

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

**Принципиальная схема лабораторной установки для изучения
амплитудно-модулированных колебаний**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 2232 группы

направления 03.04.03 Радиофизика

технологии и системы связи

Института физики

Серова Семена Валерьевича

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

кафедры радиофизики

и нелинейной динамики

_____ К.С. Сергеев

Зав. кафедрой радиофизики

и нелинейной динамики

д.ф.-м.н., доцент

_____ Г.И. Стрелкова

Саратов 2024

ВВЕДЕНИЕ

Любое радиотехническое устройство в независимости от его назначения и сложности построения представляет собой совокупность физических объектов, между которыми происходят различные взаимодействия. Как правило, эти устройства имеют вход, куда вводится исходный сигнал и выход, откуда снимается уже преобразованный сигнал.

Радиоэлектроника, теория информации и связи определяют достижения во всех отраслях науки и техники, искусства и спорта, а также успехи во всех областях повседневной жизни. Современное общество перенасыщено электронными приборами и устройствами. Подавляющее большинство людей использует их, не задумываясь о том, как они устроены. Большинство используемых радиоэлектронных устройств и систем представляют комплексы взаимосвязанных полупроводниковых приборов. Но так было не всегда. Первые электронные приборы (электровакуумные лампы) появились почти 100 лет назад и предназначались для генерации и усиления электромагнитных колебаний радиочастотного диапазона. Регулируемая электропроводность обеспечивалась движением электронов между раскаленным катодом и анодом. Электронные лампы имели большие размеры, требовали высокого вакуума и потребляли значительную энергию: ламповые схемы использовали напряжения 250 В, а в отдельных схемах 400 В и токи до сотен миллиампер. Чтобы создать усилитель или генератор колебаний к лампам подключались источники питающих напряжений и необходимые дискретные элементы, т.е. создавались электрические схемы. Оставаясь в рамках электронных ламп и дискретных электро элементов, электрические схемы устройств постоянно совершенствовались. Были разработаны и исследованы сотни оригинальных схем. Это был первый самый мощный всплеск создания электронных схем. Изобретение полупроводниковых транзисторов и развитие физики твердого тела, а затем и твердотельной технологии, ознаменовало новый этап в развитии схемотехники. Малогабаритные, разнообразные по структуре и основным

параметрам, использующие низковольтные источники питания полупроводниковые приборы начали интенсивно вытеснять электронные лампы в большинстве областей радиоэлектроники. В физике твердого тела были обнаружены ранее неизвестные физические явления и на их основе созданы совершенно новые полупроводниковые приборы: туннельные и лавинно-пролетные диоды, варикапы и тиристоры. В соответствии с новыми принципами и приборами совершенствовалась и схемотехника, изменялась структура и габариты всех дискретных элементов, но чаще всего специалисты - схемотехники старались применить электрические схемы, уже разработанные для электронных ламп. Так, например, сохранялись принципы соединения каскадов и введения обратной связи, принцип автоматического смещения в электронных лампах пригодился в схемах на полевых транзисторах.

Данная работа ориентирована на проектирование, конструирование, расчёте и изготовление лабораторной установки для практической работы по изученной студентами амплитудной модуляции сигналов, а так же ознакомление с практической схемотехникой. Предусмотрена смена транзисторов с разной вольт – амперной характеристикой и следственно разным положением рабочей точке, что даёт возможность поработать с реальными электронными элементами и их характеристиками. В установке предусмотрен собственный генератор с несущей неизменной частотой. Для компактности, функциональности экономии и стабильности все узлы в блоке выполнены с использованием интегральных микросхем.

Данная работа ориентирована на проектирование, конструирование, расчёте и изготовление лабораторной установки для практической работы по изученной модуляции сигналов, а так же на ознакомление с практической схемотехникой. Предусмотрена смена транзисторов с разной вольт – амперной характеристикой и следственно разным положением рабочей точки, что даёт возможность поработать с реальными электронными элементами и их характеристиками. В установке предусмотрен собственный генератор с

несущей неизменной частотой. Для компактности, функциональности экономии и стабильности большинство узлов в блоке выполнены с использованием интегральных микросхем и SMD компонентов.

Таким образом, **целью работы** является проектирование и создание принципиальной схемы лабораторной установки для исследования процессов модуляции радиочастотных сигналов, а также изучение основ схемотехники и ознакомление с методами создания печатных плат.

Для достижения обозначенной цели решаются следующие **задачи**:

- Проработать теоретический материал по способам проектирования печатных плат, основам схемотехники и принципам работы реальных электронных компонентов.
- Изучить теоретический материал по модуляции сигнала
- Ознакомиться с известными конструкторскими решениями по созданию модуляторов радиочастотных сигналов.
- Выполнить проектирование и последующее виртуальное моделирование лабораторной установки с оптимальными, доступными техническими решениями.
- Выполнить моделирование разных схемотехнических решений для блоков прибора, проанализировать полученные данные и сравнить работу схем.
- Собрать смоделированный модулятор на реальных электронных компонентах
- Испытать и отладить спроектированную и собранную установку.
- Произвести анализ полученных в процессе работы данных.

На данный момент существует огромное количество готовых модуляторов как мощных, так и маломощных сигналов на обширной базе радиотехнических элементов (электронных лампах, диодах, биполярных транзисторах, полевых

транзисторах, интегральных микросхемах). Данная установка проектируется с опорой на базовые решения в схемотехнике и свойства электронных элементов, расчёт ведётся в соответствии с заранее заданными характеристиками для лабораторного блока. Изначально прибор создан и отлажен в виртуальной среде при помощи программы Multisim, после чего часть схемы, осуществляющую модуляцию и фильтрацию сигнала, удалось реализовать на макетной плате. Собранная схема демонстрирует устойчивую амплитудную и частотную модуляцию в диапазоне несущих частот до 8.5 МГц.

Раздел 1 «Модуляция сигнала» содержит обобщённые сведения о процессах модуляции сигналов, для чего нужно выполнять преобразование сигналов. Приведены примеры и схемы модуляторов с радиоэлементами, на которых происходят процессы амплитудной и частотной модуляции сигнала, какие характеристики элементов необходимы. Так же приведены методы и схемы детектирования сигналов. Описаны области применения. В разделе описана общая теория интегральных микросхем и отмечены положительные стороны их применения.

Раздел 2 «Проектирование схемы» содержит описание работы над проектированием и расчётом виртуальной схемы установки по модуляции сигналов. Приводятся и описываются все подсхемы установки.

Раздел 3 «Сборка прототипа» описывает практическую работу с построением прототипа смоделированной установки. Отмечены все снятые выходные сигналы с собранной макетной платы, производится анализ полученных спектров и осциллограмм.

Основное содержание работы

Данная работа направлена на проектирование, конструирование, расчёт и изготовление лабораторной установки для практической работы по изученной теории модуляции сигналов, а так же ознакомление с практической схемотехникой. Предусмотрена смена транзисторов с разной вольт – амперной

характеристикой и следственно разным положением рабочей точки, что даёт возможность поработать с реальными электронными элементами и их характеристиками. В установке предусмотрен собственный генератор с несущей частотой. Для компактности, функциональности и стабильности большинство узлов в блоке предлагается выполнить с использованием интегральных микросхем.

Данная схема собрана из нескольких модулей: питания, генератора несущей частоты, сумматора, повторителей, модуляторов, ФВЧ (фильтр верхних частот) Баттерворта 6 – го порядка конструктивно Салмана и Ки, ФНЧ аналогично ФВЧ, демодуляторы. Основной идеей было использование операционных усилителей и ИМС для создания прибора. Операционный усилитель (ОУ) значительно упрощают согласование отдельных блоков и расчёт схемы, имеют маленькие монтажные размеры, широкий спектр применения и большое количество уже созданных базовых схем, так же требуют минимальное количество компонентов для воспроизведения схемных решений.

Представленные модуляторы выполнены на полевом транзисторе, биполярном транзисторе и на генераторе Клаппа с изменяемой частотой за счёт применения варикапов. Сигнал несущей частоты задаётся с генератора на основании трёхточечной схемы с емкостной связи по улучшенной схеме Клаппа.

Генератор и частотный модулятор – это один универсальный блок.

Модулирующие сигналы поступают в прибор с внешних функциональных генераторов. Данный способ более функционален, и позволяет упростить и удешевить схему. Установка предполагает питание из бытовой сети 220В.

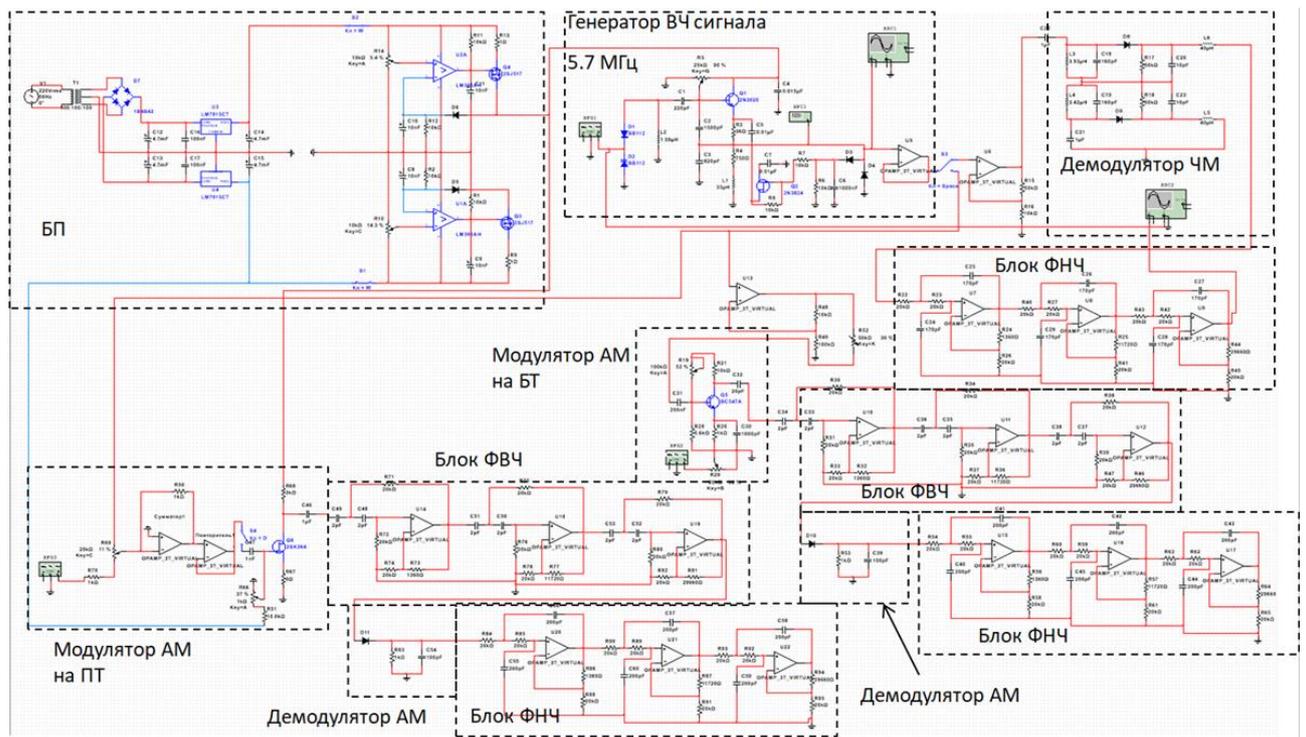


Рисунок 1 – общий вид схемы преобразования сигнала собранной в multisim.

Далее в работе описаны все модули схемы и их расчёт.

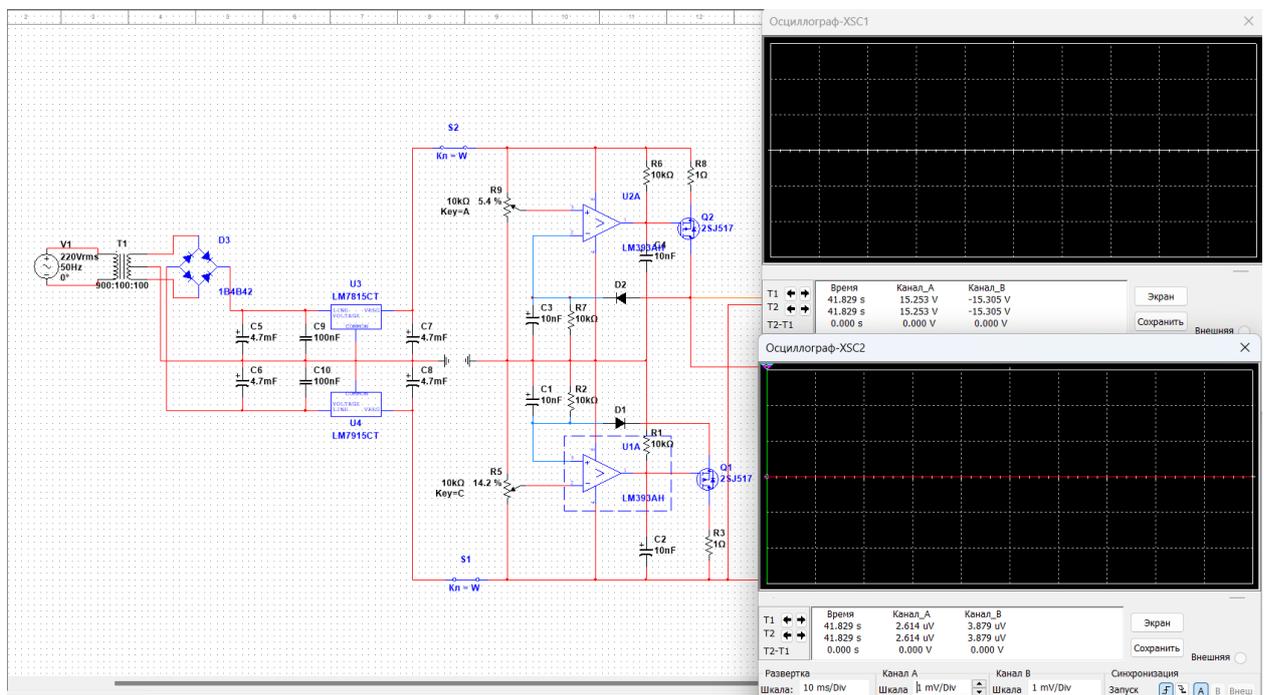
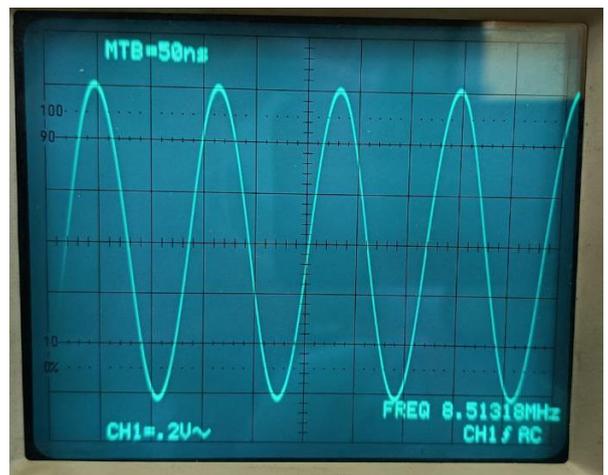
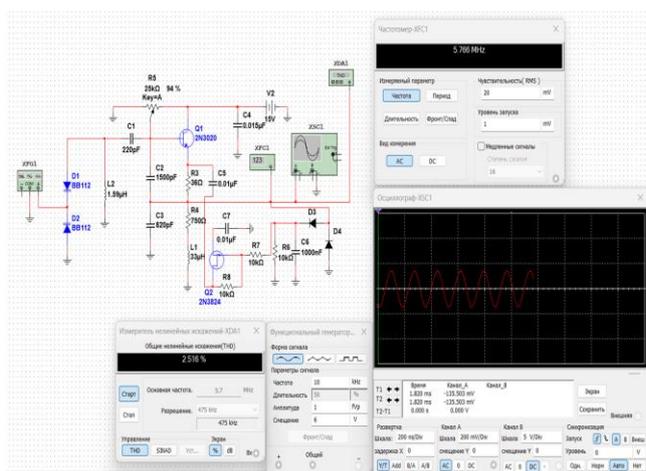


Рисунок 2 – Блок питания платы с ограничением тока.



а

б

Рисунок 3 – генератор несущего синусоидального сигнала (а)
осциллограмма полученная с генератора прототипа (б)

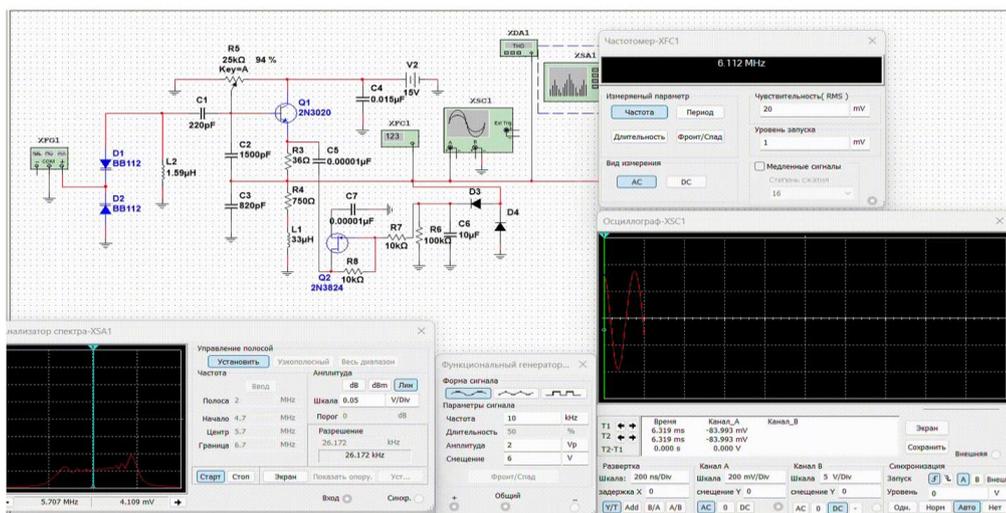


Рисунок 4 – схема частотного модулятора выполненного на базе генератора несущей частоты

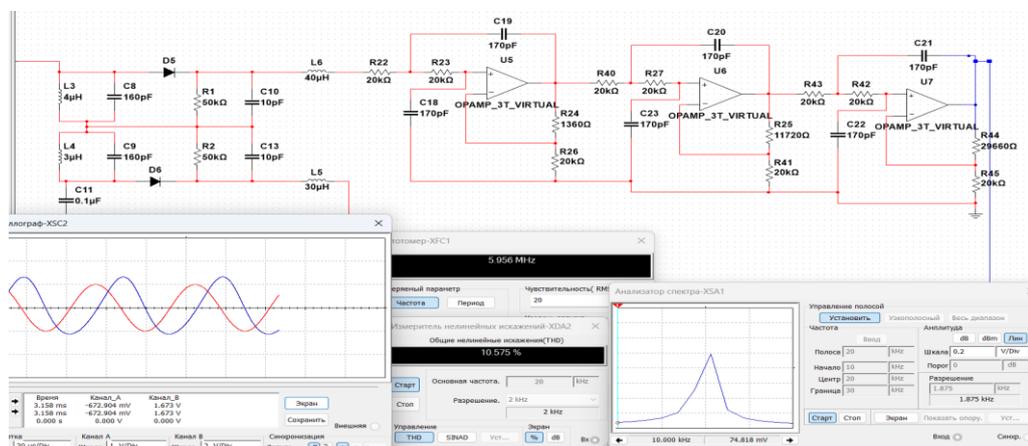
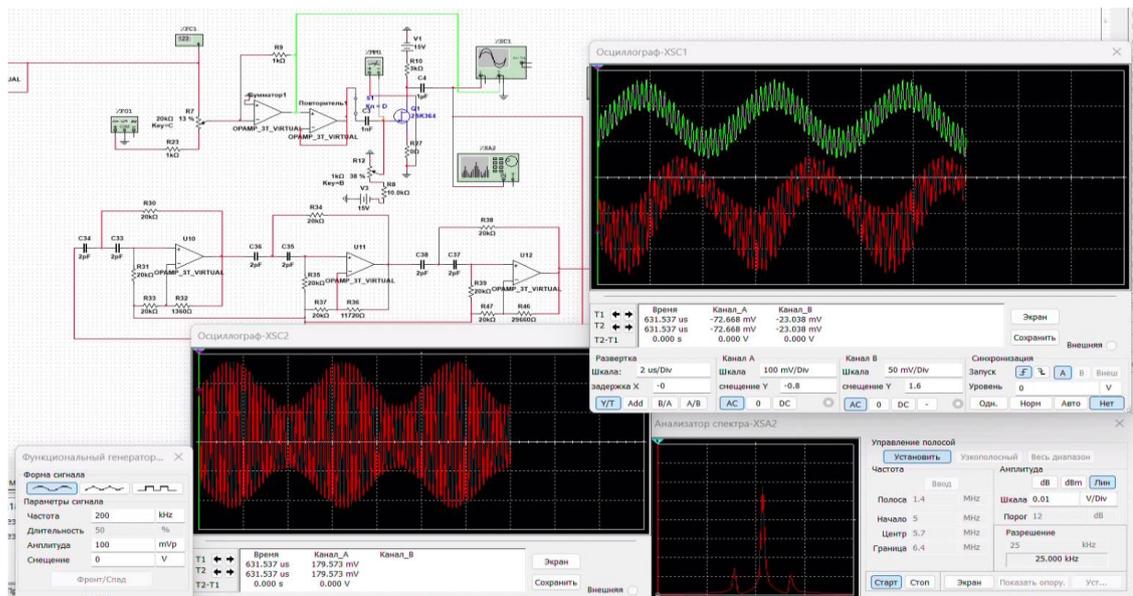
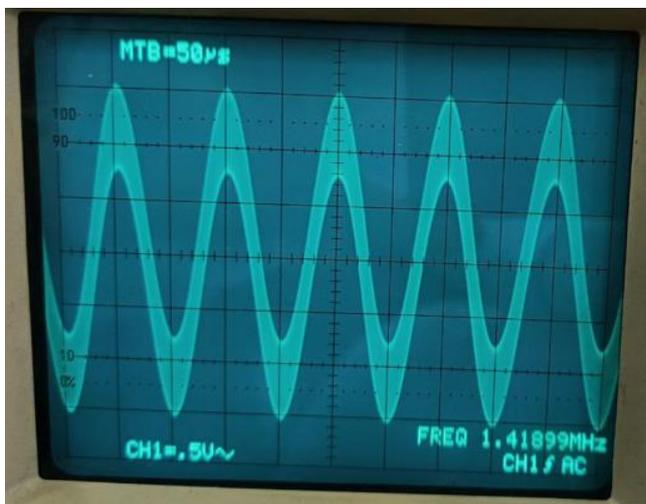


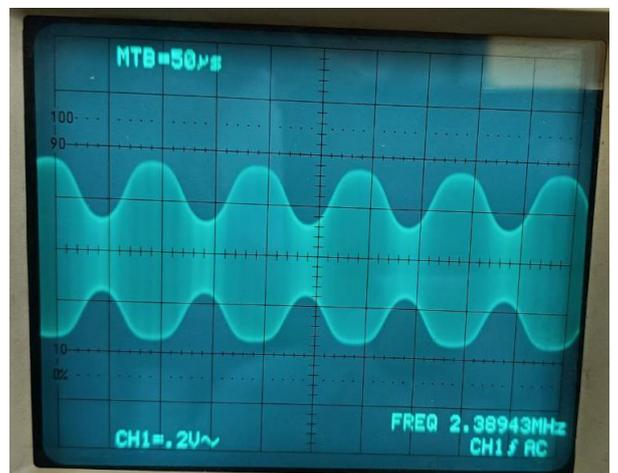
Рисунок 5 – схема демодулятора ЧМ колебаний.



а



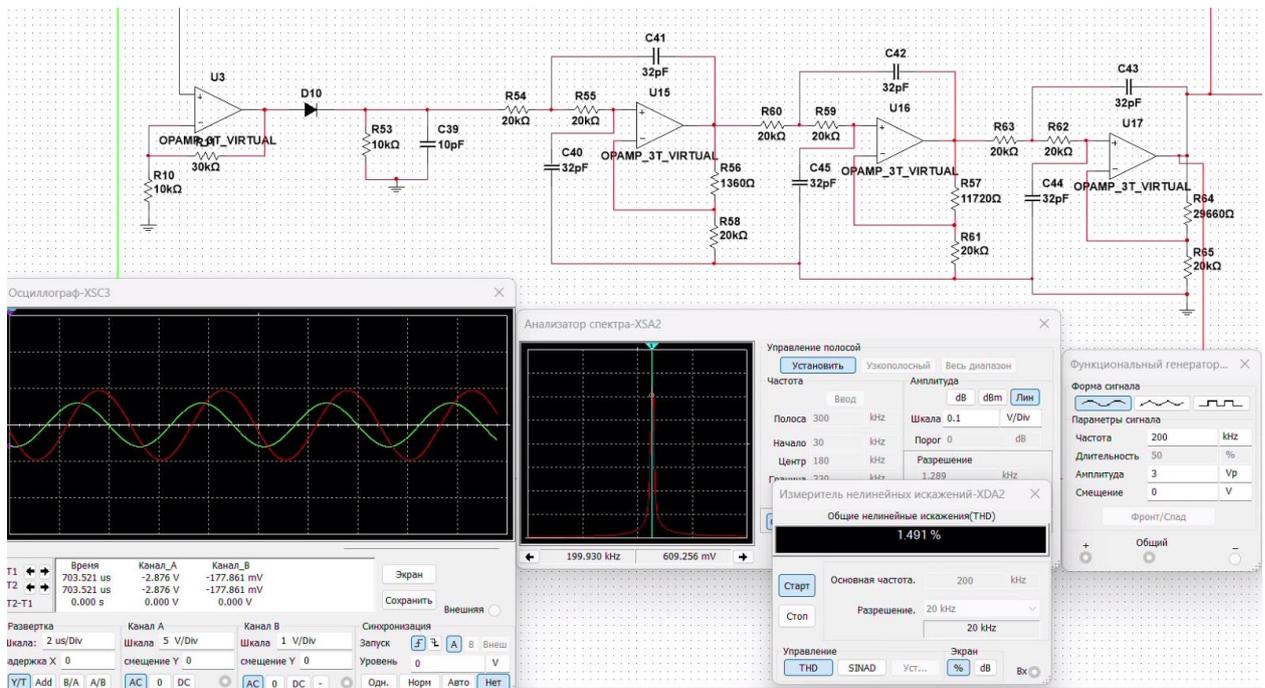
б



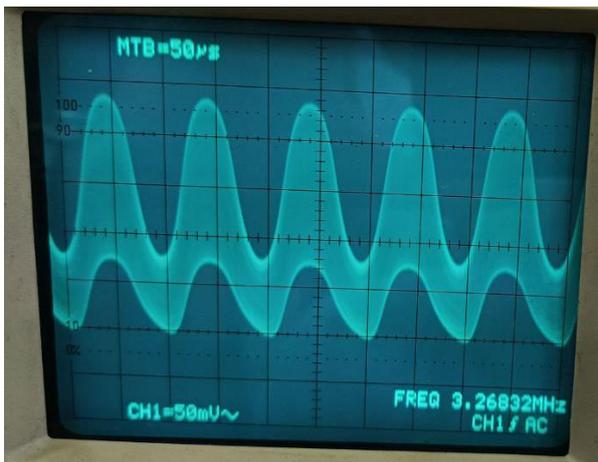
в

Рисунок 6 – Модулятор на ПТ (а), сумма сигналов поступающая на затвор ПТ (б),

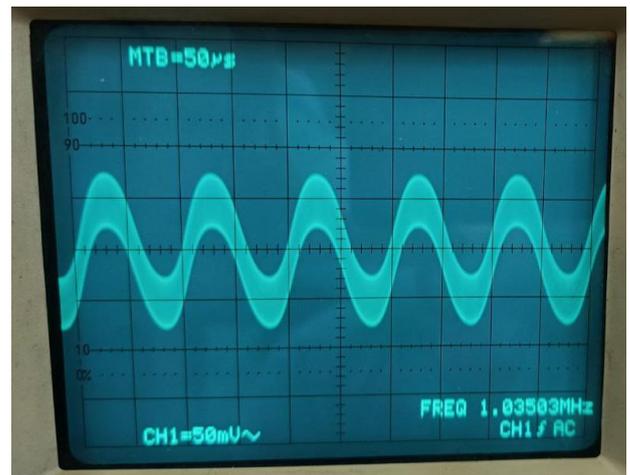
АМ сигнал после прохождения ФВЧ (в)



а



б



в

Рисунок 7 – схема демодулятора на диоде (а),
осциллограмма сигнала на выходе детектора (б),
осциллограмма на выходе ФНЧ (в)

Далее в работе Для проверки корректности схемы, смоделированной при помощи Multisim, была произведена сборка прототипа установки из радиоэлектронных компонентов.

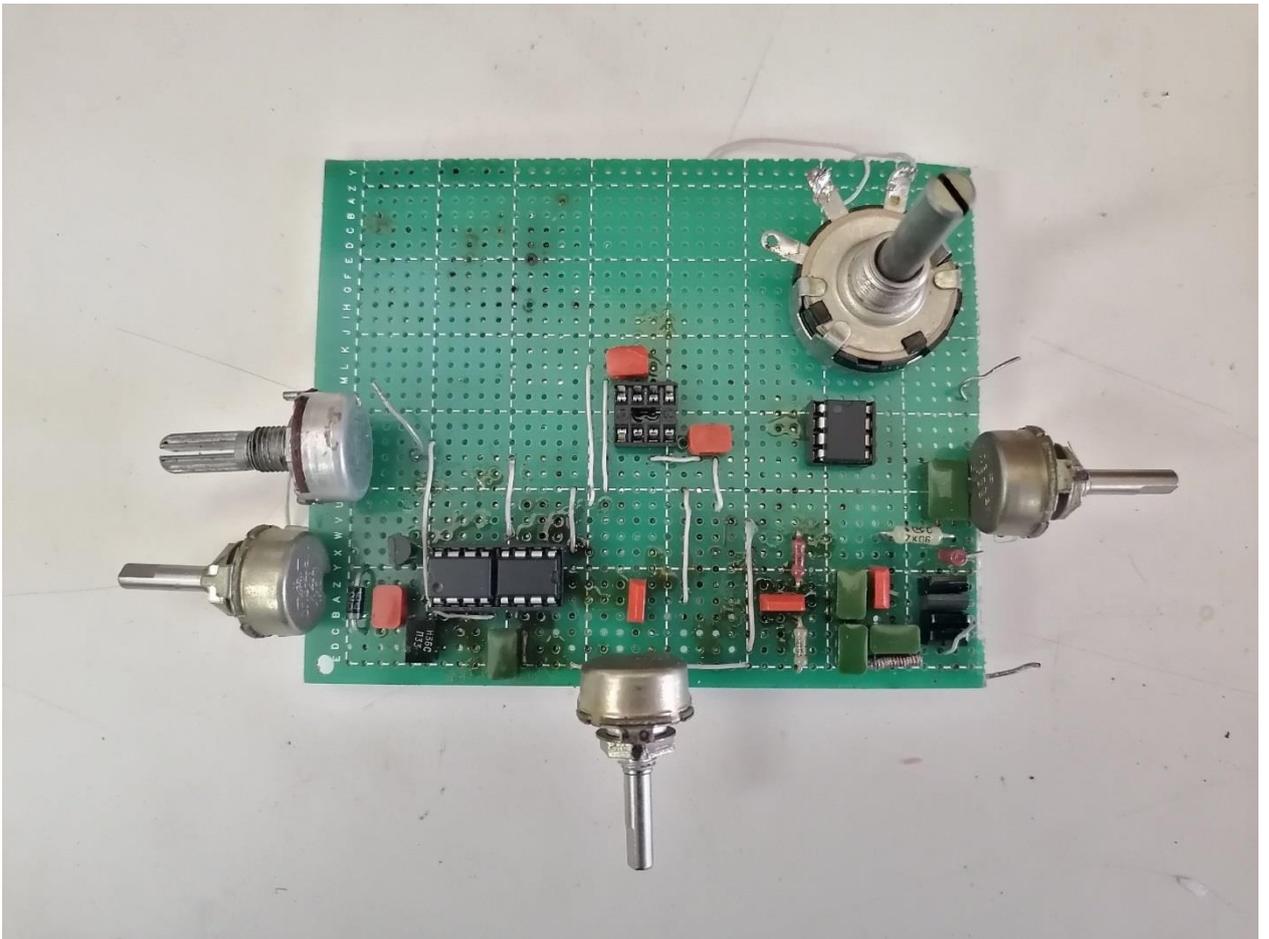


Рисунок 9 – прототип установки по преобразованию сигнала

На данном макете установки по модуляции и детектированию сигнала реализованы следующие модули: генератор несущей частоты, эмиттерный повторитель, амплитудный модулятор на БТ и ПТ, ФВЧ 2-го порядка, ФНЧ 2-го порядка, диодный детектор, 2 сумматора сигнала на ОУ. Применены следующие основные элементы: биполярные транзисторы КТ315 для генерации, повторителя и модулятора, полевой транзистор j112 для модуляции сигнала, варикапы КВС111А для частотной модуляции сигнала. Примененные ИМС: LME49720 для ФВЧ и суммирования сигналов, LM833N для ФНЧ, ОРА604 для суммирования сигналов. Для подстройки параметров на плате размещены потенциометры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения дипломной работы поставленная задача была решена практически полностью.

Проработано много теоретического материала по вопросам схемотехники и модуляции сигнала, изучено большое количество известных и базовых конструкторских решений. Схема спроектирована и собрана в виртуальном виде в Multisim, где прошла заключительную отладку и доработку. В среде Multisim схема работает стабильно и корректно, но есть некоторые недостатки виртуально моделирования. Существует особенность моделирования ВЧ сигнала, которая проявляется в необходимости моделировать схему с крайне малым шагом по времени. По итогу симуляция занимает значительное время.

Далее был собран прототип на реальных электронных компонентах в виде макетной платы. В первую очередь был собран и отлажен ВЧ генератор, так как это самый сложный модуль схемы по причине эффектов, вызванных работой в МГц диапазоне. Элементы подбирались по доступности на данный момент. Были собраны частотный и амплитудные модуляторы на полевом и биполярном транзисторе.

В процессе работы с получившимся прототипом, стало ясно, что в желаемом диапазоне установка работает корректно. Большинство параметров и элементов схем были точно рассчитано, но в процессе работы с реальными компонентами эмпирически подбирались некоторые номиналы. Связано это с отсутствием расчётных значений в рядах компонентов, а так же в согласовании различных участков схемы.

Далее был добавлен фильтр верхних частот для вычета низкочастотной составляющей и получения осциллограммы АМ сигнала. В процессе отладки собранной схемы был «пойман» баланс амплитуд между несущим и модулирующим сигналами, найдены рабочие точки транзисторов.

В итоге с построенного прототипа удалось снять осциллограммы АМ сигнала и, в последующем, детектированного сигнала. Сообщение прошло полный цикл преобразований, от кодирования до декодирования. Собранный схема демонстрирует устойчивую модуляцию и генерацию в диапазоне несущих частот до 10 МГц. На данном этапе сигнал может пройти полный цикл преобразований от кодирования до восстановления в исходное состояние.

Также на разработанном прототипе установки можно ознакомиться с частотной модуляцией сигнала. При подключении внешнего генератора, возможно задать закон изменения управляющего параметра. При частотной модуляции возможно добиться девиации частоты в 500 кГц.

Таким образом, поставленная цель работы, а именно, проектирование и создание принципиальной схемы лабораторной установки для исследования процессов модуляции радиочастотных сигналов, была в значительной степени достигнута. Имеется отлаженный прототип установки с блоком питания, который, будучи снабженным необходимыми коммутационными разъемами и переключателями, а также корпусом, может быть внедрен в учебный процесс.