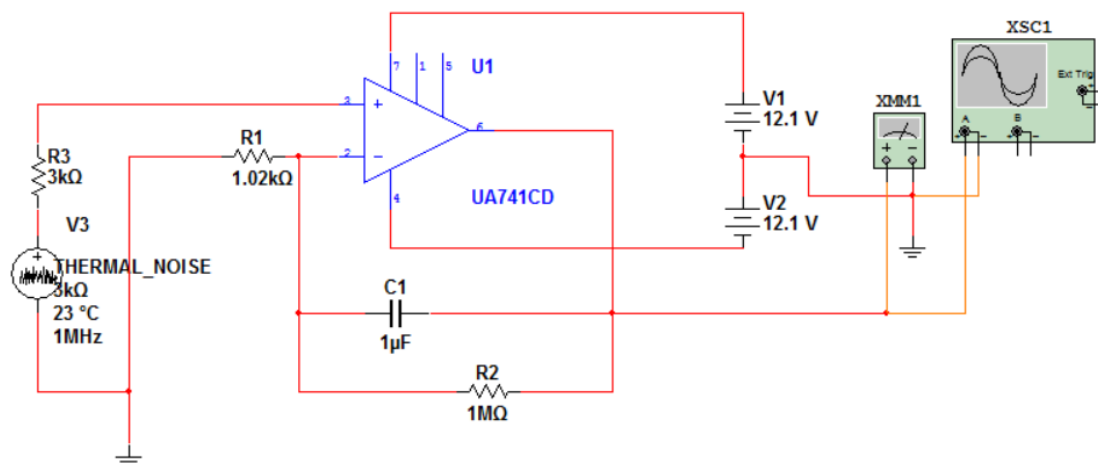


Рисунок 4.9 – Схема для измерения и наблюдения напряжения шумов на резисторе R3 с номиналом 3 кОм

Как было сказано ранее, в программе *Multisim* разработчики не предусмотрели шумы операционного усилителя. Поэтому исследовали шум выходного напряжения, только за счет резистора R3.

При учете шумов одного элемента резистора получается среднеквадратическое значение равное 7,434 мкВ;

Из данного моделирования следует вывод, что показания мультиметра при измерении напряжения шумов трех резисторов, не особо отличается от показания мультиметра при измерении напряжения шумов резистора R3. Значит, два резистора R1 и R2 не создают никакого шума. Основной шум создает резистор R3, потому что его шум усиливается в 1000 раз.

Проведем моделирование при нескольких номинальных сопротивлениях резистора R3.

При номинальном значении сопротивления 1 кОм резистора R3, получили среднеквадратическое значение равное 3,97 мкВ.

При номинальном значении сопротивления 20 кОм резистора R3, получили среднеквадратическое значение равное 19,158 мкВ.

При проведение моделирования операционного усилителя и резисторов можно сделать обобщенный вывод: в программе *Multisim* разработчики не предусмотрели шумы ОУ, поэтому исследовали шумы выходного

напряжения, только за счет резисторов. Моделирование проводилось при разном номинальном значении сопротивления резистора R3, с целью наблюдения результатов напряжения шумов.

Недостатком данной модели является то, что не все элементы в программе *Multisim* имеют шумы, в частности операционные усилители. Дальнейшее предложение по данному моделированию заключается в том, чтобы разработать эту модель шумов операционного усилителя в программе *Multisim*.

Также, проведен натуральный эксперимент, для которого была собрана схема, представленная на рисунке 4.10.

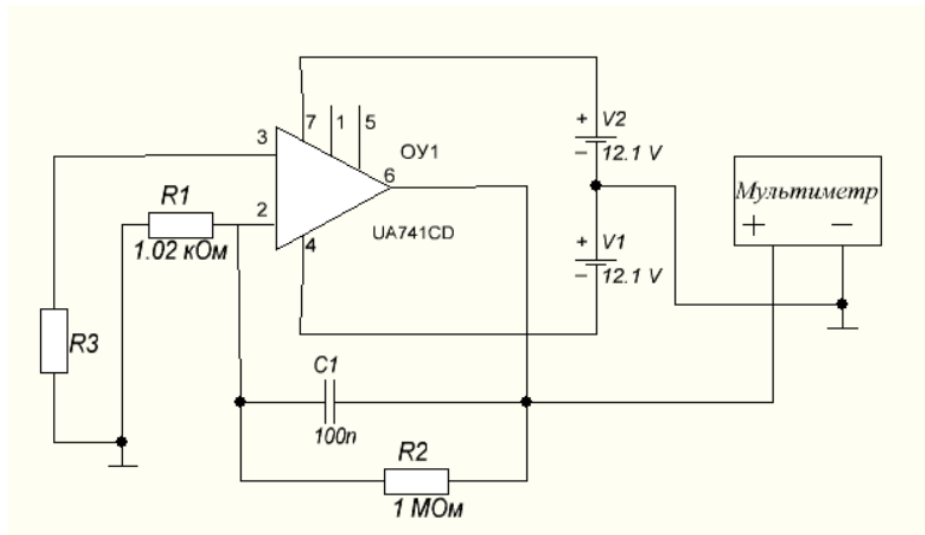


Рисунок 4.10 – Экспериментальное исследование шумов ОУ и резисторов

Мультиметры, имеющиеся на кафедре, не в состоянии измерять малые составляющие шума. Поэтому исследуемый резистор R3 был усилен с помощью малошумящего операционного усилителя типа *UA741CD*, уровень шума которого не превышает $20 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. В качестве мультиметра был использован вольтметр универсальный В7-40/1.

Шумы усиливались согласно коэффициенту усиления ОУ:

$$k = 1 + \frac{R_2}{R_1} \approx 1000. \quad (4.1)$$

Таким образом, измеренные мультиметром напряжения были поделены на данный коэффициент усиления для того, чтобы узнать напряжение шумов в схеме без их усиления.

Сравнение результатов моделирования и эксперимента ОУ и резисторов, представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Сравнение результатов измерений моделирования и эксперимента ОУ и резисторов

Эксперимент		Моделирование	
Номинал резистора R3	Результат измерения	Номинал резистора R3	Результат измерения
1 кОм	4,75 мкВ	1 кОм	3,97 мкВ
3 кОм	9,74 мкВ	3 кОм	7,44 мкВ
20 кОм	21,18 мкВ	20 кОм	19,16 мкВ

Из данного сравнения следует вывод, что результаты не противоречат друг другу.

4.4 Выходное напряжение и шумы его амплитуды

Для моделирования шумов была запущена собранная модель генератора ГС–50 с помощью программы *Multisim*. Функциональная блок-схема данного генератора представлена на рисунке 2.1. При запуске генератора, амплитуда меняется по закону, представленному на рисунке 3.1. Выходное напряжение проявляется в согласующем усилителе генератора, а сигнал проявляется на выходе генератора ГС-50.

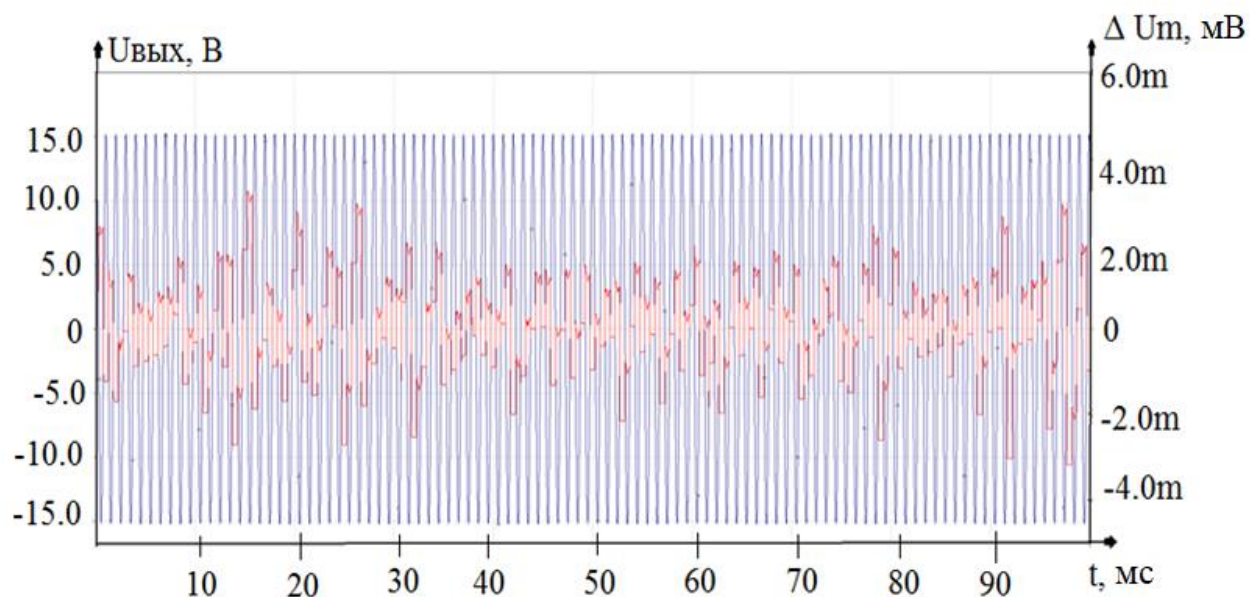


Рисунок 4.11 – Выходное напряжения и шумы его амплитуды

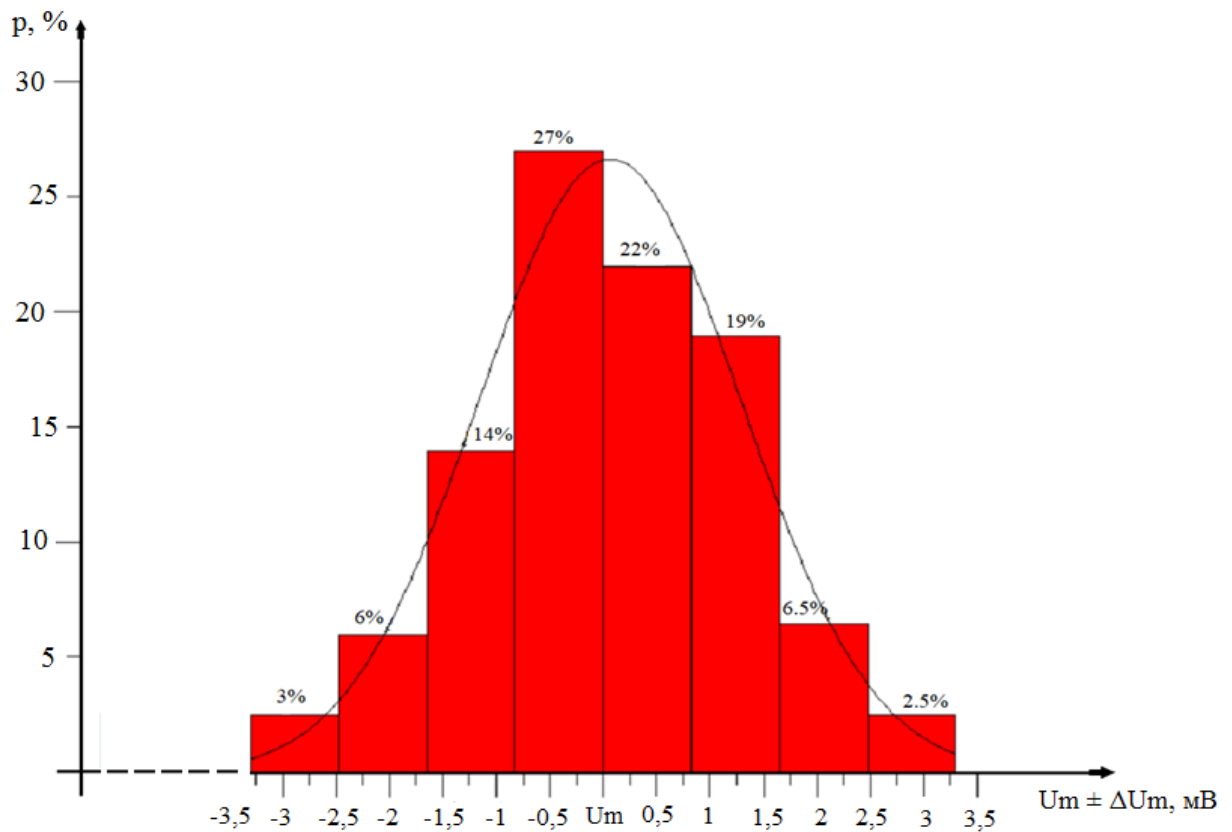
Для того, что бы определить, какой критерий согласия использовать при расчете изменение амплитуды выходного напряжения генератора, для начала нужно определить, по какому закону распределения представлены шумы амплитуды выходного напряжения. Построить график плотности вероятности, по которому будет определен наиболее подходящий критерий для расчёта.

Для начала определим, по какому закону распределения происходит изменение амплитуды выходного напряжения генератора ГС-50. Для этого моделируемого генератора было получено 200 значений ($n = 200$) нестабильности амплитуды выходного напряжения генератора ГС-50 в разные моменты времени (приложение А).

Обработка результатов измерений была выполнена в соответствии с ГОСТ 8.736.

Среднее арифметическое значение результатов измерений составило $\bar{V} = 0,048$ мВ; СКО: $S = 1,2499$ мВ; СКО среднего арифметического: $S_{\bar{V}} = 0,0884$ мВ.

Воспользовались графическим способом определения закона распределения, т.е. построили гистограмму по выборке. Полученная гистограмма приведена на рисунке 4.12.



На графике представлены следующие обозначения:

U_m – амплитудное значение, равное 14,14 В;

p – вероятность, %;

ΔU_m – изменение амплитуды, мВ.

Рисунок 4.12 – График плотности вероятности

Из рисунка можно сделать вывод о том, что выборка имеет закон распределения близкий к нормальному.

Для проверки соответствия кривой распределения нормальному закону используется критерий Пирсона.

Суть применения критерия Пирсона заключается в следующем:

- область допустимых значений (ОДЗ) исследуемой случайной величины (СВ) X разбивается на k интервалов. Число интервалов можно рассчитать по формуле $k \approx 5 \cdot \lg(n)$;

- интервалы по оси X не будут равновеликими, но зато вероятность попадания значения СВ X в любой интервал будет одинаковой $p = 1/k$;

- теоретическое число случаев попадания значения СВ X в каждый интервал будет равно $m = n / k$, где n - длина выборки;
- расхождение между эмпирическими данными и аналитической функцией распределения определяется по тестовой статистике

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^k \frac{(p_i^* - p_i)^2}{p_i}, \quad (4.2)$$

где p^* и p_i - соответственно эмпирическая и теоретическая вероятность попадания значения СВ в i -й интервал; n - длина выборки; k - число интервалов.

Критерий χ^2 может быть применен при выяснении вопроса о лучшем соответствии одной из нескольких аналитических кривых распределения одному и тому же эмпирическому ряду. При этом меньшее значение χ^2 будет свидетельствовать о лучшем соответствии данной функции распределения эмпирическим данным.

Принято считать, что критерий согласия χ^2 допустимо применять при $n > 50$. При этом желательно, чтобы число интервалов было равно 8-12 [6].

Критерий согласия Пирсона получился равным: $\chi_{эмт}^2 = 4,2019$.

Известно, что вероятность 0,95% и степень свободы равна 8, можно определить критическую точку $\chi_{кр}^2(0,95;8) = 15,5073$.

Поскольку получили, что $\chi_{эмт}^2 = 4,2019 < 15,5073 = \chi_{кр}^2$, то нет оснований отвергать данный критерий. Можно сделать вывод, что распределение нормальное, а критерий Пирсона проходит.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель магистерской диссертации – исследование шумов выходного напряжения аналогового генератора, компьютерное моделирование шумовых характеристик генератора «ГС–50» в программе *Multisim*. Следовательно, исследования, проведенные в рамках написания дипломной работы, не несут в себе особых денежных затрат.

В данном разделе комплексно описаны и проанализированы финансово-экономические аспекты выполненной работы. Произведена оценка полных денежных затрат на исследование, а также дана приближенная экономическая оценка результатов его внедрения. В заключении дана комплексная оценка научно-техническому уровню работы.

5.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями компьютерного моделирования шумовых характеристик генератора «ГС–50» могут быть люди, заинтересованные в работе данного генератора и в компьютерном моделировании его метрологических характеристик, а так же организации, осуществляющие изготовления данных генераторов, с целью создания более качественных генераторов с улучшенными шумовыми характеристиками.

5.1.2 SWOT – анализ

SWOT – анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

На первом этапе данного анализа необходимо определить сильные стороны, слабые стороны, возможности и угрозы. Результаты первого этапа представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – SWOT – анализ

<i>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</i>	<i>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</i>
<p>С1. Моделирование шумовых характеристик генератора «ГС-50» с целью улучшения результатов аналогового генератора при работе.</p> <p>С2. Удобное использование в компьютерном моделировании.</p> <p>С3. Снижение времени на выявление шумовых метрологических характеристик.</p>	<p>Сл.1. Создать более простое моделирование шумовых характеристик.</p> <p>Сл.2 Узкий круг для реализации.</p> <p>Сл.3 Компетентность работы с программой <i>Multisim</i>.</p> <p>Сл.4 Интерфейс программы <i>Multisim</i> на английском языке.</p>
<i>Возможности:</i>	<i>Угрозы:</i>
<p>В1. Появление моделей шумовых характеристик.</p> <p>В2. Доработка в связи с пожеланиями потребителей.</p>	<p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p>

Проведенный SWOT – анализ позволяет нам оценить наши сильные и слабые стороны, а так же оценить и предотвратить угрозы. Возможность улучшить и упростить интерфейс для пользователя программы *Multisim*.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для организации и систематизации работы магистранта необходимо сформировать план работ. Данный этап предназначен для обеспечения своевременного и эффективного выполнения задания.

В таблице 5.2 представлен перечень этапов, работ и распределение исполнителей. В качестве исполнителей были выбраны следующие участники процесса:

- магистрант (М);
- научный руководитель (НР).

Таблица 5.2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Постановка целей и задач	М, НР
2	Составление и утверждение ТЗ	М, НР
3	Подбор и изучение материалов	М
4	Календарное планирование работ по теме	М, НР
5	Обсуждение литературы	М, НР
6	Проведение теоретических расчетов	М
7	Проведение экспериментов	М
8	Сопоставление результатов	М
9	Оценка эффективности полученных результатов	М, НР
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	М
11	Оформление графического материала	М
12	Подведение итогов	М, НР

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения

ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (5.2)$$

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

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

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

Данные расчетов приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Определение временных затрат на выполнение работ

Содержание работ	Номер этапа	Исполнители	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
			t_{min} , чел- -дни	t_{max} , чел- дни	$T_{ож}$ чел- дни	НР	М	НР	М
			1	2	3	4	5	6	7
Постановка целей и задач	1	М, НР	5,00	7,00	5,8	2,9	2,9	4	4
Составление и утверждение ТЗ	2	М, НР	2,00	5,00	3,2	1,6	1,6	2	2
Подбор и изучение материалов	3	М	14,00	20,00	16,4	0	16,4	0	23
Календарное планирование работ по теме	4	М, НР	5,00	9,00	6,6	3,3	3,3	5	5
Обсуждение литературы	5	М, НР	3,00	6,00	4,2	2,1	2,1	3	3
Проведение теоретических расчетов	6	М	13,00	17,00	14,6	0	14,6	0	20
Проведение экспериментов	7	М	11,00	15,00	12,6	0	12,6	0	18
Сопоставление результатов	8	М	7,00	14,00	9,8	0	9,8	0	14
Оценка эффективности полученных результатов	9	М, НР	7,00	10,00	8,2	4,1	4,1	6	6
Оформление расчетно-пояснительной записки	10	М	15,00	20,00	17	0	17	0	24
Оформление графического материала	11	М	7,00	10,00	8,2	0	8,2	0	11
Подведение итогов	12	М, НР	6,00	9,00	7,2	3,6	3,6	5	5
Итого					113,8	17,6	96,2	25	135

На основе максимального варианта строится Диаграмма Ганта, которая наглядно отображает оптимальные сроки начала и окончания выполнения работ. На графике работы для научного руководителя выделены сплошной заливкой рыжего цвета, а студента – сплошной заливкой черного цвета. Результат представлен в таблице 5.4.

5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В данном пункте приведены все расходы, необходимые для реализации работ в рамках написания магистерской диссертации. Так как работа не предполагает расходы на услуги сторонних организаций, командировки и т.п., учитываются следующие затраты:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы;
- затраты на электроэнергию.

5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

К данной статье расходов относят стоимость материалов и покупных изделий, приобретенных непосредственно для реализации проекта. Цена материальных ресурсов определяется соответствующими наценками либо договорами поставки. Также включаются расходы на совершение сделки купли-продажи, т.е. транзакции (ТРЗ). Они приблизительно оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это от 5 до 20 %. В таблице 5.5 представлены затраты на материалы для реализации проекта.

Таблица 5.5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Заправка картриджа	250	1	250
Пачка бумаги формата А4	200	1	200
Цветные чернила для принтера	95	3	285
Итого			735

Размер ТРЗ выбирается самостоятельно исполнителем работы. Допустим, ТРЗ составляет 7 % от отпускной цены материалов, следовательно, расходы с учетом ТРЗ равны: $C_{mat} = 735 \cdot 1,07 = 786,45$ руб.

5.3.2 Расчет заработной платы

В данной статье расходов учитывается заработная плата научного руководителя (НР) и студента-дипломника (С), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Основанием расчета основной заработной платы является трудоемкость выполнения каждого этапа и величина месячного оклада исполнителя. Оклады участников реализации проекта взяты на официальном сайте НИ ТПУ, причем за оклад студента взят оклад соответствующего специалиста собственной кафедры. Научный руководитель является д.т.н., профессор ОАР ИШИТР, его оклад составляет 47104,00 руб.; студент-дипломник – УВП кафедры ТПУ – 9489 Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-м}}$) вычисляется по формуле, учитывающей, что в 2018 году 247 рабочих дней и, соответственно, в месяце в среднем 20,58 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе):

$$ЗП_{\text{дн-м}} = \frac{МО}{20,58}, \quad (5.3)$$

где $МО$ – месячный оклад исполнителя работ.

В таблице 5.6 приведены расчеты затрат на полную заработную плату $C_{ЗП}$. Для каждого исполнителя затраты времени округлены и взяты из таблицы 5.3. Также используются коэффициенты премий ($K_{П}$), дополнительной заработной платы ($K_{\text{дон.ЗП}}$) и районной надбавки ($K_{р}$). Значения данных коэффициентов следующие: $K_{П} = 1,1$; $K_{\text{дон.ЗП}} = 1,188$; $K_{р} = 1,3$. Таким образом, переход от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, участвующего в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) осуществляется путем умножения тарифной суммы на интегральный

коэффициент $K_u = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699$. Данный коэффициент справедлив при расчетах для шестидневной рабочей неделе.

Таблица 5.6 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент K_u	Фонд заработной платы, руб.
НР	47104,00	2288,83	18,000	1,699	69997,00
С	9489,00	461,10	96,000	1,699	75207,30
Итого $C_{ЗП}$					145204,30

5.3.3 Расчет затрат на социальный налог

Единый социальный налог (ЕСН) включает в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляющие 30% от полной заработной платы по проекту. Затраты на ЕСН $C_{соц} = 0,3 \cdot C_{ЗП} = 43561,30$ руб.

5.3.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов определяется затратами на электроэнергию, потраченную на работу используемого оборудования при выполнении проекта. Эти затраты рассчитываются по формуле:

$$C_{эл.об} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э}, \quad (5.4)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{э}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Для НИ ТПУ значение $Ц_{э} = 5,782$ руб./ кВт·час с учетом НДС. Время работы оборудования определяется на основе итоговых данных таблицы 5.2

($T_{РД}$) для исполнителя С из расчета восьмичасового рабочего дня по следующей формуле:

$$t_{об} = T_{РД} \cdot K_t, \quad (5.5)$$

где K_t – коэффициент использования оборудования по времени, определяемый самостоятельно исполнителем. Мощность, потребляемая оборудованием, вычисляется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} \cdot K_C, \quad (5.6)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность используемого оборудования, кВт;

K_C – коэффициент загрузки, который зависит от средней степени использования номинальной мощности. Приняли $K_C = 1$, т.к. использовали технологическое оборудование малой мощности. В таблице 5.7 представлен расчет затрат на электроэнергию для технологических целей.

Таблица 5.7 – Затраты на технологическую электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты, $C_{эл.об}$, руб.
Персональный компьютер	550,50	0,41	1305,03
Струйный принтер	15,73	0,10	9,09
Итого			1314,13

5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр}, \quad (5.7)$$

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

$$Z_{накл} = (1314,13 + 43561,30 + 145204,30 + 786,45) \cdot 0,2 = 381732,24 \text{ руб.};$$

5.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, определили общую себестоимость проекта «Исследование шумов выходного напряжения аналогового генератора «ГС-50». В таблице 5.8 представлена смета затрат.

Таблица 5.8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{мат}$	786,45
Основная заработная плата	$C_{зп}$	145204,30
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	43561,30
Расходы на электроэнергию	$C_{эл.об}$	1314,13
Накладные расходы	$Z_{накл}$	381732,24
Итого		572598,40

По таблице 5.8 построили диаграмму сметы затрат на разработку научно-исследовательского проекта, представленную на рисунке 5.1

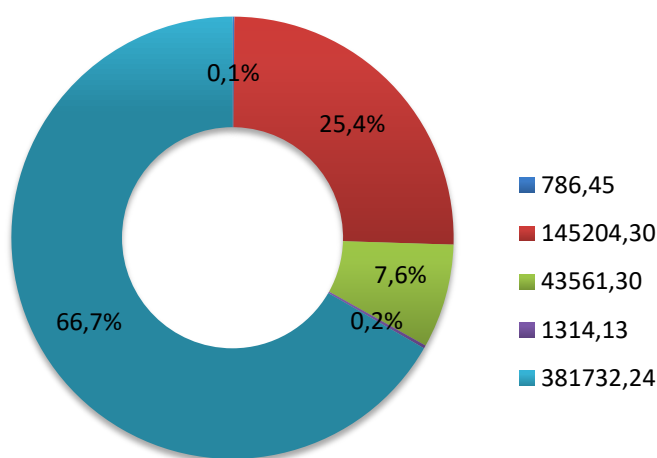


Рисунок 5.1 – Диаграмма сметы затрат на разработку научно-исследовательского проекта

Смета затрат на разработку научно-исследовательского проекта в основном направлена на разработку трудоемкости. Материалов в магистерской диссертации используется минимально. Основной вклад в научное исследование несут накладные расходы и основная заработная плата.

5.4 Оценка экономической эффективности проекта

Экономический эффект от разработки носит универсальный общепроизводственный и общенаучный характер и определяется областями, которым присущи высокоточные измерения любых количественных показателей.

Величина эффекта может определяться только условно (в зависимости от диапазона применения методики) в результате специально организованного объемного исследования, что выходит за рамки представленной работы.

5.5 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень показывает, насколько проект влияет на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса в области исследования. Чтобы определить научную ценность, техническую значимость и эффективность НИР, используются балльные оценки, т.е. каждый фактор оценивается определенным количеством баллов. Далее проводится обобщенная оценка по сумме баллов всех показателей. На основании обобщенной оценки делается вывод о целесообразности НИР. Оценка научно-технического НИР представлена в таблице 5.9. Метод балльных оценок заключается в том, что на основании оценок признаков работы вычисляется интегральный индекс ее научно-технического уровня (НТУ) по следующей формуле:

$$I_{HTU} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (5.8)$$

где I_{HTU} – интегральный индекс научно-технического уровня;

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

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

Таблица 5.9 – Оценка научно-технического уровня НИР

Значимость	Признак НТУ	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
0,4	Уровень новизны	Новая	6	Получение моделированных шумовых характеристик генератора «ГС-50» с помощью программы <i>Multisim</i> для улучшения работы генератора.
0,1	Теоретический уровень	Разработка шумовых характеристик в программе <i>Multisim</i>	6	Изучение и реализация моделирования шумовых характеристик с помощью программы <i>Multisim</i> .
0,5	Возможность реализации	От 5 до 10 лет	4	Данное моделирование возможно реализовать как частным лицам, так и в организации по изготовлению генераторов «ГС-50».

Исходя из данных таблицы 5.10, получили следующее значение интегрального показателя НТУ для проекта: $I_{HTU} = 0,4 \cdot 6 + 0,1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 4 = 2,4 + 0,6 + 2,0 = 5,0$. Следовательно, данный проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

5.6 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В данном разделе магистерской диссертации была дана оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Были выявлены потенциальные потребители результатов исследования, а так же выполнен SWOT-анализ для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для организации и систематизации сформировали план работы. Определили перечень этапов, работ и распределение исполнителей. Так же определили временные затраты на выполнение работ и построили Диаграмму Ганта, для отображения оптимальных сроков начала и окончания выполнения работ.

Следующим важным пунктом в работе был расчет бюджета научно-технического исследования: расчет материальных затрат НТИ, расчет основной заработной платы, расчет затрат на социальный налог, расчет затрат на электроэнергию, накладные расходы. При формировании бюджета НТИ были получены следующие затраты на разработку проекта: материалы и покупные изделия – 786,45 руб.; основная заработная плата – 145204,30 руб.; отчисления в социальные фонды – 43561,30 руб.; расходы на электроэнергию – 1314,13; накладные расходы – 381732,24. В итоге бюджет НТИ составил: 572598,40 рублей. В магистерской диссертации используется минимальное количество материалов. Основной вклад в научное исследование несут накладные расходы и основная заработная плата.

Следующим пунктом в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является оценка экономической эффективности проекта и оценка научно-технического уровня НИР. При расчете интегрального индекса научно-технического уровня, было получено значение 5,0. Следовательно, можно сделать вывод, что проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

6 Социальная ответственность

Международный стандарт ISO 26000:2010 «Руководство по социальной ответственности» [7] является руководством по принципам, которые лежат в основе социальной ответственности, основных тем и проблем социальной ответственности, а также способам интеграции социально ответственного поведения в стратегии и процессы организации [8].

В данном стандарте социальная ответственность определяется как ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояния общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения;
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях [7].

Теоретические исследования и компьютерное моделирование шумовых характеристик генератора «ГС-50» проводились с помощью программного обеспечения *Multisim*. Следовательно, объектом исследования является рабочее место, оборудованное персонально электронно-вычислительной машиной (ПЭВМ).

Работа с компьютером, производится сидя и сопровождается незначительным физическим напряжением. В соответствии с СанПиН 2.2.4.548 [9] данная работа относится к категории работ Ia, т.к. является легкой. У работ данной категории интенсивность энергозатрат составляет до 120 ккал/ч (до 139 Вт).

В данном разделе будут рассмотрены вредные факторы, которые негативно влияют на организм человека, как повышенная или пониженная температура воздуха рабочей среды, недостаточность освещения рабочей зоны, повышенный уровень электромагнитных излучений и шума, а также опасные факторы, такие как электрический ток, возникновение пожара и короткое замыкание.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Вредные и опасные производственные факторы, в соответствии с ГОСТ 12.0.003 [10], делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Поскольку исследования проводились в учебной лаборатории, список вредных факторов ограничивается работами с ПЭВМ. Перечень данных факторов представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень вредных и опасных факторов, создаваемых объектом исследования

Источник фактора, наименование работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с ПЭВМ	Температура; влажность; скорость движения воздуха; напряженность зрения; естественное	Электрический ток; короткое замыкание.	СанПиН 2.2.4.548-96 [9]; СП 52.13330.2011 [11]; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [12]; СанПиН 2.2.4/2.4.1340-

	и искусственное освещение; шум; электромагнитное излучение; статическое положение тела в течение длительного времени; монотонность работы; умственные перегрузки.		03 [13]; ГОСТ 12.1.030 [14].
--	---	--	---------------------------------

Представленные в таблице 6.1 факторы могут повлиять на здоровье исследователя, привести к аварийным ситуациям, поэтому необходимо устанавливать эффективный контроль над соблюдением норм и требований, предъявляемых к их параметрам.

6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в учебной аудитории при проведении исследований

Улучшению условий труда для пользователей ПК в последнее десятилетие уделяется большое внимание. Основной фактор, влияющий на производительность труда пользователя ПК, - комфортное и безопасное условие труда. При несоблюдении эргономики могут возникнуть довольно серьезные последствия.

При проведении исследований в учебных аудиториях важную роль играет организация рабочего места. Она должна соответствовать правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени оператора.

Основной документ, который определяет условия труда на персональных электронно-вычислительных машинах (ПЭВМ), - санитарные нормы и правила [13]. В данном документе регламентируются основные

требования к помещениям, микроклимату, шуму, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

Опасность поражения электрическим током является основным опасным фактором. Согласно правилам ПЭУ [15] и исходя из анализа состояния аудитории, по степени опасности поражения электрическим током ее можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

6.1.3 Анализ вредных факторов

6.2.1.1 Микроклимат

В рабочем помещении должны быть обеспечены оптимальные параметры микроклимата, т.е. эти параметры обеспечивают хорошее самочувствие человека, состояние теплового комфорта, необходимую работоспособность. Как результат, повышается производительность труда. Чтобы обеспечить на рабочем месте благоприятные условия работы, которые соответствуют физиологическим потребностям человеческого организма, в санитарных нормах [9] установлены оптимальные и метеорологические условия для рабочей зоны помещения. В тех случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам 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, которые характеризуют микроклимат рабочей зоны, являются:

- температура воздуха, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость движения воздуха, м/с.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, указанным в таблице 6.2

Таблица 6.2 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальные	Допустимые	Оптимальные	Допустимые	Оптимальные	Допустимые
Теплый	23-25	22-28	40-60	55 (при 28 °С)	0,1	0,1-0,2
Холодный	22-24	21-25	40-60	75	0,1	не более 0,1

В учебной аудитории 10 корпуса, где находится рабочая зона оборудованная компьютером, показатели микроклимата следующие:

- температура воздуха, 24 °С;
- относительная влажность воздуха, 56 %;
- скорость движения воздуха, 0,1 м/с.

Следовательно, в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 [9], для рабочей зоны параметры микроклимата соответствуют оптимальным значениям. В учебной аудитории водяная система отопления. Для обеспечения естественной вентиляции воздуха во время перерыва аудитория проветривается.

6.1.1.2 Шум

Длительное воздействие шума на рабочем месте крайне негативно сказывается на работающем: происходит снижения внимания, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, происходит замедление скорости реакций и т.д. Как результат, производительность труда падает и снижается качество выполняемой работы.

Согласно санитарным правилам и нормам [13] в учебной аудитории, предназначенной для работы с ПЭВМ, предельно допустимый уровень звука не должен превышать 50 дБ. Основные источники шума в аудитории – компьютер

и люминесцентные лампы. Учебный корпус расположен на центральной улице, вблизи автомобильных дорог, поэтому могут возникать дополнительные источники шума при открытом окне или форточки в аудитории.

По субъективным ощущениям на рабочем месте уровень шума не превышает допустимого значения.

6.1.1.3 Освещение

Освещённость – физическая величина, характеризующая освещение поверхности, создаваемое световым потоком, падающим на эту поверхность. Освещённость измеряется в Люксах (СИ) и обозначают её буквой E .

Хорошее освещение помещения и рабочего места является одним из важнейших условий для обеспечения безопасных и благоприятных условия труда, т.к. оно определяет трудовую эффективность и влияет на самочувствие и восприятие человека. При освещении плохого качества или низких уровней, люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. В ряде случаев это может привести к головным болям.

Согласно СП 52.13330.2016 [11] работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности III разряда зрительной работы для помещений жилых и общественных зданий. При данном виде работ общее освещение должно быть 300 Лк.

Рассмотрим помещение учебного корпуса, в котором производились работы, с размерами: длина $A = 4$ м, ширина $B = 3$ м, высота $H = 4$ м. Всего имеется 2 светильника, по 4 лампы в каждом. Фактическая освещённость рассчитывается по следующей формуле:

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_{cm} \cdot \gamma}{S \cdot K \cdot z} \quad (6.1)$$

где N – число светильников, шт;

n – число ламп в светильнике, шт;

Φ_{ct} – световой поток люминесцентной лампы, Лм (при мощности 11Вт – 750 лм);

u – коэффициент использования светового потока (для исследуемого помещения – 0.8);

S – площадь помещения, m^2 ;

K – коэффициент запаса (помещения с малым выделением пыли - 1,5);

z – коэффициент неравномерного освещения (для люминесцентных ламп - 1,1).

Получаем

$$E_{\phi} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 750 \cdot 0.8}{12 \cdot 1.5 \cdot 1.1} = 243 \text{ (лк)}.$$

Отличие от нормированного уровня:

$$\Delta E = \frac{E_{\phi} - E_{\text{норм}}}{E_{\text{норм}}} \cdot 100\% \quad (6.2)$$

$$\Delta E = \frac{243 - 300}{300} \cdot 100\% = 19\% .$$

В результате получаем неравенство $-10\% \leq 19\% \leq +20\%$.

На основании проделанных расчетов можно сделать вывод, что полученное значение попадает в нормированный интервал. Нормы освещенности в данном помещении соблюдаются.

6.1.1.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Пользователь, при работе с ПК находится в непосредственной близости к монитору, что вызывает воздействие электромагнитных полей (ЭМП). Вредное влияние переменных магнитных полей должно быть учтено при организации рабочего места с ПЭВМ.

Когда на человека воздействуют поля, напряженность которых выше допустимой нормы, то наблюдается ухудшение самочувствия работника, нарушения нервной, сердечно-сосудистой системы, повышение температуры

тела и появление головной боли, а также нарушения некоторых биологических показателей крови.

Предельно допустимые уровни энергетических экспозиций электромагнитного поля диапазона частот ≥ 30 кГц - 300 ГГц, не должны превышать значений, приведенных в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200 [16].

С целью уменьшения негативного воздействия электромагнитного излучения, возникающего от экрана компьютера, используются специальные жидкокристаллические мониторы. Так же существуют специальные экранирующие очки и пленки, покрывающие экран, которые обеспечивают дополнительную защиту от электромагнитного излучения. Компьютер, на котором проводилось исследование, оснащен LCD монитором, напряженность ЭМП которого менее 2,5 В/м, что соответствует норме.

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора должен находиться на оптимальном расстоянии от глаз (не менее 50 см, но не более 1 м). В нашем случае расстояние между глазами пользователя и монитором равно 72 см, что соответствует норме.

Для снижения усталости глаз делались перерывы при работе за компьютером (по 15 минут после каждого часа работы), а также выполнялась зарядка для глаз.

6.1.1.5 Психофизические факторы

Психофизическими факторами при работе с ПЭВМ являются: статическое положение тела в течение длительного времени, монотонность работы и умственные перегрузки. К статическим факторам, прежде всего, относится вынужденное положение тела во время работы, длительное напряжение отдельных групп мышц. При вынужденном сидячем положении чаще наблюдаются сколиозы и кифозы.

Профилактика сводится к механизации и автоматизации труда, рационализации рабочей позы путем совершенствования конструкций рабочих мест, гимнастике, смене положения во время перерывов (работал стоя – отдыхаешь сидя и наоборот) и др.

Долгая работа за компьютером является монотонной, что быстро приводит к общей усталости, снижению концентрации и т.п. Для избегания данного фактора выполнялись различные виды работ, делались перерывы на отдых.

Умственные перегрузки связаны с большим объемом информации, обрабатываемой во время проведения исследований. Они приводят к головным болям, усталости, нервозности и т.п. Для избегания данного фактора было сделано распределение времени на работу с информацией и выполнением других работ, не связанных с умственными нагрузками.

6.1.1.5 Вывод

В данном разделе рассматривалось влияние вредных факторов при выполнении магистерской диссертации. Было выявлено, что параметры микроклимата соответствуют оптимальным значениям. В зимнее время в учебной аудитории используется водяная система отопления. Для обеспечения вентиляции воздуха аудитория во время перерыва проветривается. Рассчитанное значение искусственного освещения в аудитории соответствует установленным нормам. Так же соответствует нормам и уровень шума в помещении. Для уменьшения влияния электромагнитного излучения от монитора использовались специальные защитные очки. Расстояние между лицом пользователя и монитором является оптимальным и соответствует нормам.

6.1.4 Анализ опасных факторов

6.2.2.1 Поражение электрическим током

В соответствии с ГОСТ 12.1.019 [17] учебная аудитория является помещением без повышенной опасности, т.е. отсутствуют какие-либо условия, создающие опасность: оно сухое, хорошо отапливаемое, полы токонепроводящие, температура и влажность соответствуют нормам. В аудитории отсутствуют электроустановки, за исключением кондиционера и приносимого с собой пользователем компьютера.

Деятельность непосредственно связана с ПЭВМ, токоведущие части изолированы, т.е. случайное прикосновение к токоведущим частям исключено. Также в аудитории присутствует кондиционер, у которого также имеется изоляция токоведущих частей.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, рекомендуется применять защитное заземление.

Заземление корпуса ПЭВМ, а также кондиционера обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно ПЭУ [15] для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Основное организационное мероприятие по электробезопасности – инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно в выполняемой работе.

6.2.2.2 Опасность возникновения пожара. Короткое замыкание

В помещениях с ПЭВМ повышен риск возникновения пожара. Неисправность электрооборудования, освещения, неправильная их

эксплуатация, наличие статистического электричества неудовлетворительный надзор за пожарными устройствами и производственным оборудованием может послужить причиной пожара. Также важной причиной для возникновения пожара является короткое замыкание.

Короткое замыкание – электрическое соединение разных фаз или потенциалов электроустановки между собой или с землей, не предусмотренное в нормальном режиме работы, при котором в проводниках, в месте контакта, резко возрастает сила тока, превышая максимально допустимые величины, что представляет большую опасность для электрического оборудования и может вызвать перебои в электроснабжении потребителей.

Основной и важной причиной возникновения коротких замыканий является нарушения изоляции электрооборудования. Нарушения изоляции могут вызываться: перенапряжениями, прямыми ударами молнии, старением изоляции, механическими повреждениями изоляции и неудовлетворительным уходом за оборудованием.

6.2 Экологическая безопасность

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

Деятельность по проведению исследований для дипломной работы основывалась исключительно на использовании ПЭВМ, что не является промышленной деятельностью, однако, неправильно утилизированная компьютерная техника может негативно повлиять на окружающую среду – при распаде на тяжелые металлы и ядовитые соединения.

Все отходы, которые образуются в ходе работы, выбрасываются в урну, а затем утилизируются. Люминесцентные лампы утилизируются специальным персоналом кафедры. При появлении неисправностей компьютерная техника

списывается также специальным персоналом кафедры, а затем подвергается утилизации специализированными организациями.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования

Как было сказано ранее, при выполнении исследований в рамках магистерской диссертации деятельность основывалась исключительно на использовании ПЭВМ.

Объект исследования, т.е. компьютерное моделирование шумовых характеристик генератора «ГС-50» в программе Multisim, не могут инициировать ЧС. Следовательно, можно говорить только о тех ЧС, которые могут возникнуть в аудитории при проведении исследований вне зависимости объекта.

6.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в аудитории при проведении исследований

В данном пункте будет рассмотрен наиболее вероятный вид ЧС в учебной аудитории – пожар.

Учебная аудитория не предполагает работу с горючими веществами и материалами в горячем состоянии, а предназначена только для проведения лекционных занятий и работы с ПЭВМ. Таким образом, согласно Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [18] аудитория относится к классу помещений с пониженной пожароопасностью – Д.

Основными причинами пожара могут явиться:

– несоблюдение норм пожарной безопасности сотрудниками либо студентами;

- нарушение технологического процесса;
- использование неисправного оборудования;
- токи короткого замыкания;
- неисправность электросетей;
- курение в неполюженном месте.

6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения пожара

Во избежание возникновения пожара необходимо выполнение следующих требований:

- выполнение работ в аудитории только с исправным оборудованием и электропроводки;
- наличие средств тушения пожара – огнетушителей;
- свободный доступ к средствам тушения и выходу из помещения;
- подключение только одного потребителя электроэнергии к одному источнику электропитания;
- знание плана эвакуации и места расположения средств пожаротушения;
- недопустимость курения и разведения открытого огня в аудитории.

Аудитория, в которой проводилось исследование, находится в учебном корпусе 10. Данное здание соответствует всем требованиям пожарной безопасности: имеется система охранно-пожарной сигнализации, порошковые огнетушители, планы эвакуации и таблички с направлениями к запасному выходу. План эвакуации этажа, на котором расположена учебная аудитория, представлен на рисунке 6.1.

Виды специальных норм трудового права:

- нормы-льготы (различного рода компенсации, пособия и льготы);
- нормы-приспособления (адаптирующие общие нормы к специфике отрасли);
- нормы-изъятия (обоснованные ограничениями общих трудовых прав).

Деятельность по написанию магистерской диссертации осуществлялась в г. Томск, который относится к районам Крайнего Севера и приравненных к ним местностям. Таким образом, при расчете в разделе 5 заработной платы, как научного руководителя, так и студента-дипломника был учтен вид специальных норм трудового права, а именно норма-льгота в виде районного коэффициента 1,3.

6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

В процессе работы, все используемые предметы должны быть расположены в зоне досягаемости. Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости приведено на рисунке 6.2.

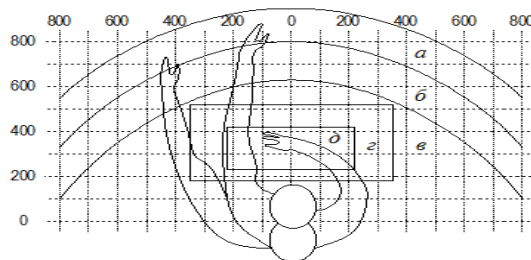


Рисунок 6.2 – Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости

На рисунке 6.2 введены следующие обозначения: а - зона максимальной досягаемости; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Монитор размещен в зоне *a* (в центре), системный блок размещен в предусмотренной нише стола, клавиатура – в зоне *z/d*, «мышь» – в зоне *b* (справа); документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – *v*, а в выдвижных ящиках стола – литература, неиспользуемая постоянно.

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [13] изложенные нормы и требования следует соблюдать для повышения комфорта в процесс работы с ПЭВМ.

6.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

При анализе учебной аудитории, в которой выполнялись работы по написанию магистерской диссертации, было выявлено, что микроклимат соответствует оптимальным значениям. В зимнее время в учебной аудитории используется водяная система отопления. Для обеспечения вентиляции воздуха аудитория во время перерыва проветривается. Значение искусственного освещения в аудитории, равное 243 лк, соответствует установленным нормам. Так же соответствует нормам и уровень шума в помещении.

Были выявлены психофизические факторы при данном виде работ: статическое положение тела в течение длительного времени, монотонность работы и умственные перегрузки.

Аудитория учебного корпуса относится к категории помещений без повышенной опасности, т.к. в помещении не имеется токопроводящих полов, токопроводящей пыли, повышенной влажности и т.д. Помещение снабжено пожарной сигнализацией, огнетушителем и планом эвакуации. Все электронные приборы подключены к сети питания имеющей защитное заземление.

Разрабатываемый объект не влияет на окружающую среду на этапах его разработки и эксплуатации. Все отходы, которые образуются в ходе работы, выбрасываются в урну, а затем утилизируются. Люминесцентные лампы

утилизируются специальным персоналом кафедры. При появлении неисправностей компьютерная техника списывается также специальным персоналом кафедры, а затем подвергается утилизации специализированными организациями.

Рабочее место оптимально организовано, график работы не превышает установленных норм.

Используемая аудитория учебного корпуса соответствует установленным нормам ГОСТов и СНиПов.

Заключение

В результате работы была освоена и применена программа для моделирования *NI Multisim*. Для моделирования шумов была запущена собранная модель генератора «ГС – 50» в программе *Multisim*. С помощью данной модели получили результаты измерений выходного напряжения и шумов его амплитуды. Определили закон распределения и построили график плотности вероятности. Выбрали подходящий критерий согласия и произвели расчет.

После изучения выходного напряжения и шумов его амплитуды, построили моделирование отдельных элементов генератора, таких как: резисторы, транзисторы и операционные усилители.

Из полученного моделирования шумов резисторов, сделали вывод, что данные резисторы С2-23 и С2-29 были выбраны с целью исследования зависимости напряжения шума от технологии производства. Так как технология производства данных резисторов различна, то и шумят данные резисторы по-разному.

Из моделирования шумов транзистора, сделали вывод: что первоначальная схема для шумов транзистора, не имеет как токовых шумов данных элементов. График выходного напряжения получается за счет дифференциальных уравнений. Т.е. шумы транзисторов, вызваны шумами метода интегрирования этих дифференциальных уравнений. Так как в программе *Multisim* разработчики не предусмотрели шумы транзистора, поэтому исследовали шумы выходного напряжения, за счет резисторов.

Из полученного моделирования операционного усилителя, делается вывод о том, что операционные усилители, как и транзисторы, не шумят в программе *Multisim*. Поэтому исследование также проводилось только за счет шумов выходного напряжения резисторов. Моделирование проводилось

при разном номинале резистора R_3 , с целью наблюдения результатов напряжения шумов при различных номиналах резистора.

Недостатком данных моделирований шумов транзистора и операционного усилителя является то, что не все элементы в программе *Multisim* имеют шумы. Дальнейшее предложение по данным моделированиям заключается в том, чтобы разработать эти модели шумов транзистора и операционного усилителя в программе *Multisim*.

Список использованных источников

- 1 Генерация и генераторы сигналов / В.П. Дьяконов. – М. : ДМК Пресс, 2009. – 384 с., ил.
- 2 Рыбин Ю.К. Электронные устройства: Учебное пособие. – Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2003. – 264 с.
- 3 ГОСТ 8.314-78 ГСИ. Генераторы низкочастотные измерительные. Вавилов А.А., Солодовников А.И., Шнайдер В.В. Низкочастотные измерительные генераторы. Энергоатомиздат, 1985.
- 4 Устройство и методика формирования тестовых акустических сигналов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/01006548189>, свободный. – Загл. с экрана.
- 5 Усилители высокой чувствительности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mpei.ru/Structure/Universe/ire/radiotechnical/structure/fprs/studentsLib/Курс_САЭУ_раздел7.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
- 6 ГОСТ 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/52042>, свободный. – Загл. с экрана.
- 7 ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности. – М.: Стандартинформ, 2012. – 61 с.
- 8 ISO 26000 //ru.wikipedia.org Википедия. Свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ISO_26000 - Загл. с экрана.
- 9 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 20 с.
- 10 ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2016. – 16 с.
- 11 Свод правил: СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. – М.: Минстрой России, 2016. – 108 с.

- 12 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 2003. – 24 с.
- 13 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
- 14 ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1981. – 10 с.
- 15 Правила устройства электроустановок: ПЭУ 7. Издание 7. – М.: Госэнергонадзором Минэнерго России, 2003.
- 16 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
- 17 ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартиформ, 2010. – 27 с.
- 18 Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123 – ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями от 29 июля 2017) [Электронный ресурс] – URL: - <http://docs.cntd.ru/document/902111644/> - Загл. с экрана.
- 19 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 9 с.

Приложение А

(обязательное)

Результаты измерений нестабильности амплитуды выходного напряжения

Таблица А.1 – Значение нестабильности амплитуды выходного напряжения генератора ГС-50 в разные моменты времени

№ отсчета	Значение напряжения шума	№ отсчета	Значение напряжения шума	№ отсчета	Значение напряжения шума
1	2,4	40	-1,3	79	-0,6
2	-1,2	41	1,4	80	0,8
3	1,4	42	-0,6	81	-0,9
4	-1,7	43	0,7	82	0,5
5	-0,3	44	-0,2	83	0,1
6	-0,1	45	0,4	84	1,5
7	1,3	46	-1,6	85	-2
8	-0,9	47	-0,2	86	-0,6
9	0,6	48	0,5	87	-1,3
10	-0,8	49	1,9	88	0,2
11	0,7	50	0,1	89	-0,3
12	-0,7	51	1,5	90	1,3
13	0,9	52	-2,7	91	0,1
14	-0,5	53	-1,3	92	1,4
15	1	54	2,9	93	-1,3
16	0,2	55	-1,8	94	0,1
17	1,7	56	-0,5	95	-0,1
18	-1,3	57	-0,8	96	1,4
19	0,1	58	0,5	97	-1,2
20	-0,8	59	-0,2	98	-0,2
21	1,1	60	1,2	99	0,1
22	-2	61	-0,4	100	1,5
23	-0,5	62	1	101	-1
24	0,4	63	0,7	102	0,4
25	1,9	64	2	103	-0,4
26	-0,9	65	-2,5	104	1
27	1,8	66	-1,4	105	-0,2
28	-2,7	67	-0,9	106	1,2
29	-1,6	68	0,6	107	-2,2
30	3,3	69	0,7	108	-0,8
31	-1,9	70	2,1	109	0,1
32	-0,4	71	-1,3	110	1,6
33	-0,2	72	-0,2	111	-0,5
34	1,1	73	-1	112	-0,8
35	-0,9	74	0,4	113	-0,2
36	0,5	75	-0,8	114	1,3
37	-1,7	76	0,9	115	-1,7
38	-0,3	77	-0,2	116	-0,4
39	2,7	78	1,2	117	-0,1

Продолжение таблицы А.1

№ отсчета	Значение напряжения шума	№ отсчета	Значение напряжения шума	№ отсчета	Значение напряжения шума
118	1,4	146	0,2	174	0,2
119	-1	147	-0,3	175	-0,4
120	0,4	148	1,2	176	1,1
121	0,5	149	0,1	177	-0,2
122	1,9	150	1,7	178	1,3
123	-1,1	151	-1,2	179	-2
124	0,3	152	0,1	180	-0,6
125	-0,8	153	-1,5	181	-0,1
126	0,7	154	-0,1	182	1,5
127	-2	155	0,2	183	0,1
128	-0,6	156	1,5	184	2,7
129	0,1	157	-0,2	185	-3
130	1,6	158	2,4	186	-0,4
131	-0,6	159	-2,6	187	-0,3
132	0,8	160	-1,2	188	1
133	-0,3	161	0,6	189	-0,2
134	1,5	162	1,9	190	1,2
135	-1,6	163	-0,9	191	0,2
136	-0,2	164	0,4	192	1,6
137	0,5	165	-0,2	193	-2,3
138	1,8	166	1,1	194	1,2
139	-0,8	167	-0,6	195	1,6
140	0,5	168	0,7	196	2,9
141	0,2	169	-0,6	197	-3,3
142	1,5	170	0,9	198	-1,8
143	-1,6	171	-0,4	199	0,5
144	-0,2	172	1	200	2
145	-1,2	173	-1,1		

Приложение Б
(обязательное)

Раздел 1

Signal generators and their main metrological characteristics

Раздел 2

Generator GS-50 and its main metrological characteristics

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Михеенко М.О.		

Консультант проф. кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Рыбин Ю.К.	д.т.н., профессор		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ИШИТР	Кузнецова И.Н.			

1 Signal generators and their main metrological characteristics

1.1 Signal generators

An electric signal generator is a device that converts power supply energy into electrical vibrations of a certain shape with a given amplitude and frequency. Such a signal can be a true AC bipolar signal (its peak values are alternately raised above or lowered below the zero level), or it can fluctuate with respect to a certain level of DC voltage (positive or negative).

Signal generators are sources of measuring, stimulating, synchronizing and control signals. They often represent an independent means of measuring or can be a part of other devices and systems.

According to the Soviet and Russian classification, the generators are divided into several groups, which received the following designations: G2 are noise signal generators; G3 is a low frequency generator; G4 is a high frequency generator; G5 is a pulse generator; G6 are complex signal generators.

A special place is occupied by the generators of groups G3 and G4. Their wide distribution is due to a number of useful properties of sinusoidal signals. First of all, it is the immutability of the form when passing a linear electric circuit. Secondly, strictly known relationship between the amplitude, RMS and mean square values allows you to test transducers and voltmeters AC voltage. Thirdly, these signals can detect small deviations from the linearity of electrical elements by measuring the higher harmonic components. Fourthly, the use of sinusoidal signals correlates with the widely used methods of theoretical analysis of circuits and devices, which allows experimentally verify the correctness of theoretical calculations.

The advantage of signal generators is that they can produce a signal with specified parameters and characteristics or add to it known distortions of the desired size and type when necessary and where necessary.

1.2 Types of sinusoidal voltage sources

In the measuring technique several basic types of sources-sinusoidal voltage generators are used:

- low frequency RC – generators;
 - high frequency LC – generators;
 - generators with piezocrystal, quartz and electromechanical resonators;
- external amplitude stabilization circuit consists of a converter of medium-straightened values, an integrator and a reference voltage source;
- generators that generate sinusoidal signals from triangular signals by smoothly limiting the attenuator;
 - generators implementing digital methods of synthesis of sinusoidal signals.

1.3 RC – generators

RC – generators are used in various fields of human activity.

One of the typical schemes of the RC – generator is a circuit using a Wine chain shown in figure 1.1. At the frequency of generation, such a circuit has a phase angle of shift equal to 0. The oscillation frequency is 1000 Hz. High frequency accuracy is ensured.

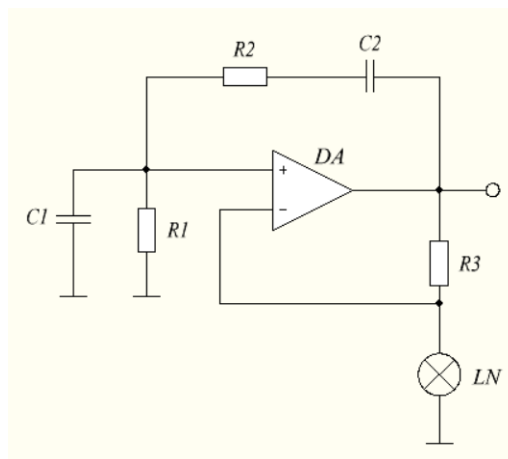


Figure 1.1. Typical circuit of an RC-generator on an operational amplifier

As a rule, the condition is met ($R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$), and the oscillation frequency is calculated by the formula (1.1):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (1.1)$$

Attenuation at a given frequency f_0 is calculated by the formula (1.2):

$$1 + \left(\frac{R_1}{R_2}\right) + \left(\frac{C_1}{C_2}\right), \quad (1.2)$$

and equal to 3 at $R_1 = R_2$ и $C_1 = C_2$. To maintain the amplitude balance, a negative feedback circuit is connected. The gain of the amplifier should be at just over 3 (amplitude balance conditions).

Stabilization of the output amplitude is achieved through the nonlinearity of the amplifier. As the signal amplitude increases, its gain decreases at the output of the amplifier. The amplitude balance is set at a certain amplitude. There comes a stationary mode of generation of almost sinusoidal oscillations.

The use of inertial nonlinear elements in negative feedback such as a low-power miniature incandescent lamp or thermocouple gives better results. Electronic methods are also used to limit the amplitude of the signal to the output of the generator.

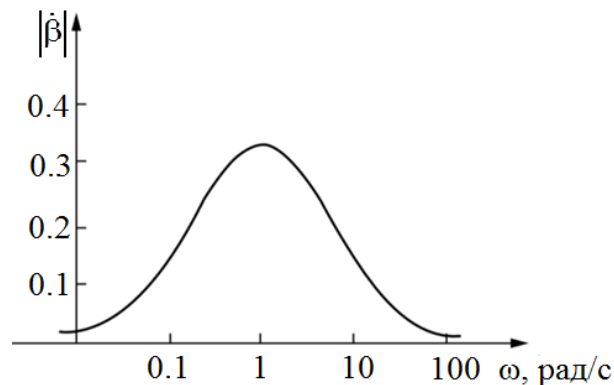


Figure 1.2. Amplitude-frequency characteristic of the electoral chain

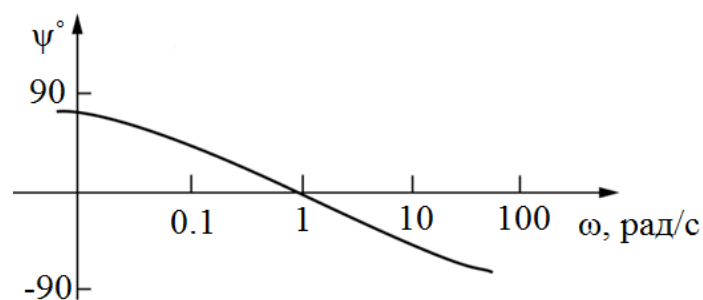


Figure 1.3. Phase – frequency characteristic of the selective circuit

The figures show that ACH and FCH electoral circuit in the generator are quite flat. So the frequency stability can't be high. This is inherent in almost all known circuits RC – sinusoidal voltage generators. The main advantage of these generators is absence of inductors which are difficult to manufacture as well as a wide frequency range when changing the parameters of R and C elements.

1.4 LC – generators

The frequency of oscillations in LC -generators is inversely proportional to the square root of the product LC , so the nominal value of capacitance and inductance with increasing frequency decreases more slowly than in RC -oscillatory systems. LC -selective circuit is used as a linear frequency-dependent circuit at high frequencies of generated oscillations. Operational amplifiers that serve as active elements at low frequencies lose their amplifying properties with increasing frequency and are not used in LC -generators. The most common generators are LC -generators of sinusoidal signals. The positive feedback circuit is performed on the LC -resonant circuits, and the active element is on bipolar or field-effect transistor. The scheme of such a generator on a field-effect transistor with a resonant circuit in the current circuit is shown in figure 1.4.

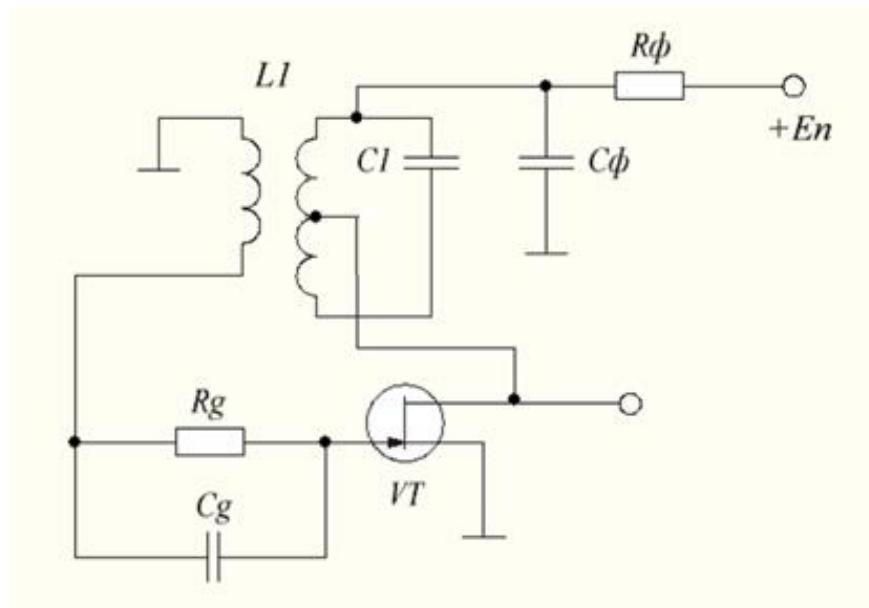


Figure 1.4. LC-generators of the field-effect transistor

The resonant circuit in it is formed by the inductance L_1 of the primary transformer winding and the capacitance of the capacitor C . The secondary transformer winding through a chain of resistors R_g and the capacitor C_g is connected to the gate of a field effect transistor VT . The drain of this transistor is connected to the outlet of the primary transformer winding of the oscillating circuit. This inclusion is called partial and is used to reduce the influence of the generator load on the quality of the oscillatory circuit.

A more simplified scheme of the generator without power circuits, displacement and additional elements is shown in figure 1.5.

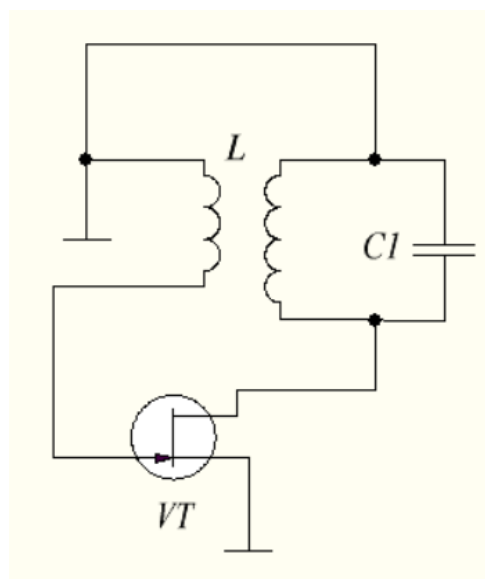


Figure 1.5. More simplified scheme of the LC – generators

In the area of high frequencies when small quantities are required and it is possible to ensure high quality of the *LC*-circuit *LC*-generators are used as well as *LC*-selective amplifiers. When it is difficult to build a *LC*-generator at low frequencies they use the *RC* circuits of the same types as for selective amplifiers.

2 Generator GS-50 and its main metrological characteristics

2.1 Generator GS-50

Generator GS-50 is an *RC*-generator with a discrete frequency control and stabilization system of the output voltage. Amplitude stabilization is carried out by a two-circuit automatic control system.

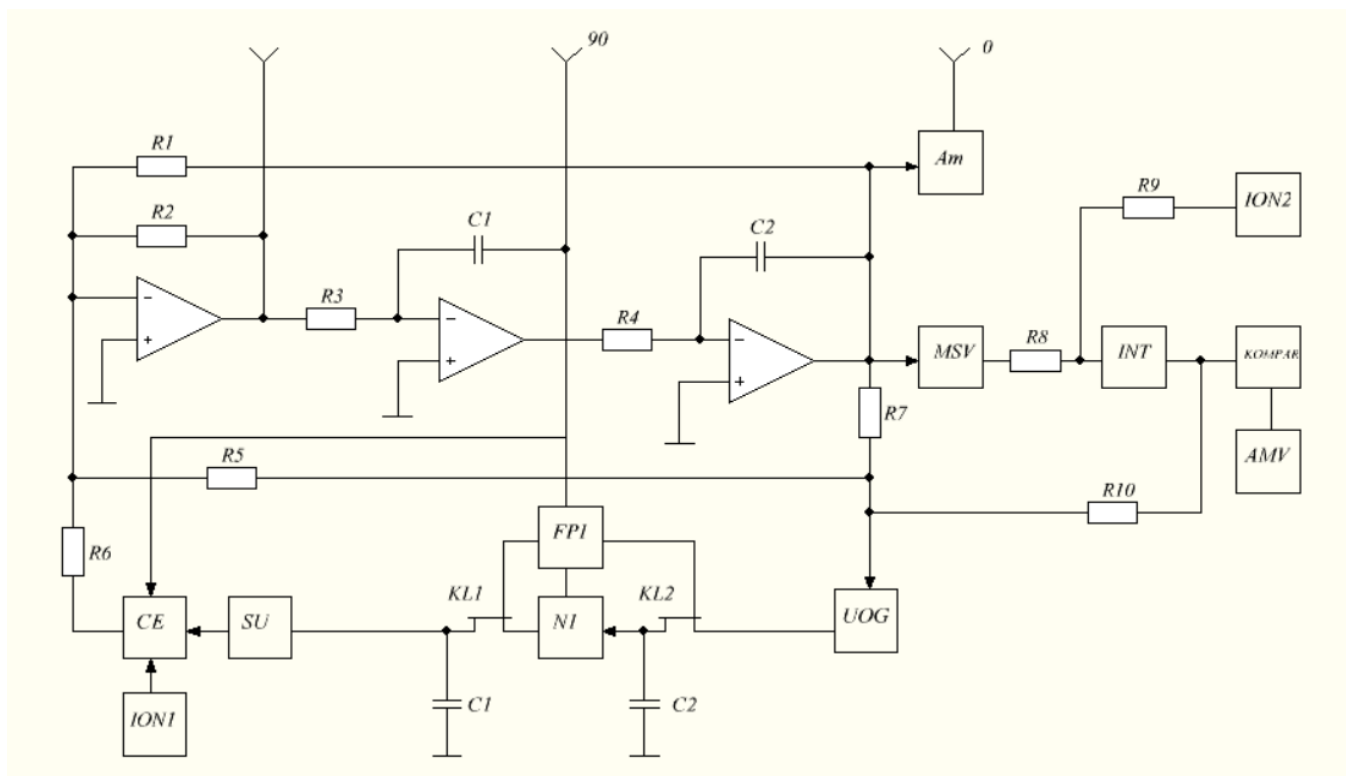


Figure 1.6. Functional block diagram of the generator GS-50

The basis of this device is a master generator (ZG), made by the scheme of the oscillating link with an active phasing circuit based on integrators and dual-circuit system of stabilization of the amplitude of the output voltage ZG.

The AC voltage output is supplied to the internal circuit to stabilize the amplitude, which includes: the operational amplifier (op-amps), electronic keys for field-effect transistors (KL1) and (KL2), voltage follower (N), storage capacitors C1 and C2, the impedance matching amplifier (SU) and the shaper rectangular pulses (DRF).

The pulses formed at the output of the amplifier limiter are converted by a circuit consisting of KL1, KL2, voltage repeater, FPI, capacitors C1 and C2 into a DC voltage with a level proportional to the amplitude of the pulses UO. The DC voltage received and amplified by the matching amplifier controls the resistance of the channel of one of the differential field transistors of the control element (CE). The resistance of the second transistor connected to the reference voltage source ION1 remains constant. The main input receives AC voltage from the output of the first integrator of the active phasing circuit, shifted by 90° relative to the output voltage ZG.

The voltage from of the master generator output is also supplied to the external amplitude stabilization circuit, which includes: a converter of medium-straightened values (MSV), an integrator and an ION2 reference voltage source.

The straightened negative polarity signal from the MSV output through the resistor R9 is fed to the input of the INT integrator and compared with the positive voltage of the ION2 source. In case of misalignment, the signal from the integrator output changes the limitation level of the limiter amplifier in the direction of misalignment reduction.

Attenuator Am is designed for step attenuation of the output voltage of the device.

To prevent the disruption of the fluctuations in the switching frequency provides fast launch device includes a comparator KOMPAR and self-oscillating multivibrator AMV.

2.2 Non-linear distortions and noises of the generator GS-50 output voltages

There are nonlinear components in each device. So the shape of the output signal differs from the shape of the input signal. Nonlinear distortion is the change in the waveform. The reason for non-linear distortions is that when the input signal is fed to the harmonic frequency f the output signal occurs. It includes a constant component, the main frequency and higher harmonics with frequencies $2f$, $3f$, $4f$ Figure 1.7 shows the output signal spectrum of a nonlinear device when one harmonic signal is applied to its input.

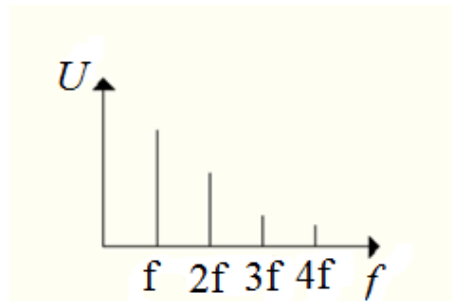


Figure 1.7. The output signal spectrum of a nonlinear device when one harmonic signal is applied to its input

The source of nonlinear distortion is the amplifier. Resistors and capacitors are considered to be linear elements when they increase the voltage on the resistor twice. This will lead to a current change twice. The ratio between currents and voltages in the elements must be directly proportional to the Ohm's law. In this case it is a linear distortion. Once the linear relationship is broken, i.e. if they are not directly proportional, then it leads to nonlinear distortion.

In addition to non-linear distortions, the generators output signals contain noises that also distort the signal.

The main task of this work is to investigate the noises as the distortions in this generator have already been reduced to minimum values, to the noise level of the

elements. Further noise reduction should result in formulas improvement. This is the challenge to investigate these noises.

In the next chapter the noises in electrical components such as resistors, transistors, and operational amplifiers (op-amps) will be considered in detail.