

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

**Проектирование лабораторной установки для исследования процессов
модуляции радиочастотных сигналов**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4061 группы

направления 11.03.02 Инфокоммуникационные

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

2022

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 (электровакuumные 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.

На данный момент существует огромное количество готовых модуляторов мощных, маломощных сигналов на обширной базе радиотехнических элементов (электронных лампах, диодах, биполярных транзисторах, полевых транзисторах, интегральных микросхемах). Данная установка проектируется опираясь 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 модуляцию в диапазоне несущих частот до 1 МГц.

Целями выпускной квалификационной работы являются ознакомление с теорией схемотехники, модуляции сигнала, проектирование и создание прототипа лабораторной установки для исследования процессов модуляции радиочастотных сигналов.

Для достижения целей были поставлены 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.
- Собрать смоделированный модулятор на реальных электронных компонентах
- Испытать и отладить спроектированную и собранную установку.
- Произвести анализ полученных в процессе работы данных.

Поставленные задачи выполнялись при помощи виртуальной среды программы симуляции реальных электронных компонентов Multisim. Были применены макетная плата, радиокомпоненты, лабораторный блок питания и генераторы сигнала.

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 модуляции сигнала, какие характеристики элементов необходимы. 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 модулятора 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 студентами 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 неизменной частотой. Для компактности, функциональности экономии и стабильности все узлы в блоке предлагается выполнить с использованием интегральных микросхем. Данное устройство на заключительном этапе должно иметь простое и понятное управление, представлять частичную визуализацию параметров, стабильную и безотказную работу.

Данная схема собрана из нескольких модулей: питания, генераторов частоты, сумматора, повторителя, модулятора, ФВЧ (фильтр верхних частот) Баттерворта 6 – го порядка конструктивно Салмана и Ки. На данный момент может выполняться только амплитудная модуляция. Основной идеей было использование операционных усилителей для создания модулятора. ОУ (операционный усилитель) легко согласуются, имеют маленькие монтажные размеры, рациональны в применении, сравнительно дешёвые, имеют широкий спектр применения и имеют большое количество уже созданных базовых схем. Сам модулятор выполнен на полевом транзисторе. Сигнал несущей частоты генерируется на генераторе с мостом Вина, далее суммируется с сигналом огибающей, заданным отдельным функциональным генератором, подключающимся через отдельный вход. Данный способ более функционален, по причине того что удешевляется установка и можно использовать внешние приборы задающие частоту огибающей. Не нужно делать магазин из RC цепочек или более сложные варианты для выбора частоты модулирующего сигнала. Через потенциометр R7 регулируется коэффициент модуляции. Повторитель согласует сигнал по сопротивлению. На следующем этапе уже сумма сигналов попадает на квадратичный участок ПТ (полевой транзистор), где и происходит модуляция. После прохода через ФВЧ низкочастотная составляющая отфильтровывается и на выходе мы видим амплитудную модуляцию. Все описанные процессы можно пронаблюдать на осциллографах и анализаторах спектра. Видно, что спектр представляет из себя несущую и комбинационные частоты ($\omega_0 \pm \Omega$). После модулятора можно наблюдать разность амплитуд, что говорит о модуляции и верном выборе баланса амплитуд с генераторов и рабочей точки на транзисторе. После сумматора чётко видно сумму сигналов (см. рис 1).

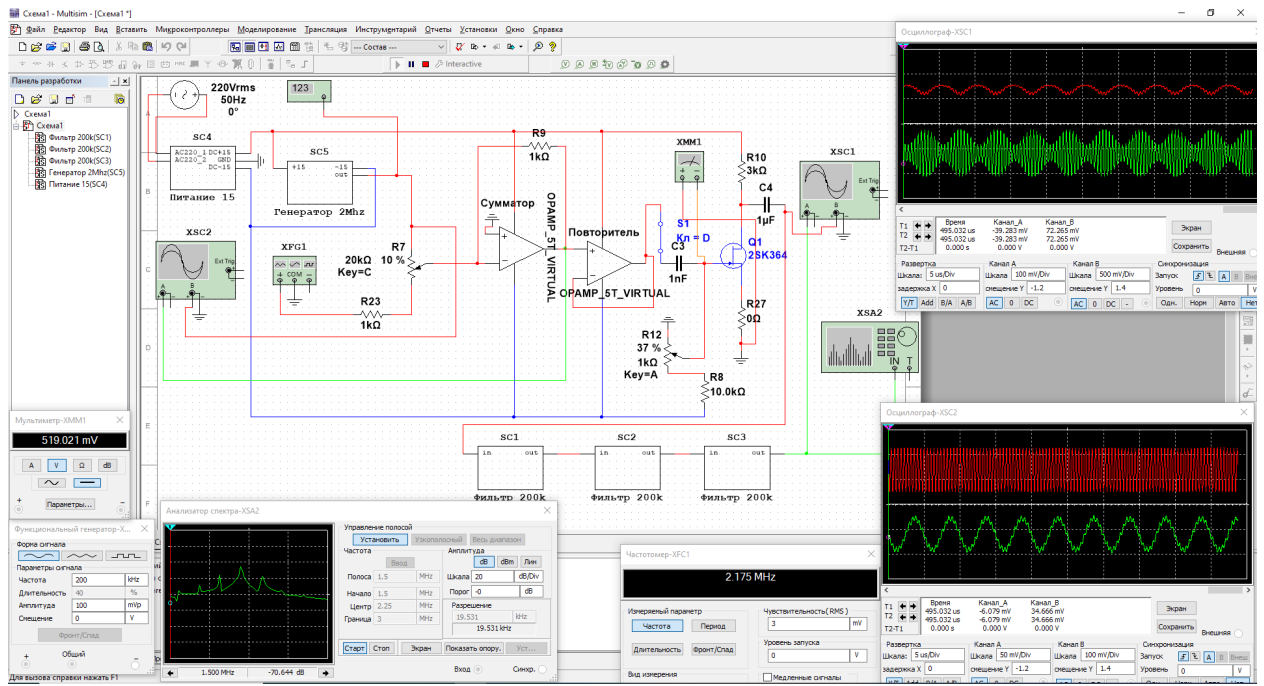


Рисунок 1 – виртуальный амплитудный модулятор сигнала собранный в multisim.

Далее в работе описаны все модули схемы и их расчёт.

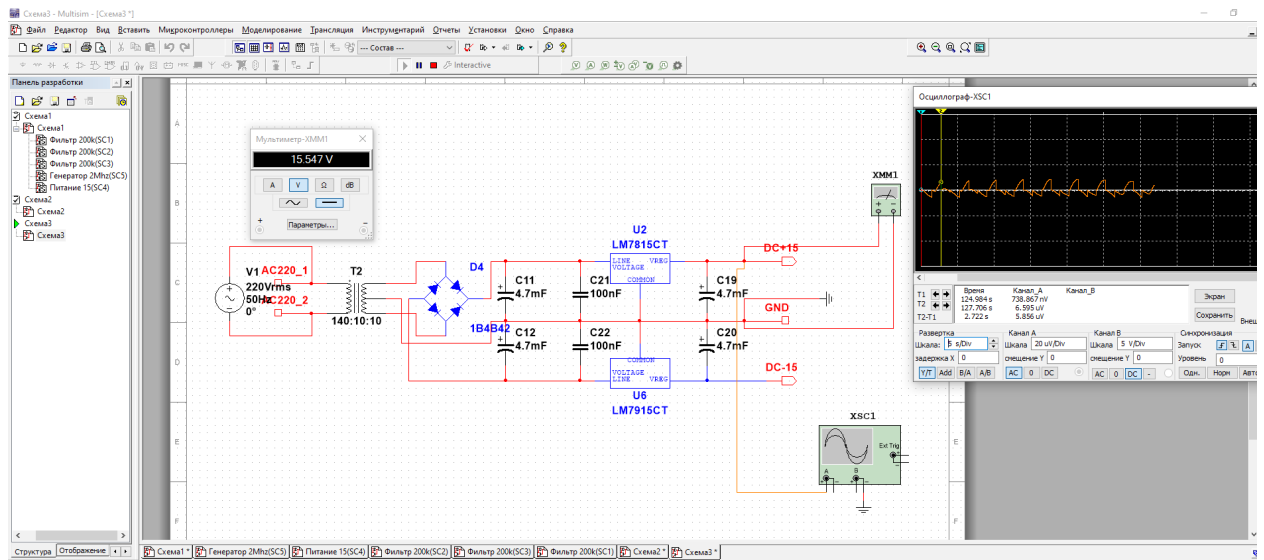


Рисунок 2 – двуполярное питание платы.

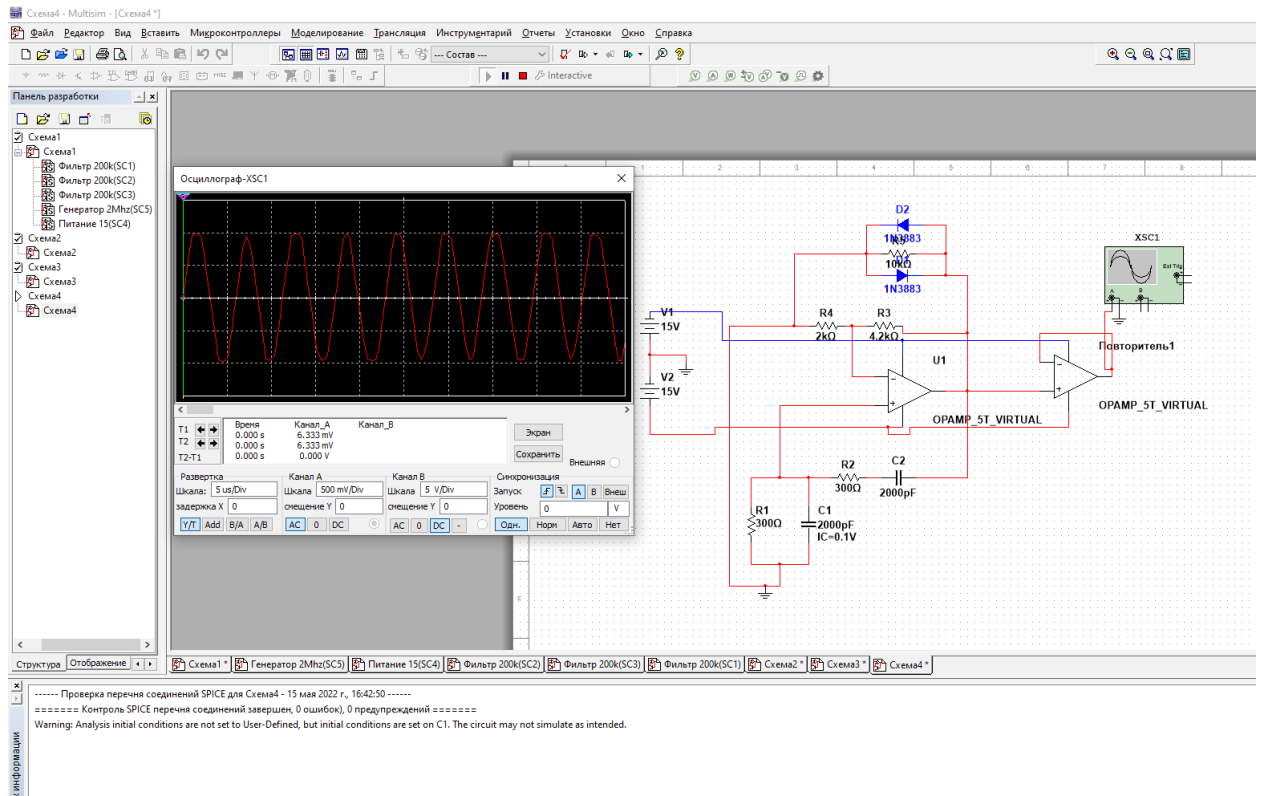


Рисунок 3 – Генератор синусоидального сигнала на ОУ

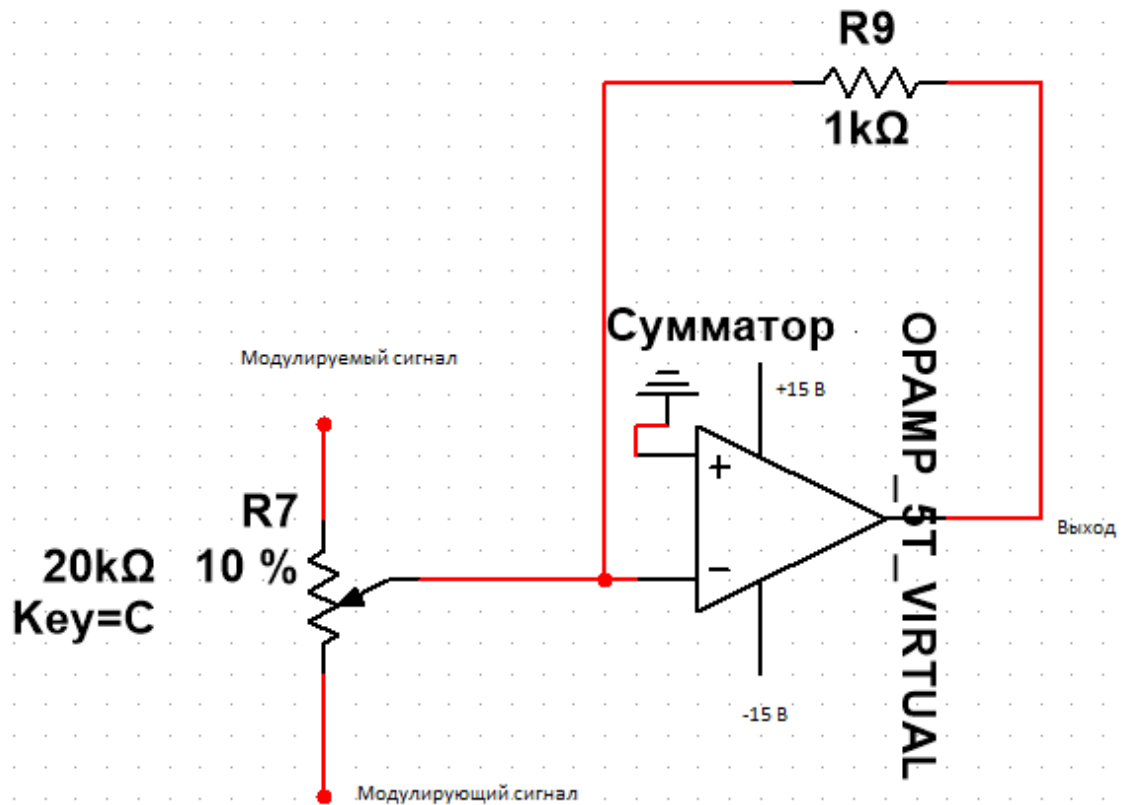


Рисунок 4 – Сумматор на ОУ

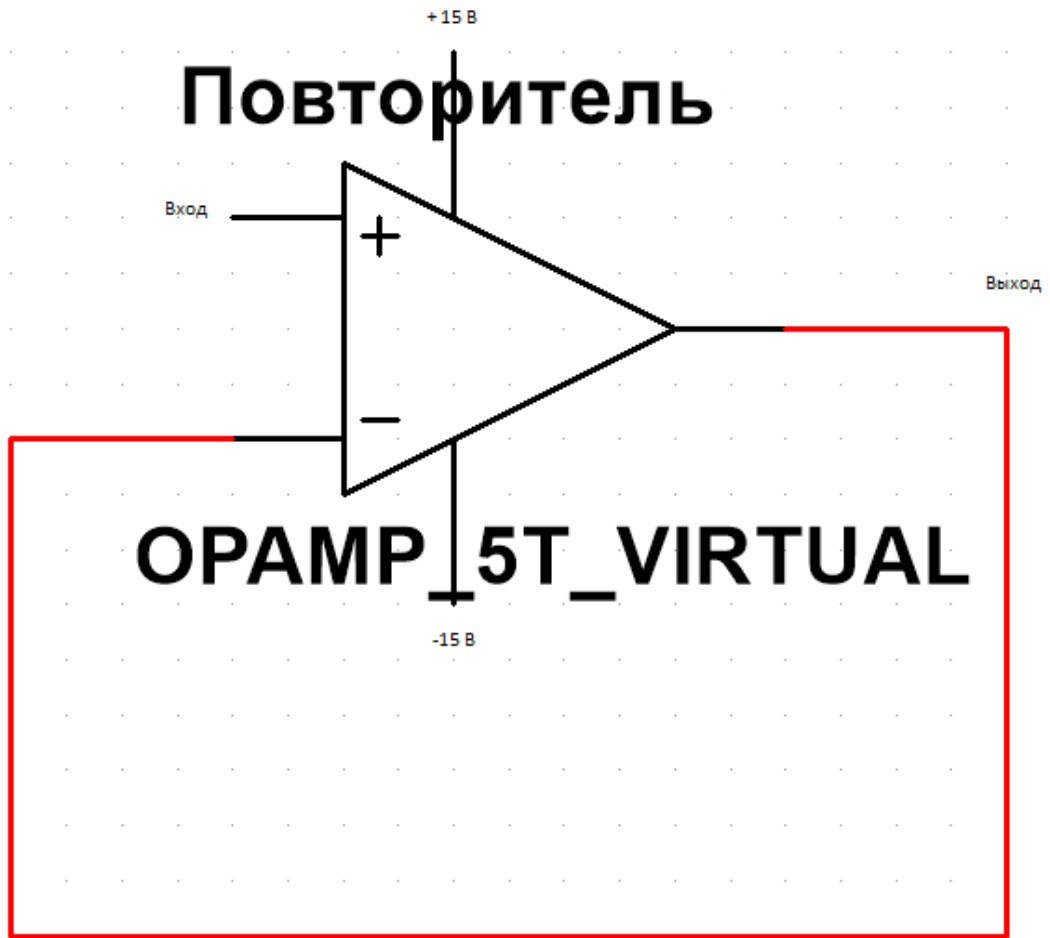


Рисунок 5 – Повторитель на ОУ

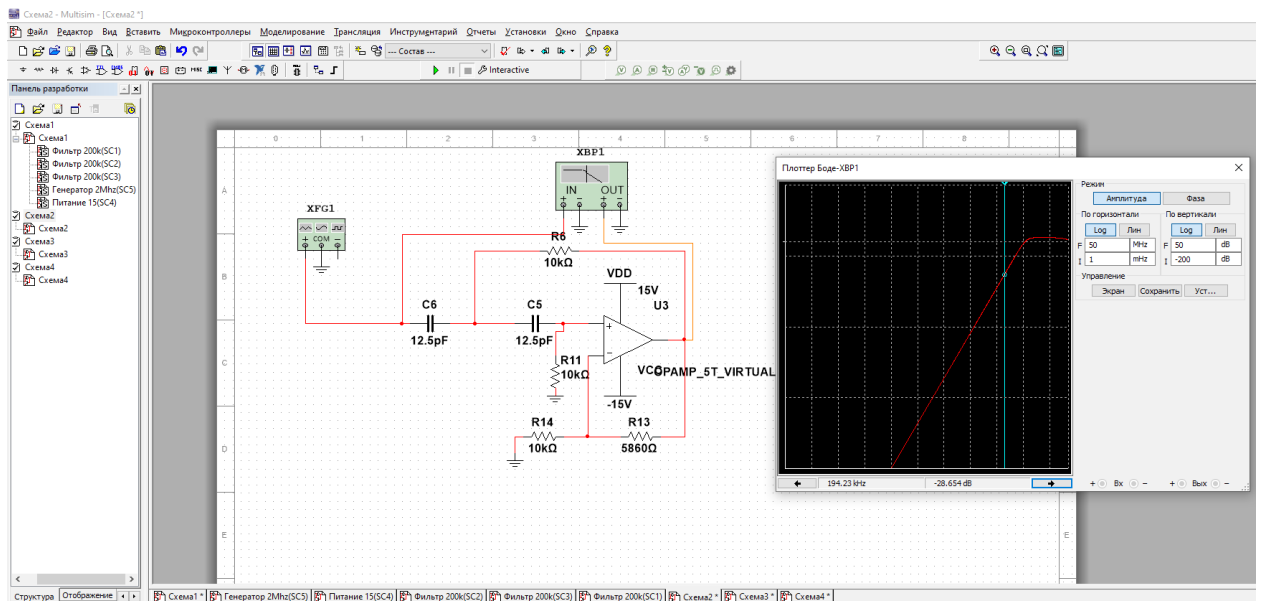


Рисунок 6 – ФВЧ 2 - го порядка

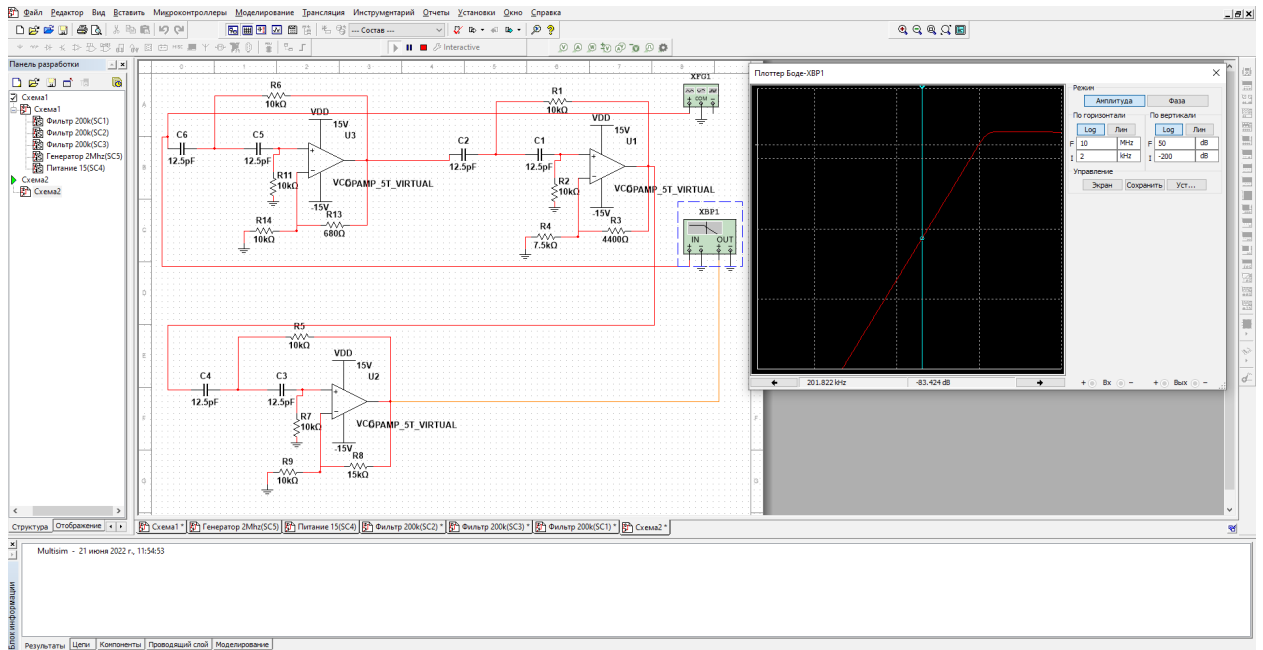


Рисунок 7 - блок ФВЧ из 3 последовательно расположенных фильтров

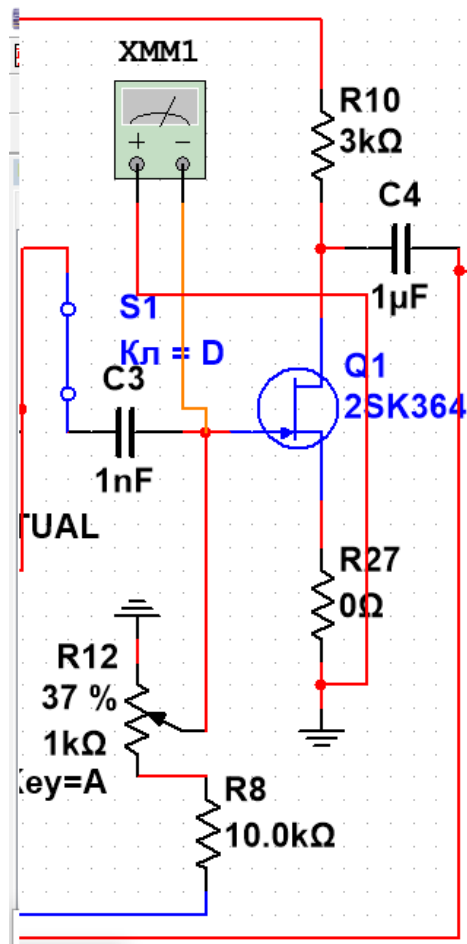


Рисунок 8 – Модулятор на ПТ

Далее в работе Для проверки корректности схемы, смоделированной при помощи Multisim, была произведена сборка прототипа установки из радиоэлектронных компонентов, доступных для заказа на настоящий момент.

В первую очередь усилия были сосредоточены на сборке непосредственно моделирующего участка установки. Был выбран транзистор n- типа j112.

Поскольку установку планируется использовать в образовательном процессе, необходимо реализовать возможность легко менять рабочую точку. Для этих целей служит потенциометр R12, в данном случае используемый как перестраиваемый делитель напряжения.

Для осуществления амплитудной модуляции на полевой транзистор должна быть подана сумма низкочастотного (огибающего) и высокочастотного (несущего) сигналов. Эти сигналы на этапе прототипирования схемы задаются внешними генераторами и суммируются при помощи ОУ, как показано на рисунке 12. В качестве ОУ была выбрана микросхема MC1458P в корпусе DIP – 14 с двуподярной схемой питания. Прототип, состоящий из сумматора и модулятора, был собран на макетной плате и протестирован (см. рис. 9).

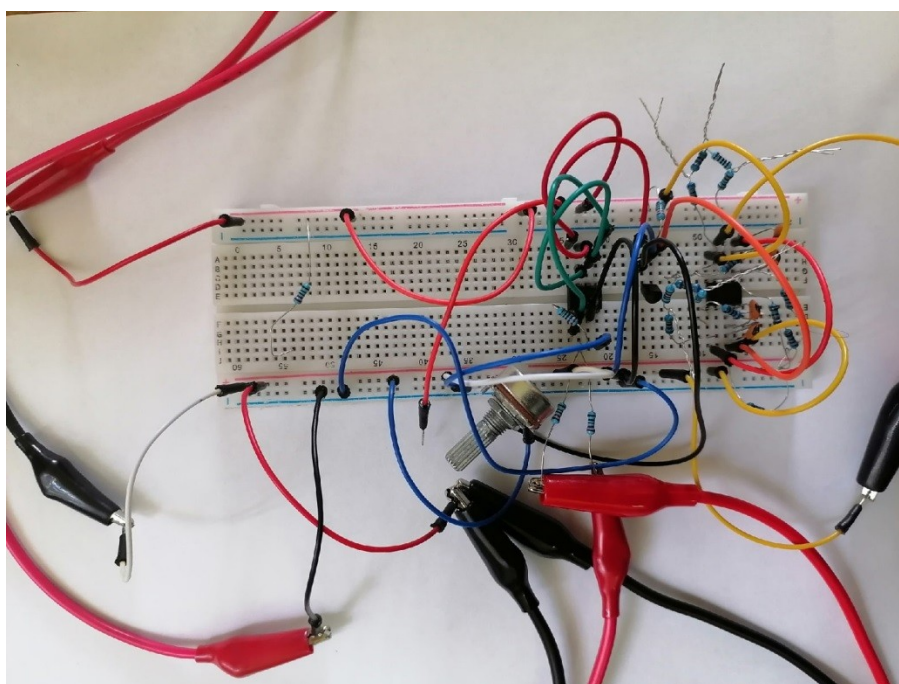


Рисунок 9 – Первый вариант схемы собранный на макетной плате

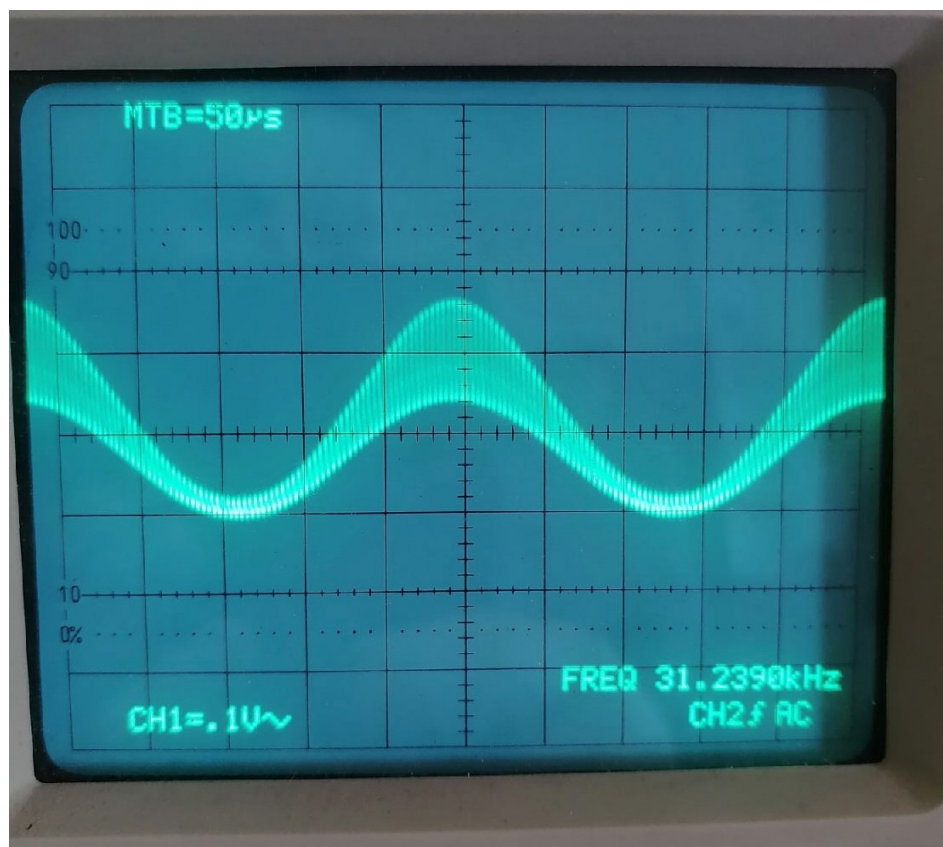


Рисунок 10 – фотография осциллограммы с неотфильтрованной НЧ компонентой.

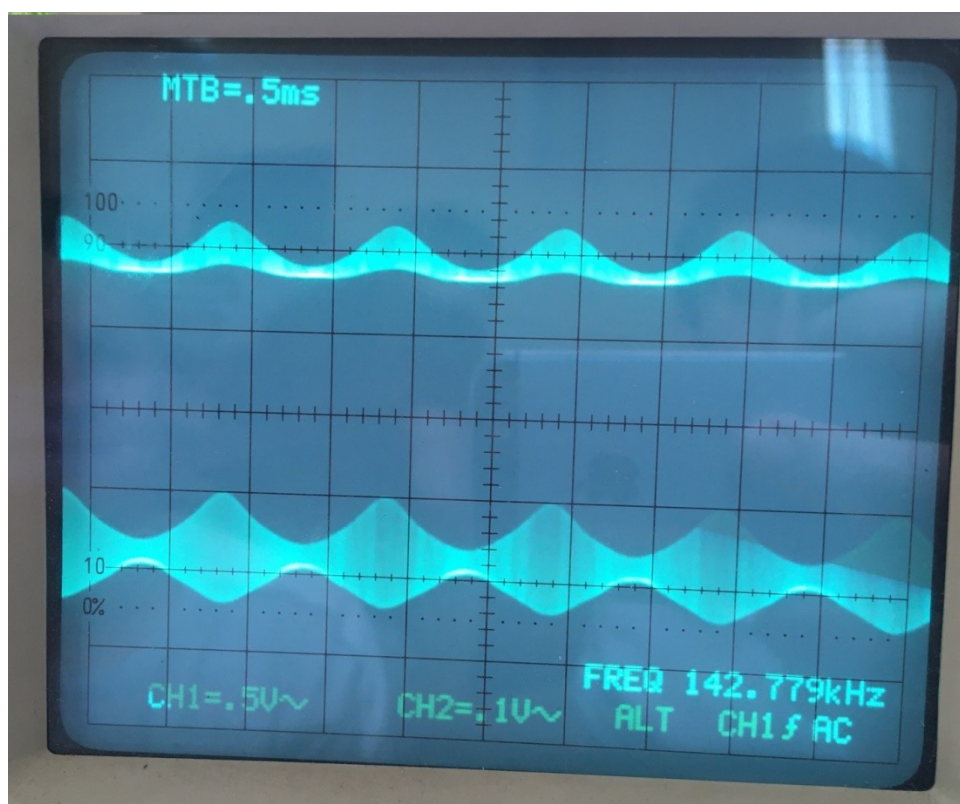


Рисунок 11 - фотография осциллограммы с отфильтрованной НЧ компонентой (снизу)
с неотфильтрованной НЧ компонентой (сверху)

Как видно из приведенной осциллограммы, сигнал с выхода модулятора представляет собой сумму модулированного по амплитуде высокочастотного сигнала и низкочастотного модулирующего.

Далее такой сигнал должен подвергнуться фильтрации. Для этого на макетную плату была добавлена схема, приведенная на рис. 11, состоящая из двух каскадов, пересчитанная с учетом понижения частоты несущей. Были использованы ОУ LM348N в корпусе DIP – 14 со схемой двуполярного питания. В результате был получен АМ-сигнал правильной формы с коэффициентом модуляции около 60 % по формуле (7) (см. рис. 11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На данном этапе выполнения дипломной работы, практически выполнена поставленная задача проекта.

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 и прошла заключительную отладку и доработку. В среде Multisim схема работает стабильно и корректно.

В дальнейшем развитии был собран прототип на реальных электронных компонентах в виде макетной платы. Первым делом был собран модулирующий узел схемы, то есть модулятор, сумматор и повторитель. Элементы подбирались по доступности на данный момент. На полевом транзисторе был реализован модулятор, а на сдвоенном ОУ сумматор с повторителем.

В процессе работы с получившимся прототипом, стало ясно, что в желаемом диапазоне МГц, установка не работает. Множество ненадежных непаяных контактов, вследствие переходных сопротивлений, несоответствие параметров подобранных радиодеталей, требуемым характеристикам схемы. Данная

проблема была решена понижением рабочих частот на порядок. Фильтры были пересчитаны на нужную частоту среза. Генераторы сторонние.

После прототип был доработан фильтром верхних частот, для вычета низкочастотной составляющей и получение осциллограммы АМ сигнала. В процессе отладки собранной схемы был пойман баланс амплитуд между несущим и модулирующим сигналами, найдена рабочая точка транзистора.

В итоге с построенного прототипа удалось снять осциллограмму АМ сигнала. Собранная схема демонстрирует устойчивую амплитудную модуляцию в диапазоне несущих частот до 1 МГц.