

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Улучшение метрологических характеристик генератора «ГС-50»

УДК 621.373.5:53.08.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Шишмарева Анна Павловна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Рыбин Юрий Константинович	Д.Т.Н., С.Н.С.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Сосковец Любовь Ивановна	Д.И.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Наталья Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Казаков Вениамин Юрьевич	К.Ф.-М.Н., С.Н.С.		
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	К.Т.Н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по направлению

27.04.01 «Стандартизация и метрология»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен)	Требования ФГОС ВПО, 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 (ОК-12, 13, 15, 16, 19; ПК- 17, 18, 19, 21, 22, 26). Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров, устанавливать оптимальные нормы точности и достоверности контроля, выбирать средства измерений и контроля, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-3, 4, 8, 12, 23, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P3	Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: по созданию проектов стандартов, методических и нормативных материалов и технических документов, по нормоконтролю и экспертизе технической документации, участвовать в проведении сертификации продукции, услуг, систем качества и систем экологического управления предприятием, участвовать в аккредитации органов по сертификации, измерительных и испытательных лабораторий	Требования ФГОС (ОК-17, 19; ПК- 1, 6, 7, 8, 11, 14, 16, 17, 18, 21, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: участвовать в оперативной работе систем качества, анализировать оценку уровня брака и предлагать мероприятия по его предупреждению и устранению, участвовать в практическом освоении систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-3, 9, 15, ПК-2, 5, 11, 12, 13, 15, 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P5	Использовать базовые знания в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; проводить анализ затрат на обеспечение требуемого качества и деятельности подразделения, проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений	Требования ФГОС (ОК-8, 9, 18, ПК-10, 25). Критерий 5 АИОР (п.2.1, 1.3, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
Универсальные компетенции		
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-3, 4, 5). Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-3, 18, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

Код результата	Результат обучения (выпускник должен)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-17,19). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-1, 13, 14, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6, 7). Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

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

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Шишмаревой Анне Павловне

Тема работы:

Согласование значений фундаментальных физических констант

Утверждена приказом директора (дата, номер)	20.05.2019 г., 3998/с
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Объектами исследования являются метрологические характеристики генератора прецизионного «ГС-50»: погрешность уровня выходного напряжения и коэффициент гармоник. Исследования проводятся с помощью программного обеспечения для инженерных вычислений – NI Multisim.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- Обзор генераторов сигналов; - Моделирование генератора; - Принцип действия генератора сигналов прецизионного «ГС-50»; - Исследование усилителей с предельно малыми нелинейными искажениями; - Разработка схем усилителей; - Исследование метрологических характеристик колебательного звена генератора; - Исследование метрологических характеристик генератора синусоидальных колебаний со схемой стабилизации; - Результаты моделирования; - 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
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Л.И. Сосковец
Социальная ответственность	Н.А. Атепаева
Раздел, выполненный на английском языке	А.В. Диденко

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

Генераторы сигналов и их основные метрологические характеристики;
Принцип действия генератора сигналов прецизионного ГС-50;
Результаты моделирования колебательного звена генератора

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	28.01.2019 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Рыбин Юрий Константинович	Д.т.н., с.н.с.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Шишмарева Анна Павловна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Шишмаревой Анне Павловне

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	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 потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Определение потенциальных потребителей результатов НИ; - Анализ конкурентных технических решений; - SWOT-анализ; - Оценка готовности проекта к коммерциализации.
2. Инициация проекта	- Определение целей и результатов проекта; - Организационная структура проекта.
3. Планирование управления НИ	- Определение структур работ в рамках НИ; - Определение трудоемкости выполнения работ; - Разработка графика проведения НИ;
4. Формирование бюджета НИ	- Определение материальных затрат НИ; - Определение основной заработной платы; - Определение дополнительной заработной платы исполнителей темы; - Определение отчислений на социальные нужды; - Определение накладных расходов
5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение показателей эффективности НИ; - Сравнительный анализ эффективности вариантов исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений;
- Матрица SWOT-анализа;
- Бланк оценки степени готовности НИ к коммерциализации;
- Перечень работ, этапов и распределение исполнителей;
- График проведения НИ;
- Бюджет НИ;
- Оценка показателей эффективности НИ.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	29.03.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Сосковец Любовь Ивановна	д.и.н.		29.03.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Шишмарева Анна Павловна		29.03.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Шишмаревой Анне Павловне

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

Тема ВКР:

Улучшение метрологических характеристик генератора «ГС-50»	
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 метрологических характеристик генератора «ГС-50» в программе Multisim.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	СанПиН 2.2.4.548-96; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; ГОСТ 12.0.003-2015; ПУЭ 7; СП 52.13330.2016; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03; ГОСТ 12.1.019-2017; ФЗРФ №123 от 29.07.2017; ГОСТ 12.1.030-81; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 2.2. 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. Анализ опасных производственных факторов: – поражение электрическим током; – опасность возникновения пожара; – короткое замыкание.
3. Экологическая безопасность	Утилизация отходов (твердые бытовые и промышленные отходы).
4. 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.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.2019
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Наталья Александровна			14.03.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Шишмарева Анна Павловна		14.03.2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018/2019 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:	03.06.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
06.09.2018	Глава 1. Генераторы сигналов и их основные метрологические характеристики	
20.10.2018	Глава 2. Моделирование генератора	
11.12.2018	Глава 3. Принцип действия генератора сигналов прецизионного «ГС-50»	
15.02.2019	Глава 4. Исследование усилителей с предельно малыми нелинейными искажениями	
24.03.2019	Глава 5. Разработка схем усилителей	
25.04.2019	Глава 6. Результаты моделирования колебательного звена генератора	
10.05.2019	Глава 7. Результаты моделирования генератора	
15.05.2019	Глава 8. Социальная ответственность	
20.05.2019	Глава 9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Рыбин Юрий Константинович	Д.Т.Н., С.Н.С.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Казаков Вениамин Юрьевич	к.ф.-м.н., С.Н.С.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 137 страниц, 35 рисунков, 30 таблиц, 26 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: генератор сигналов, метрологические характеристики, нелинейные искажения, коэффициент гармоник, выходное напряжение, амплитуда, частота.

Объектами исследования являются метрологические характеристики генератора прецизионного «ГС-50»: погрешность уровня выходного напряжения и коэффициент гармоник.

Целью данной работы является улучшение метрологических характеристик с помощью моделирования и совершенствования схемы генератора «ГС-50».

Наиболее важными характеристиками в данном исследовании являются уменьшение погрешности уровня выходного сигнала и снижение нелинейных искажений выходного сигнала.

В результате работы выбран и изучен программный пакет NI Multisim, собраны схемы усилителей, проведено моделирование и исследование метрологических характеристик колебательного звена и генератора синусоидальных колебаний со схемой стабилизацией генератора. Исследованы возможные способы улучшения метрологических характеристик генератора «ГС-50». Была получена модель с характеристиками соответствующими реальным характеристикам генератора.

Степень внедрения: проведенные исследования будут использованы при проектировании модернизированного генератора «ГС-50М».

Область применения: исследования будут применяться не только при исследовании характеристик данного генератора, но и могут быть использованы при разработке других генераторов.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

метрологическая характеристика: Характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений.

аддитивная погрешность: Погрешность, которая постоянная в каждой точке шкалы;

мультипликативная погрешность: Погрешность, которая линейно возрастает или убывает с ростом измеряемой величины.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

ГС – генератор сигналов;

ЗГ – задающий генератор;

ИОН – источник опорного напряжения;

М – магистрант;

МХ – метрологические характеристики;

НИ – научное исследование;

НР – научный руководитель;

ОУ – операционный усилитель;

ПК – персональный компьютер;

ПСЗ – преобразователь средневывраммленных значений;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

РЭ – регулирующий элемент;

СВ – случайная величина;

СИ – средство измерений;

СКО – среднее квадратическое отклонение;

СКЗ – среднеквадратическое отклонение;

ФПИ – формирователь прямоугольных импульсов;

ФЧХ – фазо-частотная характеристика

Оглавление

	С.
Введение	15
1 Генераторы сигналов и их основные метрологические характеристики	17
1.1 Генераторы сигналов	17
1.2 Типы источников синусоидального напряжения	17
1.3 RC-генераторы	18
1.4 LC-генераторы	20
1.5 Основные метрологические характеристики генераторов сигналов	22
1.6 Метрологические характеристики генератора «ГС-50»	23
1.7 Принцип действия промышленных генераторов	24
1.8 Процессы в колебательной системе задающего генератора	26
2 Моделирование генератора	30
2.1 Введение в вопросы моделирования	30
2.2 Особенности компьютерного моделирования	30
2.3 Методы исследования сложных систем	31
2.4 MathCad	33
2.5 National Instruments Multisim	34
3 Принцип действия генератора сигналов прецизионного «ГС-50»	35
3.1 Принцип действия блок-схемы	35
3.2 Основные функциональные узлы прибора	37
3.2.1 Задающий генератор	37
3.2.2 Внутренний контур стабилизации амплитуды	38
3.2.3 Внешний контур стабилизации амплитуды	40
3.2.4 Быстродействующее устройство запуска	41
3.2.5 Аттенюатор	42
3.2.6 Блок питания	42
4 Исследование усилителей с предельно малыми нелинейными искажениями	44
4.1 Проектирование усилителя	44

4.2	Исследование частотных характеристик усилителя	51
5	Разработка схем усилителей	54
5.1	Моделирование двухканального усилителя с параллельно включенными транзисторами	60
5.1.1	Коэффициент гармоник	63
5.1.2	Погрешность уровня выходного напряжения	66
5.2	Моделирование двухканального усилителя с параллельно включенными транзисторами	66
5.2.1	Коэффициент гармоник	68
5.2.2	Погрешность уровня выходного напряжения	71
6	Результаты моделирования колебательного звена генератора	73
6.1	Процесс нарастания амплитуды колебаний	73
6.2	Процесс установления стационарного режима	74
7	Результаты моделирования генератора синусоидальных колебаний со схемой стабилизации	76
7.1	Процесс нарастания амплитуды колебаний	76
7.2	Процесс установления стационарного режима	77
8	Социальная ответственность	80
8.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	80
8.2	Производственная безопасность	82
8.2.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	82
8.2.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в учебной аудитории при проведении исследований	83
8.2.3	Анализ вредных факторов	83
8.2.3.1	Микроклимат	83
8.2.3.2	Шум	85
8.2.3.3	Освещение	85
8.2.3.4	Повышенный уровень электромагнитных излучений	87
8.2.3.5	Психофизические факторы	88

8.2.4 Анализ опасных факторов	89
8.2.4.1 Поражение электрическим током	89
8.2.4.2 Короткое замыкание	90
8.3 Экологическая безопасность	90
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	91
8.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования	91
8.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в аудитории	91
8.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения пожара	92
9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	95
9.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	96
9.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	96
9.1.2 Анализ конкурентных технических решений	96
9.1.3 SWOT-анализ	99
9.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	101
9.2 Инициация проекта	102
9.2.1 Цели и результат проекта	102
9.3 Планирование управления проектом	103
9.3.1 Структура работ проекта	103
9.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	103
9.3.3 Разработка графика проведения НИ	104
9.4 Бюджет научно-технического исследования	107
9.4.1 Расчет материальных затрат исследования	107
9.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы	108
9.4.3 Отчисления на социальные нужды	111
9.4.4 Накладные расходы	111
9.4.5 Формирование бюджета затрат исследования	112
9.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой,	

бюджетной, социальной и экономической эффективности НИ	113
9.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования	113
Заключение	116
Список публикаций студента	118
Список использованных источников	119
Приложение А Часть на иностранном языке	122
Приложение Б Электрическая принципиальная схема колебательного звена	135
Приложение В Электрическая принципиальная схема генератора со схемой стабилизации	136
Приложение Г Электрическая принципиальная схема регулирующего элемента	137

Введение

В настоящее время генераторы электрических сигналов повсеместно применяются в самых различных областях: в промышленности, в науке, в медицине, при проведении лабораторных работ в учебных заведениях.

Особое место среди генераторов занимают генераторы сигналов синусоидальной формы. Они применяются для исследования усилителей и фильтров электрических сигналов, в качестве источников напряжения для возбуждения датчиков физических величин и т. д. Для генераторов сигналов синусоидальной формы характерны следующие метрологические характеристики: диапазон частот и её погрешность, уровень выходного напряжения и его погрешность, коэффициент гармоник выходного напряжения и другие. Особое место среди генераторов синусоидальных сигналов занимают генераторы с малым коэффициентом гармоник.

Генератором электрических сигналов называют устройство, посредством которого энергия источника питания преобразуется в электрические колебания определенной формы с заданной амплитудой и частотой. Генераторы служат источниками измерительных, стимулирующих, синхронизирующих и управляющих сигналов. Они часто представляют собой самостоятельное средство измерения или входят составной частью в другие устройства, приборы и системы.

Генератор сигнала «ГС-50» представляет собой источник синусоидального сигнала с прецизионной формой волны. Синусоидальные сигналы широко используются для тестирования и отладки самых разнообразных электронных устройств. Сигналы изменяются во времени с постоянными параметрами – амплитудой, частотой и фазой. Изменение параметров позволяет реализовать модулирование синусоидальных сигналов и использовать их для переноса информации.

Основой прибора является задающий генератор, выполненный по схеме колебательного звена с активной фазирующей цепью на основе

интеграторов и двухконтурной системой стабилизации амплитуды выходного напряжения задающего генератора.

Целью данной работы является улучшение метрологических характеристик с помощью моделирования и совершенствования схемы генератора «ГС-50».

Для того чтобы улучшить метрологические характеристики есть несколько способов, например, экспериментально, либо путем компьютерного моделирования.

Процесс компьютерного моделирования позволяет ускорить проведение этих исследований, повысить их точность, и существенно снизить затраты на проведение таких исследований по сравнению с экспериментальными (натурными) исследованиями.

Для осуществления поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- выбор программного обеспечения для дальнейшего моделирования;
- выбор элементов схемы, которая содержит около 300 элементов;
- разработка схемы генератора в NI Multisim;
- моделирование усилителей;
- отладка схем усилителей;
- исследование параметров регулирующего элемента;
- исследование метрологических характеристик колебательного звена;
- исследование метрологических характеристик генератора синусоидальных колебаний со схемой стабилизации;
- отладка схем;
- оформление результатов измерений.

В приложении А представлена часть, выполненная на иностранном языке.

1 Генераторы сигналов и их основные метрологические характеристики

1.1 Генераторы сигналов

Генератор сигналов работает в полном соответствии со своим названием. Он генерирует сигналы, применяемые в качестве воздействующих сигналов в ходе измерений параметров электронных устройств. Иногда для исследования схем требуется входной сигнал с изменяющейся во времени амплитудой. Такой сигнал может быть не синусоидальным, а биполярным сигналом переменного тока, или он может колебаться относительно некоторого уровня постоянного напряжения. Часто форма сигнала представляет собой синусоиду или другую периодическую функцию, цифровой импульс, двоичную последовательность или полностью произвольную форму.

Генератор сигналов может выдавать сигналы с заданными параметрами и характеристиками или добавлять к сигналу известные искажения нужной величины и типа. Это является плюсом генераторов сигналов, так как можно создавать сигналы с заданными искажениями тогда, когда нужно, и там, где необходимо.

1.2 Типы источников синусоидального напряжения

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

- низкочастотные RC -генераторы;
- высокочастотные LC -генераторы;
- генераторы с пьезокристаллическими, кварцевыми и электромеханическими резонаторами с внешним контуром стабилизации амплитуды, состоящим из преобразователя средневыпрямленных значений, интегратора и источника опорного напряжения;
- генераторы, формирующие синусоидальные сигналы из треугольных сигналов путем их плавного ограничения;

– 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. На частоте генерации такая цепь имеет угол сдвига фазы, равный 0 [1]. Частота колебаний равна 1000 Гц. Обеспечивается высокая точность задания частоты. На рисунке 1 показана типичная схема RC-генератора.

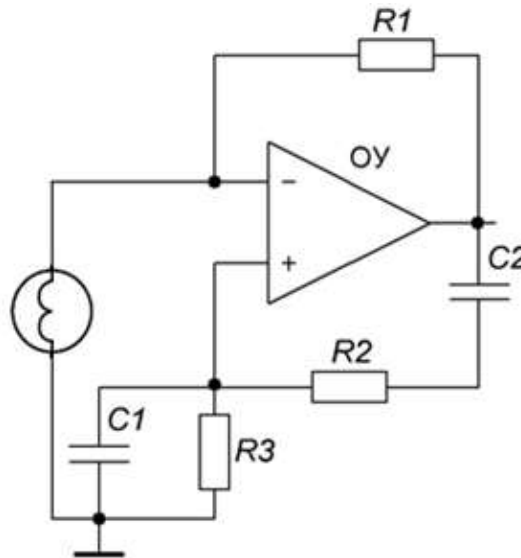


Рисунок 1 – Типичная схема RC-генератора на операционном усилителе

Как правило, выполняется условие $R_1=R_2=R$ и $C_1=C_2=C$ и частота колебаний рассчитывается по формуле (1):

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

где $R_1=R_2=R$ – сопротивление, Ом;

$C_1=C_2=C$ – емкость конденсатора, Ф.

Ослабление на заданной частоте f_0 определяется по формуле (2):

$$f_0 = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{R_1}{R_2}\right) + \left(\frac{C_1}{C_2}\right)\right)}, \quad (2)$$

и равное 1/3 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 сигнала на выходе достигается в простейшем случае 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, даёт лучшие результаты. Также применяются электронные способы ограничения амплитуды сигнала на выход генератора.

На рисунке 2, 3 представлены графики АЧХ и ФЧХ цепи.

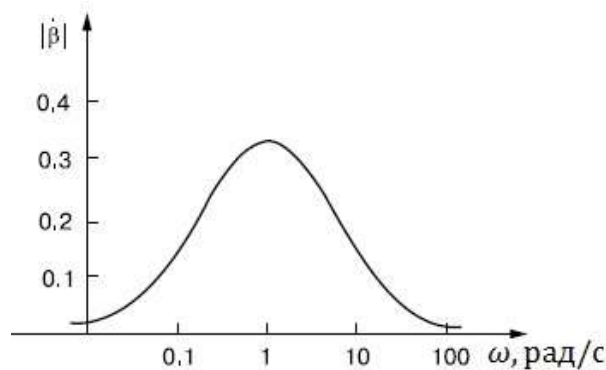


Рисунок 2 – Амплитудно-частотная характеристика избирательной цепи

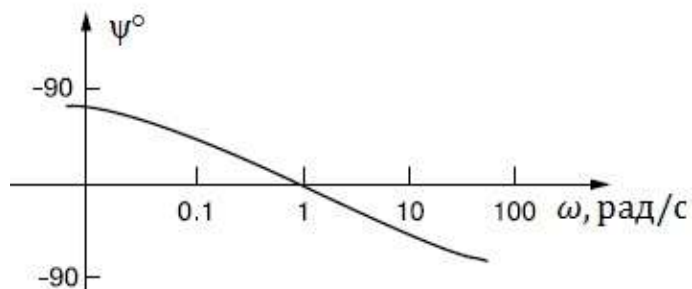


Рисунок 3 – Фазо-частотная характеристика избирательной цепи

Как видно из рисунков 2 и 3, АЧХ и ФЧХ избирательной цепи в генераторе достаточно пологие. Значит, стабильность частоты не может быть высокой. Это присуще практически для всех известных схем RC -генераторов синусоидального напряжения. Главные достоинства таких генераторов заключается в отсутствии катушек индуктивности, которые сложные 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 4.

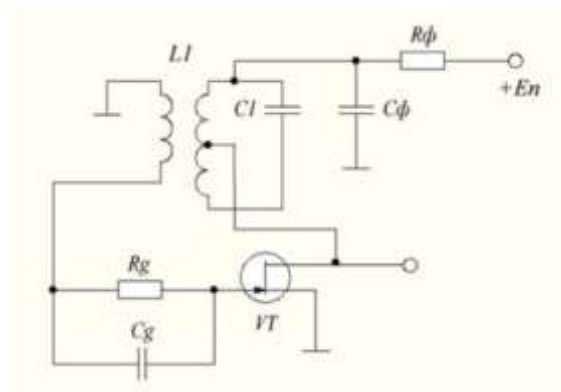


Рисунок 4 – LC -генератор на полевом транзисторе

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 5.

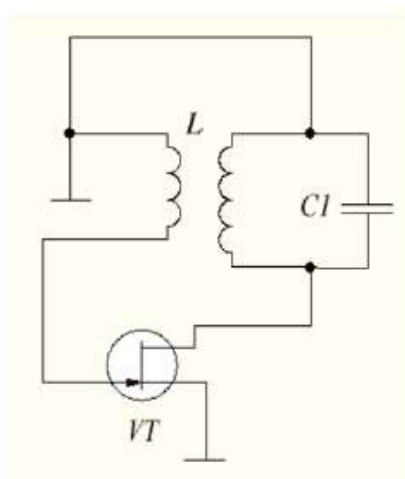


Рисунок 5 – Упрощенная схема LC -генератора

В области высоких частот, когда требуются небольшие величины 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

Согласно ГОСТ 8.314 [3] для генераторов сигналов нормируют следующие метрологические характеристики:

- погрешность установки частоты по шкале частот;
- погрешность установки выходного напряжения;
- погрешность выходного регулятора (ослабителя, делителя) напряжения;
- коэффициент гармоник выходного напряжения.

Определение коэффициента гармоник

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 простых генераторов коэффициент гармоник составляет (0,3 – 2) %. Высококачественные генераторы имеют коэффициент гармоник в пределах (0,02 – 0,05) % [3] и менее.

С помощью измерителя нелинейных искажений, анализатора гармоник, определяют коэффициент гармоник выходного напряжения K_g .

Определение нестабильности частоты

Одним из важнейших свойств генератора сигналов является высокая стабильность частоты генерируемого колебания. В генераторах сигнала используют такие факторы, как: непостоянство электрических параметров элементов и деталей; влияние 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.

Определение погрешности установки выходного сигнала

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, соответствующий 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].

1.6 Метрологические характеристики генератора «ГС-50»

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

Установка частоты осуществляется дискретно на четырех 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 – 100000) 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);

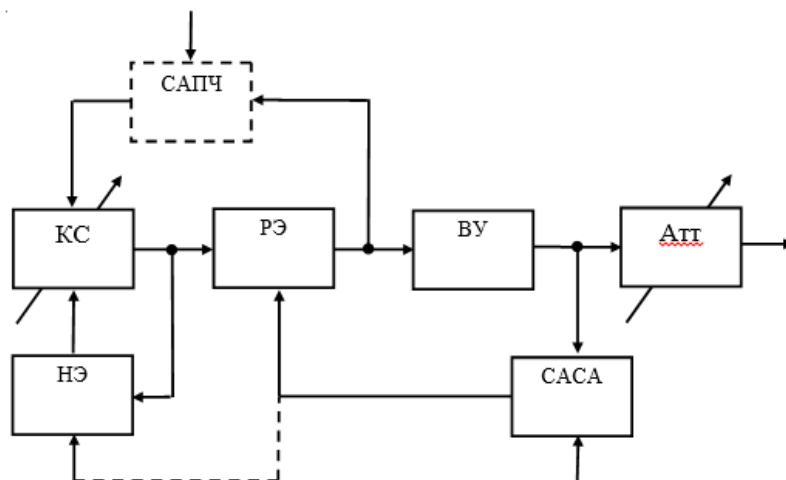
– 0,0003 % в диапазоне частот от 10 до 20 кГц (4 поддиапазон).

1.7 Принцип действия промышленных генераторов

Современный промышленный генератор электрических сигналов представляет собой сложное электронное устройство, содержащее колебательную систему, систему автоматической стабилизации и управления амплитудой автоколебаний, систему управления значением частоты колебаний и другие системы. На рисунке 6 показана упрощенная блок – схема современного аналогового генератора измерительных сигналов.

На рисунке 6 представлена упрощенная блок-схема генератора. Основным блоком этой схемы является колебательная система. В колебательной системе совместно с нелинейным элементом генератора возникают и формируются колебания требуемой формы, амплитуды и частоты. Эту часть блок-схемы называют задающим генератором. В нём создаются условия для возбуждения, установления стационарного режима и

стабильности во времени амплитуды и частоты колебаний, превращая их в автоколебания.



КС – колебательная система генератора; НЭ – нелинейный элемент; РЭ – регулирующий элемент; УМ – выходной усилитель мощности; Атт – аттенюатор; САСА – система автоматической стабилизации амплитуды автоколебаний; САПЧ – система автоматической подстройки частоты автоколебаний

Рисунок 6 – Упрощенная блок – схема генератора измерительных сигналов

Выходное напряжение задающего генератора обычно не превышает (1 – 2) В, поэтому его далее усиливают выходным усилителем мощности. Система автоматической стабилизации амплитуды колебаний с помощью регулирующего элемента обеспечивает на выходе стабильные автоколебания с так называемым «опорным уровнем» переменного напряжения. Его значение задаётся источником постоянного напряжения $V_{оп}$. Эта же система может обеспечить и управление изменением их амплитуды, меняя его значение, но чаще это осуществляется многопредельным аттенюатором, включенным на выходе усилителя. Система автоматической подстройки частоты автоколебаний позволяет подстраивать и стабилизировать частоту автоколебаний. Правда, она редко входит в состав измерительных генераторов, поэтому на рисунке 6 изображена пунктиром. В прецизионных

генераторах с высокой точностью амплитуды колебаний функция нелинейный элемент часто заменяется дополнительным контуром автоматической стабилизации амплитуды, превращая систему стабилизации в двухконтурную.

Все названные системы важны для обеспечения требуемых параметров генерируемых колебаний, но наиболее важной из них является колебательная система генератора. Именно в ней зарождаются колебания требуемой формы и частоты. Только эта система, в конечном счёте, определяет форму выходного напряжения генератора, потому что другие системы практически не оказывают никаких регулирующих или стабилизирующих воздействий, влияющих на его форму. Поэтому проектированию колебательных систем генераторов уделяют самое пристальное внимание.

Выходной усилитель обеспечивает необходимый уровень выходного напряжения и выходной ток, т. е. отвечает за энергетические параметры колебаний генератора.

Система автоматической стабилизации амплитуды колебаний, как следует из названия, предназначена для стабилизации амплитуды напряжения на опорном уровне.

Аттенюатор позволяет устанавливать меньшие уровни выходного напряжения.

Частота колебаний устанавливается, как правило, изменением параметров частотно задающих элементов КС.

1.8 Процессы в колебательной системе задающего генератора

Возникновение электрических сигналов заданной формы в колебательной системе задающего генератора происходит автоматически при включении питания. Под возбуждением колебаний понимается непрерывное увеличение их амплитуды от малых значений амплитуд до больших. Этот

процесс очень важен, т. к. при его отсутствии никаких колебаний на выходе не будет и генератор не сможет выполнять его основную функцию.

Первый из этих механизмов основан на том, что в реальных генераторах активные и пассивные элементы (транзисторы, резисторы, диоды) создают на своих внешних выводах небольшие напряжения, меняющиеся по случайному закону, т. е. шумы. Природа этих шумов связана с неупорядоченным движением электронов и дырок в проводниках и полупроводниках.

При проектировании, как физической автоколебательной системы, так и её математической модели, создают условия для нарастания колебаний путём введения положительной обратной связи или активного элемента с отрицательным сопротивлением на определённой, заранее заданной частоте, что приводит к появлению в характеристическом уравнении КС корней с положительной действительной частью. Таким образом, в самой структуре автоколебательной системы закладывается механизм неустойчивости начального положения равновесия и, как следствие, нарастания амплитуды. Поэтому любое даже минимальное начальное напряжение на энергоёмких элементах физической автоколебательной системы далее возрастает именно из-за положительной обратной связи или отрицательного сопротивления активного элемента. Здесь имеется в виду структурная неустойчивость колебательной системы, для нарастания колебаний в которой достаточно небольшого «начального толчка». Им может быть и скачок напряжения на элементах в момент подачи напряжения питания. Впоследствии скачок напряжения может исчезнуть, а колебания будут по-прежнему нарастать. Так как же реализуется на практике эта структурная неустойчивость?

Для возникновения периодических колебаний в цепь необходимо ввести активный элемент – усилитель или элемент с отрицательным сопротивлением для периодического пополнения расходуемой части электрической энергии. Наличие активного элемента в цепи является вторым непременным условием возникновения колебаний.

Кроме него в колебательной системе должно выполняться условие неустойчивости переходных процессов. То есть электрическая цепь с активным элементом должна быть спроектирована так, что любые даже очень малые начальные напряжения на реактивных элементах или флуктуации электрического напряжения в активной цепи должны возрастать по амплитуде. Такое нарастание напряжений и токов присуще только неустойчивым во времени процессам. Поэтому условие неустойчивости процессов в электрической цепи является важным условием возникновения колебаний.

Важно так же чтобы, неустойчивый процесс при определённых параметрах электрической цепи допускал периодическую форму, т. е. был бы колебательным и периодически повторялся во времени. Отсюда вытекает условие возникновения колебаний - условие периодической колебательности переходных процессов.

Колебательный процесс в цепи должен быть управляемым, т. е. должна быть предусмотрена возможность управления переходным процессом, нарастанием или убыванием амплитуды колебаний. Эта управляемость может быть обеспечена самим активным элементом, а также с помощью дополнительного нелинейного элемента типа ограничителя напряжения, лампочки накаливания, термистора или системы автоматической стабилизации амплитуды колебаний. Управляемость колебательной переходной характеристики является пятым условием. И, наконец, периодический процесс в КС должен быть устойчивым к любым возмущениям, как внешним, так и возникающим в самой КС.

Физически действие всех условий можно объяснить тем, что, раз возникнув под действием каких-либо возмущений, колебания в электрической цепи нарастают и превращаются в незатухающие периодические колебания определённой формы, амплитуды и частоты независимо от вызвавших их возмущений, т. е. превращаются в автоколебания. Именно эта возможность превращения колебаний в

автоколебания переводит колебательную систему в автоколебательную систему, т. е. в автогенератор.

Итак, необходимыми и достаточными условиями возникновения и установления периодических колебаний в автоколебательной системе генератора являются следующие факторы:

- наличие линейной электрической частотно зависимой RC или LC – цепи (ЛЧЗЦ);
- наличие активного и нелинейного элементов (АНЭ): усилителя, преобразователя импеданса или элемента с отрицательным сопротивлением;
- неустойчивость переходной характеристики замкнутой цепи, составленной из ЛЧЗЦ и АНЭ;
- «колебательность» переходной характеристики;
- управляемость колебательной переходной характеристики;
- устойчивость периодических колебаний в электрической цепи и превращение их в автоколебания.

2 Моделирование генератора

2.1 Введение в вопросы моделирования

Модель – это замена исходного объекта. Замена (модель) – это может быть математическая формула, графическое представление, система автоматического управления и т.д. Это модель может помочь изучить оригинал и даже усовершенствовать его.

Моделирование состоит из нескольких этапов:

- сбор информации о реальном объекте;
- на основе полученной информации создание модели;
- исследование функционирования модели;
- изучение и использование результатов.

Математические модели – модели, основанные на использовании законов, которые можно записать в виде математических формул.

Графические модели. Это использование наглядного представления об объекте. Чтобы пояснить понятие «зимы», достаточно показать набор фотографий с зимним пейзажем.

Имитационные модели. Модели, изменяя параметры которых, позволяющие изучить реальный объект, называются имитационными.

Над разработкой модели могут работать эксперты из разных областей, т.к. в моделировании достаточно велика роль междисциплинарных связей.

2.2 Особенности компьютерного моделирования

Быстрое развитие вычислительной техники и использование персональных компьютеров сделало моделирование перспективным трендом в развитии общества.

Компьютерное моделирование – это использование вычислительной техники для реализации различных способов моделирования.

Для компьютерного моделирования важно присутствие определенного программного обеспечения.

При этом программное обеспечение, средствами которого может осуществляться компьютерное моделирование, может быть, как достаточно универсальным [5], так и весьма специализированными, Ansys, Multisim.

Очень часто компьютеры используются для математического моделирования [5]. Примерами, могут быть следующие программы Mathcad, Maple.

Обычно в компьютерном моделировании различные виды моделирования дополняют друг друга. Так, если математическая формула очень сложна, что не дает явного представления об описываемых ею процессах, то на помощь приходят графические и имитационные модели. Компьютерная визуализация может быть намного дешевле реального создания натуральных моделей [5].

С появлением мощных компьютеров распространилось графическое моделирование на основе инженерных систем для создания чертежей, схем, графиков [5].

Если система сложна, а требуется проследить за каждым ее элементом, то на помощь могут прийти компьютерные имитационные модели. На компьютере можно воспроизвести последовательность временных событий, а потом обработать большой объем информации [5].

2.3 Методы исследования сложных систем

Так как моделируемый генератор является сложной электронной системой, содержащей несколько сотен элементов, то его можно рассматривать как сложную систему, моделирование которой имеет свои особенности и проблемы. Одной из важных проблем в области разработки и создания современных сложных технических систем является исследование динамики их функционирования на различных этапах проектирования, испытания и эксплуатации. Сложными системами называются системы, состоящие из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов. При исследовании сложных систем возникают задачи

исследования как отдельных блоков, входящих в систему, так и системы в целом [6].

При проектировании сложных систем ставится задача разработки систем, удовлетворяющих заданным техническим характеристикам. Поставленная задача может быть решена одним из следующих методов:

- методом синтеза оптимальной структуры системы с заданными характеристиками;
- методом анализа различных вариантов структуры системы для обеспечения требуемых технических характеристик.

Оптимальный синтез систем в большинстве случаев практически невозможен в силу сложности поставленной задачи и несовершенства современных методов синтеза сложных систем. Методы анализа сложных систем, включающие в себя элементы синтеза, в настоящее время достаточно развиты и получили широкое распространение.

Среди известных методов анализа показателей эффективности систем и исследования динамики их функционирования следует отметить:

- аналитический метод;
- метод натуральных испытаний;
- метод полунатурального моделирования;
- моделирование процесса функционирования системы на ЭВМ.

Определение аналитической модели сложной системы затрудняется множеством условий, определяемых особенностями работы системы, взаимодействием ее составляющих частей, влиянием внешней среды и т.п.

Натуральные испытания сложных систем связаны с большими затратами времени и средств. Проведение испытаний предполагает наличие готового образца системы или ее физической модели, что исключает или затрудняет использование этого метода на этапе проектирования системы.

Затраты рабочего времени и материальных средств на реализацию метода имитационного моделирования оказываются незначительными по сравнению с затратами, связанными с натурным экспериментом. [6].

2.4 MathCad

MathCad – математический пакет, основанный на символьной математике.

MathCad имеет интуитивный и простой интерфейс пользователя. Для ввода формул и данных можно использовать как клавиатуру, так и специальные панели инструментов. Несмотря на то, что эта программа, в основном, ориентирована на пользователей [7], не являющихся программистами, Mathcad также используется в сложных проектах, также на основе Mathcad создано приложение Vissim, которое позволяет реализовать графическое и имитационное моделирование.

Основные возможности:

MathCad содержит сотни операторов и встроенных функций для решения различных технических задач. Программа позволяет выполнять численные и символьные вычисления, производить операции со скалярными величинами, векторами и матрицами, автоматически переводить одни единицы измерения в другие.

Среди возможностей MathCad можно выделить [7] следующие:

- решение дифференциальных уравнений, в том числе и численными методами;
- построение двумерных и трёхмерных графиков функций (в разных системах координат, контурные, векторные и т. д.);
- использование греческого алфавита как в уравнениях, так и в тексте;
- выполнение вычислений в символьном режиме;
- выполнение операций с векторами и матрицами;
- символьное решение систем уравнений;
- проведение статистических расчётов и работа с распределением вероятностей;
- поиск собственных чисел и векторов.

С помощью MathCad инженеры могут документировать все вычисления в процессе их проведения [7].

2.5 National Instruments Multisim

National Instruments – американская компания, насчитывающая свыше 6000 сотрудников и имеющая представительства в 41 стране мира. Штаб-квартира компании расположена в г.Остин, Техас. National Instruments является одним из мировых лидеров в технологии виртуальных приборов и в разработке и изготовлении аппаратного и программного обеспечения для систем автоматизированного тестирования.

Multisim – программное средство разработки и моделирования электронных схем. NI Multisim позволяет визуально собрать схему на основе PSpice-моделей элементов, промоделировать эту схему, используя различные типы анализов, например, параметрический, анализ по переменному току, анализ переходных процессов и т.д.

К основным достоинствам Multisim по сравнению с MathCad и MatLab можно отнести следующее:

- простота интерфейса;
- ориентированность на компьютерное моделирование электронных схем и систем;
- высокая точность моделирования;
- широкий спектр возможностей.

К основному недостатку можно относительно небольшая база *PSpice*-моделей, но которые постоянно обновляются.

Основываясь на сравнительном анализе, выбор делается в пользу Multisim.

ограничитель (УОГ), электронные ключи на полевых транзисторах ($K_{л1}$) и ($K_{л2}$), повторитель напряжения (П), запоминающие конденсаторы C_1 и C_2 , согласующий усилитель (СУ) и формирователь прямоугольных импульсов (ФПИ).

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 напряжении 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 средневывпрямленных 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.

3.2 Основные функциональные узлы прибора

Основными функциональными узлами прибора являются:

- задающий генератор;
- внутренний контур стабилизации амплитуды, состоящий из усилителя-ограничителя, формирователя прямоугольных импульсов, электронных ключей на полевых транзисторах, запоминающего усилителя, регулирующего элемента с источником опорного напряжения;
- внешний контур стабилизации амплитуды, состоящий из преобразователя средневывпрямленных значений, интегратора и источника опорного напряжения;
- аттенюатор;
- быстродействующее устройство запуска.

3.2.1 Задающий генератор

Задающий генератор состоит из инвертирующего усилителя (D_5 , $VT_1 - VT_7$) и двух интегрирующих усилителей (D_6 , $VT_8 - VT_{14}$ и D_7 , $VT_{15} - VT_{21}$), каждый из которых выполнен по двухканальной схеме. Узкополосные каналы инвертирующего и интегрирующего усилителей выполнены на микросхемах ($D_5 - D_7$), широкополосные – на истоковых повторителях VT_1 , VT_8 и VT_{15} , соответственно. Суммирование сигналов узкополосного и широкополосного каналов происходит на базах транзисторов VT_2 и VT_3 , VT_9 и VT_{10} , VT_{16} и VT_{17} , представляющих собой каскады со взаимно динамической нагрузкой. Диоды ($VD_8 - VD_{11}$), ($VD_{16} - VD_{19}$), ($VD_{24} - VD_{27}$) и переменные резисторы R_{56} , R_{99} , R_{143} предназначены для установки начального смещения на базах транзисторов VT_4 и VT_5 , VT_{11} и VT_{12} , VT_{18} и VT_{19} , соответственно, и тока покоя выходных каскадов усилителей, работающих в классе А и выполненных на транзисторах разноименной структуры VT_6 и VT_7 , VT_{13} и VT_{14} , VT_{20} и VT_{21} .

Устойчивость усилителей обеспечивается элементами C_{16} , C_{17} , C_{27} , R_{84} , C_{37} , R_{97} , C_{44} , C_{47} , R_{128} , C_{53} , R_{140} , C_{60} и C_{61} . Переменный резистор R_{36} , служит для регулировки режима на выходе микросхемы D_7 .

Диоды VD_2 и VD_3 , VD_{12} и VD_{13} , VD_{20} и VD_{21} служат для защиты от перегрузок по входу микросхем усилителей (D_5 , $-D_7$), соответственно.

Рабочий диапазон частот генератора от 10 Гц до 100 кГц перекрывается четырьмя поддиапазонами.

Переключение поддиапазонов осуществляется одновременной коммутацией конденсаторов C_{30} , C_{31} , C_{34} , C_{48} , C_{50} , C_{51} , в интегрирующих условиях.

Изменение частоты колебаний в пределах поддиапазона производится одновременной коммутацией резисторов от ($R_{65} - R_{83}$) и от ($R_{109} - R_{127}$) интегрирующих усилителей.

Плавная перестройка частоты колебаний в пределах младшего разряда дискретности производится переменным резистором R_{161} .

3.2.2 Внутренний контур стабилизации амплитуды

Усилитель-ограничитель внутреннего контура стабилизации амплитуды выполнен на микросхеме D_7 , транзисторе VT_4 , диодах от ($VD_7 - VD_9$) и резисторах от ($R_{30} - R_{39}$).

На инвертирующий вход усилителя-ограничителя одновременно с переменным напряжением с выхода задающего генератора поступает регулируемое опорное напряжение отрицательной полярности. Диоды VD_7 и VD_8 служат для предотвращения перегрузки усилителя по входу.

В цепи отрицательной обратной связи включен диод VD_9 , исключаящий положительную полуволну в выходном сигнале. В результате на выходе схемы образуются импульсы отрицательной полярности, представляющие собой отсеченные вершины синусоиды выходного напряжения задающего генератора, превышающего опорный уровень. Импульсы поступают на два последовательно соединенные электронных

ключа на полевых транзисторах VT_2 и VT_7 с запоминающими конденсаторами C_{29} , C_{30} , C_{31} , C_{32} и $C_{20} - C_{27}$, соответственно.

Переключение запоминающих конденсаторов в группах от C_{20} до C_{24} и C_{29} , C_{30} , C_{31} , C_{32} производится при переключениях поддиапазонов.

Формирователь прямоугольных импульсов для управления электронными ключами VT_2 и VT_7 выполнен на микросхеме D_8 и транзисторах VT_9 , VT_{10} . На вход формирователя подается напряжение с выхода первого интегрирующего усилителя задающего генератора, имеющее фазовый сдвиг, равный 90° , относительно выходного напряжения генератора.

Эпюры напряжений, поясняющие работу схемы. Схема работает следующим образом.

С формирователя прямоугольных импульсов со скважностью равной 2 импульсы поступают на управляющие входы электронных ключей, причем, на первый ключ (транзистор VT_7) поступают импульсы, сдвинутые на 90° (V_2) относительно входного напряжения, а на второй ключ (транзистор VT_2) – сдвинутые на 270° (V_3).

В результате, при поступлении на вход первого ключа (VT_7) с усилителя-ограничителя отсеченных вершин выходного напряжения генератора (V_1), на первом запоминающем конденсаторе (из группы C_{29} , C_{30} , C_{31} , C_{32}) в моменты, соответствующие открытому состоянию ключа, будет повторяться половина периода входного сигнала, после чего, в момент времени t_1 первый ключ закрывается и напряжение разное амплитудному значению (V_4) запоминается. В это же время открывается второй ключ (VT_2) и напряжение с первого запоминающего конденсатора (из группы C_{29} , C_{30} , C_{31} , C_{32}) переписывается через повторитель напряжения на микросхеме D_6 на второй запоминающий конденсатор (из группы $C_{20} - C_{24}$). Причем, в момент времени t_2 , когда второй ключ закрывается, напряжение на втором запоминающем конденсаторе (V_5) остается практически неизменным еще на половину периода входного сигнала.

Напряжение со второго запоминающего конденсатора поступает через согласующий усилитель на микросхеме D_5 на регулирующий элемент.

Регулирующий элемент выполнен на операционных усилителях (микросхемы D_1 , D_2 , D_4) и согласованной паре полевых транзисторов (микросхема D_3), включенных в режиме регулируемых аттенюаторов.

На затвор одного из полевых транзисторов (вывод 6 микросхемы D_3) подается напряжение с источника опорного напряжения, представляющего собой параметрический стабилизатор (резистор R_{16} , стабилитрон VD_1). На затвор другого (вывод 8 микросхемы D_3) – напряжение регулирования с микросхемы D_4 . Для линеаризации сопротивлений каналов регулируемых аттенюаторов (полевых транзисторов) используется операционный усилитель на микросхеме D_2 , включенный в режиме повторителя напряжения.

На затворы полевых транзисторов (выводы 6 и 8 микросхемы D_3) также поступает через резисторы R_6 и R_7 , R_8 переменное напряжение с выхода первого интегрирующего усилителя задающего генератора.

Сигнал со стоков полевых транзисторов (выводы 1 и 5 микросхемы D_3) поступает через согласующий дифференциальный усилитель на микросхеме D_1 а вход инвертирующего усилителя задающего генератора. Устойчивость дифференциального усилителя обеспечивается конденсатором C_5 .

Регулирующий элемент работает следующим образом. В случае появления сигнала рассогласования изменяется управляющее напряжение на затворе первого полевого транзистора (выход 8 микросхемы D_3) регулируемого аттенюатора и на выходе согласующего дифференциального усилителя (микросхема D_1) появляется синусоидальный сигнал с фазой совпадающей с выходным сигналом первого интегрирующего усилителя – в случае, если необходимо изменить в сторону увеличения амплитуду выходного сигнала генератора и с противоположной фазой – если необходимо уменьшить выходной сигнал.

3.2.3 Внешний контур стабилизации амплитуды

Выходное напряжение задающего генератора также поступает на вход преобразователя средневывпрямленных значений внешнего контура стабилизации амплитуды. Преобразователь амплитуды. Преобразователь выполнен на микросхеме D_1 , и резисторах R_2 , R_3 , R_7 , R_6 и диодах VD_2 , VD_3 . Конденсаторы C_4 , C_3 и C_5 служат для коррекции частотной характеристики преобразователя, которая в свою очередь определяет неравномерность выходного напряжения генератора в диапазоне частот. Устойчивость преобразователя обеспечивается конденсатором C_5 . Для выделения постоянной составляющей выходного напряжения преобразователя средневывпрямленных значений используется интегратор, выполненный на микросхеме D_2 и конденсаторах C_{10} . Устойчивость интегратора обеспечивается конденсатором C_{11} .

Диоды VD_4 и VD_5 служат для предотвращения перегрузки по входу микросхемы интегратора D_2 .

Резисторы R_6 и R_9 позволяют получить на входе интегратора двухполупериодный выпрямленный сигнал, тогда как с выхода преобразователя средневывпрямленных значений снимается однополупериодный сигнал.

Резисторы R_{11} является одним из элементов схемы сравнения на входе интегратора.

Другими элементами являются резисторы R_4 , R_5 и R_{10} подключенные к источнику опорного напряжения.

Источник опорного напряжения выполнен по семе параметрического стабилизатора на резисторе R_1 и стабилитроне VD_1 .

Управляющее напряжение внешнего контура стабилизации амплитуды поступает на вход усилителя-ограничителя внутреннего контура стабилизации.

3.2.4 Быстродействующее устройство запуска

Быстродействующее устройство запуска включает в себя компаратор (микросхема D_3) и управляемый автоколебательный мультивибратор (микросхема D_4 , резистор R_{20} и конденсатор C_{16}). Резистор R_{19} определяет порог срабатывания компаратора.

Работает устройство запуска следующим образом. В случае пропадания сигнала на выходе генератора при переключениях частоты напряжение на выходе интегратора внешнего контура стабилизации амплитуды (микросхема D_2) превысит порог срабатывания компаратора, который при этом изменит свой выходной сигнал с уровня «лог.0» на уровень «лог.1», чем разрешит работу автоколебательному мультивибратору. Импульсы с выхода мультивибратора начнут поступать на вход инвертирующего усилителя задающего генератора и на вход формирователя прямоугольных импульсов (микросхема D_8) в результате чего на выходе генератора восстановятся колебания. После восстановления колебаний напряжение на выходе интегратора внешнего контура стабилизации амплитуды не будет превышать порог срабатывания компаратора и последний своим выходным сигналом («лог.0») прекратит работу мультивибратора.

3.2.5 Аттenuатор

Аттenuатор выполнен на резистивных 2-образных звеньях. Он обеспечивает включение ослабления на гнезде «0°» от 0 до 60 дБ ступенями через 10 дБ.

3.2.6 Блок питания

Блок питания обеспечивает питающими напряжениями схему прибора при включении в сеть переменного тока с напряжением (220 ± 22) В, частотой (50 ± 1) Гц или (220 ± 1) В, частотой (400 ± 10) Гц.

Источник питания состоит из силового трансформатора T_1 и стабилизаторов, выполненных на элементах ($C_{39} - C_{60}$), ($D_9 - D_{14}$), ($VD_{13} - VD_{20}$), ($F_1 - F_4$).

Стабилизаторы обеспечивают:

- постоянное напряжение плюс ($24 \pm 0,48$) В, ток нагрузки 100 мА;
- постоянное напряжение минус ($24 \pm 0,5$) В, ток нагрузки 100 мА;
- постоянное напряжение плюс ($12 \pm 0,36$) В, ток нагрузки 60 мА;
- постоянное напряжение минус ($12 \pm 0,36$) В, ток нагрузки 65 мА.

Нестабильность выходных напряжений стабилизаторов при изменении напряжения сети на $\pm 10\%$ не превышает:

- $\pm 0,5\%$ для напряжений ± 24 В;
- $\pm 0,3\%$ для напряжений ± 12 В.

Амплитуда пульсаций выходных напряжений ± 24 В не превышает 7,5 мВ, а напряжений ± 12 В – не превышает 5 мВ. Все стабилизаторы построены по схеме линейного стабилизатора на микросхемах D_9 и D_{10} – для источника ± 24 В; D_{11} и D_{12} – для источника ± 12 В.

4 Исследование усилителей с предельно малыми нелинейными искажениями

Усилители с высокими метрологическими характеристиками: точным и стабильным коэффициентом усиления, малыми нелинейными искажениями необходимы в измерительных системах для усиления сигналов с датчиков физических величин, при усилении звука, при построении генераторов и фильтров электрических сигналов, которые применяются в самых различных областях. Одной из важных качественных характеристик усилителя является его линейность, а наиболее значимым параметром, характеризующим линейность усилителя, является коэффициент нелинейных искажений [9]. Он показывает отношение среднеквадратического значения напряжений высших гармоник к среднеквадратическому значению напряжения всего сигнала. При проектировании усилителей коэффициент нелинейных искажений стремятся сделать минимальным.

Вопросы проектирования любого технического устройства, в том числе и усилителей с малыми искажениями сигналов чрезвычайно сложны, т. к. не существует общих алгоритмов их проектирования и поэтому этот процесс чаще всего основан на знаниях и опыте конкретного разработчика. И даже для опытного разработчика этот процесс находится на грани изобретательства. Это происходит из-за большой неопределённости в начале. Ведь в начале процесса проектирования заданы всего несколько количественных или качественных данных, а в процессе проектирования надо получить структуру устройства, выбрать узлы или блоки и, наконец, выбрать элементы этих блоков и разработать схемы их соединения, т.е. число неизвестных в задачах проектирования всегда превышает число известных. Такие задачи в математике не имеют однозначного решения.

4.1 Проектирование усилителя

Добиться минимальных искажений можно следующими путями:

- применением линейных режимов работы активных элементов

усилителей;

- построением усилителей по многоканальной структурной схеме для компенсации высших гармоник.

- введением глубокой отрицательной обратной связи (ООС).

Основной проблемой при создании усилителей с глубокой отрицательной обратной связью является проблема устойчивости [10].

ООС вводит усилитель в линейный режим. Усилитель с глубокой ООС работает таким образом, что между его входами поддерживается почти нулевая разность потенциалов для уменьшения погрешности коэффициента усиления.

Известно, что в зависимости от назначения, диапазона частот и параметров известны разные структурные схемы усилителей. Наиболее известная структурная схема усилителя широкого применения – это структура интегрального операционного усилителя (ОУ). Она содержит три последовательно соединённых каскада усиления: входной дифференциальный каскад, промежуточный усилительный каскад и выходной каскад.

Входной дифференциальный каскад выполняет функции каскада, обеспечивающего два входа: не инвертирующий и инвертирующий. Он отличается небольшим усилением. Выходной каскад, выполненный, как правило, в виде эмиттерного повторителя служит каскадом согласования усилителя с низкоомной нагрузкой и обычно имеет коэффициент усиления по напряжению не более единицы. Основное усиление обеспечивает промежуточный каскад, который часто выполняется по схеме с общим эмиттером и динамической нагрузкой. ОУ сегодня выпускаются в больших количествах с разными параметрами и широко распространены. Основной недостаток такой структуры в её интегральном исполнении: малых уровнях выходных напряжений – не более 10 В, небольшом диапазоне частот, до 1 МГц, большом уровне нелинейных искажений, а также невозможностью изменить его характеристики не позволяют рассматривать интегральные ОУ

в качестве основы для проектирования усилителей с предельно малыми нелинейными искажениями при большом уровне выходного напряжения и в широком диапазоне частот.

Итак, сформулируем параметры проектируемого усилителя:

- уровень выходного напряжения $> 10 \text{ В СКЗ}$;
- диапазон частот – до 100 кГц ;
- коэффициент гармоник $< 0,0001\%$ в звуковом диапазоне частот;
- сопротивление нагрузки $> 600 \text{ Ом}$.

Наиболее значимым из перечисленных параметров является коэффициент гармоник.

Напомним, что нелинейные искажения усилителя (THD) зависят в первую очередь от:

1. нелинейных свойств активных элементов-транзисторов;
2. схем включения транзисторов в усилительном каскаде;
3. схемы построения усилительных каскадов;
4. структуры соединения усилительных каскадов;
5. типа, глубины и способа введения обратной связи;
6. типа нагрузки и других.

Почему же для построения усилителей с малыми нелинейными искажениями не всегда рекомендуются структуры операционных усилителей? Причина в том, что типовые ОУ предназначены для применения в схемах с глубокой отрицательной обратной связью. Для этого их частотные характеристики корректируют так, чтобы снижение коэффициента усиления с повышением частоты происходило со скоростью 20 дБ на декаду изменения частоты, т.е. со скоростью, которую обеспечивает частотное звено первого порядка. Например, рассмотрим возможности применения ОУ типа LF411 с классической структурой в усилителе с малыми нелинейными искажениями. Этот усилитель имеет коэффициент усиления 200000 и частоту единичного усиления 4 МГц . При этих параметрах и АЧХ первого порядка спад коэффициента усиления с

увеличением частоты сигнала начинается с частоты (20 – 25) Гц и уже при частоте 1 кГц коэффициент усиления существенно понижается. Естественно, что при стопроцентной отрицательной обратной связи при этой частоте коэффициент нелинейных искажений (THD) будет уменьшаться не более чем в 50 раз (на частоте второй гармоники) по сравнению с частотой 25 Гц. Если при частоте 25 Гц коэффициент гармоник сигнала при определённой амплитуде был равен типично (2 – 3) %, то при частоте 1 кГц он будет не лучше 0,02% при той же амплитуде выходного сигнала. Уменьшить THD в таком усилителе можно только повысив глубину ООС или уменьшив исходные искажения, что в заданной фиксированной интегральной структуре ОУ невозможно.

Поэтому требования к увеличению глубины ООС и уменьшению исходных искажений и определяют направления при проектировании усилителей с предельно малыми нелинейными искажениями.

При проектировании усилителей с малыми и сверхмалыми нелинейными искажениями до 0,0001% приходится использовать перечисленные выше методы. Поэтому при проектировании усилителей стремятся уменьшать исходные искажения каскадов, применять методы компенсации искажений за счёт параллельного или последовательного включения каналов усиления и, наконец, стараются увеличивать глубину обратной связи.

Итак, рассмотрим подробнее эти пути снижения нелинейных искажений.

1. Использовать знание нелинейных свойств активных элементов – транзисторов. Нелинейные искажения возникают в транзисторах, т. к. транзистор является существенно нелинейным полупроводниковым элементом. Его нелинейность связана, как известно, с нелинейностью входных и выходных вольтамперных характеристик. Не меньшее влияние на нелинейные свойства биполярных транзисторов усилителей оказывает и непостоянство коэффициента передачи тока базы от тока коллектора за счёт

наличия эффекта Эрли и др. При выборе рабочей точки транзистора надо это учитывать.

2. Применять наиболее линейные схемы включения. Известно, что схемы с общей базой и общим коллектором считаются более линейными, чем схемы с общим эмиттером при равенстве уровней выходного напряжения.

3. Многоканальные структурные схемы усилителей позволяют создавать условия для компенсации наиболее влияющих высших гармоник. Часто для уменьшения нелинейных искажений используется структура с параллельным усилением сигналов с помощью двух каналов с идентичными проходными характеристиками и последующим суммированием усиленных сигналов [11]. Наиболее известной такой структурой является структура, реализованная в усилителе AD844. Токи покоя транзисторов в каналах устанавливаются равными друг-другу, а входной сигнал на них подают в противофазе. В такой структуре могут компенсироваться наибольшие чётные гармоники. Различные варианты параллельного усиления сигналов с последующим сложением или вычитанием их выходных сигналов позволяют компенсировать разные гармоники рассмотрены в [12]. Однако сложность реализации этих структур, а также сложность выполнения и поддержания условий компенсации гармоник при изменении уровня и частоты напряжения не позволяют рекомендовать их для практического применения.

Наиболее мощным средством снижения нелинейных искажений является введение обратных связей. Напомним, что в зависимости от способа получения и способа введения сигнала обратной связи в усилителях выделяют следующие виды обратной связи: параллельная и последовательная связь по входу и обратная связь по выходному току или выходному напряжению, а также комбинированные связи. Наилучшей с точки зрения уменьшения нелинейных искажений является параллельная обратная связь по выходному напряжению [4], т. к. при её применении отсутствует синфазное напряжение на входе и связанные с ним нелинейные искажения.

На рисунке 8 представлена структурная схема усилителя.

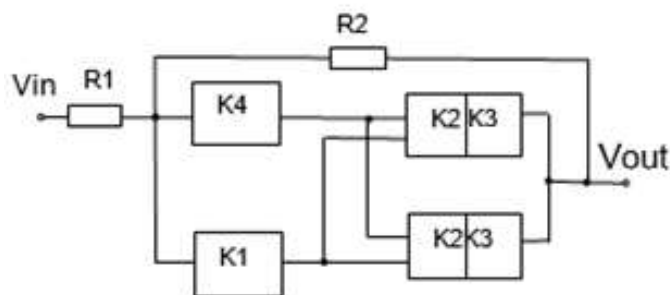


Рисунок 8 – Структурная схема усилителя с параллельным включением каналов

Отличие предлагаемой структурной схемы от классической схемы ОУ состоит в дополнительном каскаде $K4$, который осуществляет высокочастотный обход низкочастотной части усилителя и повышает тем самым устойчивость всего усилителя при введении отрицательной обратной связи, способствующей снижению нелинейных искажений.

Суммируя все рекомендации, предлагается проектировать усилители с малыми нелинейными искажениями с применением структуры, представленной на рисунке 8.

Итак, структура усилителя включает входной усилительный каскад $K1$ с малым напряжением смещения нуля, симметричные каскады промежуточного усиления $K2$ и выходной каскад $K3$ в виде повторителя напряжения.

В качестве входного каскада $K1$ удобно применить ОУ с малым напряжением смещения нуля. Выходной каскад $K3$ необходимо выполнить на двухтактном эмиттерном повторителе. Такой каскад обеспечивает нужную выходную мощность, высокий уровень выходного напряжения и тока, и практически не вносит нелинейные искажения. В отличие от стандартной структуры операционного усилителя в предлагаемой структуре промежуточный каскад выполнен по двухканальной схеме с параллельным или последовательным включением усилительных транзисторов и в

дополнение к входному и выходному каскадам применён промежуточный каскад усиления K_2 в виде двух канального усилителя. Минимизация нелинейных искажений в усилителе осуществляется созданием линейного режима работы транзисторов во всех каскадах и за счёт компенсации гармоник в каскаде промежуточного усиления и за счёт введения глубокой отрицательной обратной связи.

Обычно уровень нелинейных искажений после линеаризации режима работы транзисторов промежуточного и выходного каскада не удаётся добиться менее (2 – 3) %, поэтому далее искажения приходится уменьшать с помощью компенсации гармоник в промежуточном каскаде и глубокой общей отрицательной обратной связи. Оценим значение необходимой глубины обратной связи. При заданном необходимом уровне нелинейных искажений 0,0001 % и уровне выходного напряжения 10 В среднеквадратического значения и уровне искажений промежуточного и выходного каскадов 2 % глубина ООС должна быть более 80 дВ в частотном диапазоне как минимум до 20 кГц первой гармоники и не менее чем до 60 кГц наиболее влияющей 3 – ей гармоники. Если предположить, что в качестве усилителя был бы применён операционный усилитель с АЧХ первого порядка, то частота единичного усиления этого ОУ с таким петлевым усилением вплоть до частоты 60 кГц должна быть равна 600 МГц. ОУ с такой частотой среза и таким коэффициентом усиления с выходным напряжением 10 В практически не производятся, то возникает необходимость такой каскад проектировать. Самое простое решение в этом случае, это включение последовательно с ОУ еще одного промежуточного каскада для увеличения петлевого усиления. Однако такая структура увеличивает порядок АЧХ в контуре ООС как минимум до второго, а, следовательно, и уменьшает запас устойчивости.

Кроме этого, этот каскад увеличивает коэффициент гармоник, т. к. он должен работать при максимальном уровне выходного напряжения.

Этим противоречивым требованиям удовлетворяет:

- промежуточный каскад усиления, который должен иметь максимально большой коэффициент усиления;
- каскад должен иметь АЧХ и ФЧХ первого или второго порядка для возможности введения максимально глубокой обратной связи;
- каскад должен быть максимально линейным с компенсацией высших гармоник.

Для выполнения этих противоречивых требований возможны несколько вариантов усилительных каскадов.

4.2 Исследование частотных характеристик усилителя

Для моделирования характеристик выбран программный пакет MathCad [7]. С его помощью созданы математические модели каналов усилителя. Частотные характеристики, представленные формулами (3, 4). Формула (3) представляет зависимость коэффициента усиления от частоты сигнала первого канала ОУ и на транзисторах, а формула (4) всего усилителя с учётом второго канала. По этим формулам построены графики АЧХ (рисунок 9) и ФЧХ (рисунок 10). Для их построения заданы коэффициент усиления ОУ и их постоянные времени в виде частот единичного усиления каскадов.

$$K_1(f) = \frac{-K_{op}}{1 + \frac{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)}{f_{op}}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)}{f_o}}, \quad (3)$$

$$K_2(f) = \left[\frac{-K_{op}}{1 + \frac{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)}{f_{op}}} \right] \frac{1}{1 + \frac{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)}{f_{pt}}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)}{f_o}}. \quad (4)$$

где $K_{op} = 1000$ - коэффициент усиления ОУ;

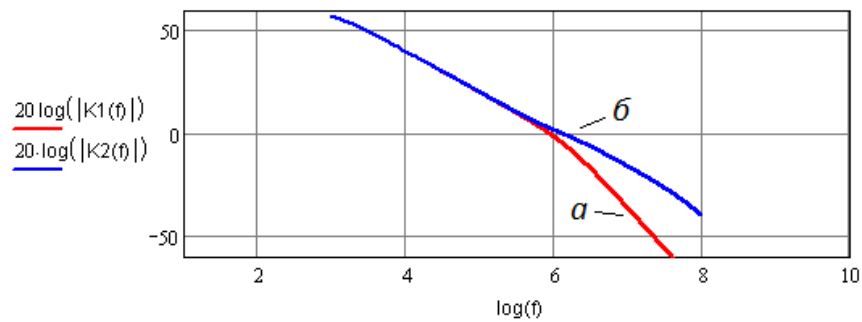
$i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица;

$f_{pt} = 500$ МГц – постоянная времени полевого транзистора Q_1 ;

$f_o = 10$ МГц – частота единичного усиления усилителя мощности;

$f_{op} = 6350$ Гц – частота единичного усиления ОУ.

На рисунке 9 показаны ЛАЧХ одноканального усилителя:



а) одноканальный усилитель; б) двухканальный усилитель

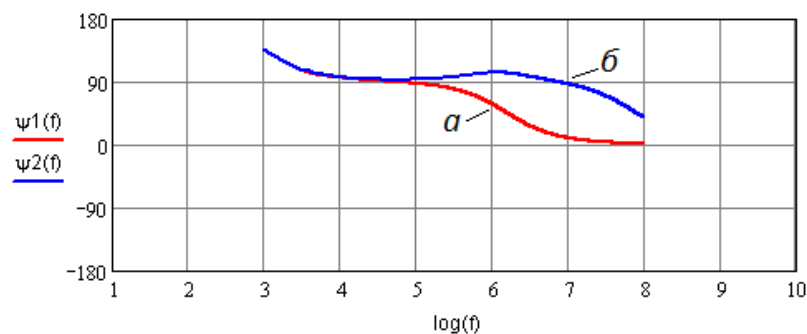
Рисунок 9 – ЛАЧХ усилителя первого и второго каналов

Для оценки устойчивости построены соответствующие каналом ФЧХ по формулам (5,6).

$$\psi_1(f) = \frac{180}{\pi} \cdot \arg(K_1(f)), \quad (5)$$

$$\psi_2(f) = \frac{180}{\pi} \cdot \arg(K_2(f)). \quad (6)$$

На рисунке 10 показаны ФЧХ одноканального усилителя и двухканального усилителя.



а) одноканальный; б) двухканальный

Рисунок 10 – ФЧХ усилителя первого и второго каналов

Устойчивость усилителя с ООС определяется запасом по фазе до 0° на частоте, на которой глубина обратной связи уменьшается до 1 (0 дБ). Для данного усилителя этот запас определяется на частоте 1 МГц (рисунок 9). На

рисунке 10, видно, что при одноканальной схеме (линия а) запас по фазе составляет $\psi_2(f) = 180^\circ - 103^\circ = 77^\circ$. Это значение меньше чем такой же запас по фазе в двухканальной (линия б) схеме $\psi_1(f) = 180^\circ - 58^\circ = 122^\circ$. Введение второго канала, увеличивает запас по фазе и уменьшает опасность самовозбуждения при смене нагрузки усилителя, напряжения питания и т. д.

5 Разработка схем усилителей

Для выполнения первого требования можно использовать либо параллельное (1 структура) либо последовательное (2 структура) включение усилительных транзисторов в промежуточном каскаде. Второе требование можно выполнить, если реализовать в каждом каскаде звено, АЧХ которого описывается уравнением первого порядка. Третье требование может быть реализовано при условии, если усиливаемый сигнал проходит через каскады с компенсацией чётных гармоник.

Далее рассмотрим одну из структур промежуточного усилительного каскада $K_{\text{ус.к2}}$ с параллельным усилением сигнала, в которой все эти требования могут быть реализованы (рисунок 11). Этот каскад выполнен в виде двухканального усилителя на транзисторах разного типа электропроводности, выходные сигналы которых суммируются. Этот каскад двухканальный, содержащий два параллельных канала, имеет два входа и два выхода. Ниже проведён анализ структуры двухканального симметричного каскада.

В предлагаемом двухканальном усилителе имеется два входа, на которые можно подать два разных сигнала или один и тот же, но с разной фазой и имеются два выходных сигнала (тока), которые также можно суммировать по – разному: можно их сложить или вычесть для образования выходного сигнала. В результате при усилении из 2–х сигналов по входу и 2–х по выходу можно создать 16 режимов усиления, которые представлены в таблице 1. Таблица построена по двоичному принципу.

В таблице знаком «+» обозначены входные сигналы каналов, которые поступают на вход с фазой 0° и знаком «-» сигналы, которые поступают на вход в противофазе (с фазой 180° , а также знаком «+» выходной сигнал, поступающий на выход с фазой 0° градусов и знаком «-» с инверсией.

В схеме на рисунке 11 входной сигнал V_{in} поступают на верхний и нижний каналы усиления с одной и той же фазой, но на разные по электропроводности транзисторы, что соответствует знаку «+»,

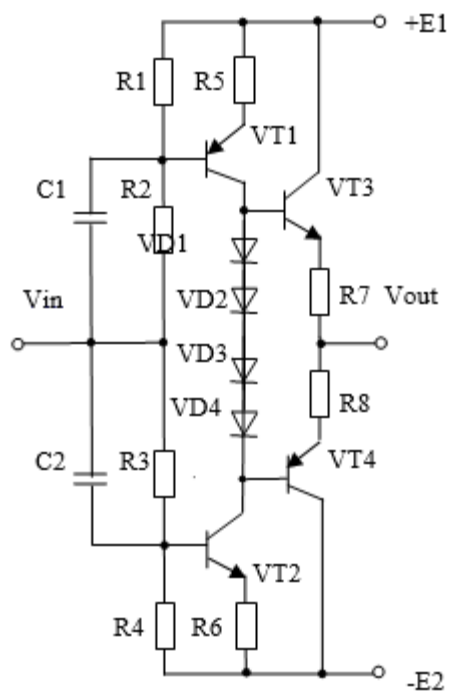


Рисунок 11 – Схема с параллельной структурой усиления промежуточного усилительного каскада

Таблица 1 – Режимы усиления промежуточного усилительного каскада

Номер структуры	Вход1	Вход2	Выход1	Выход2
0	+	+	+	+
1	-	+	+	+
2	+	-	+	+
3	-	-	+	+
4	+	+	-	+
5	-	+	-	+
6	+	-	-	+
7	-	-	-	+
8	+	+	+	-
9	-	+	+	-
10	+	-	+	-
11	-	-	+	-
12	+	+	-	-
13	-	+	-	-
14	+	-	-	-
15	-	-	-	-

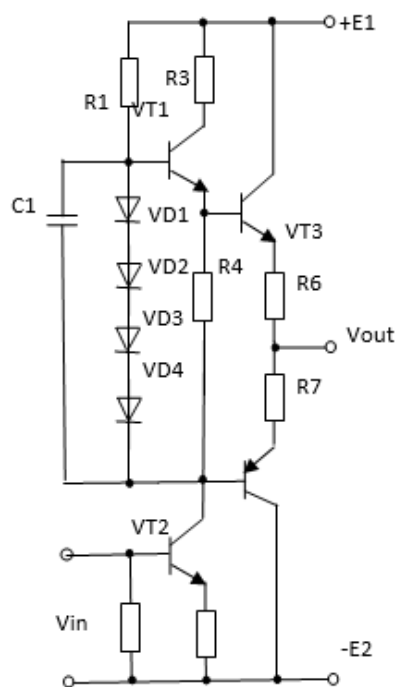


Рисунок 12 – Схема промежуточного каскада с последовательной структурой усиления

Из таблицы 1 видно, что в двухканальной структуре из 16 режимов работы можно выделить четыре группы по четыре режима, с близкими характеристиками.

Дополнительный анализ спектрального состава выходных напряжений позволил сгруппировать эти режимы в группы по 4:

1) четыре режима, когда выходной сигнал равен нулю (не интересны для практической реализации), это режимы с номерами (4, 7, 8, 11) в которых выходные сигналы параллельных каналов суммируются с разными знаками, а, следовательно, вычитаются;

2) четыре режима, когда сигналы каналов на выходе суммируются и удваиваются по амплитуде (0, 12, 3, 15);

3) четыре режима (1, 2, 13, 14), когда сигналы нечётных гармоник, в том числе, первых гармоник вычитаются, а чётных гармоник суммируются;

4) четыре режима (5, 6, 9, 10) когда суммируются нечётные гармоники, в том числе первая и третья и вычитаются чётные гармоники. Именно эту последнюю группу из четырёх режимов желательно реализовать

в промежуточном каскаде. Для реализации нужного режима усиления этой группы необходимо разработать принципиальные схемы каскадов.

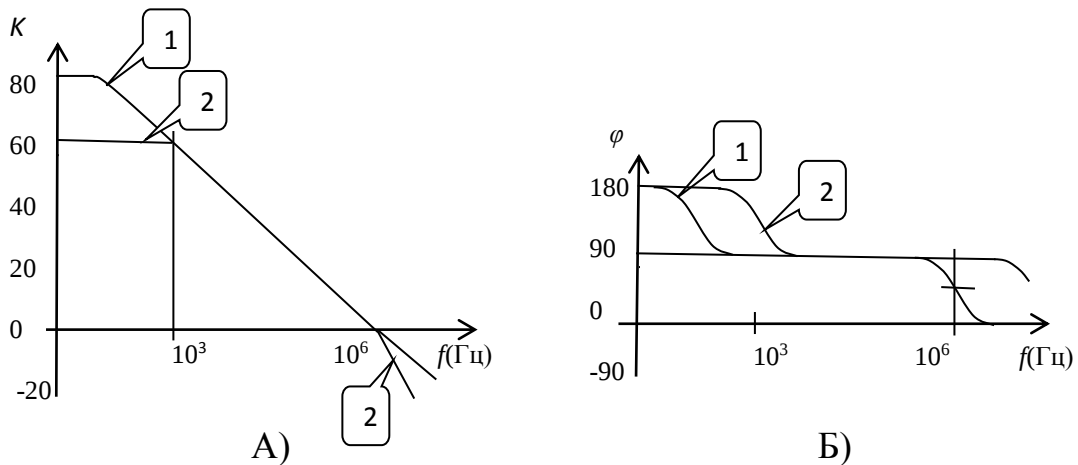
На рисунке 11 показана схема одного из вариантов промежуточного усилительного каскада, в котором реализован режим 0, т. к. сигналы со входа через конденсаторы C_1 и C_2 поступают без инверсии на базы транзисторов VT_1 и VT_2 , усиливаются ими и их выходные токи суммируются без инверсии, следовательно, суммируются первые и высшие гармоники. Однако, т. к. входные сигналы поступают на базы транзисторов разного типа проводимости, то чётные гармоники вычитаются, а нечётные гармоники суммируются.

Транзисторы в промежуточном усилительном каскаде можно соединить не только параллельно, но и последовательно (рисунок 12). Такой каскад является новым решением, ранее неизвестным. В этом случае транзисторные каскады также имеют два входа и два выхода. На два входа также можно подать сигналы в разных сочетаниях по фазе по входам и суммировать или вычитать выходные токи. В этом случае также можно реализовать 16 структур усиления, какие представлены в таблице 1. В первой строке представлен режим, в котором входные напряжения на транзисторы подаются в одной фазе, а выходные токи у транзисторов суммируются, что соответствует тоже знаку «+». Поэтому данный режим соответствует структуре усиления 0. На рисунке 12. показан вариант реализации усилителя с режимом работы 10. Эта структура является новой. Она ранее не была известна.

Другие схемы, реализующие остальные режимы усиления, представленные в таблице, ждут ещё своих изобретателей. Представленная на рисунке 12 схема каскада имеет уникальные свойства. В ней входной сигнал на промежуточный каскад поступает на базу нижнего по схеме транзистора VT_2 . Далее он усиливается им и в виде изменений тока коллектора создаёт на резисторе R_4 падение напряжения, изменяющее входное напряжение база – эмиттер управляющее верхним транзистором VT_1

поступает на его вход в виде противофазного падения напряжения. В этом случае верхний транзистор часто рассматривают как динамическую нагрузку для нижнего транзистора.

На рисунке 13 представлены АЧХ и ФЧХ одноканальных усилителей:



1 – с параллельными включением усилительных транзисторов в промежуточном каскаде; 2 с последовательным включением усилительных транзисторов в промежуточном каскаде.

Рисунок 13 – АЧХ (А) и ФЧХ (Б) одноканальных усилителей:

Режим работы верхнего транзистора задаётся с помощью разности падений напряжений на диодах с VD_1 по VD_4 и падения напряжения на резисторе R_5 , на котором формируется ещё одно входное напряжение для верхнего транзистора. Это напряжение подаётся на верхний транзистор в противофазе с напряжением база-эмиттер нижнего транзистора VT_2 , т. е. входные сигналы поступают в противофазе на транзисторы одного и того же типа. В результате выходные токи транзисторов здесь вычитаются. Таким образом, в этой схеме реализован 10 режим. В этой схеме также, как и при параллельном включении транзисторов вычитаются нечётные гармоники и вычитаются чётные гармоники. В результате при уровне выходного напряжения 10 В СКЗ коэффициент гармоник только этого каскада не превышает 0,5 % до введения отрицательной обратной связи. Таким образом, этот промежуточный каскад имеет меньшие исходные искажения, чем

промежуточный каскад с параллельным включением транзисторов, но и меньший коэффициент усиления. Это видно по АЧХ на рисунке 13.

По этому рисунку дадим более подробное пояснение работе каскада. При низких частотах коэффициент усиления каскада с параллельным включением транзисторов коэффициент усиления больше. Следовательно, нелинейные искажения при частотах до 1 кГц с учётом обратной связи будут меньше. После 1 кГц до 1 МГц оба промежуточных каскада будут иметь одинаковые нелинейные искажения, т. к. коэффициенты усиления у них примерно равны. После 1 МГц промежуточный каскад с последовательным включением транзисторов имеет более крутой спад АЧХ и меньший запас по фазе φ_2 . Это видно на рисунке 6б, где запас по фазе меньше 90° . Следовательно, усилитель с промежуточным каскадом по рисунку 12 может оказаться менее устойчивым к возбуждению, поэтому при его конструировании необходимо более тщательно продумывать монтаж и нагрузку усилителя.

При последовательном соединении усилительных элементов в каскаде сигнал усиливается последовательно и надо ожидать увеличение порядка АЧХ, в области высоких частот больше 1 МГц. Такой каскад промежуточного усиления может создать проблему устойчивости при введении ООС, если в промежуточном каскаде использовать низкочастотные транзисторы.

3. Увеличение глубины отрицательной обратной связи.

Как уже было сказано, для получения меньших искажений в усилителе используется комплекс мер по уменьшению нелинейных искажений.

При моделировании в двух вариантах усилителей с параллельным (рисунок 11) и последовательным (рисунок 12) включением транзисторов в промежуточном каскаде усиления получены заявленные метрологические характеристики, т. е. уровень нелинейных искажений при заданном уровне выходного напряжения. Однако получены они в первой схеме за счёт более

глубокой обратной связи при большем петлевом усилении до частоты 1 кГц, а во второй за счёт более глубокой компенсации искажений в каналах усиления, т. к. в схеме с последовательным включением транзисторов исходные искажения меньше в более широком диапазоне частот. Именно это позволяет сделать вывод, что при проектировании все меры хороши.

На рисунке 13 показаны графики моделирования АЧХ двух усилителей, выполненных с разными промежуточными каскадами, выполненными, соответственно, по схемам, представленным на рисунке 11 и 12. Видно, что АЧХ усилителя с промежуточным усилителем с параллельными транзисторами имеет первый порядок (линия 1 на рисунке 13), а АЧХ с последовательным включением транзисторов имеет второй порядок в области высоких частот. Это хорошо заметно при частотах более 1 МГц. Естественно, что глубина обратной связи во второй схеме будет больше в более широком диапазоне частот.

Однако при этом возможна неустойчивость усилителя. Поэтому АЧХ корректируют. Причём коррекция выполняется не только для устойчивости усилителя при охвате его обратной связью, но и для обеспечения большого петлевого усиления.

5.1 Моделирование двухканального усилителя с параллельно включенными транзисторами

Особенность этого усилителя – промежуточный каскад, выполненный на параллельных включённых транзисторах. Биполярный транзистор типа рпр типа электропроводности Q_2 и биполярный транзистор типа прп электропроводности Q_3 они одновременно усиливают этот сигнал и на диодах D_8 , D_9 , D_{10} и D_{11} и на биполярных транзисторах Q_4 и Q_5 появляется усиленный сигнал.

Параллельный каскад при определенных условиях может компенсировать высшие гармоники. Параметры транзисторов Q_2 и Q_3 должны быть приблизительно одинаковы, при этом условии они могут

генерировать одинаковые по амплитуде вторые, третьи гармоники и в общем проводе они могут компенсироваться. Желательно чтобы эти каскады были выполнены на примерно одинаковых транзисторах, с одинаковыми параметрами. Но мы вынуждены схемотехнически поставить данные транзисторы. Данная схема основана на двух разнотипных транзисторах. Желательно сделать параметры усиления одинаковыми, а именно дифференциальный коэффициент усиления (тока базы) β .

$$\beta = \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta I_{\delta}}, \quad (7)$$

где β – отношение приращение тока коллектора к приращению току базы.

Производитель для одного и того же транзистора, в зависимости от режима не может выпускать транзисторы с единственным значением h_{FE} (β), при этом выпускает транзисторы, у которых значения с разбросом MIN и MAX. Выбирать транзисторы с заданным параметром удорожает эту процедуру. Для этого мы должны отрицательной обратной связью уменьшить влияние разброса.

На рисунке 14 представлена электрическая принципиальная схема усилителя, собранная в программном пакете Multisim.

Произведено моделирование искажения усилителя генератора «ГС-50» в программе Multisim, у которого транзисторы в промежуточном каскаде включены параллельно.

На рисунке 15 показаны результаты моделирования АЧХ и ФЧХ одноканального усилителя с параллельно включенными транзисторами.

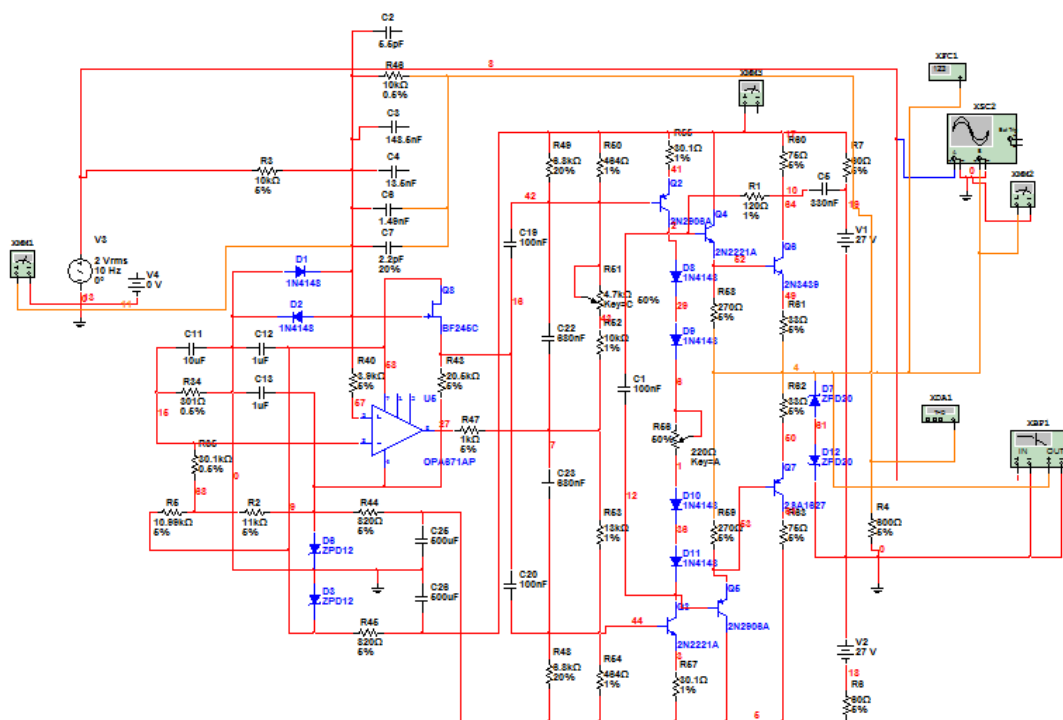


Рисунок 14 – Схема двухканального усилителя «ГС-50» с параллельно включенными транзисторами в промежуточном каскаде

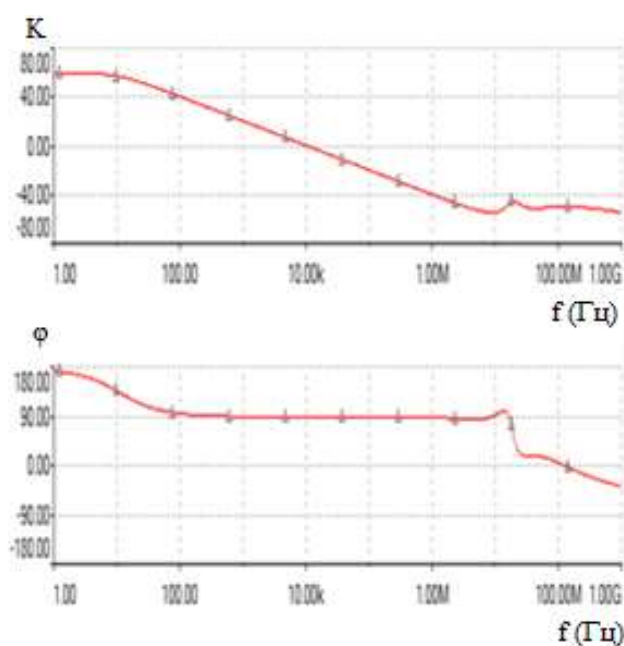


Рисунок 15 – Результаты моделирования АЧХ и ФЧХ

На частотном участке от 1 Гц до 10 Гц, коэффициент усиления K_{yc} остается постоянным и равен 1000, что соответствует 60 дБ, в диапазоне частот от 10 Гц до 100 Гц коэффициент усиления уменьшается со скоростью

20 дБ на декаду, поэтому фазовый сдвиг на этом участке равен 90° , что соответствует уменьшению в 10 раз.

5.1.1 Коэффициент гармоник

Произведено моделирование искажения усилителя генератора сигналов прецизионного «ГС-50».

В программе Multisim значения $R_6=10$ кОм; $R_3=10$ кОм оставляем постоянные. Оставляем входное напряжение постоянным, $V=10$ В и меняем частоту f от 1 Гц до 100 кГц.

В таблице 2 приведены результаты измерений выходного напряжения и коэффициента гармоник при входном постоянном напряжении $V_{вх}=10$ В.

В таблице 3 приведены результаты измерений выходного напряжения и коэффициента гармоник при входном постоянном напряжении $V_{вх}=8$ В.

В таблице 4 приведены результаты измерений выходного напряжения и коэффициента гармоник при входном постоянном напряжении $V_{вх}=6$ В.

В таблице 5 приведены результаты измерений выходного напряжения и коэффициента гармоник при входном постоянном напряжении $V_{вх}=4$ В.

В таблице 6 приведены результаты измерений выходного напряжения и коэффициента гармоник при входном постоянном напряжении $V_{вх}=2$ В.

Таблица 2 – Результаты измерений

f , Гц	$V_{вх}$, В	$V_{вых}$, В (XMM2)	K_r , % (XDA1)
1 Гц	10,000	9,997	0,000
10 Гц	10,000	10,000	0,000
50 Гц	10,000	10,000	0,000
100 Гц	10,000	10,000	0,000
200 Гц	10,000	10,000	0,000
300 Гц	10,000	10,000	0,000
400 Гц	10,000	10,000	0,000
500 Гц	10,000	10,000	0,001
1000 Гц (1 кГц)	10,000	10,000	0,001
5000 Гц (5 кГц)	10,000	10,000	0,010
10000 Гц (10 кГц)	10,000	10,000	0,016
50000 Гц (50 кГц)	10,000	10,002	0,097
70000 Гц (70 кГц)	10,000	10,002	0,139
100000 Гц (100 кГц)	10,000	10,002	0,271

Таблица 3 – Результаты измерений

f , Гц	$V_{вх}$, В	$V_{вых}$, В	K_r , %
1 Гц	8,000	7,998	0,000
10 Гц	8,000	8,000	0,000
50 Гц	8,000	8,000	0,000
100 Гц	8,000	8,000	0,000
200 Гц	8,000	8,000	0,000
300 Гц	8,000	8,000	0,000
400 Гц	8,000	8,000	0,000
500 Гц	8,000	8,000	0,001
1 кГц	8,000	8,000	0,002
5 кГц	8,000	8,000	0,007
10 кГц	8,000	8,000	0,016
50 кГц	8,000	8,002	0,068
70 кГц	8,000	8,002	0,096
100 кГц	8,000	8,002	0,137

Таблица 4 – Результаты измерений

f , Гц	$V_{вх}$, В	$V_{вых}$, В	K_r , %
1 Гц	6,000	5,998	0,000
10 Гц	6,000	6,000	0,000
50 Гц	6,000	6,000	0,000
100 Гц	6,000	6,000	0,000
200 Гц	6,000	6,000	0,000
300 Гц	6,000	6,000	0,000
400 Гц	6,000	6,000	0,000
500 Гц	6,000	6,000	0,000
1 кГц	6,000	6,000	0,003
5 кГц	6,000	6,000	0,009
10 кГц	6,000	6,000	0,018
50 кГц	6,000	6,001	0,073
70 кГц	6,000	6,001	0,104
100 кГц	6,000	6,001	0,145

Таблица 5 – Результаты измерений

f , Гц	$V_{вх}$, В	$V_{вых}$, В	K_r , %
1 Гц	4,000	3,999	0,000
10 Гц	4,000	4,000	0,000
50 Гц	4,000	4,000	0,000
100 Гц	4,000	4,000	0,000
200 Гц	4,000	4,000	0,000
300 Гц	4,000	4,000	0,000
400 Гц	4,000	4,000	0,000
500 Гц	4,000	4,000	0,000
1 кГц	4,000	4,000	0,000
5 кГц	4,000	4,000	0,009

Продолжение таблицы 5 – Результаты измерений

f , Гц	$V_{вх}$, В	$V_{вых}$, В	K_r , %
10 кГц	4,000	4,000	0,019
50 кГц	4,000	4,001	0,087
70 кГц	4,000	4,001	0,123
100 кГц	4,000	4,001	0,176

Таблица 6 – Результаты измерений

f , Гц	$V_{вх}$, В	$V_{вых}$, В	K_r , %
1 Гц	2,000	1,999	0,000
10 Гц	2,000	2,000	0,000
50 Гц	2,000	2,000	0,000
100 Гц	2,000	2,000	0,000
200 Гц	2,000	2,000	0,000
300 Гц	2,000	2,000	0,000
400 Гц	2,000	2,000	0,000
500 Гц	2,000	2,000	0,000
1 кГц	2,000	2,000	0,000
5 кГц	2,000	2,000	0,006
10 кГц	2,000	2,000	0,015
50 кГц	2,000	2,000	0,095
70 кГц	2,000	2,000	0,101
100 кГц	2,000	2,000	0,194

На рисунке 16 представлен график коэффициент гармоник при 10; 8; 6; 4; 2 В.

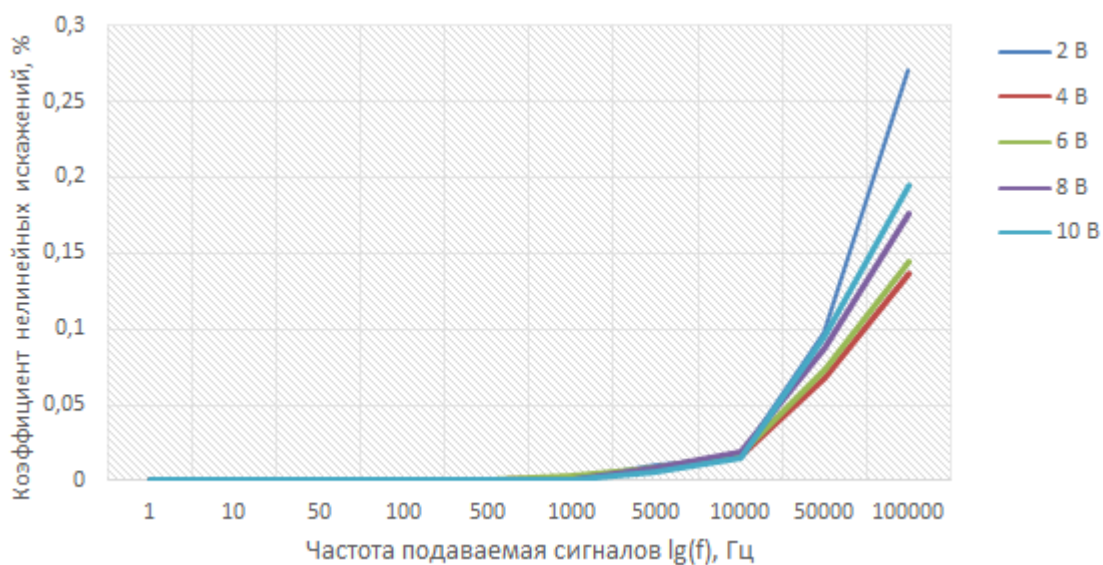


Рисунок 16 – Коэффициент гармоник усилителя

Модель усилителя на импортных элементах дает аналогичные результаты на всех поддиапазонах в пределах коэффициента гармоник реального генератора.

На графике видно, что на низких частотах до 10000 Гц коэффициент гармоник равен 0,015 %, далее от 10000 до 100000 Гц погрешность возрастает, на 100 кГц коэффициент гармоник составляет 0,271 %.

5.1.2 Погрешность уровня выходного напряжения

По данным из таблиц 2-6 построены графики при V равном 10; 8; 6; 4; 2 В, представленный на рисунке 17.

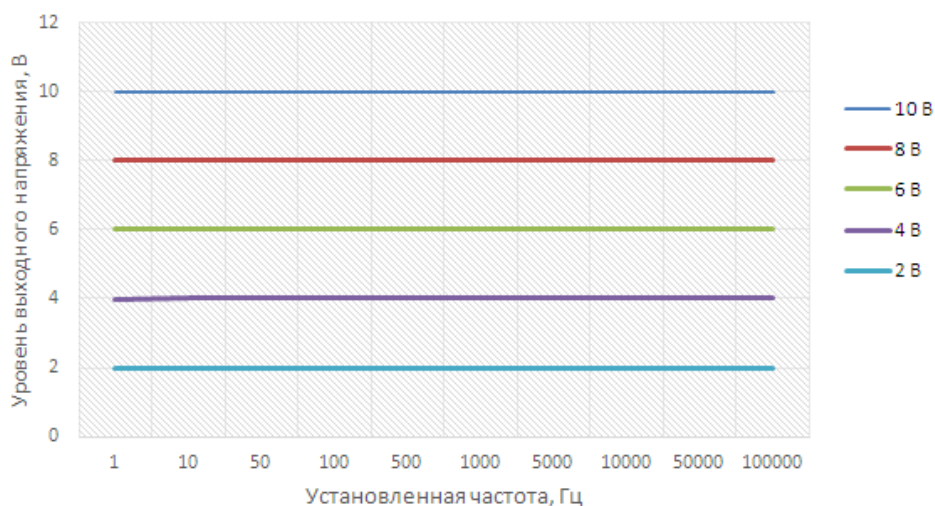


Рисунок 17 – График уровня выходного напряжения усилителя от частоты

На графике видно, что уровень выходного напряжения находится в пределах допустимого уровня выходного напряжения генератора.

5.2 Моделирование двухканального усилителя с последовательно включенными транзисторами

На рисунке 18 изображена электрическая схема двухканального усилителя «ГС-50» с последовательно включенными транзисторами в промежуточном каскаде собранного в программе Multisim.

На рисунке 18 представлена электрическая принципиальная схема усилителя, собранная в программном пакете Multisim.

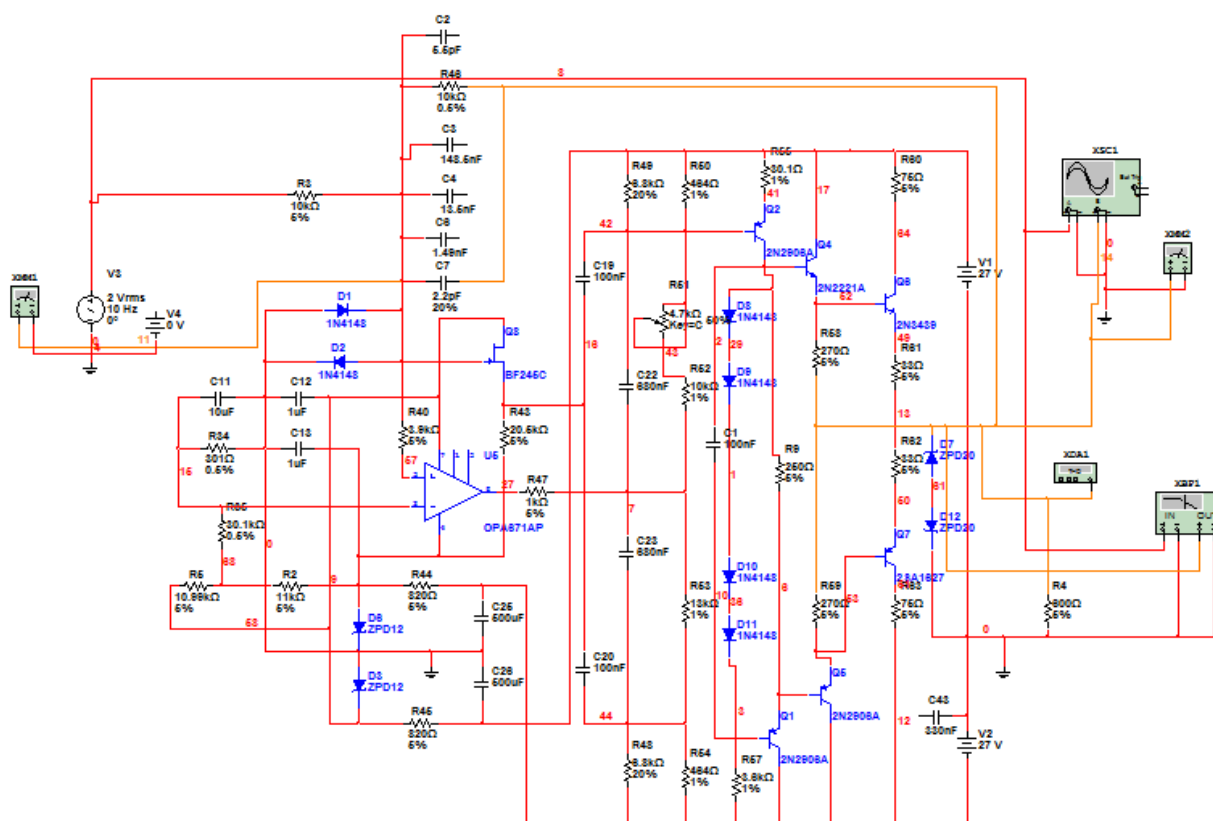


Рисунок 18 – Схема двухканального усилителя «ГС-50» с последовательно включенными транзисторами в промежуточном каскаде

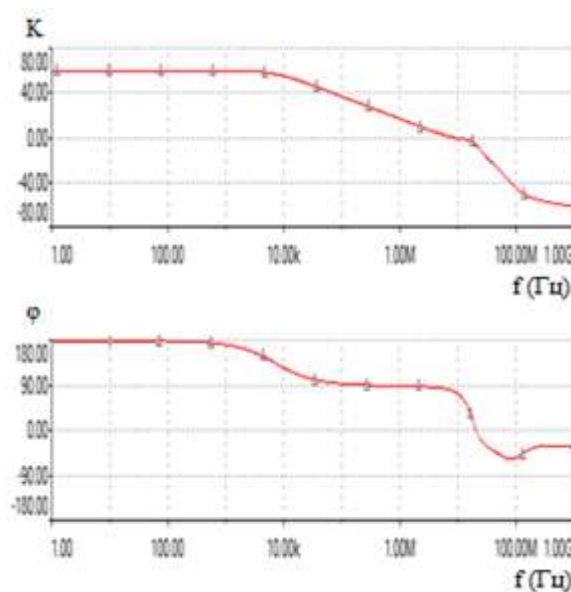


Рисунок 19 – АЧХ и ФЧХ двухканального усилителя с последовательно включенными транзисторами в промежуточном каскаде

Из сравнения видно, что АЧХ в усилителе которого транзисторы в промежуточном каскаде включены последовательно, при частоте от 1 Гц до 10 кГц коэффициент усиления K_{yc} остается постоянным и имеет более длинный участок, который равен 1000, что соответствует 60 дБ. В диапазоне частот от 10 кГц до 100 кГц коэффициент усиления уменьшается со скоростью 20 дБ на декаду, спад которому соответствует фазовый сдвиг 90° .

Усилители по участкам примерно одинаковы, соответствуют первому порядку.

Усилитель, у которого транзисторы в промежуточном каскаде включены последовательно имеют более широкий диапазон частот, где усиление равномерное постоянное и коэффициент усиления K_{yc} равен 1000. Это даст возможность уменьшить коэффициент гармоник.

5.2.1 Коэффициент гармоник

Произведено моделирование искажения усилителя генератора сигналов прецизионного «ГС-50».

В программе Multisim значения $R_6=10$ кОм; $R_3=10$ кОм оставляем постоянные, $R_{47}=10$ кГц. Оставляем входное напряжение постоянным, $V=10$ В и меняем частоту от 10 Гц до 100 кГц.

В таблице 7 приведены результаты измерений выходного напряжения и коэффициента гармоник при входном постоянном напряжении $V_{вх}=10$ В.

В таблице 8 приведены результаты измерений выходного напряжения и коэффициента гармоник при входном постоянном напряжении $V_{вх}=8$ В.

В таблице 9 приведены результаты измерений выходного напряжения и коэффициента гармоник при входном постоянном напряжении $V_{вх}=6$ В.

В таблице 10 приведены результаты измерений выходного напряжения и коэффициента гармоник при входном постоянном напряжении $V_{вх}=4$ В.

В таблице 11 приведены результаты измерений выходного напряжения и коэффициента гармоник при входном постоянном напряжении $V_{вх}=2$ В.

Таблица 7 – Результаты измерений

f , Гц	$V_{вх}$, В	$V_{вых}$, В	K_r , %
1 Гц	10,000	9,995	0,000
10 Гц	10,000	9,997	0,001
50 Гц	10,000	9,998	0,001
100 Гц	10,000	9,999	0,001
200 Гц	10,000	9,999	0,001
300 Гц	10,000	9,999	0,001
400 Гц	10,000	9,999	0,001
500 Гц	10,000	9,999	0,001
1 кГц	10,000	9,998	0,001
5 кГц	10,000	9,998	0,004
10 кГц	10,000	9,998	0,012
50 кГц	10,000	9,998	0,044
70 кГц	10,000	9,998	0,060
100 кГц	10,000	9,999	0,091

Таблица 8 – Результаты измерений

f , Гц	$V_{вх}$, В	$V_{вых}$, В	K_r , %
1 Гц	8,000	7,996	0,000
10 Гц	8,000	7,999	0,000
50 Гц	8,000	7,999	0,001
100 Гц	8,000	7,998	0,001
200 Гц	8,000	7,998	0,001
300 Гц	8,000	7,998	0,000
400 Гц	8,000	7,999	0,000
500 Гц	8,000	8,000	0,000
1 кГц	8,000	7,999	0,002
5 кГц	8,000	7,999	0,003
10 кГц	8,000	7,998	0,010
50 кГц	8,000	7,999	0,028
70 кГц	8,000	7,999	0,046
100 кГц	8,000	7,999	0,073

Таблица 9 – Результаты измерений

f , Гц	$V_{вх}$, В	$V_{вых}$, В	K_r , %
1 Гц	6,000	5,997	0,000
10 Гц	6,000	5,999	0,001
50 Гц	6,000	5,999	0,001
100 Гц	6,000	5,999	0,001
200 Гц	6,000	5,999	0,001

Продолжение таблицы 9 – Результаты измерений

<i>f</i>, Гц	<i>V</i>_{вх}, В	<i>V</i>_{вых}, В	<i>K</i>_г, %
300 Гц	6,000	5,999	0,001
400 Гц	6,000	5,999	0,001
500 Гц	6,000	5,999	0,001
1 кГц	6,000	5,999	0,001
5 кГц	6,000	5,999	0,002
10 кГц	6,000	5,999	0,006
50 кГц	6,000	5,999	0,030
70 кГц	6,000	5,999	0,058
100 кГц	6,000	5,999	0,092

Таблица 10 – Результаты измерений

<i>f</i>, Гц	<i>V</i>_{вх}, В	<i>V</i>_{вых}, В	<i>K</i>_г, %
1 Гц	4,000	3,998	0,000
10 Гц	4,000	3,999	0,001
50 Гц	4,000	3,999	0,001
100 Гц	4,000	3,999	0,001
200 Гц	4,000	3,999	0,001
300 Гц	4,000	3,999	0,001
400 Гц	4,000	3,999	0,001
500 Гц	4,000	3,999	0,001
1 кГц	4,000	3,999	0,001
5 кГц	4,000	3,999	0,003
10 кГц	4,000	3,999	0,021
50 кГц	4,000	3,999	0,069
70 кГц	4,000	4,000	0,089
100 кГц	4,000	4,000	0,147

Таблица 11 – Результаты измерений

<i>f</i>, Гц	<i>V</i>_{вх}, В	<i>V</i>_{вых}, В	<i>K</i>_г, %
1 Гц	2,000	1,999	0,001
10 Гц	2,000	2,000	0,001
50 Гц	2,000	2,000	0,001
100 Гц	2,000	2,000	0,001
200 Гц	2,000	2,000	0,001
300 Гц	2,000	2,000	0,002
400 Гц	2,000	2,000	0,002
500 Гц	2,000	2,000	0,002
1 кГц	2,000	2,000	0,002
5 кГц	2,000	2,000	0,011
10 кГц	2,000	2,000	0,051
50 кГц	2,000	2,000	0,115
70 кГц	2,000	2,000	0,147
100 кГц	2,000	2,000	0,238

На рисунке 20 представлен график коэффициент гармоник при 10; 8; 6; 4; 2 В.

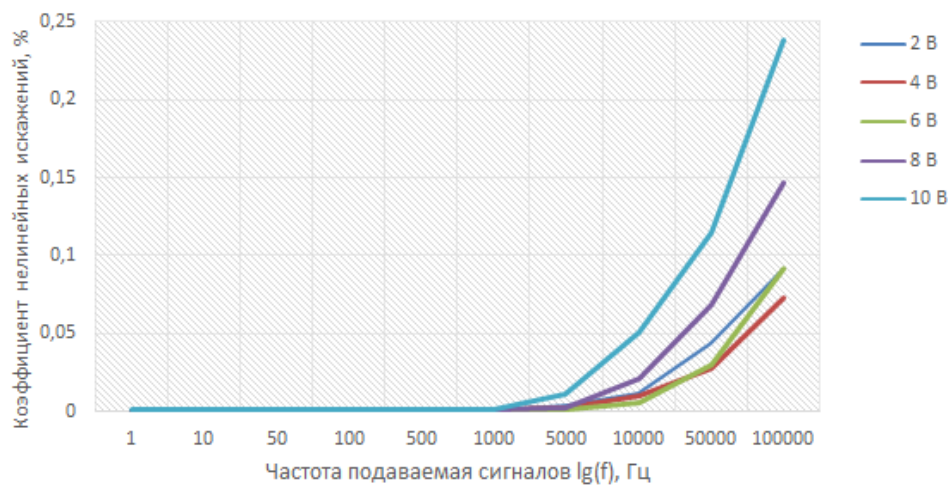


Рисунок 20 – Коэффициент гармоник усилителя

Модель усилителя на импортных элементах дает аналогичные результаты на всех поддиапазонах в пределах коэффициента гармоник реального генератора. На графике видно, что на низких частотах до 10000 Гц коэффициент гармоник равен до 0,051 %, от 10000 до 100000 Гц погрешность возрастает, на 100 кГц коэффициент гармоник составляет 0,238 %.

5.2.2 Погрешность уровня выходного напряжения

По данным из таблиц 7-11 построены графики, представленные на рисунке 21.

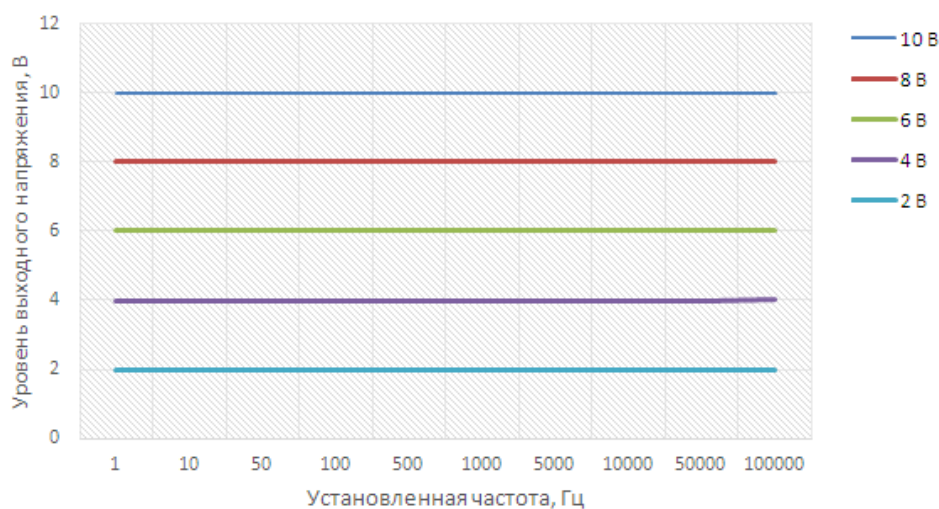


Рисунок 21 – График уровня выходного напряжения усилителя от частоты

Из сравнения двух структур с последовательным и параллельным включением биполярных транзисторов в промежуточном каскаде делается вывод, что структура с последовательным включением является предпочтительной в диапазоне от 10 Гц до 100 кГц.

6 Результаты моделирования колебательного звена генератора

В приложении Б представлена электрическая принципиальная схема колебательного звена, которые включают в себя три последовательно включенных в замкнутый контур инвертор, и два интегратора с параллельно включенными транзисторами. Для того чтобы проверить работоспособность колебательного звена из трех усилителей собрана схема в программе NI Multisim без системы стабилизации, в которой для ограничения амплитуды колебаний использовались стабилитроны.

В следующей главе рассмотрена схема генератора синусоидальных колебаний со схемой стабилизации, которая ограничивает амплитуду на уровне не доходящих до ограничения стабилитронов, т.е. до 10 В среднеквадратического значения. Система с помощью регулирующего элемента стабилизирует амплитуду на уровне 10 В.

6.1 Процесс нарастания амплитуды колебаний

На рисунке 22 показан график возбуждения колебаний на входе и выходе инвертора, в итоге моделировании колебательного звена.

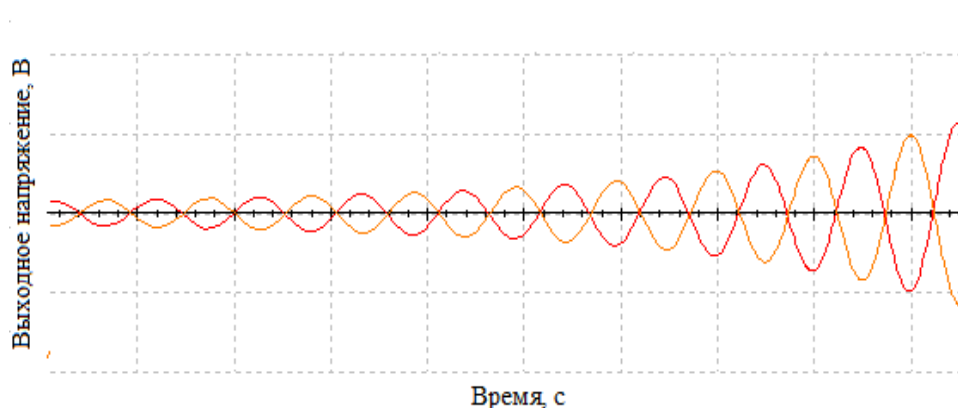


Рисунок 22 – Графики возбуждения колебаний на входе и выходе инвертора

На графике показано нарастание колебаний синусоидальной формы на входе и выходе.

На рисунке 23 и 24 показаны графики, возбуждения колебаний на выходе первого интегратора и выходе второго интегратора.

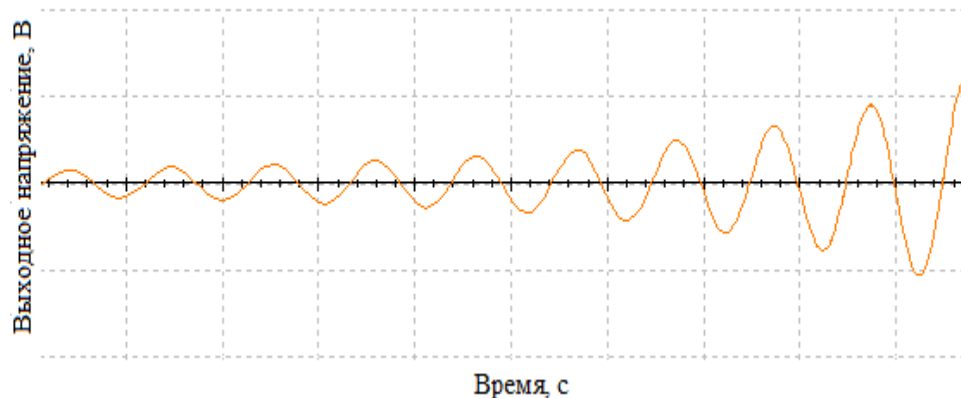


Рисунок 23 – График возбуждения колебаний на выходе первого интегратора

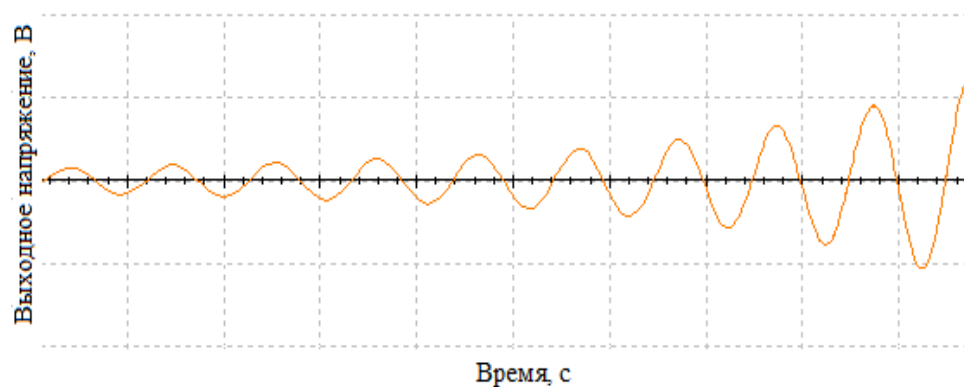


Рисунок 24 – График возбуждения колебаний на выходе второго интегратора

6.2 Процесс установления стационарного режима

На рисунке 25 показаны графики выходного и входного напряжений инвертора в стационарном режиме, после того как прошел переходный процесс, за счет введений стабилитронов, которые ограничивают амплитуду колебаний на конденсаторах интеграторов.

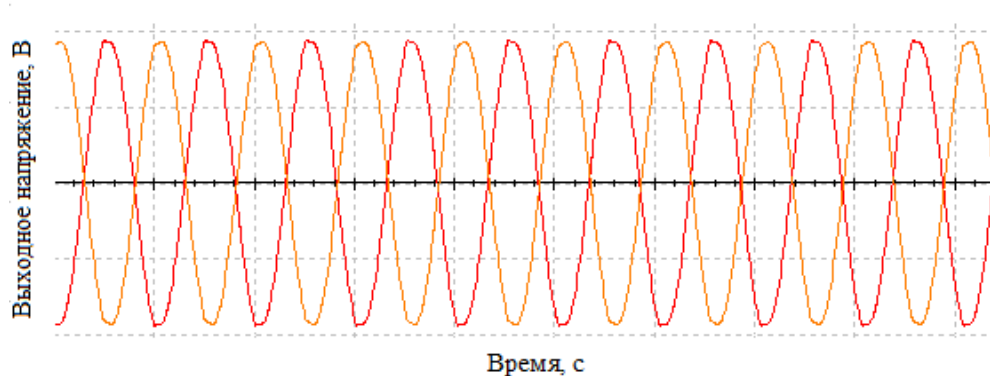


Рисунок 25 – Графики выходного и входного напряжений инвертора в стационарном режиме генератора

На рисунке 26 и 27 показаны графики выходного напряжения первого и второго интегратора, в стационарном режиме.

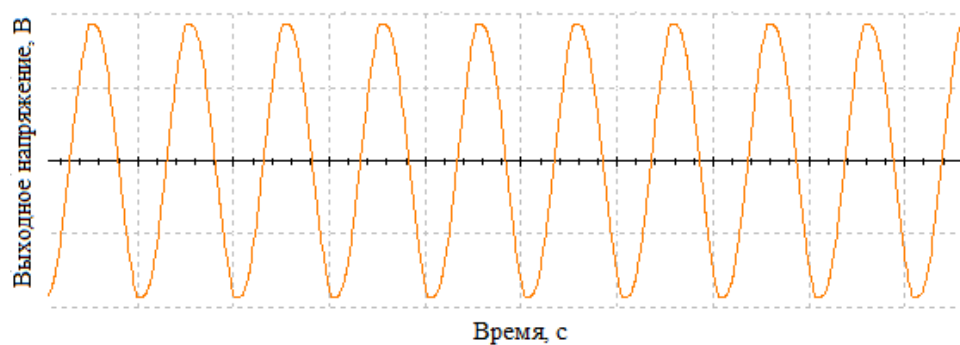


Рисунок 26 – График выходного напряжения первого интегратора в стационарном режиме

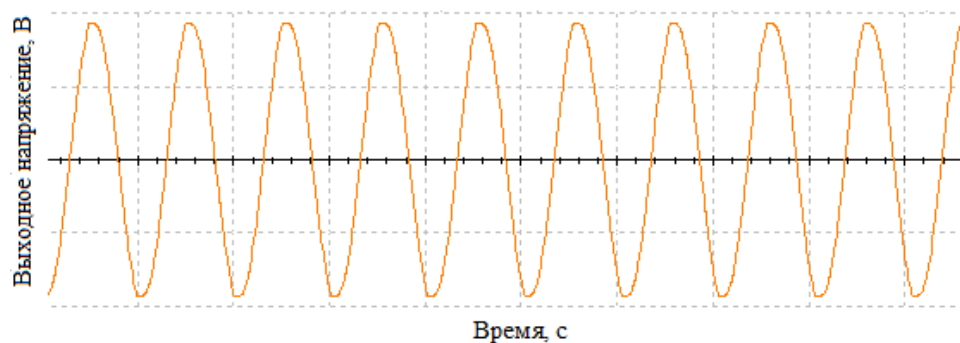


Рисунок 27 – График выходного напряжения второго интегратора в стационарном режиме

7 Результаты моделирования генератора синусоидальных колебаний со схемой стабилизации

В приложении В представлена электрическая принципиальная схема генератора синусоидальных колебаний со схемой параметрической стабилизации, которая содержит три усилителя с регулирующим элементом. В приложении Г представлен регулирующий элемент. Амплитуда колебаний стабилизируется с помощью системы стабилизации содержащий регулирующий элемент и схемы формирователя импульсов. Частота колебаний переключается с помощью конденсаторов в пределах 4 поддиапазонов, а внутри поддиапазона имеются резисторы. Частота меняется с помощью изменения сопротивлений резисторов R_{88} и R_{22} на первом и втором интеграторах.

7.1 Процесс нарастания амплитуды колебаний

На рисунке 28 показан график возбуждения колебаний на входе и выходе инвертора, в итоге моделирования колебательной системы.

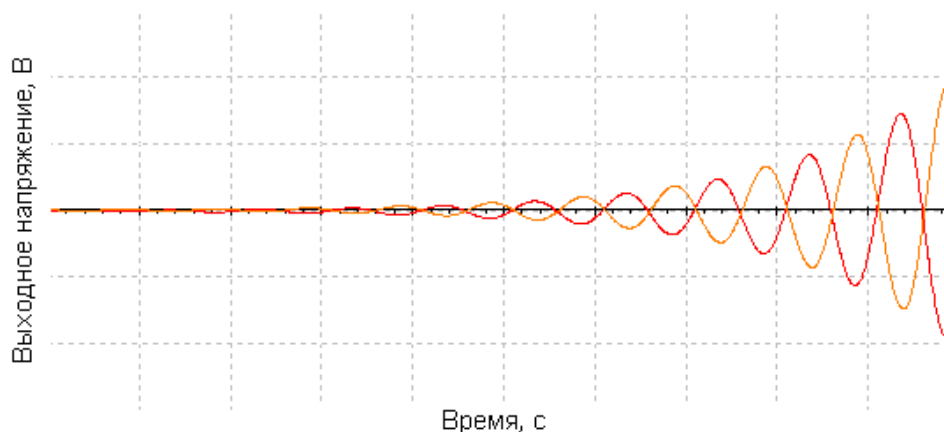


Рисунок 28 – Графики возбуждения колебаний на входе и выходе инвертора

На рисунке 29 показан график, возбуждения колебаний на выходе первого интегратора и выходе с формирователя прямоугольных импульсов.



Рисунок 29 – График возбуждения колебаний на выходе первого интегратора

На рисунке 30 показан график, возбуждения колебаний на выходе второго интегратора.

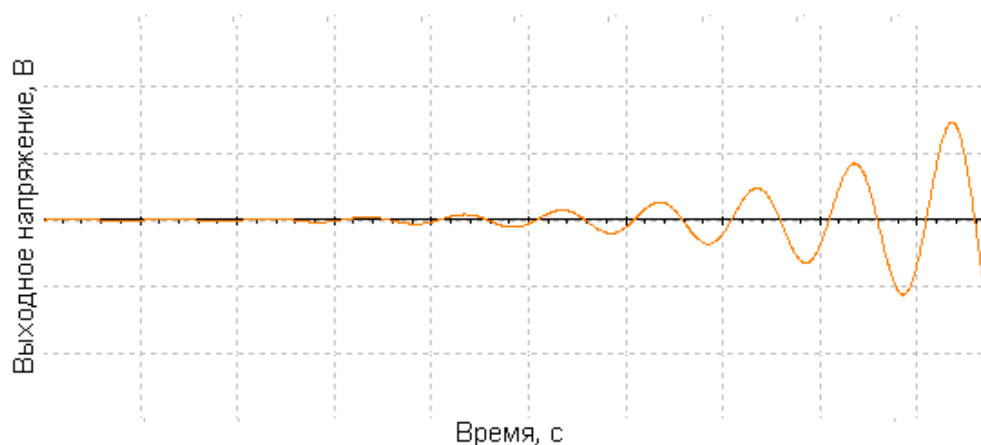


Рисунок 30 – График возбуждения колебаний на выходе второго интегратора

7.2 Процесс установления стационарного режима

На рисунке 31 показаны графики выходного и входного напряжений инвертора в стационарном режиме, после того как прошел переходный процесс, за счет системы стабилизации, которая стабилизирует амплитуду колебаний на уровне 10 В СКЗ.

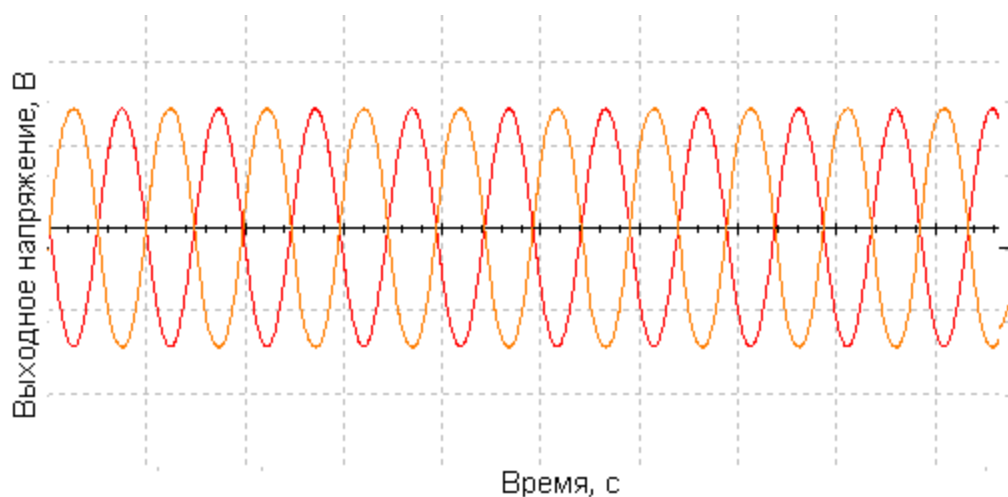


Рисунок 31 – Графики выходного и входного напряжений инвертора в стационарном режиме генератора

На рисунке 32 показан график выходного напряжения первого интегратора и сигнала после формирователя прямоугольных импульсов, который нужен для работы схемы стабилизации, в стационарном режиме.

В колебательной системе возникают колебания и сигналы поступают на регулирующий элемент и формирователь прямоугольных импульсов, в результате осуществляется стабилизация.

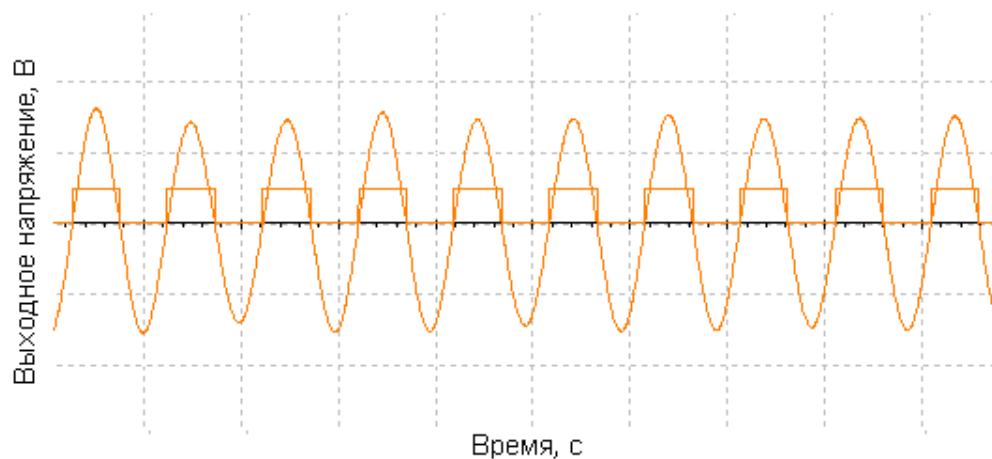


Рисунок 32 – График выходного напряжения первого интегратора в стационарном режиме

На рисунке 33 показан график выходного напряжения второго интегратора в стационарном режиме.

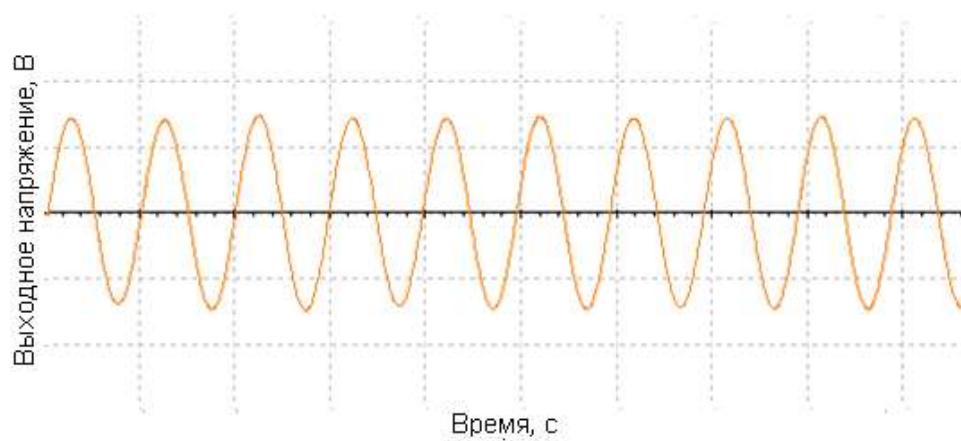


Рисунок 33 – График выходного напряжения второго интегратора в стационарном режиме

8 Социальная ответственность

Международный стандарт ISO 26000:2010 «Руководство по социальной ответственности» [13] 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 [14].

Теоретические исследования и компьютерное моделирование метрологических 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 2.2.4.548-96 [15] данная работа относится к категории работ I_a , т.к. является легкой. У работ данной категории интенсивность энергозатрат составляет до 120 ккал/ч (до 139 Вт).

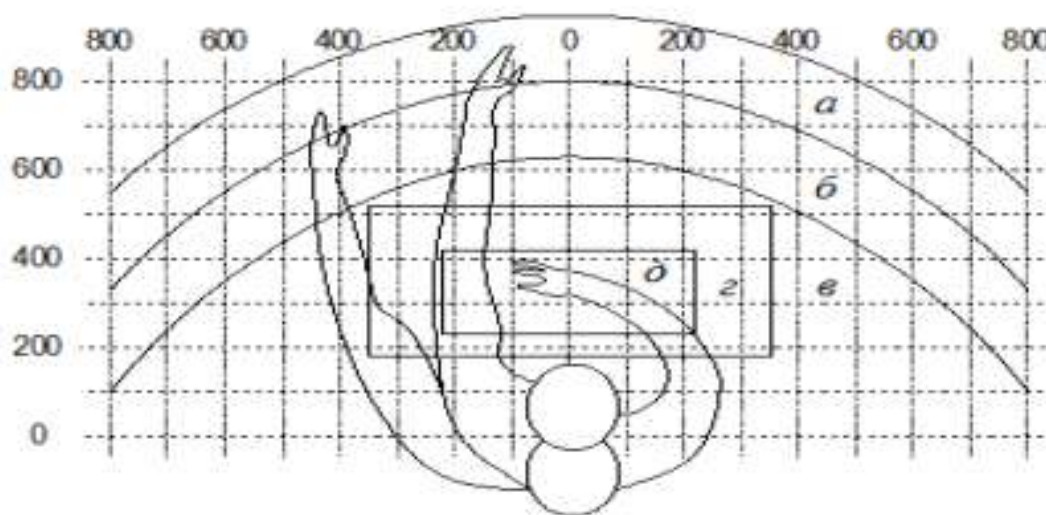
В данном разделе будут рассмотрены вредные факторы, которые негативно влияют на организм человека, такие как повышенная или пониженная температура воздуха рабочей среды, недостаточность освещения рабочей зоны, повышенный уровень электромагнитных излучений и шума, а также опасные факторы, такие как электрический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

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Из трудового кодекса РФ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 следует, что продолжительность рабочей недели не должна превышать 40 часов при пятидневной недели, и 48 часов при шестидневной. Продолжительность работы за компьютером не должна превышать 6 часов за смену и должны

делаться перерывы на (10 – 15) мин через каждые (45 – 60) мин работы. Перерывы сопровождаются проветриванием и гимнастикой для глаз и тела [16, 17].

В процессе работы, все используемые предметы должны быть расположены в зоне досягаемости. Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости приведено на рисунке 34.



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

.Рисунок 34 – Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости

Монитор размещен в зоне а (в центре), системный блок размещен в предусмотренной нише стола, клавиатура – в зоне г/д, «мышь» – в зоне в (справа); документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – в, а в выдвижных ящиках стола – литература, неиспользуемая постоянно. В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [17] изложенные нормы и требования следует соблюдать для повышения комфорта в процесс работы с ПЭВМ.

8.2 Производственная безопасность

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

Вредные и опасные производственные факторы, в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [18], 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 12.

Таблица 12 – Перечень вредных и опасных факторов, создаваемых объектом исследования

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Исследование характеристик	Обработка результатов	
1) Повышенная температура воздуха	+	+	ГОСТ 12.2.061-81; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.2.032-78; ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009; ФЗ-197 СП 52.13330.2016.
2) Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	
3) Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	
4) Умственное перенапряжение	+	+	
5) Монотонность труда	+	-	
6) Поражение электрическим током	+	+	
7) Статическое электричество	+	-	
8) Короткое замыкание	+	-	

Необходимо устанавливать эффективный контроль над соблюдением норм и требований.

8.2.2 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. Основным 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 [19]. 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 ПУЭ [20] и исходя из анализа состояния аудитории, по степени опасности поражения электрическим током ее можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

8.2.3 Анализ вредных факторов

8.2.3.1 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 [14] 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 13.

Таблица 13 – 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 [15], для рабочей зоны параметры микроклимата соответствуют оптимальным значениям. В учебной аудитории водяная система отопления. Для обеспечения естественной вентиляции воздуха во время перерыва аудитория проветривается.

8.2.3.2 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 [19] 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 форточке в аудитории. По субъективным ощущениям на рабочем месте уровень шума не превышает допустимого значения.

8.2.3.3 Освещение

Освещённость – физическая величина, характеризующая освещение поверхности, создаваемое световым потоком, падающим на эту поверхность.

Освещённость измеряется в Люксах (СИ) и обозначают её буквой Е.

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 [21] 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 освещенность рассчитывается по следующей формуле (8):

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot n \cdot \Phi \cdot y}{1 + S \cdot K \cdot z} \quad (8)$$

где N – число светильников, шт;

n – число ламп в светильнике, шт.

Φ – световой поток люминесцентной лампы, Лм (при мощности 11Вт – 750 лм);

y – коэффициент использования светового потока (для исследуемого помещения – 0,8);

S – площадь помещения, 2 м;

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:

$$\Delta E = \frac{E_{\phi} - E_{\text{норм}}}{E_{\text{норм}}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

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

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.

8.2.3.4 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 2.2.1/2.1.1.1200-03 [22].

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.

8.2.3.5 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. Для избегания данного фактора было сделано распределение времени на работу с информацией и выполнением других работ, не связанных с умственными нагрузками.

8.2.3.6 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.

8.2.4 Анализ опасных факторов

8.2.4.1 Поражение электрическим током

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 [23] 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 ПУЭ [20] 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.

8.2.4.2 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.

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

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

8.4.1 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 метрологических 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.

8.4.2 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» [25] 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.

8.4.3 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;
- 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 35.



Рисунок – 35 План эвакуации (2 этаж)

8.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В 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. 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.

9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В 9-ом разделе дипломного проекта предпринята попытка дать оценку экономическому эффекту от модернизации генератора синусоидальных колебаний. Цель представленной магистерской диссертации – улучшение метрологических характеристик с помощью моделирования и совершенствования схемы генератора «ГС-50».

Объектами исследования является метрологические характеристики генератора прецизионного «ГС-50»: погрешность уровня выходного напряжения и коэффициент гармоник. В работе рассматриваются возможные способы улучшения метрологических характеристик генератора «ГС-50». Процесс компьютерного моделирования позволяет ускорить проведение этих исследований, повысить их точность, и существенно снизить затраты на проведение по сравнению с экспериментальными исследованиями. Данные проекта, методы улучшения характеристик генератора, разработанные в ходе работы над темой, могут применяться не только при изучении и совершенствовании характеристик данного генератора, но могут быть использованы при разработке других генераторов.

Таким образом, в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» будут определены:

- структура работ в рамках научного исследования;
- трудоемкость выполнения работ;
- график проведения научного исследования;
- бюджет научно-технического исследования (НТИ).

Также планируется выявить потенциальных потребителей разработки, оценить ее конкурентные возможности, определить сильные и слабые стороны проекта и дать общую оценку его экономической эффективности.

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

9.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для определения потребителей результатов исследования следует рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем наша разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определёнными общими признаками. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определённый товар (услуга). Целевым рынком проекта модифицированного генератора являются люди, заинтересованные в работе данного генератора и в компьютерном моделировании его метрологических характеристик, а также организации, осуществляющие изготовления данных генераторов, с целью создания более качественных генераторов с улучшенными метрологическими характеристиками. Проведенные исследования будут использованы при проектировании модернизированного генератора «ГС-50М».

9.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В настоящее время генераторы электрических сигналов повсеместно применяются в самых различных областях: в промышленности, в науке, в медицине, при проведении лабораторных работ в учебных заведениях. Особое место среди генераторов синусоидальных сигналов занимают генераторы с малым коэффициентом гармоник. Целью данной работы является улучшение метрологических характеристик с помощью моделирования и совершенствования схемы генератора «ГС-50». Процесс компьютерного моделирования позволяет ускорить проведение этих

исследований, повысить их точность, и существенно снизить затраты на проведение таких исследований по сравнению с экспериментальными (натурными) исследованиями.

Для того, чтобы оценить имеющиеся или разрабатываемые аналогичные нашему проекту решения, нами была собрана определенная информация о конкурентных разработках. В том числе:

- технические характеристики разработки;
- ее конкурентоспособность;
- степень завершенности научного исследования
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Поскольку итогом научного исследования должен стать усовершенствованный генератор, с лучшими характеристиками, чем у генератора «ГС-50», для сравнения конкурентоспособности усовершенствованного прибора выбран генератор «ГС-50». Выбранные показатели для оценки конкурентоспособности генератора показаны в таблице 14.

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда	0,13	3	2	0,39	0,26
2. Соответствует требованиям потребителей	0,13	4	3	0,52	0,39
3. Надежность	0,1	4	4	0,4	0,4
4. Безопасность	0,1	4	4	0,4	0,4
5. Предоставляемые возможности	0,15	5	4	0,75	0,6

Продолжение таблицы 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
6. Простота эксплуатации	0,05	5	5	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность	0,19	5	4	0,95	0,76
2. Цена	0,05	5	5	0,25	0,25
3. Уровень проникновения на рынок	0,1	3	3	0,3	0,3
Итого	1	-	-	4,21	3,61

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале:

- 1 - наиболее слабая позиция;
- 5 - наиболее сильная позиция.

Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле (10):

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (10)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Показатель научно-технического уровня для данного проекта составил

$$K=0,13 \cdot 3+0,13 \cdot 4+0,1 \cdot 4+0,1 \cdot 4+0,15 \cdot 5+0,05 \cdot 5+0,19 \cdot 5+0,05 \cdot 5+0,1 \cdot 3=0,39+0,52+0,4+0,4+0,75+0,25+0,95+0,25+0,3=4,21$$

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Основываясь на знаниях о конкурентах, еще раз подчеркнем и обратим внимание на сильные стороны предлагаемой нами разработки:

использование компьютерного моделирования, а не натурный эксперимент. Таким образом, сотрудники ТПУ смогут сократить время работы по данному направлению и увеличить продуктивность. Появление дополнительного спроса на новый продукт покажет его востребованность. Повышается возможность бюджетного финансирования за счет инновационной разработки.

9.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ - востребованный метод анализа и стратегического планирования в менеджменте и маркетинге и представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Он позволяет проанализировать факторы внешней и внутренней среды, которые оказывают влияние на качественные характеристики проекта. Выявляя его сильные и слабые стороны, можно понять, в каких направлениях нужно действовать разработчику, используя сильные стороны, чтобы максимизировать возможности и свести к минимуму угрозы и слабые стороны проекта. С помощью этого метода можно обозначить основные проблемы проекта, определить пути решения и перспективу развития.

В соответствии с методикой осуществления SWOT-анализа, на первом его этапе были определены сильные и слабые стороны представленного проекта. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 15. На втором этапе SWOT-анализа выявлялись соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это может помочь выявить степень необходимости и направлений проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа была построена интерактивная матрица проекта. Каждый фактор помечался либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 16.

Таблица 15 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Использование компьютерного моделирования, а не натурный эксперимент. С2. Использование параметрического анализа. С3. Снижение времени на выявление	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Знание программного обеспечения. Сл2. Интерфейс программы Multisim на английском языке.
Возможности: В1. Использование другого ПО В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт		
Угрозы: У1. Повышение требований потребителей продукта		

Таблица 16 – Интерактивная матрица SWOT-анализа

	С1	С2	С3	Сл1	Сл2
В1	+	+	+	+	+
В2	+	+	+	+	+
У1	+	-	-	+	-

В результате третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 17.

Таблица 17 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны: С1. Использование компьютерного моделирования, а не натурный эксперимент. С2. Использование параметрического анализа. С3. Снижение времени на выявление метрологических характеристик	Слабые стороны: Сл1. Знание программного обеспечения. Сл2. Интерфейс программы Multisim на английском языке.
Возможности: В1. Использование другого ПО В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт	В1В2С1С2С3 – повышение спроса и количества клиентов	В1Сл1Сл2 – применение ПО меньшей стоимости
Угрозы: У1. Повышение требований потребителей продукта	У1С1 – повышение надежности продукта	У1Сл1 – устранение недостатков продукта

9.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

В данном разделе работы мы предприняли попытку оценить степень готовности предлагаемой разработки к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого была заполнена специальная форма, приведенная в таблице 18.

Таблица 18 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	3	2
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	5
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	2
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	3
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
	ИТОГО БАЛЛОВ	38	46

В ней содержатся наиболее значимые с нашей точки зрения показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации

и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень этих показателей и выставленные нами баллы приведены в таблице 18.

Шкала оценок по применяемой методике находится в диапазоне от 1 до 5 баллов, где 1 низшая оценка, 5 – соответственно, высшая.

Таким образом, очевидно, что уровень знаний разработчика для коммерциализации разработки выше среднего, а перспективность разработки на среднем уровне.

9.2 Инициация проекта

9.2.1 Цели и результат проекта

В данном разделе формулируется Устав проекта, определяются заинтересованные в проекте стороны, определяются его цели и результаты (таблицы 19, 20).

Таблица 19– Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Научный руководитель	Выполненная работа магистранта
Магистрант	Защита магистерской диссертации
ТПУ	Разработка усовершенствованного генератора на кафедре

В таблице 20 представлены цели проекта и результаты, при которых цели считаются достигнутыми.

Таблица 20 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Улучшение метрологических характеристик с помощью моделирования и совершенствования схемы генератора ГС-50.
Ожидаемые результаты:	Известны и намечены пути усовершенствования генератора
Критерии приемки результата проекта:	Усовершенствованный генератор обладает лучшими характеристиками
Требования к результату проекта:	Требование:
	Уменьшить уровень нелинейных искажений
	Уменьшить погрешность установки частоты
	Уменьшить неравномерность выходного напряжения

9.3 Планирование управления научно-техническим проектом

9.3.1 Структура работ проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований была создана рабочая группа, в которую вошли научный руководитель и непосредственно студент.

В данном подразделе был создан перечень работ и отдельных этапов в рамках проведения исследования, а также приведены исполнители по каждому виду работ, представленный в таблице 21.

Таблица 21 – Перечень работ, этапов и распределение исполнителей

№	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Постановка целей и задач	Руководитель, магистрант
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, магистрант
3	Подбор и изучение материалов	Магистрант
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, магистрант
5	Обсуждение литературы	Руководитель, магистрант
6	Проведение эксперимента	Магистрант
7	Сопоставление результатов	Магистрант
8	Расшифровка данных и сравнение с имеющимися показателями	Магистрант
9	Оформление расчетно-пояснительной записки	Магистрант
10	Оформление графического материала	Магистрант
11	Подведение итогов	Руководитель, магистрант

9.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Определение трудоемкости выполнения работ для каждого исполнителя является важным моментом, т.к. трудовые затраты чаще всего являются основной частью стоимости проведенного исследования.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожі}$ рассчитывается по формуле (11):

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}i} + 2 \cdot t_{\text{max}i}}{5}, \quad (11)$$

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

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из полученных значений $t_{\text{ож}i}$, рассчитывается продолжительность каждого вида работы в рабочих днях T_{pi} по формуле (12):

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (12)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочих дней;

$t_{\text{ож}i}$ – 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 22.

9.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

В качестве графика проведения научного исследования использовалась диаграмма Ганта, т.к. она является наиболее наглядным и удобным способом построения ленточного графика.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой (13):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (13)$$

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

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

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

Коэффициент календарности в свою очередь рассчитывается по формуле (14):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} \cdot T_{\text{вых}} \cdot T_{\text{пр}}}, \quad (14)$$

где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

Таким образом, получили значение $k_{\text{кал}} = 1,48$. Все рассчитанные значения сводим в таблицу 22.

Таблица 22 – Временные показатели проведения научного исследования

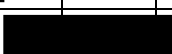
Название работы	Ис-пол-ните-ли	Трудоемкость работ						Длительнос-ть работ в рабочих днях T_{pi} , раб.дн.		Длительност-ь работ в календарны-х днях T_{ki} , кал.дн.	
		t_{min} , чел.дн.		t_{max} , чел.дн.		t_{oji} , чел.дн					
		НР	М	НР	М	НР	М	НР	М	НР	М
Постановка целей и задач	НР, М	1	1	3	3	1,8	1,8	1,8	1,8	3	3
Составление и утверждение технического задания	НР, М	4	4	6	6	4,8	4,8	4,8	4,8	8	8
Подбор и изучение материала	М	5	10	10	20	7	14	7	14	11	21
Календарное планирование работ по теме	НР, М	2	2	4	4	2,8	2,8	1,4	1,4	3	3
Обсуждение литературы	НР, М	10	10	15	13	12	11,2	6	5,6	9	9
Проведение эксперимента	НР, М	10	10	15	17	12	12,8	12	12,8	18	19
Расшифровка данных и сравнение с имеющимися показателями	М	8	10	12	12	9,6	10,8	9,6	10,8	15	16

*Продолжение таблицы 22 – Временные показатели проведения
научного исследования*

Название работы	Ис-полните-ли	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi} , раб.дн.		Длительность работ в календарных днях T_{ki} , кал.дн.	
		t_{min} , чел.дн.		t_{max} , чел.дн.		$t_{ож}$, чел.дн					
		НР	М	НР	М	НР	М	НР	М	НР	М
Оформление расчетно-пояснительной записки	М	5	10	10	20	7	14	7	14	11	21
Оформление графического материала	М	10	10	15	17	12	12,8	12	12,8	18	19
Подведение итогов	НР, М	10	10	15	13	12	11,2	6	5,6	9	9
Итого						81	96,2	67,6	83,6	105	128

На основании таблицы 23 был построен календарный план график.

Таблица 23 – Календарный план график проведения НИР по теме

№ работы	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ										
			Февраль		Март			Апрель			Май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	НР, М	6											
2	НР, М	3											
3	М	8											
4	НР, М	21											
5	НР, М	3											
6	НР, М	9											
7	М	19											
8	М	16											
9	М	21											
10	НР, М	9											
Итого		128											

 - руководитель;  - магистрант

9.4 Бюджет научно-технического исследования

Планируя бюджет научно-технического исследования, необходимо обеспечить достоверное и полное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением. Для определения бюджета НТИ в рамках выполнения дипломного проекта с учетом выбранного направления исследования и исполнителей работы были рассчитаны следующие виды затрат:

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

9.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В рамках расчета материальных затрат НТИ должны быть учтены:

- приобретаемые сырье и материалы, необходимые для создания продукции;
- покупаемые материалы, необходимые для поддержания нормального технологического процесса;
- сырье, материалы, различные комплектующие изделия, применяемые в качестве объектов исследования;
- затраты на канцелярские принадлежности.

Т.к. исследование в рамках выполнения магистерской диссертации включает в себя лишь компьютерное моделирование, то оно предусматривает затраты лишь на канцелярские принадлежности. А именно, в ходе выполнения работы была приобретена пачка бумаги формата А4 и заправлен картридж для принтера.

Стоимость материалов определяется методом калькулирования основанном на прямом определении затрат по формуле (15):

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх i}, \quad (15)$$

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

$N_{расх i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Результаты расчетов материальных затрат представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Материальные затраты

Наименование материалов	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы Z_m , руб.	
Заправка картриджа	шт.	1	1	250	250	250	250
Пачка бумаги формата А4	шт.	1	1	200	200	200	200
Итого				250	250	250	250

Расходы на материалы составили $C_{\text{мат}} = 450$. В ходе научно-технического исследования у приобретенных видов продукции не было остатков, следовательно, не нужно исключать стоимость возвратных отходов.

9.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя

из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Поскольку в рабочую группу входят магистрант и научный руководитель, то, соответственно, рассчитывались расходы по их заработной плате.

Расчет оплаты труда производится на основе отраслевой системы оплаты труда в ТПУ. Так как руководитель входит в профессорско-преподавательский состав (профессор, доктор наук), его месячная зарплата составляет 42448,47 руб. Зарплата магистранта взята из группы рабочих первого уровня, квалификационный уровень 2, и составляет 8036,60 руб.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату по формуле (16):

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (16)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя или студента определяется по формуле (17):

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (17)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата исполнителя;

T_p – продолжительность работ, выполняемых исполнителем, раб. дн.;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата исполнителя, руб.

Среднедневная заработная плата определяется по формуле (18):

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (18)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад исполнителя, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

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

Таблица 25 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	НР	М
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	72
Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Действительный годовой фонд рабочего времени	198	176

Месячный должностной оклад исполнителя определяется по формуле (19):

$$З_m = З_{tc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (19)$$

где $З_{tc}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от $З_{tc}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15÷20 % от $З_{tc}$). Принимаем $k_d = 0,3$;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Дополнительная заработная плата является доплатой, учитывающей условия труда, отклоняющейся от нормальной, а также выплаты, которые связаны с обеспечением компенсаций, гарантий. Величина дополнительной заработной платы определяется Трудовым кодексом РФ.

Расчет дополнительной заработной платы осуществляется по формуле (20):

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (20)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, 0,15.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет основной заработной платы

Испол- нители	З _{тс} руб	k _{инт}	З _м , тыс.руб.	З _{дн} , раб.дн.	З _{доп} тыс.руб.	Т _р , раб.дн.	З _{осн} , тыс.руб.
НР	42,4	2,08	88,29	4,9	16,17	22	107,8
М	8	1,3	16,7	1,06	5,088	32	33,92
	Итого З _{осн}						141,72

9.4.3 Отчисления на социальные нужды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле (21):

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (21)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб
Руководитель	107,8
Магистрант	33,92
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30
Итого	42,516

9.4.4 Накладные расходы

В накладные расходы должны быть включены те затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: оплата

электроэнергии, услуг связи, размножение материалов, печать и ксерокопирование материалов и т.д.

Накладные расходы определяются по формуле (22):

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (22)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, 16 %.

Получили следующие значения:

$$З_{\text{накл(НР)}} = 19,80376;$$

$$З_{\text{накл(С)}} = 6,24704.$$

9.4.5 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования

Полученная в результате величина затрат на научно-исследовательскую работу является базой для формирования бюджета затрат на проект. Определение бюджета затрат на НТИ приведен в таблице 28.

Таблица 28 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Условное обозначение	Сумма, руб.	
		НР	М
Материальные затраты НТИ	$C_{\text{мат}}$	500	500
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	$З_{\text{зп}}$	107,8	33,92
Отчисления во внебюджетные фонды	$З_{\text{внеб}}$	32,34	10,176
Накладные расходы	$З_{\text{нак}}$	19,80	6,24704.
Бюджет затрат НТИ		659,94	550,34

Материалов в магистерской диссертации используется минимально. Основной вклад в научное исследование несут накладные расходы и основная заработная плата.

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

9.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле (23):

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (23)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется по формуле (24):

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (24)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Результаты расчета интегрального показателя ресурсоэффективности представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования		
	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Неравномерность напряжения	0,13	3	3
2. Погрешность установки частоты	0,13	3	4
3. Удобство управления	0,1	4	4
4. Доступность интерфейса	0,1	4	4
5. Коэффициент гармоник	0,15	3	4
6. Размеры	0,05	5	5
7. Конкурентоспособность	0,19	3	4
8. Цена	0,05	5	3
9. Уровень проникновения на рынок	0,1	3	3
ИТОГО	1		

$$I_{p1} = 3 \cdot 0,13 + 3 \cdot 0,13 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,19 + 5 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 = 3,1;$$

$$I_{p2} = 3 \cdot 0,13 + 4 \cdot 0,13 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,19 + 3 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 = 3,77.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (25):

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{p1}}{I_{\text{финр}}}. \quad (25)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.таблица 30) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле (26):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}}. \quad (26)$$

Таблица 30 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,22	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,1	3,77
3	Интегральный показатель эффективности	14,09	3,77
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,39	1,47

В результате работы по данному разделу было произведено сравнение значений интегральных показателей эффективности, который позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи. Приходим к выводу, что исполнение № 2 является лучше исполнения 1.

Следует сделать вывод, что исследуемый метод экономически эффективен и смело можно продолжать работы в данной сфере.

Заключение

В результате работы над магистерской диссертацией на тему Улучшение метрологических характеристик генератора «ГС-50» была освоена и практически применена для моделирования программа NI Multisim. Разработана схема генератора «ГС-50», которая содержит около 300 элементов.

На первом этапе был спроектирован усилитель с малыми нелинейными искажениями. Выявлено, что искажения усилителя зависят от режимов работы биполярных транзисторов, структуры усилителя и глубины отрицательной обратной связи.

В процессе работы были предложены линейные режимы работы транзисторов, выбрана схемы двухканальных структур усилителей, введена глубокая отрицательная обратная связь.

Разработана высоколинейная система двухконтурной стабилизации амплитуды генератора «ГС-50». Первый контур стабилизирует амплитуду колебаний, а второй контур стабилизирует средневыпрямленное значение переменного напряжения. Первый контур системы стабилизации содержащий новый регулирующий элемент, схему формирования прямоугольных импульсов для работы детектора амплитуды. Второй контур содержит двухполупериодный выпрямитель, сигнал с выхода которого сравнивает с опорным постоянным напряжением, и изменяет амплитуду выходного напряжения генератора.

Двухконтурная система стабилизации позволяет установить среднеквадратическое значение выходного напряжения на уровне 10 В, и стабилизировать это напряжение при изменении внешних условий.

В результате работы выходное напряжение на необходимом уровне, с максимальной стабильностью амплитуды выходного напряжения и минимальными нелинейными искажениями. Выходное напряжение устанавливается на необходимом уровне, коэффициент нелинейных искажений в диапазоне частот от 10 Гц до 100 кГц, менее 0,01 % при частоте

10 кГц и не более 0,2% при частоте 100 кГц при уровне выходного напряжения 10 В среднеквадратического значения.

Список публикаций студента

Шишмарева А. П. Проектирование усилителей с предельно малыми нелинейными искажениями / А. П. Шишмарева, Ю. К. Рыбин // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 3-7 декабря 2018 г., г. Томск. – Томск : Изд-во ТПУ, 2018. – [С. 124-125].

Список использованных источников

- 1 Дьяконов В.П. Генерация и генераторы сигналов / В.П. Дьяконов. – М. : ДМК Пресс, 2009. – 384 с.
- 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 Компьютерное моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://inf1.info/modeling/>, свободный. – Загл. с экрана.
- 6 Библиотека электронная [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dissers.ru/books/1/4396-4.php>, свободный. – Загл. с экрана.
- 7 Mathcad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Mathcad>, свободный. – Загл. с экрана.
- 8 Multisim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/National_Instruments, свободный. – Загл. с экрана.
- 9 ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – Переиздание; введ. 10. 04.2018. – М.: Изд-во стандартов, 2018. - 27 с.
- 10 Боде Г.В. Теория цепей и проектирование усилителей с обратной связью / Г.В. Боде. – М.: Москва, 1948. – 643 с.
- 11 Достал И. Операционные усилители. М., «Мир», 1982, – 512 стр.
- 12 Analog devices 60 VHz, 2000V/mcs Monolithic Op Amp AD844.
- 13 ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности. – М.: Стандартинформ, 2012. – 61 с.
- 14 ISO 26000 //ru.wikipedia.org Википедия. Свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ISO_26000 - Загл. с экрана.

- 15 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 20 с.
- 16 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.
- 17 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
- 18 ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2016. – 16 с.
- 19 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.
- 20 Правила устройства электроустановок: ПУЭ 7. Издание 7. – М.: Госэнергонадзором Минэнерго России, 2003.
- 21 Свод правил: СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. – М.: Минстрой России, 2016. – 108 с.
- 22 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.
- 23 ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2018. – 27 с.
- 24 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.
- 25 ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1981. – 10 с.

26 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.

Приложение А

(обязательное)

Раздел 1

Signal generators and their main metrological characteristics

Раздел 2

Generator GS-50 and its main metrological characteristics

Раздел 6

Simulation data of the oscillating element of the generator

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Шишмарева Анна Павловна		

Консультант проф. кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Рыбин Юрий Константинович	д.т.н., с.н.с.		

Консультант – лингвист кафедры ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Диденко Анастасия Владимировна	к.ф.н., доцент		

1 Signal generators and their main metrological characteristics

1.1 Signal generators

The generator of signals works in full compliance with the name. The generator generates the signals, applied as the influencing signals during measurements of parameters of electronic devices. Sometimes the research of schemes requires an input signal with the amplitude, changing in time. Such signal can be not sinusoidal, but the bipolar signal of the alternating current or it can vacillate as respects certain level of constant voltage. Often the waveform represents a sinusoid or other periodic function, a digital impulse, the binary sequence or derived form.

The generator of signals can give signals with the set parameters and characteristics or to add the known distortions of the necessary value and type to a signal. It is advantage of generators of signals as it is possible to create signals with the set distortions when it is necessary and where it is 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 shows typical circuit of an RC-generator.

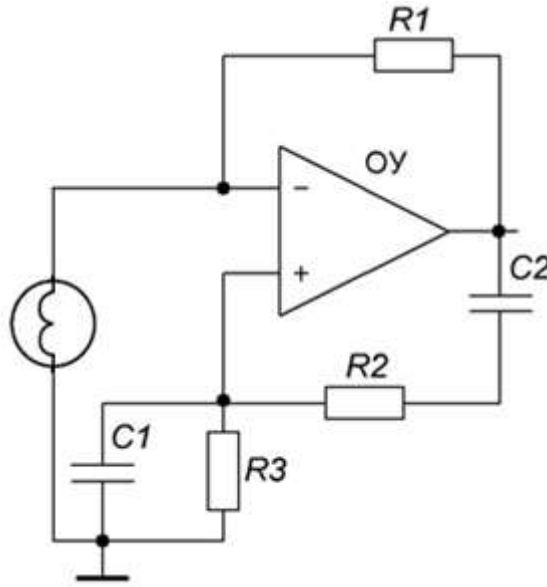


Figure 1 – Typical circuit of an RC-generator on an operational amplifier

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):

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

where $R_1=R_2=R$ – resistance, Ом;

$C_1=C_2=C$ – capacity of condenser, F.

Attenuation at a given frequency 0 f is calculated by the formula (2):

$$f_0 = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{R_1}{R_2}\right) + \left(\frac{C_1}{C_2}\right)\right)}, \quad (2)$$

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 [1].

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 2, 3 shows graphics amplitude-frequency characteristic and phase – frequency characteristic circuit.

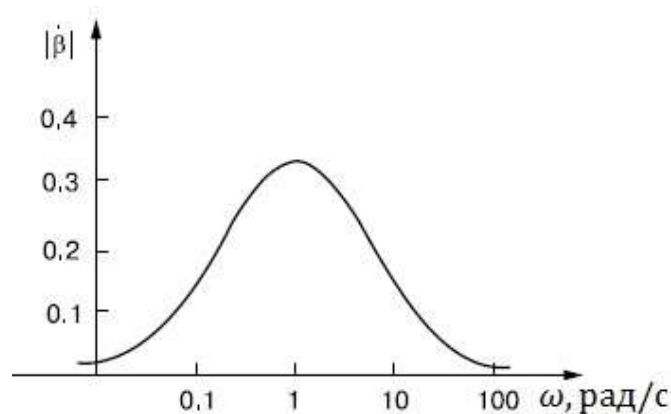


Figure 2 – Amplitude-frequency characteristic of the electoral chain

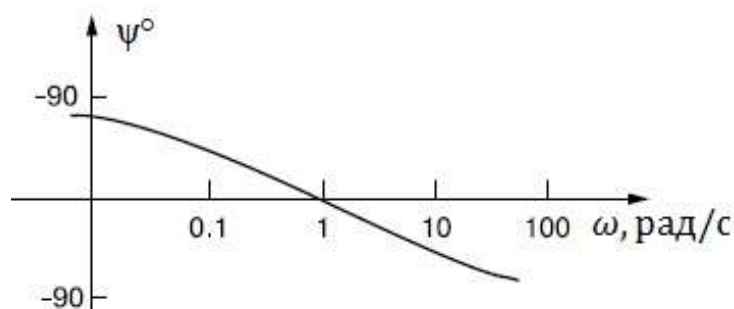


Figure 3 – Phase – frequency characteristic of the selective circuit

The figures show that ACH and FCH electoral circuit in the generator are quite flat. So the frequency stability cannot be high. This is inherent in almost all

known circuits RC -sinusoidal voltage generators. The main advantage of these generators is absence of the inductors, which are difficult to manufacture as well as a wide frequency range when changing the parameters of R and C elements [1].

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 the bipolar or the 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 4.

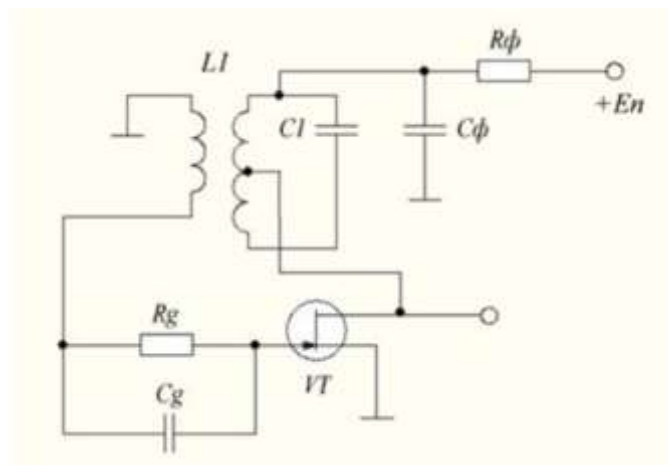


Figure 4 – LC -generators of the field-effect transistor

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 5.

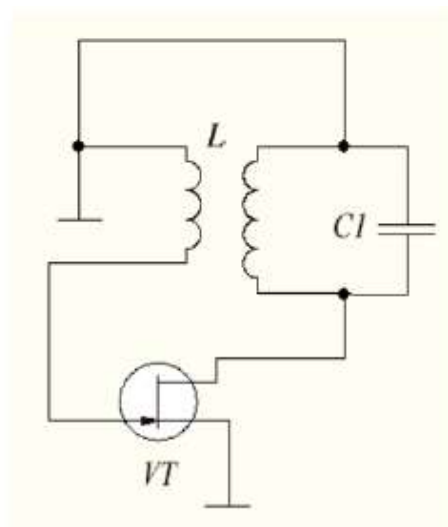


Figure 5 – More simplified scheme of the LC -generators

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.

1.6 Metrological characteristics of the signal generator «GS-50»

The signal generator precision «GS-50» provides the installation of frequency of a signal output in the frequency range from 10 Hz to 100 kHz [2].

Installation of frequency is carried out discretely on four subranges:

- 10 – 100 Hz through 1 Hz – the 1st subrange;
- 100 – 1000 Hz through 10 Hz – the 2nd subrange;
- 1000 – 10000 Hz through 100 Hz – the 3rd subrange;

- 10000 – 100000 Hz through 1000 Hz – the 4th subrange [2].

The intrinsic error of discrete installation of frequency does not exceed:

- $\pm 1\%$ in the frequency range of 10 Hz to 10 kHz on the 1st, 2nd and 3rd subranges;

- $\pm 1.5\%$ in the frequency range from 10 to 100 kHz on the 4th subrange.

Irregularity of level of voltage output at the exit "00" in frequency range as respects the level of voltage output at a frequency of 1 kHz does not exceed:

- $\pm 1.0\%$ in the frequency range from 10 to 20 Hz;
- $\pm 0.5\%$ in the frequency range of 20 Hz to 100 kHz.

The harmonic content of a signal output does not exceed:

- 0.0003% in the frequency range from 10 to 20 Hz (the 1st subrange);
- 0.0002% in the frequency range of 20 Hz to 10 kHz (the 1st, 2nd, 3rd subranges);
- 0.0003% in the frequency range from 10 to 20 kHz (the 4th subrange);
- 0.0003% in the frequency range from 10 to 20 kHz (the 4th subrange).

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 ION_1 , 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 ION_2 reference voltage source. The straightened negative polarity signal from the *MSV* output through the resistor R_9 is fed to the input of the *INT* integrator and compared with the positive voltage of the ION_2 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.

The attenuator *Am* is designed for step attenuation of the output voltage of the device. For the prevention, the oscillation stop frequency manipulation, prescribed intertitles start-up device, inclusive a comparator *KOMPAR* and astable multivibrator *AMV*.

3.2 The main functional components of the device

The main functional units of the device are:

- the master generator;
- the internal circuit to stabilize the amplitude (which includes: the operational amplifier, the shaper rectangular pulses, electronic keys for field-effect transistors, storage amplifier, the control element with the shaper rectangular pulses);
- the external amplitude stabilization circuit (which includes: a converter of medium-straightened values, an integrator and an reference voltage source);
- attenuator;

– fast launch device.

3.2.1 The master generator

The master generator consists of the inverting amplifier (D_5 , $VT_1 - VT_7$) and two integrating amplifiers D_6 , $VT_8 - VT_{14}$ и D_7 , $VT_{15} - VT_{21}$), each of which is executed according to the two-channel scheme. Narrow-band channels of the inverting and integrating amplifiers are executed on chips ($D_5 - D_7$), broadband – on source VT_1 , VT_8 and VT_{15} repeaters, respectively. Summing signals of narrow-band and broadband channels happens on the bases of transistors VT_2 and VT_3 , VT_9 and VT_{10} , VT_{16} and VT_{17} the representing cascades with mutually dynamic load. The diodes ($VD_8 - VD_{11}$), ($VD_{16} - VD_{19}$), ($VD_{24} - VD_{27}$) and variable resistors R_{56} , R_{99} , R_{143} are intended for installation of initial shift on bases of transistors VT_4 and VT_5 , VT_{11} and VT_{12} , VT_{18} and VT_{19} , respectively, and a standing current of the output cascades of the amplifiers, working in class A, and executed on transistors of structure of VT_6 and VT_7 , VT_{13} and VT_4 , VT_{20} and VT_{21} .

Stability of amplifiers is provided with elements C_{16} , C_{17} , C_{27} , R_{84} , C_{37} , R_{97} , C_{44} , C_{47} , R_{128} , C_{53} , R_{140} , C_{60} and C_{61} . Variable resistor R_{36} serves for adjustment of the mode at the chip exit D_7 ..

The diodes VD_2 and VD_3 , VD_{12} and VD_{13} , VD_{20} and VD_{21} serve for overload protection on an input of chips of amplifiers (D_5 , – D_7), respectively. The service band the generator of 10 Hz-100 kHz is blocked by four subranges.

Switching of subranges is carried out by simultaneous switching of C_{30} , C_{31} , C_{34} , C_{48} , C_{50} , C_{51} , condensers, in the integrating conditions. Frequency change of fluctuations within subrange is made by simultaneous switching of ($R_{65} - R_{83}$) and ($R_{109} - R_{127}$) of integrating amplifiers.

6 Simulation data of the oscillating element of the generator

The electric circuit diagram of an oscillatory link is presented in the appendix B, which includes three inverters connected in series in a closed loop and two integrators with parallel-connected transistors. In order to test the operability of the oscillatory component of the three amplifiers, a circuit is collected in the NI Multisim program without a stabilization system, in which diodes were used to limit the amplitude of oscillations.

In the next chapter, a generator of sinusoidal oscillations with a stabilization scheme is considered which limits the amplitude to the level that does not go as far as limiting diodes, i.e. up to 10 V rms. The system with a regulating element stabilizes the amplitude at 10 V.

6.1 Transient response amplitude of the oscillation

Figure 22 shows the diagrams of excitation oscillations in input and in output of the inverter, as a result modeling the oscillating element of the generator.

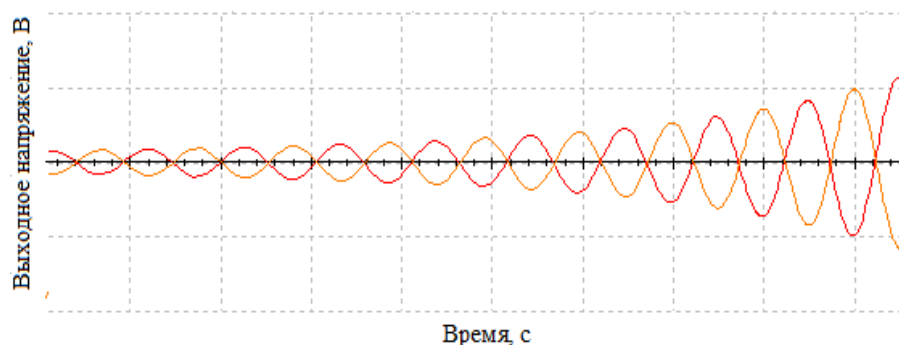


Figure 22 – The diagram of excitation oscillations in input and in output of the inverter.

The diagram shows the growth of oscillations the sinusoidal form in input and in output.

Figure 23 and 24 show the diagrams of excitation oscillations in output of the first stage integrator and in output of the second stage integrator.

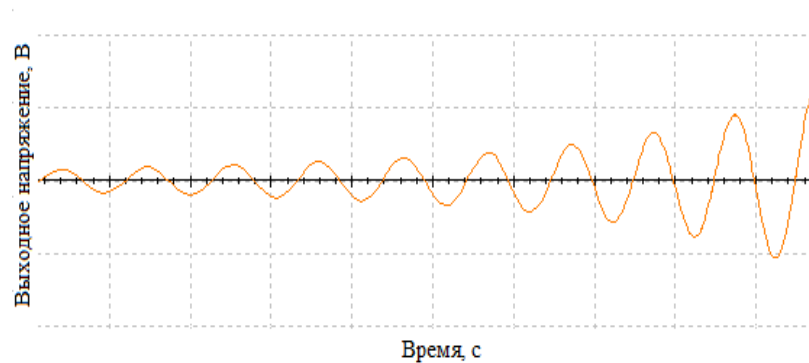


Figure 23 – The diagram of excitation oscillations in output of the first stage integrator

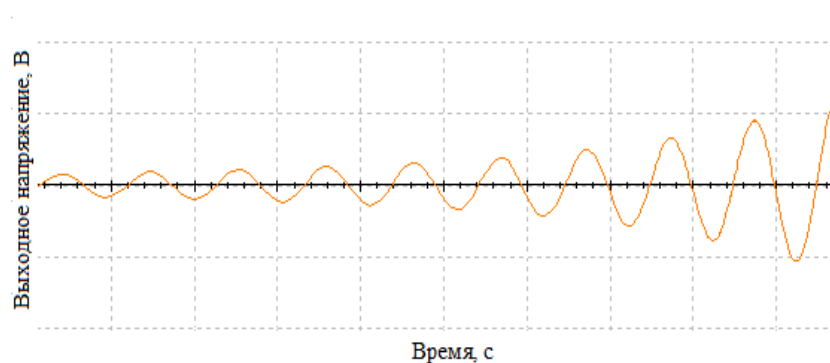


Figure 24 – The diagram of excitation oscillations in output of the second stage integrator.

6.2 Process of establishment of the stationary mode

Figure 25 shows the diagram in output and input voltage of the inverter in the stationary mode at the generator, after the transition process, due to the introduction of diodes that limit the amplitude of oscillations on the capacitors of the integrators.

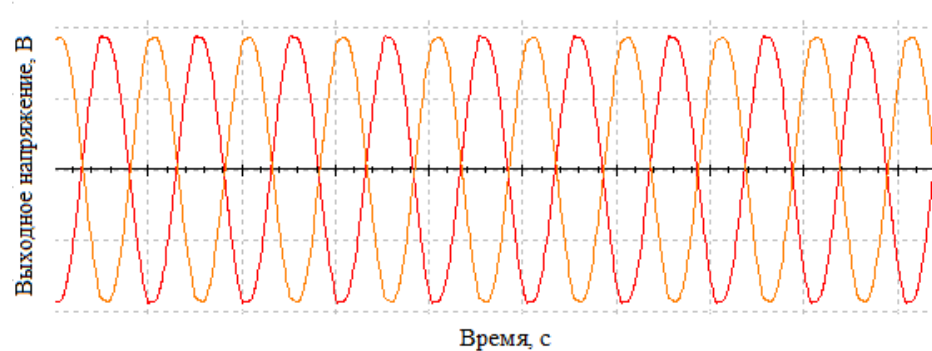


Figure 25 – The diagram in output and input voltage of the inverter in the stationary mode at the generator.

Figure 26 and 27 show the diagrams in output voltage of the first and second integrator, in the stationary mode at the generator.

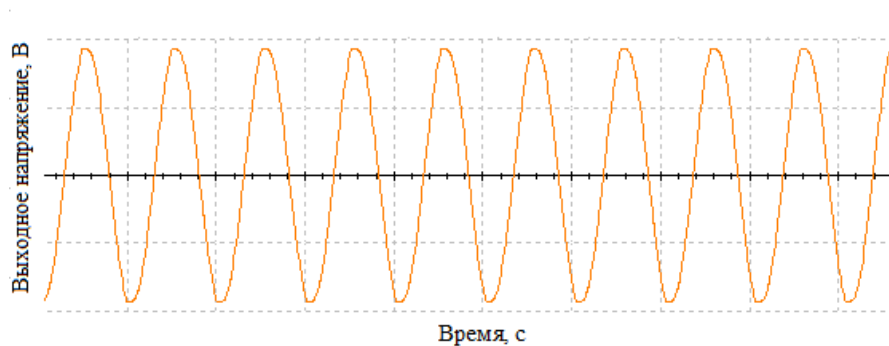


Figure 26 – The diagram in output voltage of the first integrator in the stationary mode

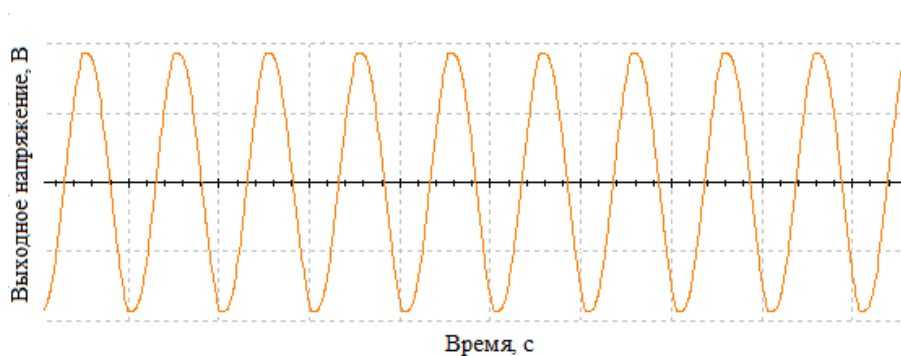
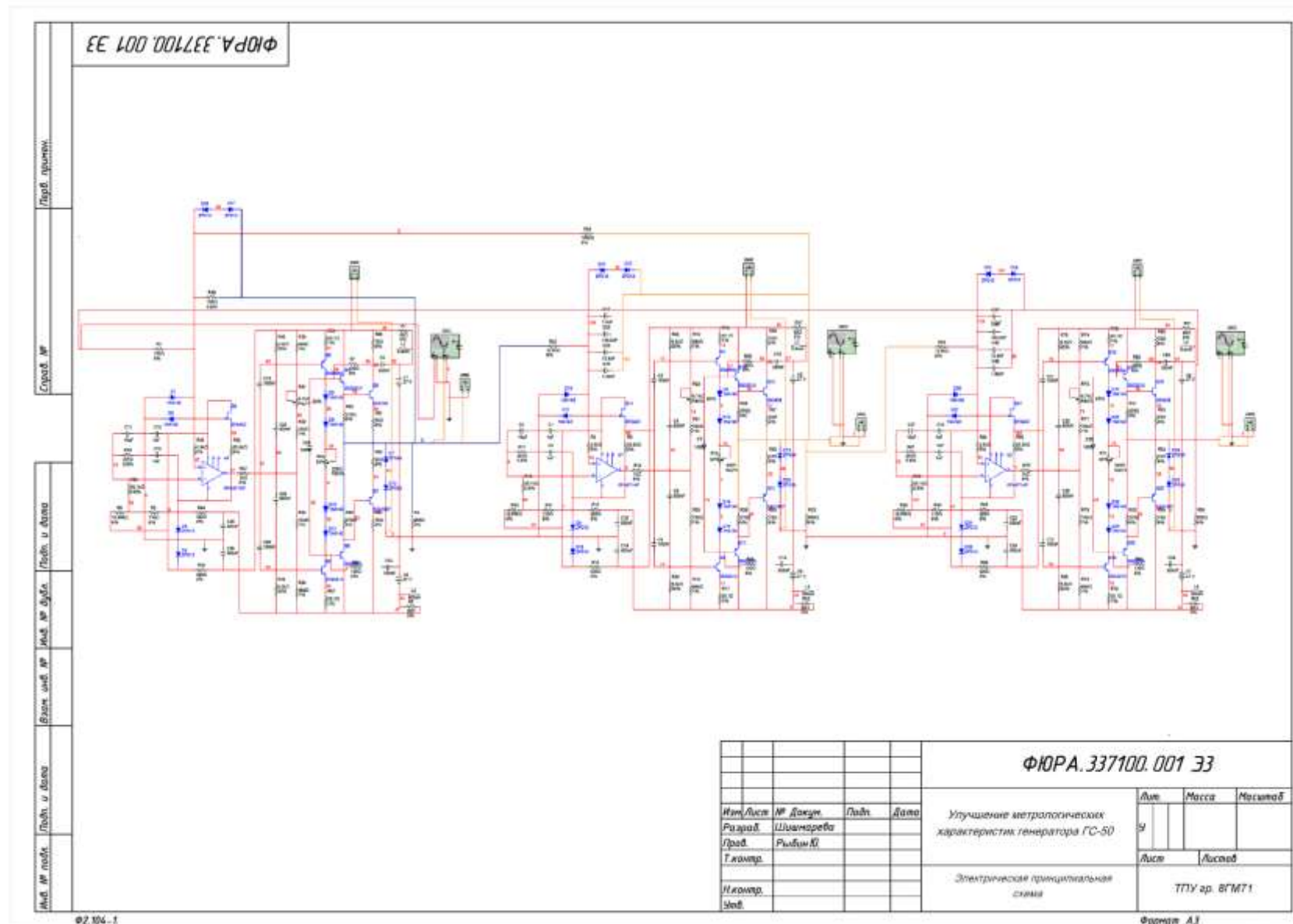


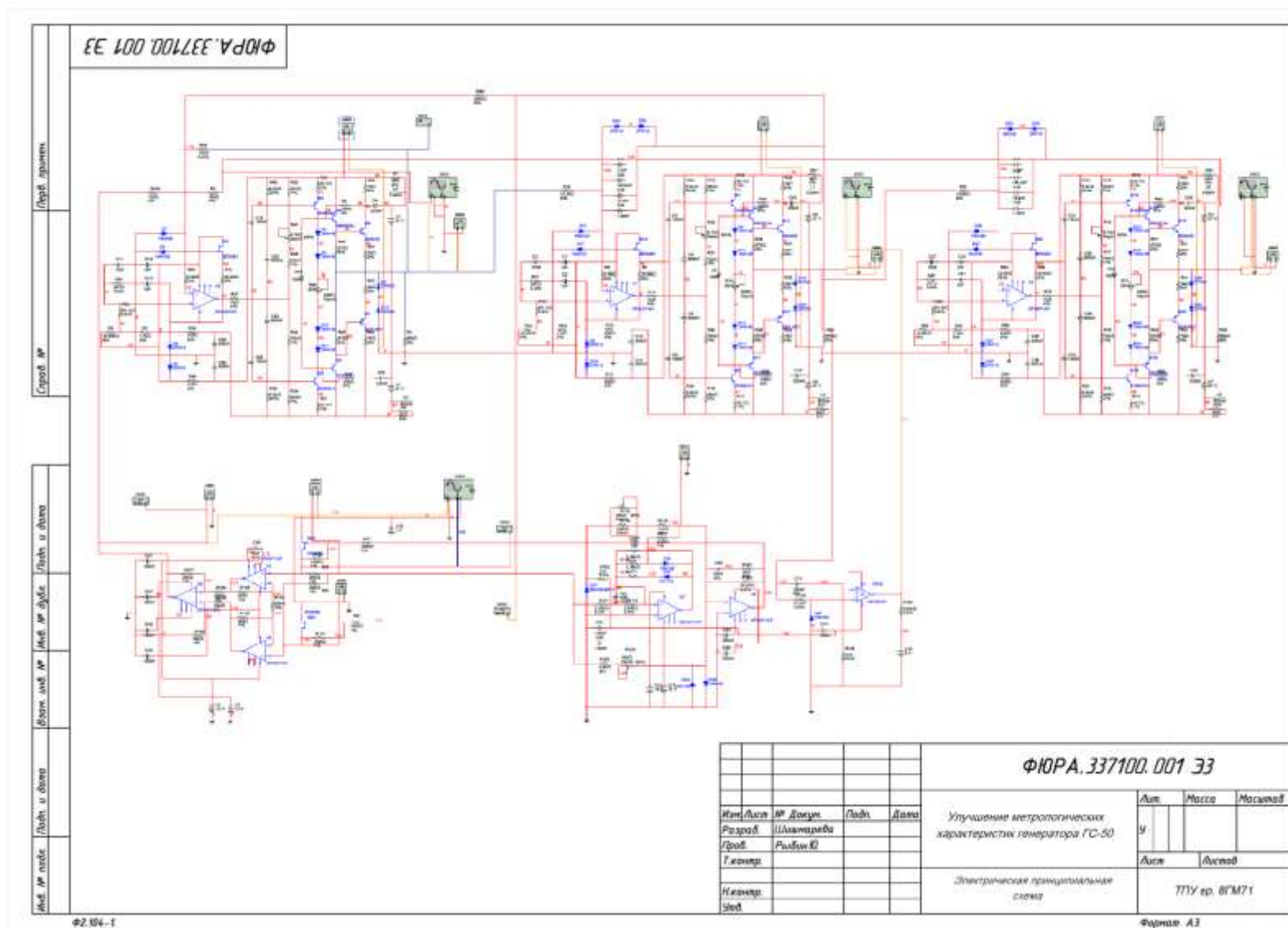
Figure 27– The diagram in output voltage of the second integrator in the stationary mode

Приложение Б (обязательное) Электрическая принципиальная схема колебательного звена



Приложение В (обязательное)

Электрическая принципиальная схема генератора со схемой стабилизации



Приложение Г (обязательное)

Электрическая принципиальная схема регулирующего

