

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Радиопередающие устройства»
для студентов направления подготовки

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность (профиль)

«Интеллектуальная обработка данных в инфокоммуникационных системах и сетях»

Оглавление

Введение	4
1. Лабораторная работа «Начало работы с GNU Radio»	5
Задачи лабораторной работы:	5
Ход выполнения работы	5
Контрольные вопросы к лабораторной работе	13
2. Лабораторная работа «Цифровой FM-передатчик и приемник»	14
Задачи лабораторной работы:	14
Краткие теоретические сведения	14
Ход выполнения работы	16
Задания для самостоятельного выполнения	22
Контрольные вопросы к лабораторной работе	22
3. Лабораторная работа «Цифровая модуляция QAM-M»	23
Задачи лабораторной работы:	23
Краткие теоретические сведения	23
Ход выполнения работы	25
Задания для самостоятельного выполнения	33
4. Лабораторная работа «QAM/PSK модуляция и измерение BER»	34
Задачи лабораторной работы:	34
Ход выполнения работы	34
Задания для самостоятельного выполнения	41
Контрольные вопросы к лабораторной работе	41
5. Лабораторная работа «Технология OFDM»	42
Задачи лабораторной работы:	42
Краткие теоретические сведения	42
Ход выполнения работы	43
Задания для самостоятельного выполнения	51
Контрольные вопросы к лабораторной работе	52

1. Лабораторная работа «Начало работы с GNU Radio»

Цель работы: Изучить основные функции и блоки GNU Radio и составить тестовую программу для генерации сигнала.

Задачи лабораторной работы:

- 1) Изучить основные функции и блоки GNU Radio Companion.
- 2) Произвести генерацию синусоидального сигнала в GNURadio. Проанализировать характеристики частоты сгенерированных колебаний.
- 3) Произвести генерацию синусоидального сигнала с переменной частотой. Воспроизвести звук на динамических головках ПК. Проанализировать характеристики частоты сгенерированных колебаний.

Ход выполнения работы

GNU Radio Companion (GRC) представляет собой графический пользовательский интерфейс, который позволяет создавать модели при помощи блоков.

Для запуска GRC откройте терминал (Ctrl+Alt+T) и введите:
gnuradio-companion

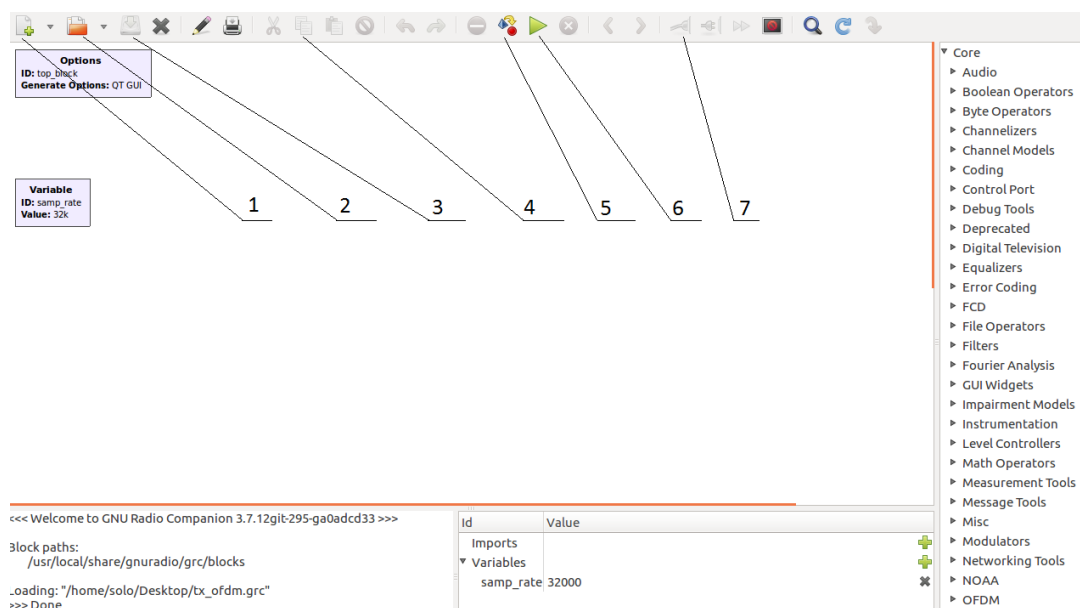


Рисунок 1.1 - Окно программы gnuradio-companion

Панель меню, которая изображена на рисунке 1.1 состоит из следующих команд 1 - создать новую модель, 2 - открыть модель, 3 - сохранить модель, 4 - команды копирования, 5 - компиляция, 6 - запуск и остановка моделирования, 7 - отключение блока от функционирования модели.

Вы увидите окно программы gnuradio-companion, на котором уже расположены два блока. Блок «Options» в верхнем левом углу используется для установки некоторых общих параметров графа, такие как графический пользовательский интерфейс (GUI) для виджетов и вывода результатов моделирования на дисплей, или размер холста, на котором размещены блоки. В нижней части экрана расположено окно терминала, в котором отображается процесс моделирования и описание ошибок, если таковые имеются. Также в нижней части экрана можно увидеть окно, в котором отображаются значения переменных, используемых в модели. Щелкните правой кнопкой мыши на блоке и выберите «Options» (или дважды щелкните на блоке), чтобы увидеть все параметры, которые могут быть настроены.

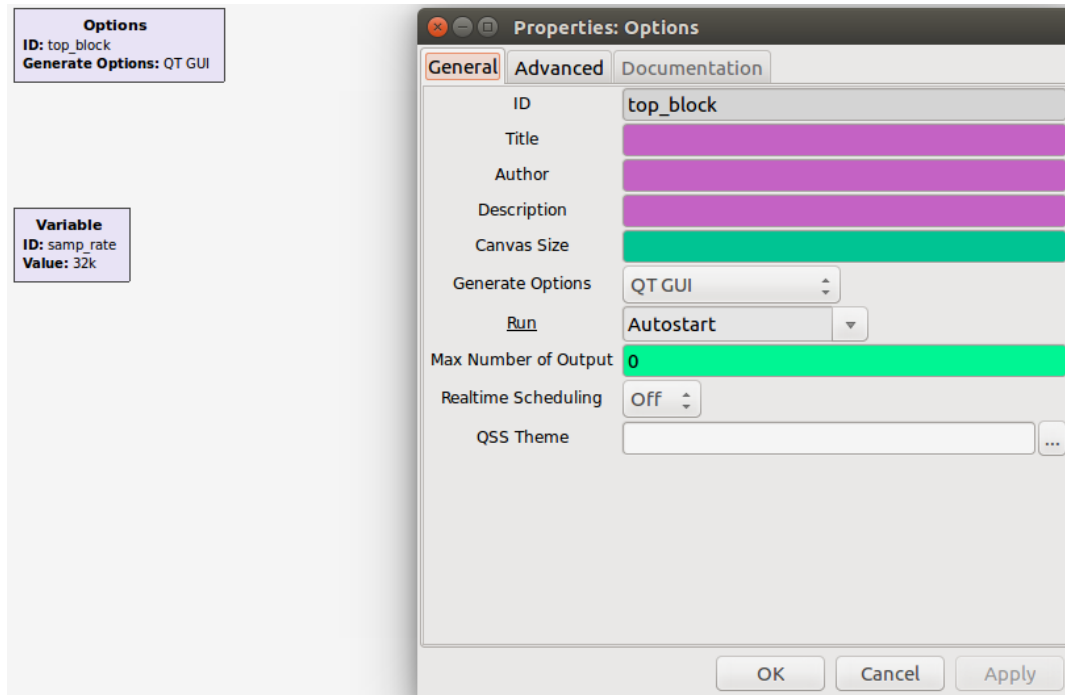


Рисунок 1.2 - Окно параметров блока «Options»

Пока мы оставим настройки по умолчанию без изменений. Ниже расположен блок «Variable», который используется для установки частоты дискретизации, например, в $F_s = 32000$ Гц в окне GRC выше.

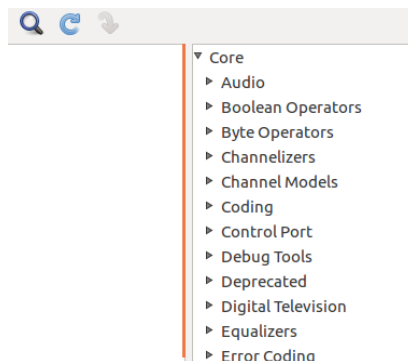


Рисунок 1.3 - Список блоков для моделирования

В правой части рабочего окна находится список доступных для моделирования блоков, которые разбиты на соответствующие категории. Нажмите на треугольник рядом с категорией, например, Генераторы сигналов (Waveform Generators), чтобы увидеть, какие блоки доступны в этой категории. Здесь расположены такие часто используемые блоки, как генератор периодических сигналов (Signal Source), источник шума (Noise Source), Генератор случайной последовательности символов (Random Source) и другие. Поиск необходимых блоков можно выполнить нажав на значок лупы, расположенный на панели меню в верхней части экрана.

Используйте функцию поиска (нажмите на значок лупы в правом верхнем углу), чтобы ввести ключевое слово, например, Source, чтобы увидеть все блоки с «Source» в названии.

Щелкните на «Signal source» и перетащите его в рабочую область, как показано ниже.

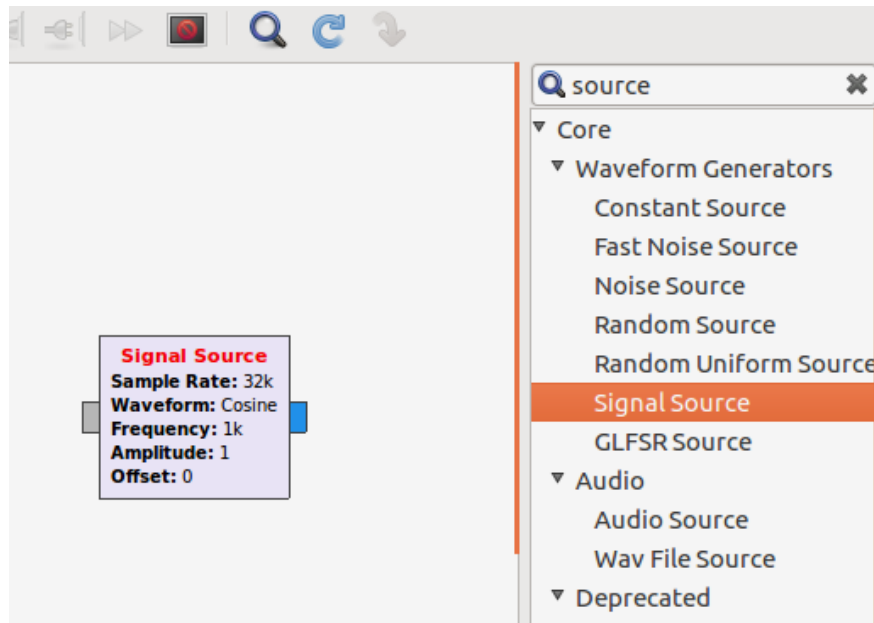


Рисунок 1.4 - Перенос блока в рабочую область программы

Вы также можете вращать блоки, щелкнув правой кнопкой мыши на них а затем нажав либо «Rotate Counterclockwise» или «Rotate Clockwise». Блоки также могут быть временно отключены, нажав на «Disable», который полезен для отладки.

Обратите внимание на то, что блок «Signal source» имеет два порта, один серый слева и синий справа. Цвет порта указывает на тип данных, генерируемых для выходного порта или типа данных, принятых для входа.

Для того чтобы увидеть используемые в GRC типы данных откройте пункт «types» во вкладке меню «help». (Для того чтобы открыть вкладку «help» в Ubuntu 16.04 необходимо навести курсор на верхнюю часть окна программы).

GRC использует потоковую модель обработки для работы с большими объемами данных в режиме реального времени, в отличие от традиционной среды обработки массивов (например Matlab). На практике это означает, что каждый блок обработки сигналов имеет независимый планировщик и работает в своем собственном потоке. То есть если вы работаете с приемно-передающим оборудованием который работает с определенной частотой дискретизации данных (например, 44100 выборки / сек для звукового сигнала, или 10 миллионов выборки / сек для интерфейса SDR), то и частоту дискретизации моделирования необходимо выставить соответствующую.

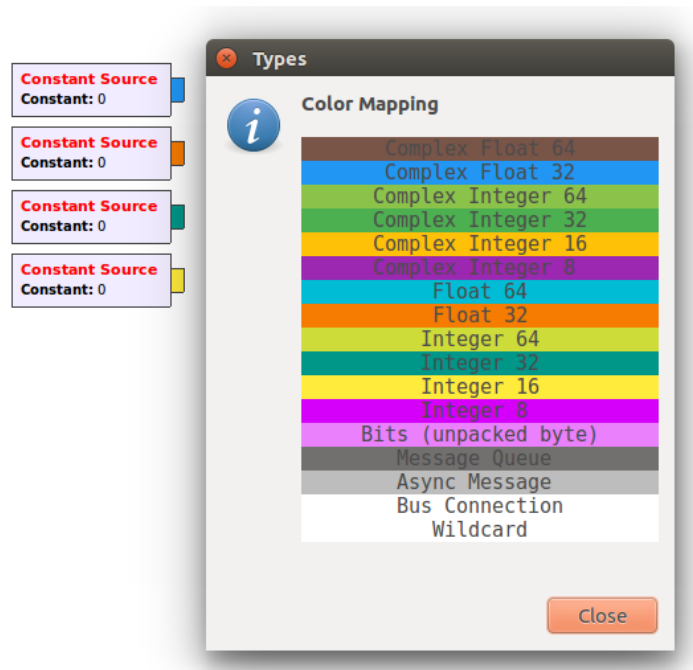


Рисунок 1.5 - Типы данных

Но если и источник и приемник реализуются исключительно в программном обеспечении (например, генератор сигналов или индикация частоты), то будет полезным ограничить скорость обработки данных при конкретной частоте дискретизации вашей модели. Для этого используется блок «Throttle». Его использование значительно снизит нагрузку на процессор и увеличит скорость моделирования.

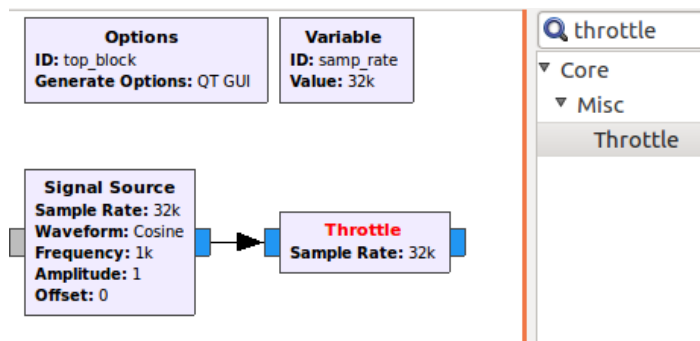


Рисунок 1.6 - Подключение блока «Throttle»

Подключите блок «Throttle» к выходу блока «Signal source» последовательно кликнув левой кнопкой мыши на порты каждого из блоков.

Важно! Чтобы блоки работали, оба порта должны использовать данные одного и того же типа (то есть, оба порта должны быть одного и того же цвета). Если типы данных различны, то стрелка соединения будет красного цвета вместо черного. Обратите также внимание, что надпись на блоке становится красной, указывая, что с этим блоком что-то не так. Так, же моделирование не может быть запущено, если некоторые порты не подключены.

Далее произведем генерацию синусоидального сигнала в GNURadio. Чтобы сгенерировать синусоидальный сигнал с частотой 1000 Гц и отобразить его во временной и частотной областях. Будем исходить из модели, которая была создана в предыдущем пункте. Для того, чтобы изменить тип выходных данных на float, дважды щелкните на блоке и в окне «Properties», нажмите на «Complex» в разделе «Output type» и выберите «Float», как показано ниже.

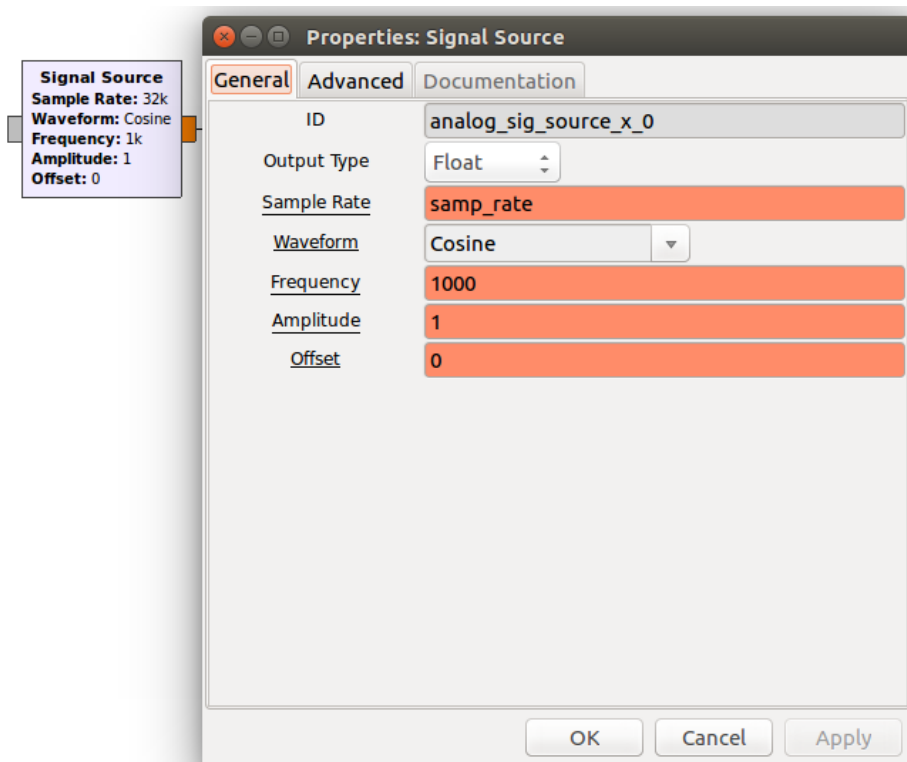


Рисунок 1.7 - Параметры блока «Signal source»

Повторите эти действия для блока «Throttle». Затем выберите «QT» в разделе «Instrumentation» (или просто введите в поиск «QT GUI Sink») и дважды щелкните на «QT GUI Sink». Этот блок позволит вам увидеть форму волны в частотной и во временной области. (Существует несколько видов графических блоков, например «QT GUI» и «WX GUI». Для использования каждого из видов данных блоков необходимо изменить соответствующий пункт в меню настроек блока «Options».) Измените тип данных с «Complex» на «Real» и подключите вход к выходу блока «Throttle». Сохраните модель, например, как LAB_1.grc.

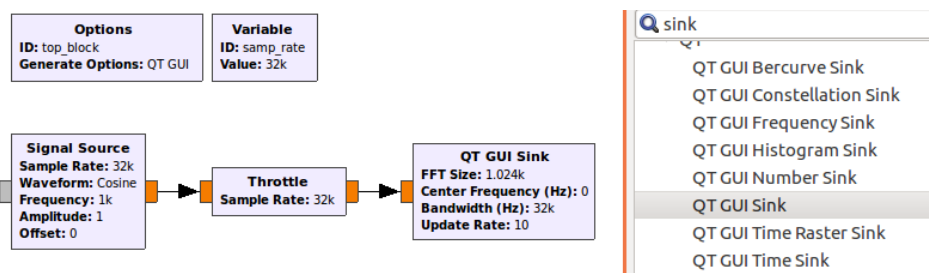


Рисунок 1.8 - Подключение блока «QT GUI Sink»

Теперь вы можете запустить моделирование, нажав на зеленый треугольник в строке меню. Вы можете выбирать между вкладками «Frequency Display» и «Display Time Domain», как показано ниже.

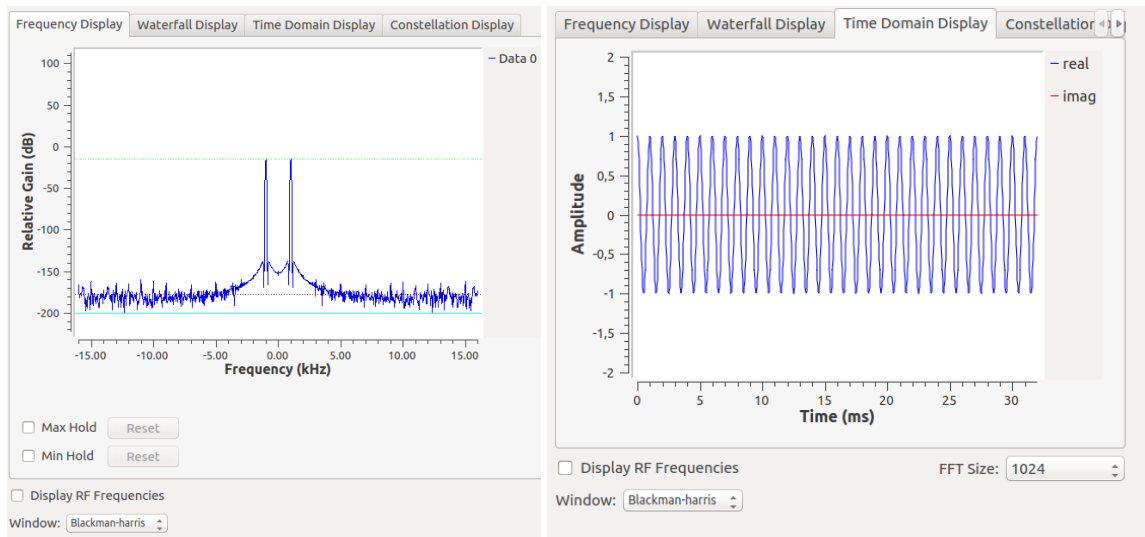


Рисунок 1.9 - «Frequency Display» и «Display Time Domain» блока «QT GUI Sink»

Конечно, вы можете попробовать и другие вкладки и определить, что они показывают. Используйте курсор, чтобы увеличить размер FFT до 4096 или 8192, выбрать типы фильтрующих окон, например, «rectangular» или «Kaiser» и наблюдайте изменения в отображении информации на экране. Следует отметить, что Frequency Display показывает спектральную плотность мощности (PSD), которая по существу пропорциональна квадрату величины преобразования Фурье.

Далее произведем генерацию синусоидального сигнала с переменной частотой и воспроизведением звука.

Откройте ранее сохраненный файл LAB_1.grc, который состоит из «Signal source», в «Throttle», и «QT GUI Sink».

Добавьте на рабочую область блок «QT GUI Range». Дважды щелкнув на блоке, вы можете увидеть его свойства. Измените «ID» из variable_qtgui_range_0 в range_1. Для «Default value» введите 1000. Для «Start» и значения «Stop» введите – 0 и 5000 соответственно. Новые значения параметров приведены ниже.

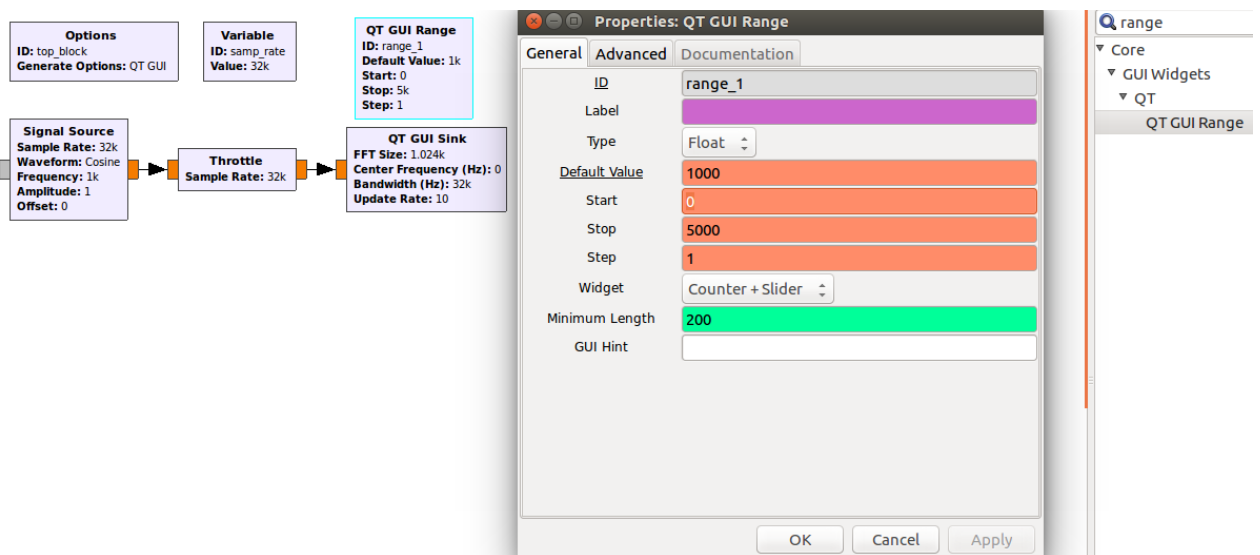


Рисунок 1.10 - Параметры блока «QT GUI Range»

Затем дважды щелкните на блоке «Signal source» и измените запись «Frequency» с 1000 на range_1. Запустите моделирование. При моделировании вы сможете изменять частоту синусоидального сигнала изменяя положение ползунка range_1.

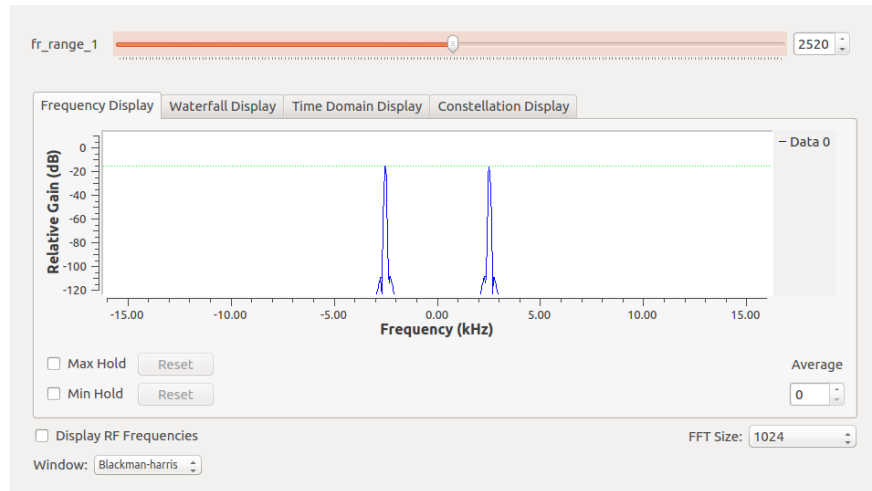


Рисунок 1.11 - Спектр смоделированного сигнала

Чтобы добавить звук, выберите «Audio», а затем дважды щелкните на «Audio Sink».

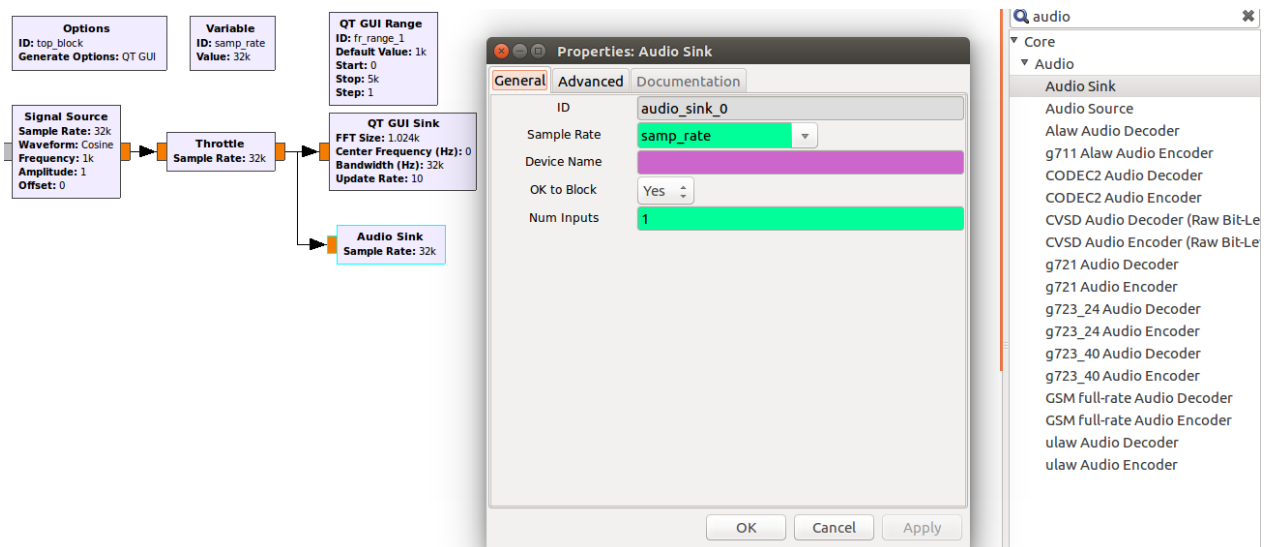


Рисунок 1.12 - Параметры блока «Audio Sink»

Соедините вход «Audio Sink» с выходом «Throttle». Так как «Audio sink» представляет собой аппаратное устройство, то возникает конфликт между скоростями обработки данных в блоке «Audio sink» и остальными блоками модели. Для устранения данного конфликта необходимо преобразовать частоту дискретизации перед блоком «Audio Sink» в 44100 Гц. Для этого установите еще один блок «Throttle» и в его настройках укажите значение «Sample Rate» - 44100.

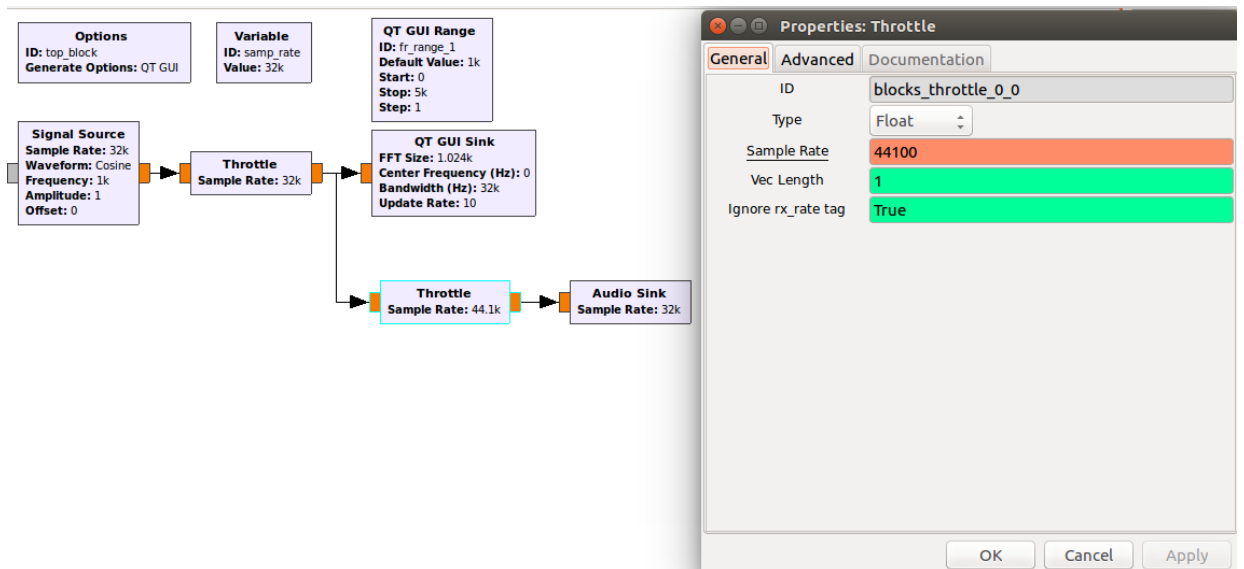


Рисунок 1.13 - Изменение частоты дискретизации для различных блоков GRC

Если запустить моделирование будет происходить изменение частоты «Signal source» от 0 до 5000 Гц при изменении значения range_1. При этом вы будете слышать соответствующий звук. Вы можете увидеть изменение частоты во временной и частотной области при помощи «QT GUI Sink».

Добавьте к модели второй источник сигнала. Для этого поместите в рабочую область блоки «Signal source» и «Add» для того чтобы смешать два сигнала в один поток. Измените в параметрах блока «Signal source» тип генерируемого сигнала с синусоидального на какой-либо другой. Соедините блоки, как показано на рисунке ниже, и запустите моделирование. Вы увидите как изменилась форма сигнала и воспроизводимый моделью звук в соответствии с внесенными в модель изменениями.

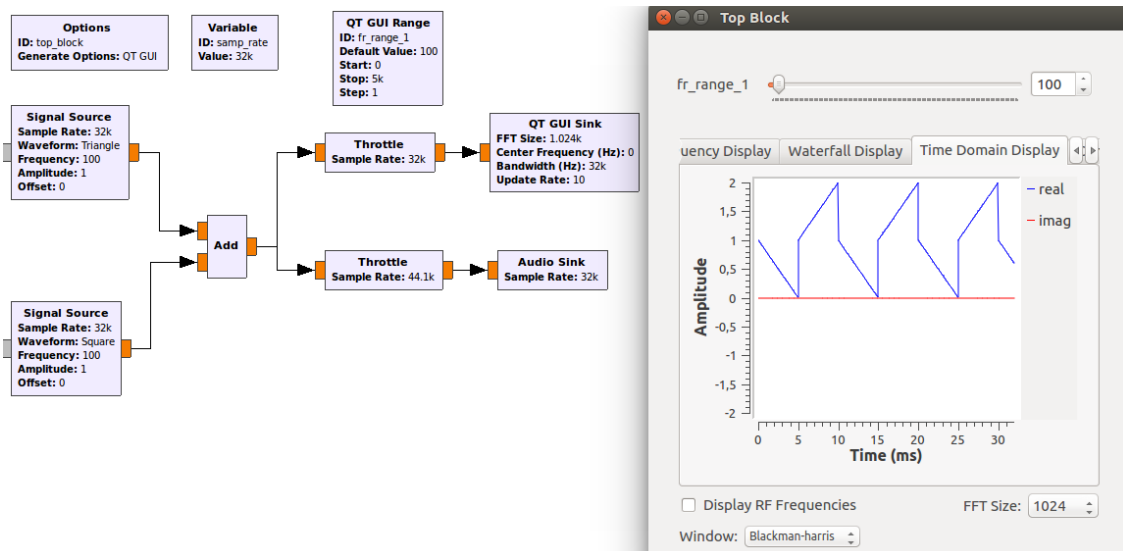


Рисунок 1.14 - Блок-схема модели и представление смоделированного сигнала во временной области

Контрольные вопросы к лабораторной работе

- 1) Какие типы данных используются в программной среде GNU Radio?
- 2) Зачем нужен блок Throttle?
- 3) Что такое частота дискретизации модели? Как она влияет на работу?
- 4) Могут ли блоки из интерфейса QT GUI работать совместно с WX GUI?
- 5) Как зависит скорость обработки блока QT GUI Sink от ширины окна преобразования Фурье?

2. Лабораторная работа «Цифровой FM-передатчик и приемник»

Цель работы: Реализовать систему передачи FM-сигнала используя программную среду GNU Radio, рассчитать ее основные характеристики. Осуществить прием сигнала с помощью мобильного телефона и программно-определяемой радиосистемы.

Задачи лабораторной работы:

- 1) Составить программу для передачи FM-сигнала среде GNU Radio.
- 2) Произвести передачу FM-сигнала при помощи программно определяемой радиосистемы.
- 3) Составить программу для приема FM-сигнала среде GNU Radio.
- 4) Произвести прием FM-сигнала при помощи программно-определяемой радиосистемы и мобильного телефона (последнее необязательно). Зафиксировать и проанализировать сигнал в различных точках модели в среде GNU Radio.

Краткие теоретические сведения

До 1961 года производилась трансляция монофонических звуковых сигналов по стандартам для AM, FM и TV. FM-вещание в то время также включало вспомогательные коммуникационные услуги, которые были мультиплексированы с основной информацией монофонического канала для обеспечения фоновой музыки и других услуг в офисах и магазинах. В 1961 году была одобрена передача стереофонического звука, который расширяет идею мультиплексирования сигналов для генерации стереофонического аудио сигнала. Одно из основных требований к стереофоническому сигналу заключается в том, чтобы иметь обратную совместимость с большой существующей базой FM моноканальных приемников. Для достижения этой цели полоса от 0 до 15 кГц части мультиплексного сигнала (MPX) должна была содержать левый (L) и правый (R) каналы информации (L + R) для монофонического приема. Стереофонический эффект звука достигается за счет амплитудной модуляции разностного сигнала (L - R) на поднесущей 38 кГц в области от 23 до 53 кГц спектра основной полосы частот. На 19 кГц передается тон пилот-сигнала, который добавляется к мультиплексному сигналу, чтобы дать возможность FM стерео приемникам обнаружить и декодировать стерео сигнал. Формат композитного сигнала основной полосы частот соответствует обратной совместимости, необходимой для FM моно приемников, одновременно обеспечивая достаточную информацию FM стерео ресиверам для декодирования левого и правого каналов. Сегодня сигнал MPX включает в себя поднесущую на 57 кГц, которая несет RDS и RBDS сигналы. На рисунке 2.1 показан спектр сигнала основной полосы частот современных FM радиостанций (важно отметить, что после частотной модуляции спектр будет выглядеть иначе).

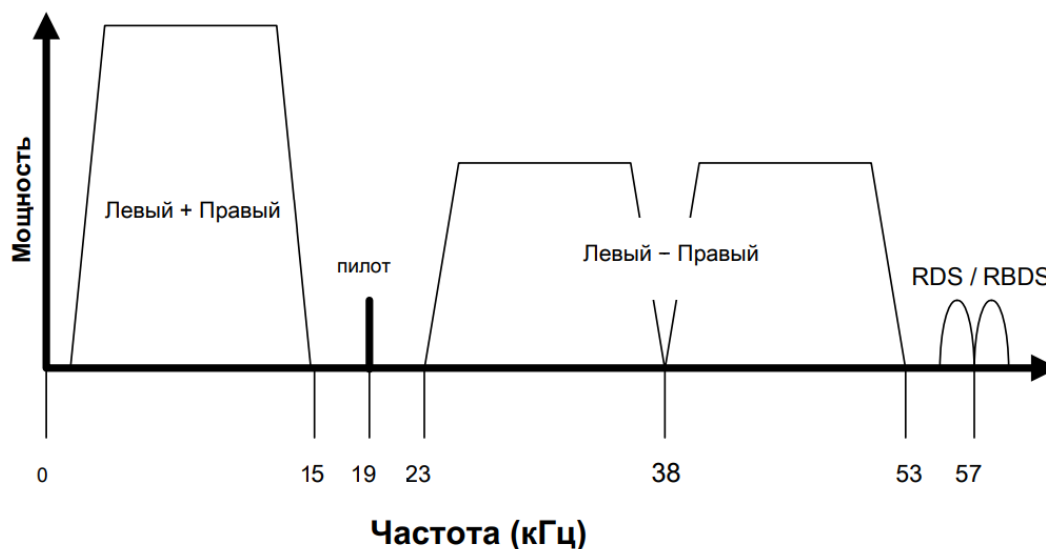


Рисунок 2.1 - Спектр современных FM радиостанций

В соответствии с этим структурная схема FM передатчика имеет следующий вид. $L(t)$ и $R(t)$ обозначают временные формы сигналов левого и правого каналов, а $RDS(t)$ обозначает сигнал RDS / RBDS. Суммарный сигнал $m(t)$ далее поступает на FM модуляцию и передается в эфир. В GNURadio данная схема представлена блоком WBFM transceiver.

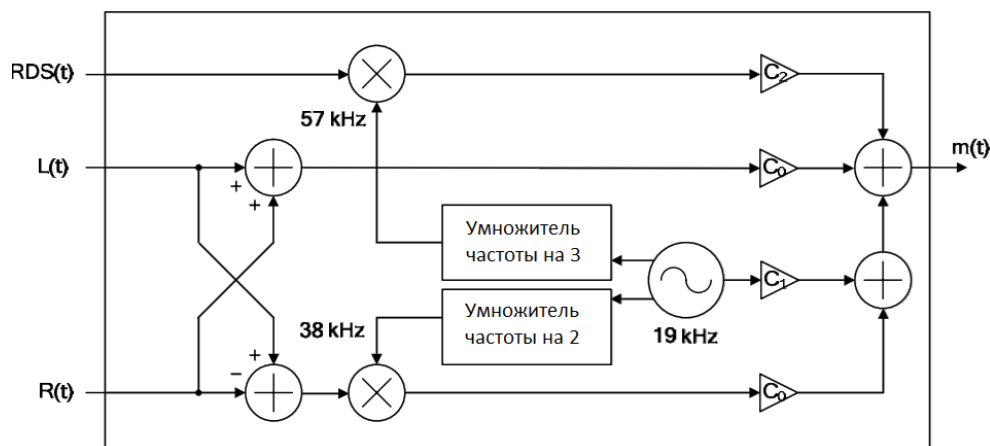


Рисунок 2.2 - Структурная схема FM передатчика

Прием и декодирование сигнала FM радиостанции производится в соответствии с структурной схемой, представленной на рисунке ниже.

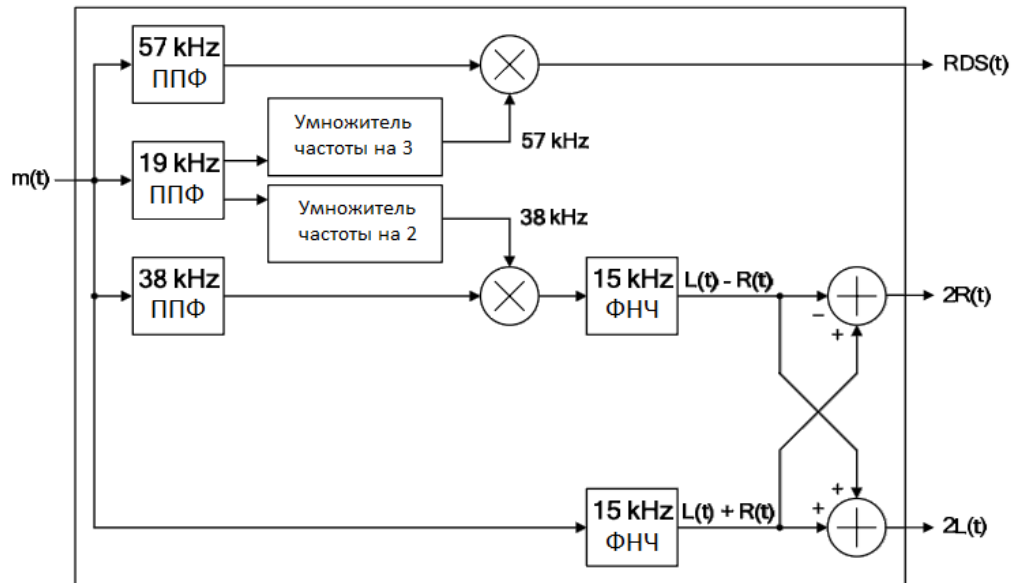


Рисунок 2.3 - Структурная схема FM приемника

На рисунке 2.3 показана структурная схема декодера, используемого для восстановления левого, правого и RDS сигналов из MPX сигнала, $m(t)$. К сигналу применяется три полосовых фильтра с центральными частотами в 19, 38 и 57 кГц, а также фильтр нижних частот с частотой среза 3 дБ на 15 кГц. Полосовой фильтр 19 кГц является узкополосным фильтром, используемым для извлечения 19 кГц-тона пилот-сигнала из сигнала MPX. Затем пилот-сигнал умножается по частоте в два раза и три раза для получения поднесущих 38 и 57 кГц, необходимых для демодуляции $(L - R)$ и RDS сигналов, соответственно. Путем сложения и вычитания сигналов $(L + R)$ и $(L - R)$, можно получить удвоенные значения левого и правого каналов, необходимых для стереофонического звука.

Ход выполнения работы

На данном этапе будет осуществлена реализация FM-передатчика с использованием частотной модуляции. Частотная модуляция использует спектр частот, значительно превосходящий максимальную частоту модулирующего сигнала. Данный тип модуляции применяется при высококачественном радиовещании и для звукового сопровождения телевизионных передач.

Для реализации FM-передатчика запустите gnuradio-companion и создайте в программе блок-схему, которая представлен на рисунке 2.4.

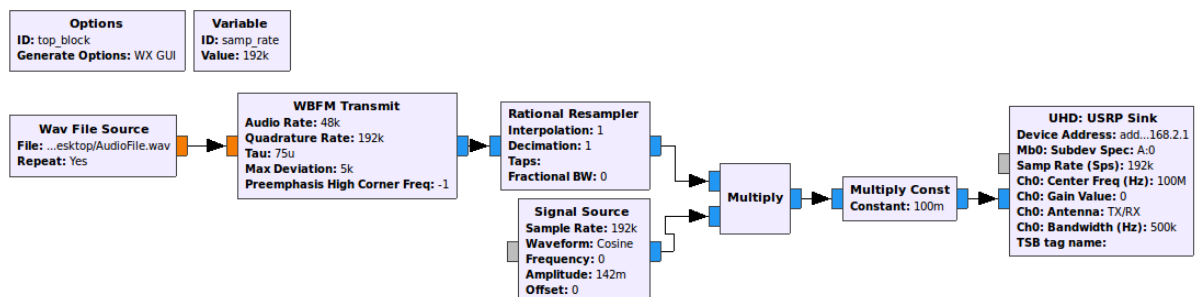


Рисунок 2.4 - Блок-схема FM передатчика

При помощи данной схемы можно передать в эфир звуковой файл через передатчик USRP и получить его на мобильный телефон или на USRP приемник. Таким образом, мы будем использовать источник звука, который является файлом в формате WAV. В блоке WAV

File Source необходимо выбрать источник входного файла, который хранится на нашем компьютере. Соответствующие настройки блока WAV File Source представлены на рисунке 2.5.

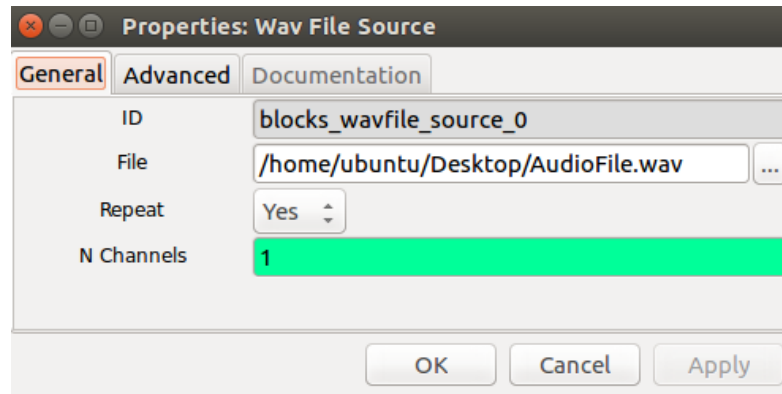


Рисунок 2.5 - Настройки блока WAV File Source

Далее сигнал поступает в блок WBFM Transmit. Этот блок представляет собой модулятор WBFM, структурная схема которого была представлена в теоретической части данной практической работы (рисунок 2.3). Для корректной работы блоков необходимо соблюдать частоту дискретизации входных и выходных данных. Так как исходный WAV файл имеет частоту дискретизации 48kHz, то необходимо установить следующие параметры блока WBFM Transmit (рисунок 2.6).

- 1) Audio rate: 48 kHz
- 2) Quadrature Rate: $48 \text{ kHz} * 4 = 192 \text{ kHz}$
- 3) Tau: 75u

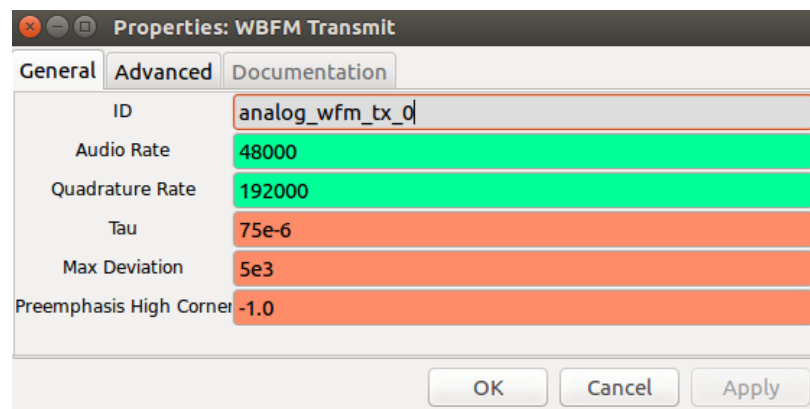


Рисунок 2.6 - Настройки блока WBFM Transmit

Теперь модулированный сигнал из блока WBFM Transmit отправляется в блок Rational Resampler, где мы делаем некоторые преобразования частоты.

Например, WAV File Source требует более низкой частоты дискретизации, а блок USRP Source требует более высокой частоты дискретизации так как этого требует аппаратная составляющая оборудования. Блок Rational Resampler преобразует частоту дискретизации, делая интерполяцию или децимацию сигнала в соответствии с необходимыми требованиями. Настройки блока Rational Resampler представлены на рисунке 2.7.

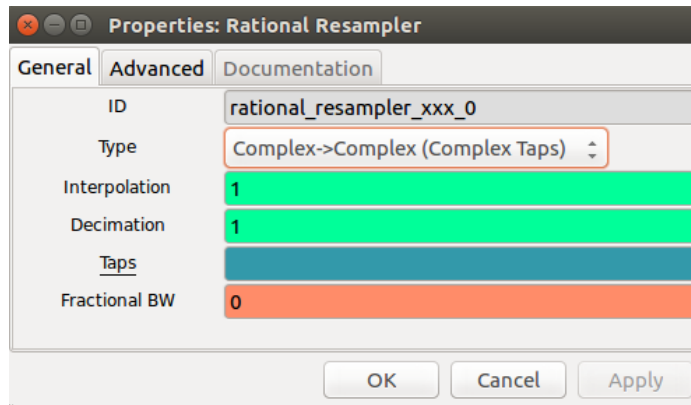


Рисунок 2.7 - Настройки блока Rational Resampler

Сигнал с блока Rational Resampler подается на один из входов умножителя (Multiply), а на второй вход умножителя подается косинусоида с частотой 192 кГц.

Теперь этот умноженный сигнал подается на блок USRP Sink, при помощи которого сигнал поступает на передающую антенну USRP. В данной практической работе мы используем 100 МГц в качестве центральной частоты, поэтому значение center frequency задается равным 100e6. Усиление сигнала не рекомендуется задавать более 10дБ, так как это приводит к искажениям передаваемого сигнала. Если сигнал имеет малую амплитуду его можно усилить в блоке Multiply, умножая на необходимую константу. Антенна соответствующего диапазона подключается к гнезду TX / RX платы USRP B210. Параметры блока USRP Sink представлены на рисунке 2.8. Для правильного приема сигнала из эфира, приемник необходимо настроить в точности с теми же характеристиками, как и передатчик. В пункте Device Arguments необходимо вписать "b210".

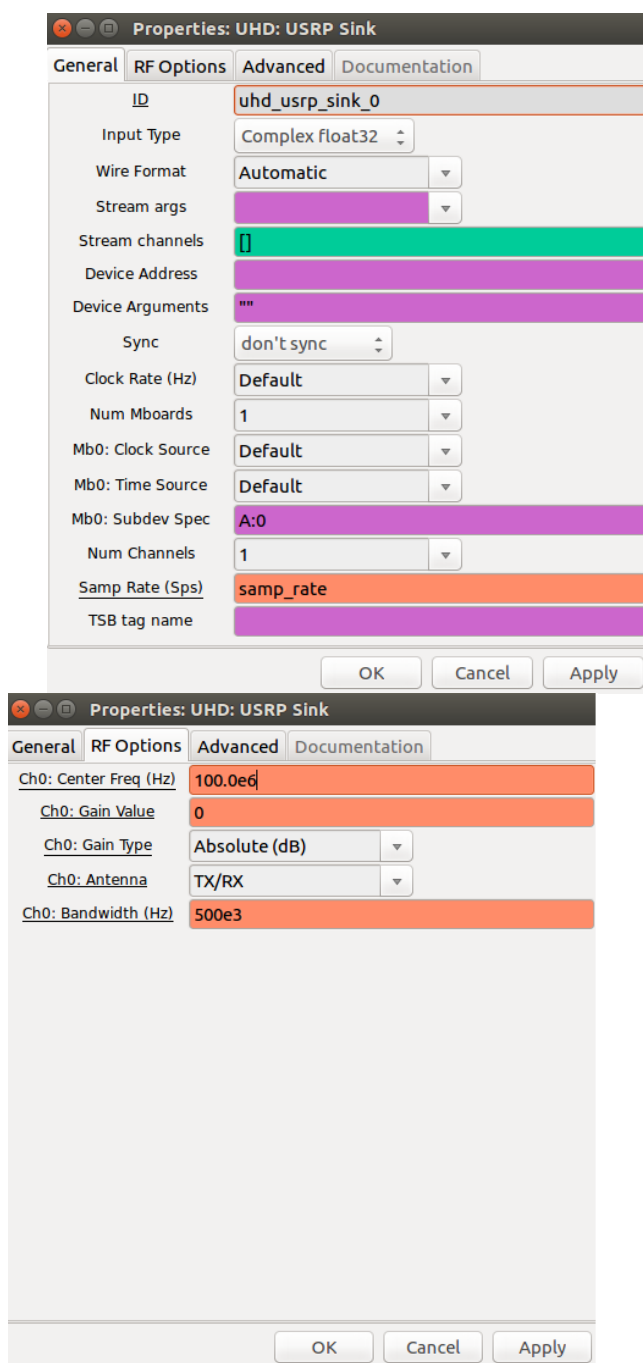


Рисунок 2.8 - Настройки блока USRP Sink

Запустите полученную блок-схему и зафиксируйте спектр сигнала на входе USRP Sink, проанализируйте полученные результаты.

Для прослушивания передаваемого звукового сигнала на любом мобильном телефоне, необходимо подключить гарнитуру и настроить FM-приемник мобильного телефона на частоту передачи, которая равна 100 МГц. На Рисунке 9 показана настройка мобильного телефона.

Для приема FM-сигнала в GNU Radio, в качестве источника входного сигнала используется блок USRP Source с центральной частотой 100 МГц и другими параметрами, которые показаны на рисунке 12. При этом частота дискретизации равна 192 кГц, а коэффициент усиления может быть установлен от 0 до 50 в зависимости от ослабления принимаемого сигнала. Антенна соответствующего диапазона подключается к гнезду RX-2 платы USRP B210.

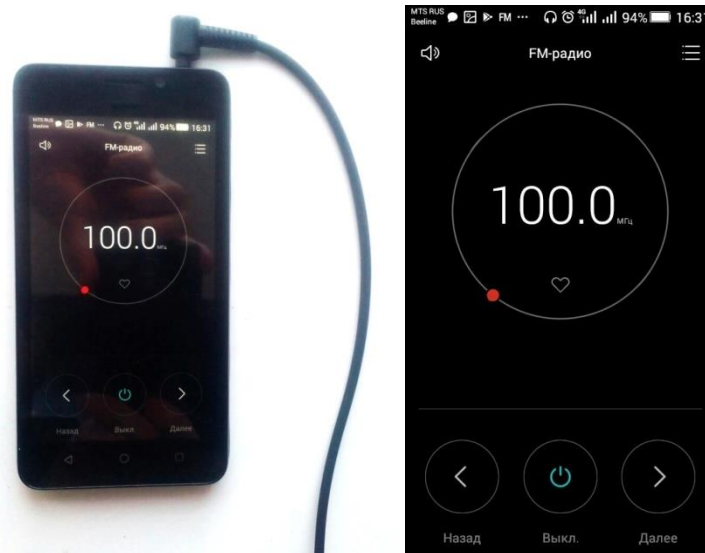


Рисунок 2.9 - Настройка мобильного телефона

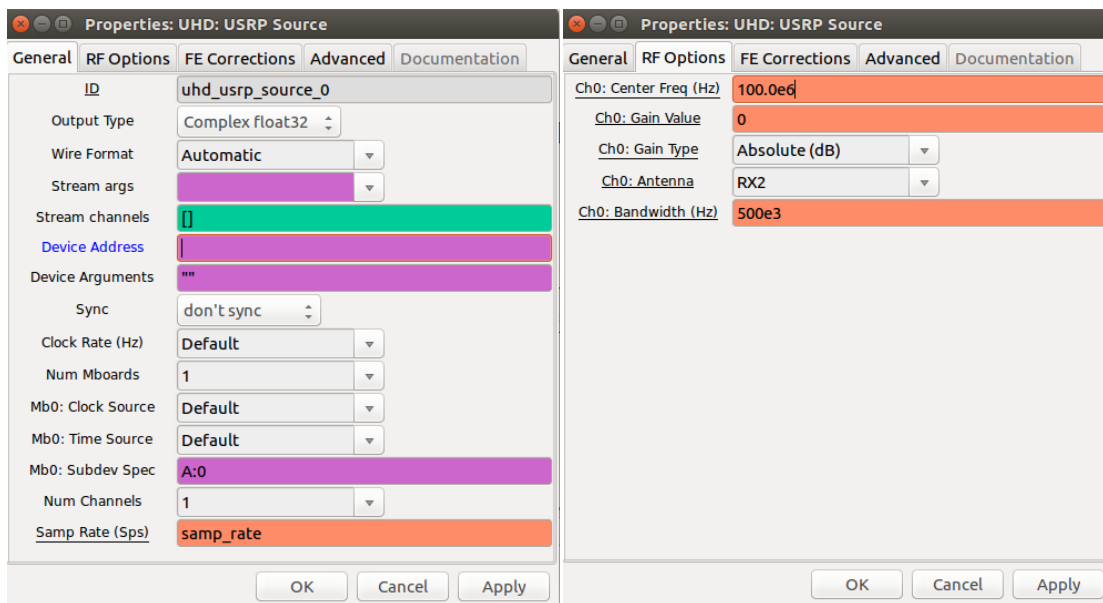


Рисунок 2.10 - Настройки блока USRP Source

Для правильного приема сигнала из эфира, приемник необходимо настроить в точности с теми же характеристиками, как и передатчик. В пункте Device Arguments необходимо вписать "b210".

Далее сигнал поступает на фильтр низких частот. При этом фильтр пропускает сигнал ниже частоты среза и удаляет более высокие частоты, на которых передается сигнал других FM-радиостанций.

Сигнал после фильтрации поступает в блок WBFM Receive. Этот блок является демодулятором FM-сигнала, структурная схема которого показана на рисунке 34. После прохождения WBFM Receive мы получаем исходный поток данных. Настройки данного блока представлены на рисунке 2.

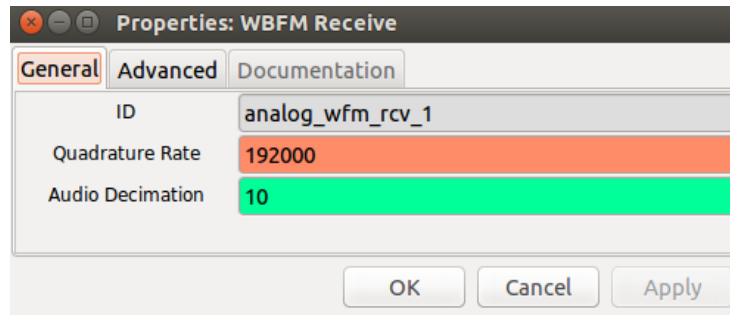


Рисунок 2.11 - Настройки блока WBFM Receive

С выхода блока WBFM Receive сигнал поступает в блок на Rational Resampler, назначение которого описывалось ранее.

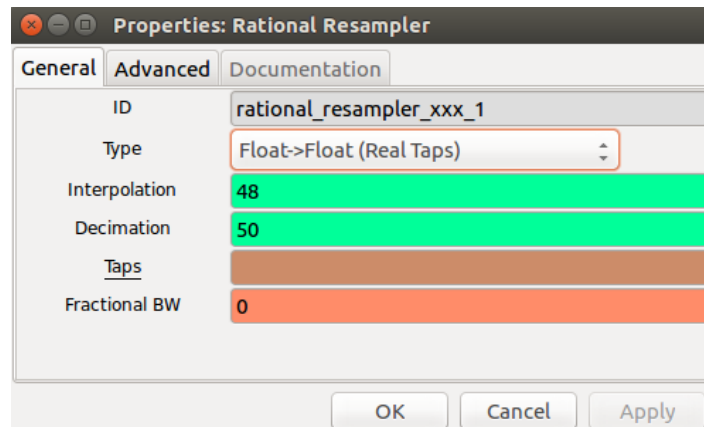


Рисунок 2.12 - Rational Resampler

После преобразования частоты дискретизации, до необходимого блоку Audio Sink значения, амплитуда сигнала изменяется путем умножения на 0,3. Данное преобразование необходимо для устранения нелинейных искажений аудиосигнала. Если же при приеме громкость аудиосигнала мала, то необходимо изменить параметры блока Multiply constant в соответствии с желаемой громкостью. Затем этот сигнал поступает в блок Audio Sink для прослушивания аудиосигнала. Настройки блока Audio Sink представлены на рисунке 2.13. После всех проделанных манипуляций блок-схема выглядит следующим образом (рисунок 2.14). Запустите моделирование. При правильной настройке блок-схемы вы должны услышать передаваемый аудиосигнал.

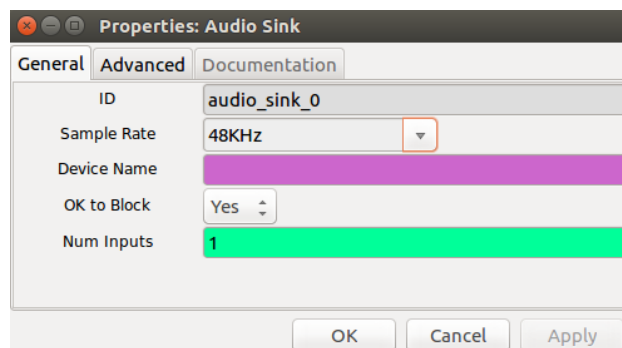


Рисунок 2.13 - Audio Sink

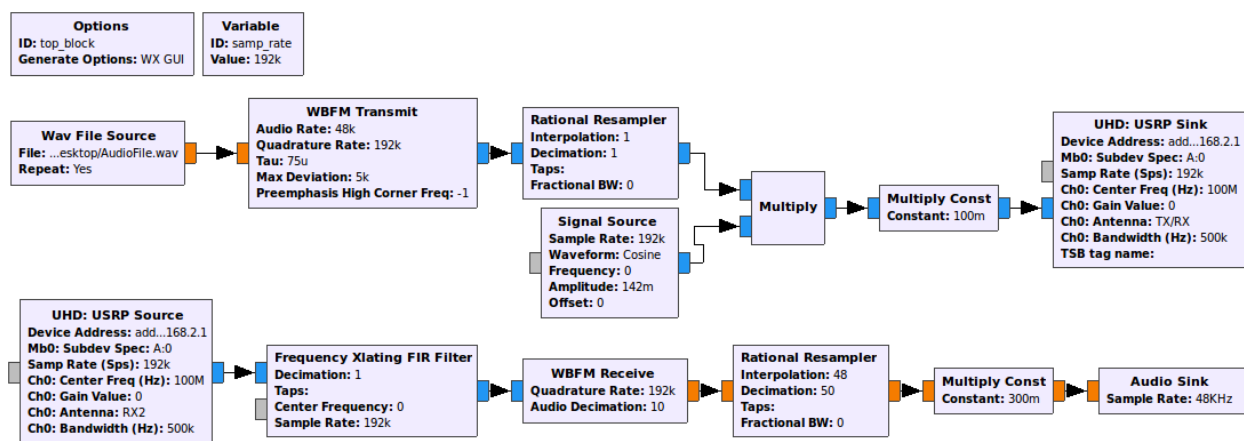


Рисунок 2.14 - Блок-схема FM передатчика и приемника

Задания для самостоятельного выполнения

1) В качестве результатов моделирования зафиксируйте спектры сигналов в следующих точках и проанализируйте результаты:

- на входе блока USRP Sink;
- на выходе блока USRP Source;
- на выходе блока Filter;
- на выходе блока WAV File Source;
- на выходе блока WBFM Transmit;
- на выходе блока WBFM Receive.

2) Найдите частоту вещания некоторых FM-радиостанций в Вашем городе. Настройте блок-схему таким образом, чтобы осуществить прием на частоте выбранной радиостанции. При правильной настройке вы услышите аудиосигнал, передаваемый данной радиостанцией. Постройте соответствующие спектры сигналов в точках, аналогичных пункту 1. Проанализируйте полученные результаты и сравните их с полученными ранее в пункте 1.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

- 1) Чем стереофонический сигнал отличается от монофонического?
- 2) Почему на частотах 88-108 МГц применяется в основном частотная модуляция сигналов?
- 3) Что такое избирательность по соседнему и зеркальному каналу?
- 4) Какие виды фильтров вы знаете? Чем полосовой отличается от режекторного фильтра?
- 5) Можно ли произвести прием сигнала без подключения каких либо усилительных элементов к антенне (в цепях приемника только пассивные компоненты)?

3. Лабораторная работа «Цифровая модуляция QAM-M»

Цель работы: изучить основные типы квадратурной модуляции, применяемые в современных системах передачи информации.

Задачи лабораторной работы:

- 1) Составить программу с применением QAM-модуляции в программной среде GNU Radio.
- 2) Произвести передачу и прием потока бит по реальному каналу. Зафиксировать и проанализировать изменение сигнала при различных настройках в модели GNU Radio.
- 3) Составить программу с применением QAM-модуляции для оценки отношения сигнал/шум.

Краткие теоретические сведения

Квадратурная амплитудная модуляция (с англ. Quadrature amplitude modulation) широко используется во многих видах цифровой радиосвязи. Доступны различные формы QAM, а некоторые из наиболее распространенных форм включают: 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM и 256 QAM. Здесь цифры относятся к числу позиций на созвездии, т. е. количеству различных состояний, которые могут существовать. Различные варианты QAM могут использоваться, когда ресурс PSK-модуляции не позволяет добиться требуемой скорости для системы передачи информации. Это связано с тем, что QAM достигает большего расстояния между соседними точками в плоскости I-Q, распределяя точки более равномерно. Таким образом точки на созвездии более четкие, а ошибки данных уменьшаются. Хотя можно передавать больше бит на символ, например QAM-256, но если энергия созвездия остается неизменной, точки на созвездии должны быть ближе друг к другу, и передача становится более восприимчивой к шуму. Это приводит к более высокой вероятности битовой ошибки, чем для вариантов QAM более низкого порядка. Таким образом, существует баланс между получением более высоких скоростей передачи данных и поддержанием приемлемой частоты ошибок в бит для любой системы радиосвязи.

На данный момент QAM-модуляция используется практически во всех системах радиосвязи. Например, в цифровом телевизионном стандарте DVB-T/T2 (с англ. Digital Video Broadcasting) стандарте используется QAM-64 и QAM-256, а в США QAM-64 и 256 QAM-256 используются в сетях кабельного телевидения, стандартизированные SCTE в стандартном ANSI / SCTE 07 2000. В дополнение к этому, варианты QAM также используются для многих беспроводных и сотовых технологий. Диаграммы созвездий показывают распределение точек для состояний в разных формах QAM, квадратурной амплитудной модуляции. По мере увеличения порядка модуляции увеличивается количество точек на диаграмме созвездий QAM.

На приведенных ниже рисунках можно наблюдать диаграммы созвездий для QAM-16 и QAM-64.

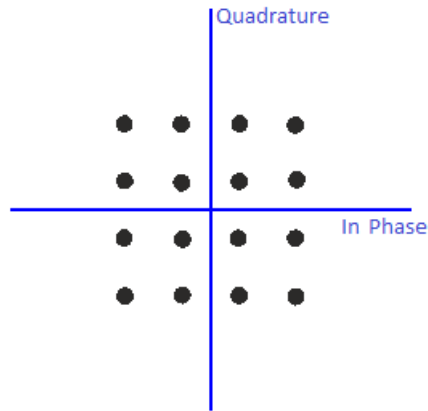


Рисунок 3.1 - Диаграмма созвездий для QAM-16

Особенность использования QAM заключается в том, что это форма модуляции способна переносить несколько бит информации на символ, а выбирая формат QAM более высокого порядка, скорость передачи данных может быть увеличена.

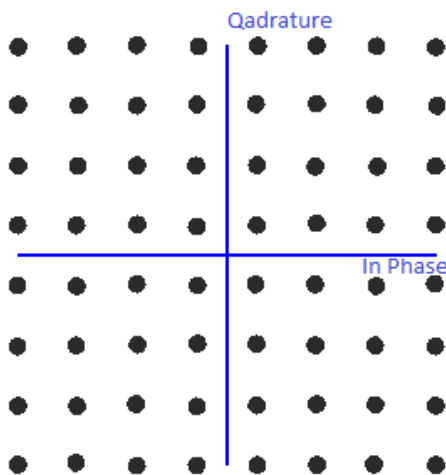


Рисунок 3.2 - Диаграмма созвездий для QAM-64.

В приведенной ниже таблице показано, сколько бит на символ модуляции может быть передано для различных форм QAM и PSK.

Таблица 3.1 - Зависимость количества бит на символ от порядка QAM

Тип цифровой модуляции	Кол-во бит на символ модуляции
QPSK или QAM-4	2
8-PSK	3
16-QAM	4
64-QAM	6

QAM более высокого порядка способна обеспечить гораздо более быструю скорость передачи данных и более высокий уровень спектральной эффективности для системы радиосвязи, но не стоит забывать, что такие типы модуляции значительно менее устойчивы к шуму и помехам.

В результате этого многие системы радиосвязи теперь используют технологии динамической адаптивной модуляции. Они ощущают условия канала и адаптируют схему модуляции для получения максимальной скорости передачи данных для данных условий. По мере уменьшения отношения сигнал / шум ошибки будут увеличиваться вместе с повторными передачами данных, тем самым замедляя пропускную способность. Возвращаясь к схеме моду-

ляции более низкого порядка, связь может быть более надежной с меньшим количеством ошибок данных и повторной отправкой.

Ход выполнения работы

В программной среде GNU Radio составить программу, показанную на рисунке 3.3 и передать поток бит по реальному каналу. Далее приводится описание работы программы.

При помощи генератора случайных чисел формируются биты и подаются на QAM-модулятор, параметры которого задаются переменными. Для правильной работы передатчика B210 необходимо уменьшить значение амплитуды на выходе модулятора (если этого не сделать могут возникнуть ошибки). Уменьшение амплитуды производится умножением на константу. Далее сигнал поступает на вход передатчика B210, производится настройка несущей частоты, параметров усиления и др. Проходя через реальный канал, сигнал поступает на приемник B210, который настроен по тем же основным характеристикам, что и передатчик. После приема, осуществляется первичная обработка блоком синхронизации. Стоит заметить, что после блока синхронизации созвездие QAM может быть произвольно повернуто, что связано с влиянием среды при прохождении реального канала. Для поворота созвездия, можно применить умножение на комплексное число и наблюдать его в блоке виртуального монитора диаграммы созвездий. Поворот созвездия никак не влияет на правильность демодуляции, поскольку алгоритмы Python, применяемые в QAM-демодуляторе учитывают частотную девиацию и отклонения сигнала по фазе. Итак, после умножения на комплексное число сигнал демодулируется QAM-демодулятором и выводится на виртуальный осциллограф через согласующий блок. Параметры каждого блока указаны на рисунках 3.4 - 3.16.

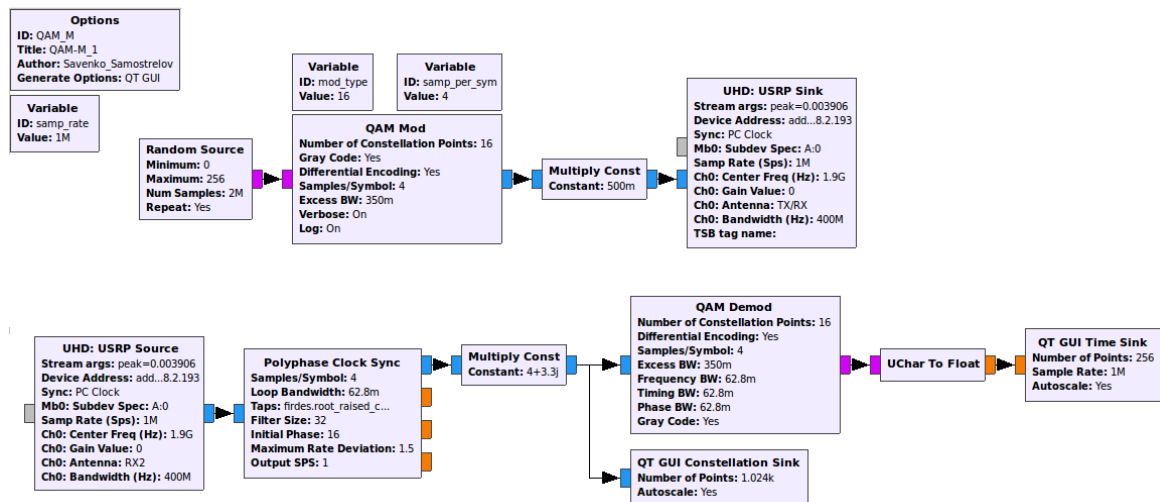


Рисунок 3.3 - Общая схема приемника и передатчика с применением QAM-модуляции в GNU Radio

В начале работы производится настройка частоты дискретизации. Для этого необходимо создать переменную как показано на рисунке ниже.

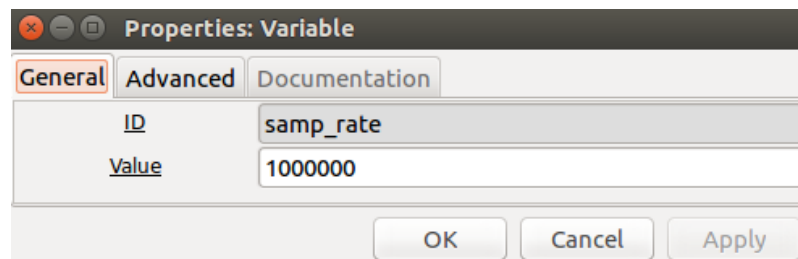


Рисунок 3.4 - Настройка частоты дискретизации системы.

Чтобы подвергнуть биты модулированию, создаем QAM-модулятор и производим его настройку согласно рисункам, представленным ниже.

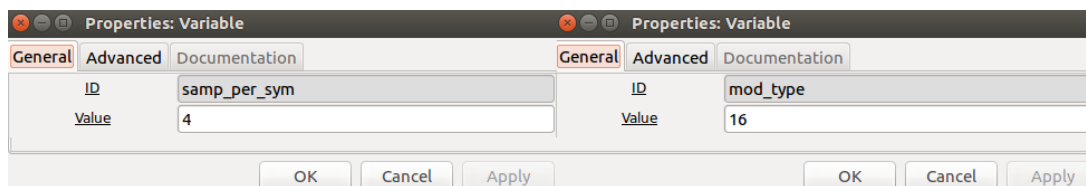


Рисунок 3.5 - Настройка переменных для QAM-модулятора

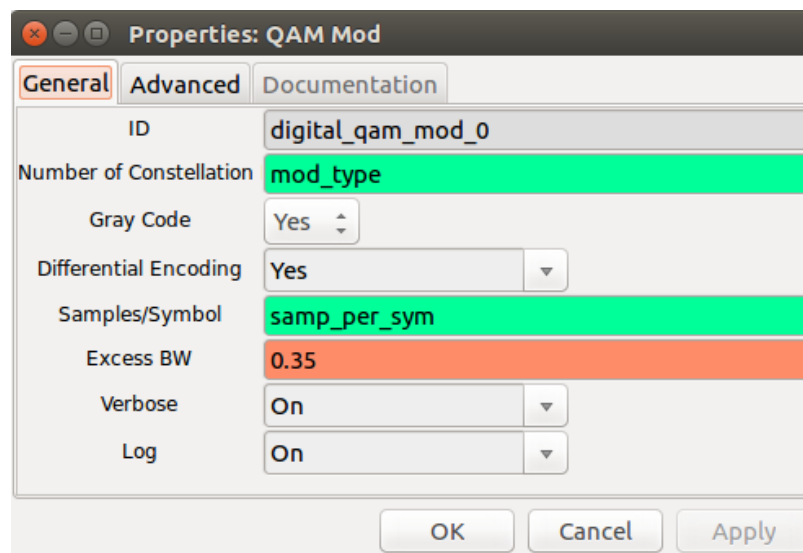


Рисунок 3.6 - Настройки для QAM-модулятора.

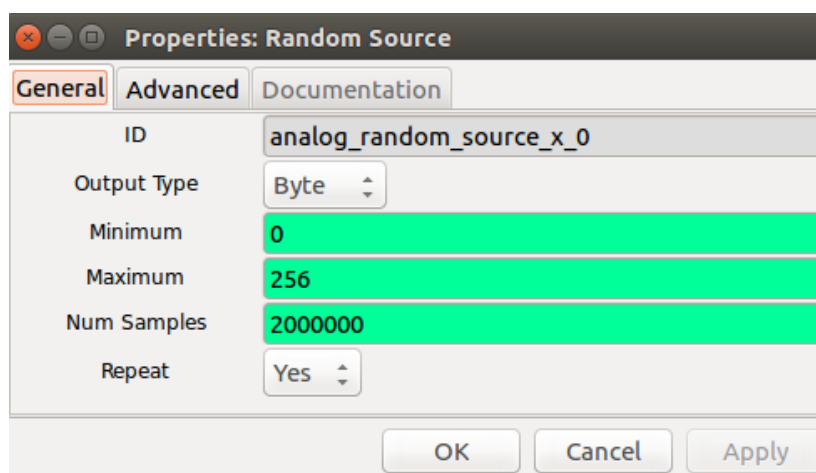


Рисунок 3.7 - Настройки для генератора случайных чисел.

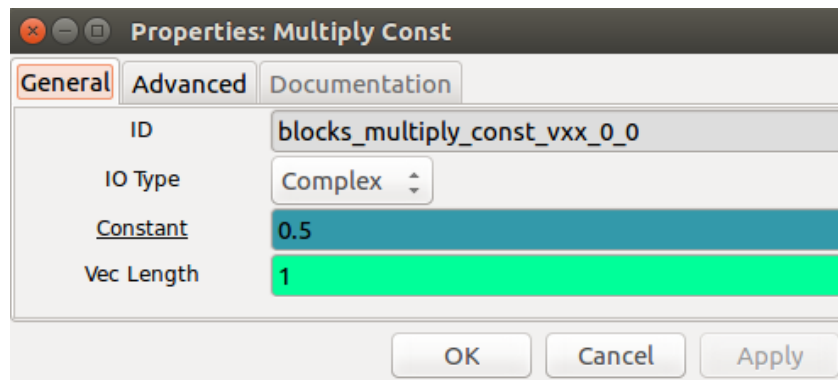


Рисунок 3.8 - Добавление константы для регулировки амплитуды сигнала на выходе QAM-модулятора.

Важным пунктом является точная настройка передатчика, характеристики которого приведены далее на рисунках. В пункте Device Arguments необходимо вписать "b210".

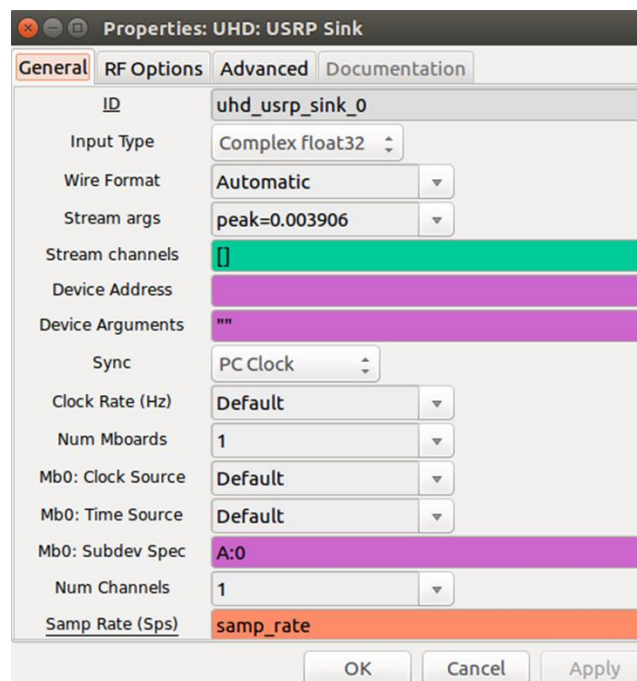


Рисунок 3.9 - Настройка общих параметров для передающей части NI-USRP (Часть 1)

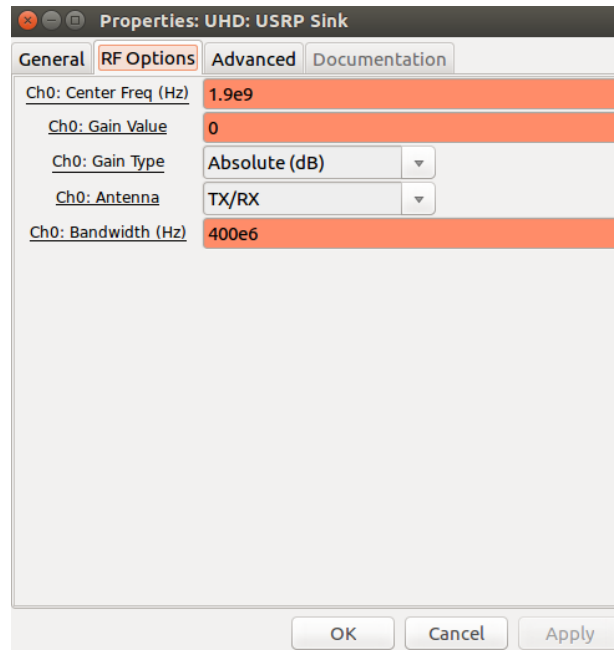


Рисунок 3.10 - Настройка частоты, выбор антенн и других параметров для передающей части NI-USRP (Часть 2)

Для правильного приема сигнала из эфира, приемник необходимо настроить в точности с теми же характеристиками, как и передатчик. В пункте Device Arguments необходимо вписать "b210".

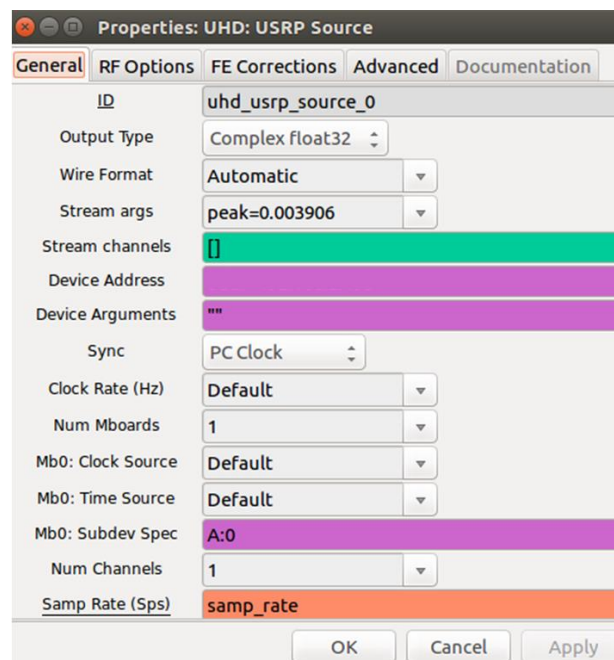


Рисунок 3.11 - Настройка общих параметров для приёмной части NI-USRP (Часть 1)

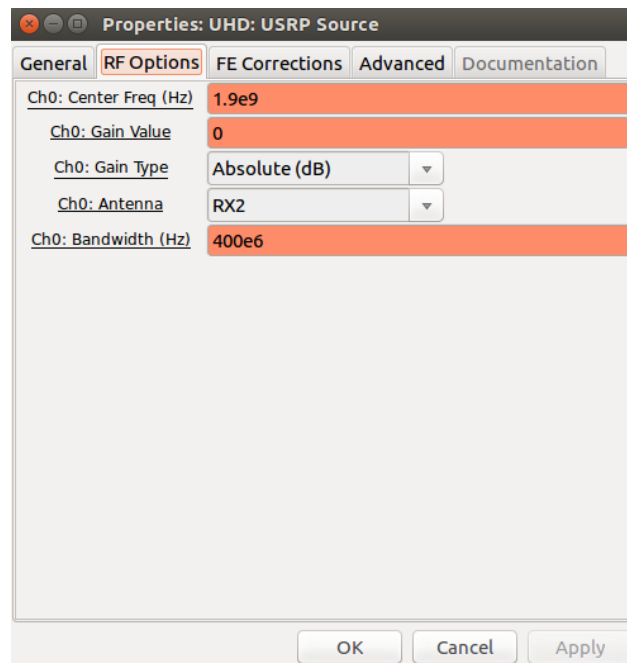


Рисунок 3.12 - Настройка частоты, выбор антенн и других параметров для приёмной части NI-USRP (Часть 2)

Блок синхронизации настраивается в соответствии с алгоритмами Python, по которым работает блок демодуляции QAM. Будьте предельно внимательны при настройке.

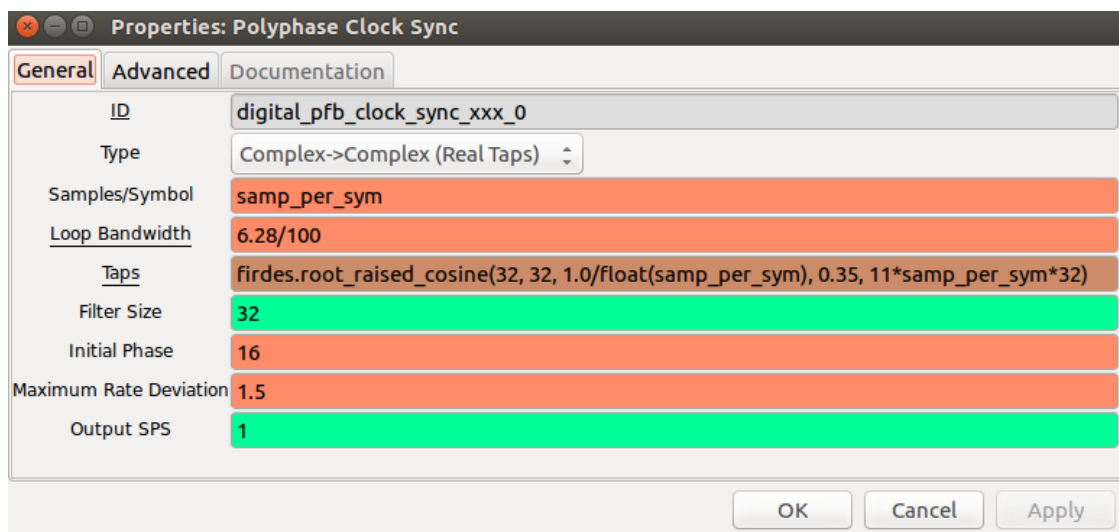


Рисунок 3.13 - Настройка для блока синхронизации для QAM-сигнала.

Properties: QAM Demod

General | Advanced | Documentation

ID: digital_qam_demod_0

Number of Constellation: mod_type

Differential Encoding: Yes

Samples/Symbol: samp_per_sym

Excess BW: 0.35

Frequency BW: 6.28/100.0

Timing BW: 6.28/100.0

Phase BW: 6.28/100.0

Gray Code: Yes

Verbose: Off

Log: Off

OK Cancel Apply

Рисунок 3.14 - Настройка для блока QAM-демодулятора.

Properties: QT GUI Constellation Sink

General | Trigger | Config | Advanced | Documentation

ID: qtgui_const_sink_x_1

Type: Complex

Name:

Number of Points: 1024

Grid: No

Autoscale: Yes

Y min: -2

Y max: 2

X min: -2

X max: 2

Number of Inputs: 1

Update Period: 0.10

GUI Hint: 1,0,1,1

OK Cancel Apply

Рисунок 3.15 - Настройки для блока просмотра диаграммы созвездий

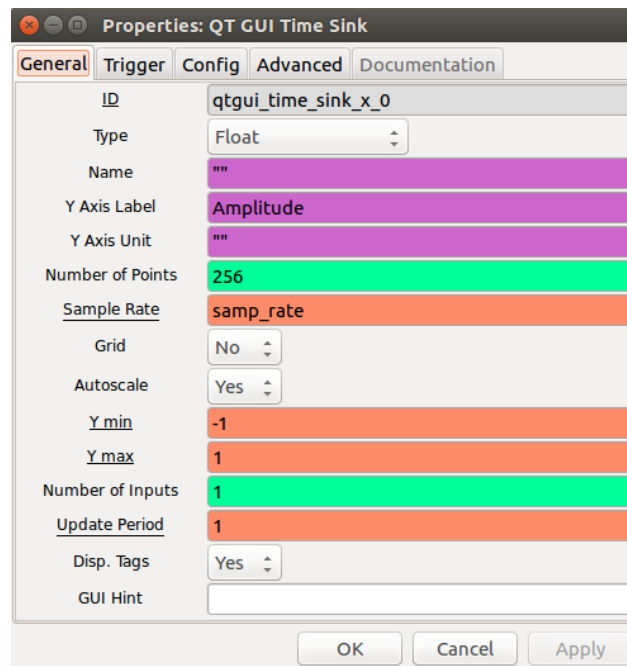


Рисунок 3.16 - Настройки для блока для просмотра сигнала во временной области

После правильного составления программы в GNU Radio, необходимо произвести запуск. Ниже на рисунках приведены графики, полученные в результате прохождения сигнала через реальный канал.

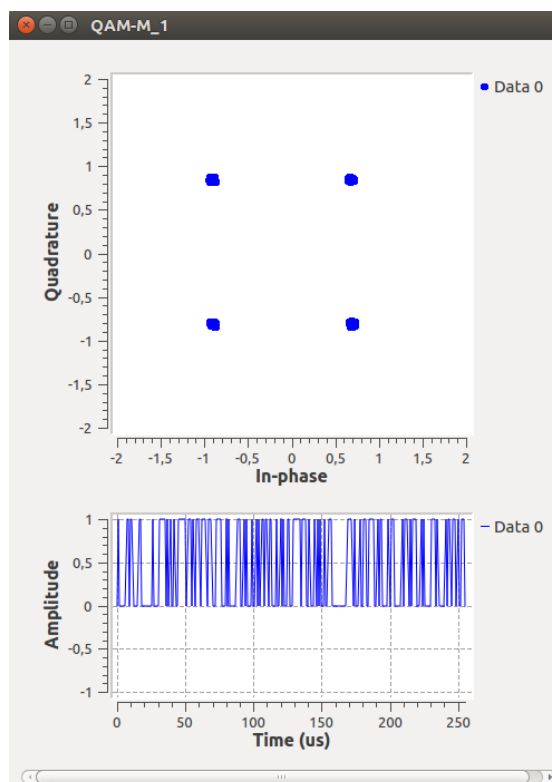


Рисунок 3.17 - Диаграмма созвездий и биты на выходе во временной области для QAM-4

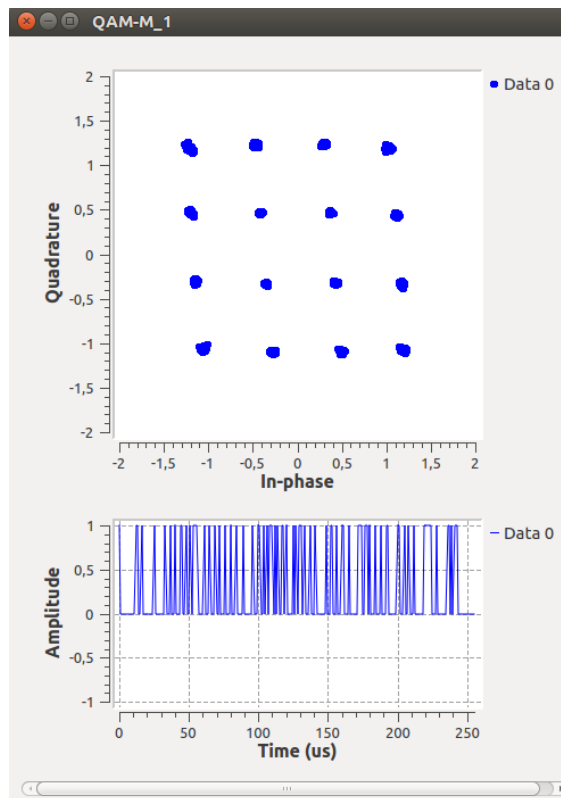


Рисунок 3.18 - Диаграмма созвездий и биты на выходе во временной области для QAM-16

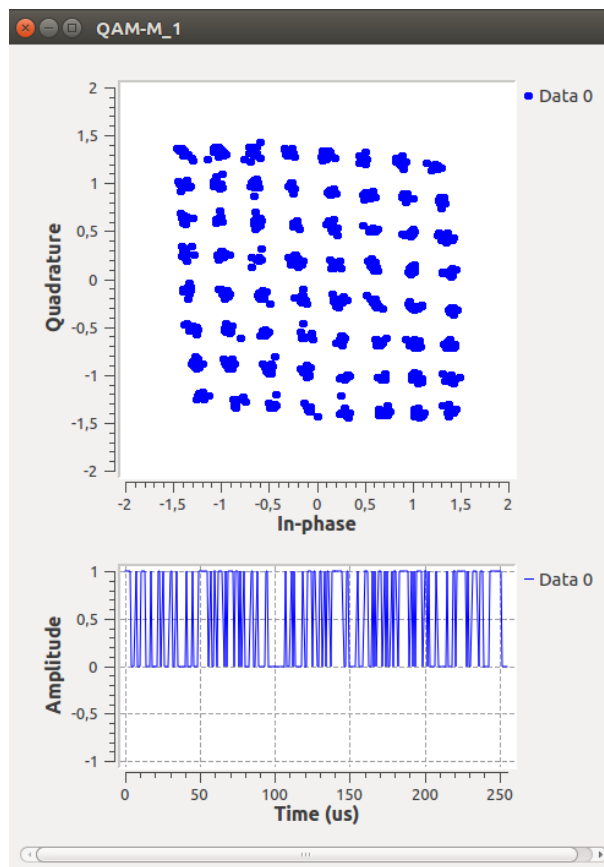


Рисунок 3.19 - Диаграмма созвездий и биты на выходе во временной области для QAM-64

Задания для самостоятельного выполнения

1) Произвести поочередно переключение типов модуляции QAM-4, QAM-16, QAM-64, подключив вместо антенны к передатчику B210 спектрометр и зафиксировать изменения спектра сигнала.

2) Произвести поочередно переключение типов модуляции QAM-4, QAM-16, QAM-64, подключив вместо антенны к передатчику B210 осциллограф и зафиксировать изменения уровней амплитуды сигнала.

4. Лабораторная работа «QAM/PSK модуляция и измерение BER»

Цель работы: Реализовать систему передачи информации с QAM/PSK модуляцией, используя программную среду GNU Radio, рассчитать значение битовой ошибки (BER) для данной системы.

Задачи лабораторной работы:

- 1) Составить программу с применением QAM-модуляции в программной среде GNU Radio.
- 2) Составить программу с применением PSK-модуляции в программной среде GNU Radio.
- 3) Произвести передачу и прием потока бит по реальному каналу.
- 4) Произвести измерение отношения вероятности битовой ошибки к отношению сигнал/шум для различных типов QAM и PSK модуляции.

Ход выполнения работы

Составить программу с применением QAM-модуляции для оценки отношения сигнал/шум. Произвести измерение отношения вероятности битовой ошибки к отношению сигнал/шум для различных типов QAM.

Схема приведенная ниже позволяет произвести моделирование зависимости вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум для трех типов модуляции BPSK, QAM-4 и 8-PSK. Принцип работы схемы. Генератор случайных чисел, настройки которого напрямую зависят от выбранного типа модуляции, формирует биты, которые подвергаются преобразованию в комплексные числа в блоке-аналоге QAM-модулятора, который был представлен в предыдущем эксперименте. Далее эти комплексные числа суммируются с Гауссовским белым шумом (тоже комплексные числа), величина которого так же зависит от типа выбранной модуляции. После суммирования с шумом, комплексные числа снова преобразуются в биты и поступают на блок измерения вероятности битовой ошибки. Для наглядности в схеме предусмотрен монитор диаграммы созвездий и монитор просмотра чисел. Изменяя значения переменных, можно менять типы модуляции, и наблюдать, при каком отношении сигнал/шум произойдет появление ошибок. Параметры каждого блока указаны на рисунках 4.2 - 4.17.

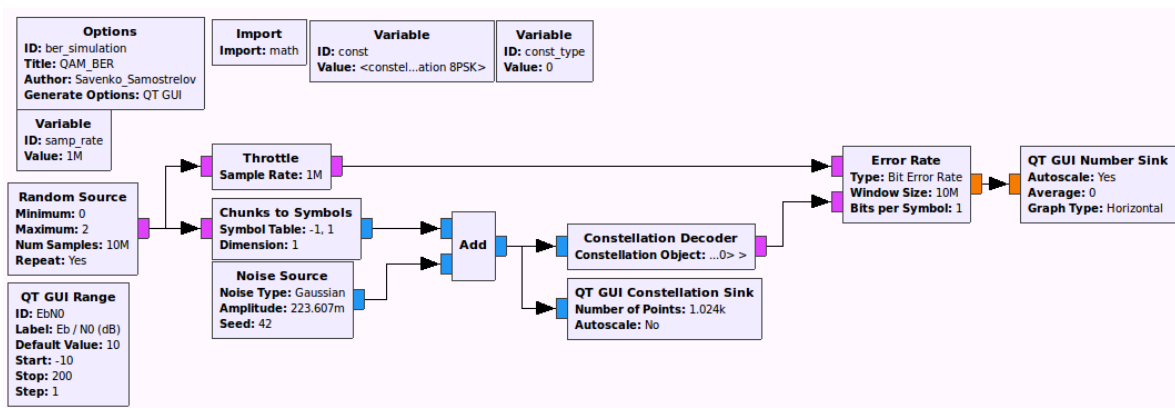


Рисунок 4.1 - Схема для измерения вероятности битовой ошибки в зависимости от отношения сигнал/шум для BPSK, QAM-4 и 8-PSK

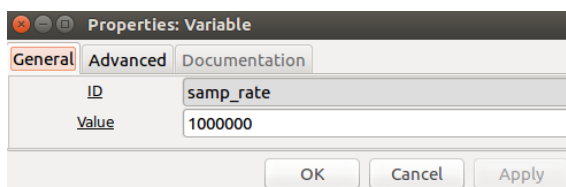


Рисунок 4.2 - Настройка частоты дискретизации

Для правильной работы формул, необходимо произвести импорт библиотек, отвечающих за математические операции.

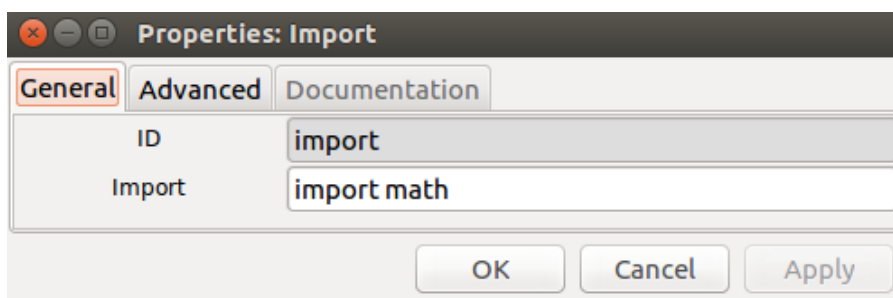


Рисунок 4.3 - Импорт библиотеки "Math"

Чтобы быстро изменять типы модуляции, создаем переменную, в которой прописываем все, как показано на рисунке ниже.

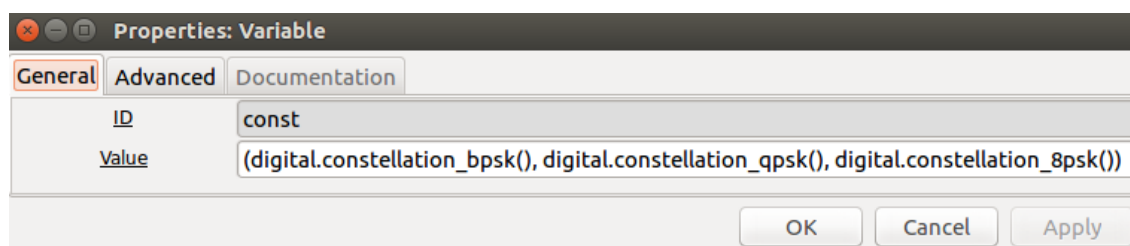


Рисунок 4.4 - Настройка параметров для разных типов модуляции.

Для выбора типа модуляции создаем еще одну переменную. Параметры переменной приведены на рисунке ниже.

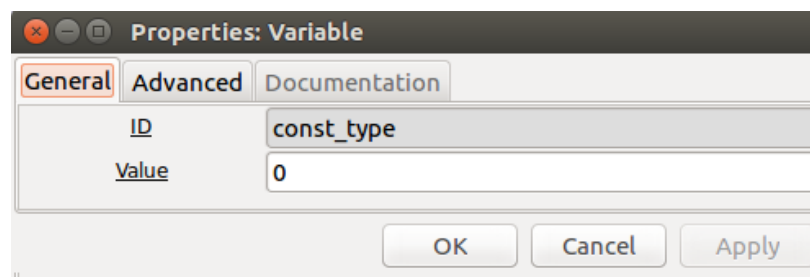


Рисунок 4.5 - Настройка переменной для выбора типа модуляции

Для правильной работы программы, необходимо, чтобы на выходе генератора случайных чисел максимальное значение не превышало лимит, установленный алгоритмами Python. Настройка производится в точности, как показано на рисунке.

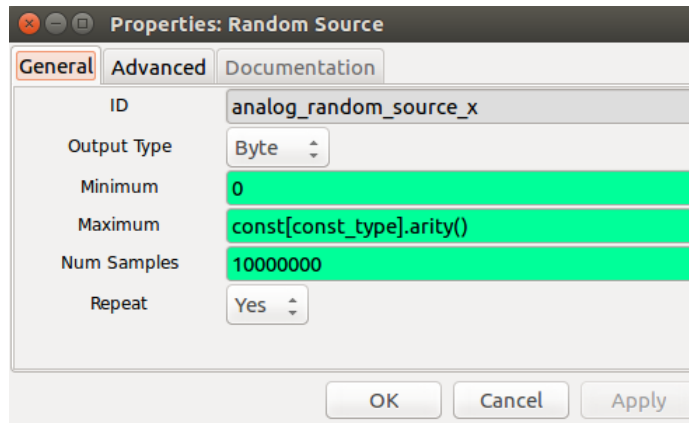


Рисунок 4.6 - Настройки для генератора случайных чисел

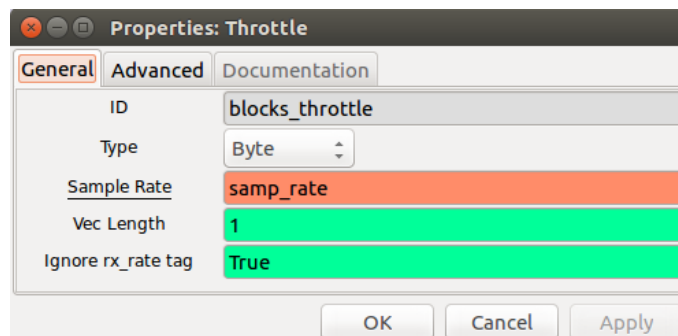


Рисунок 4.7 - Настройки для блока Throttle

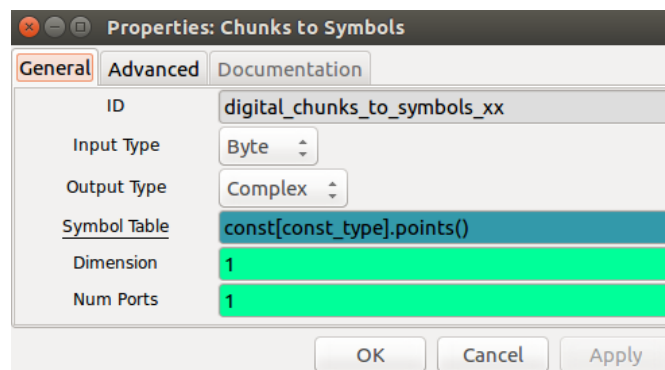


Рисунок 4.8 - Настройки для модулятора QAM/PSK

Преобразование в комплексные числа осуществляется в зависимости от выбранного типа модуляции, заданного переменными.

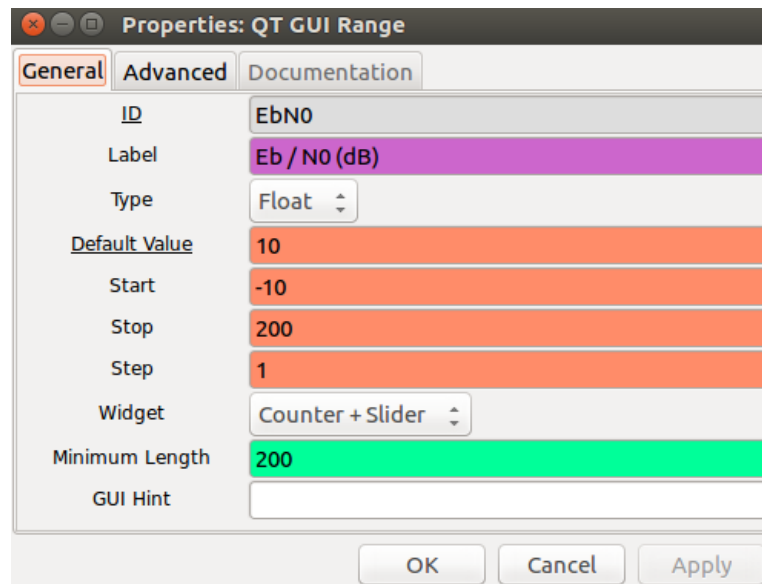


Рисунок 4.9 - Настройки для регулировки отношения сигнал/шум в модели

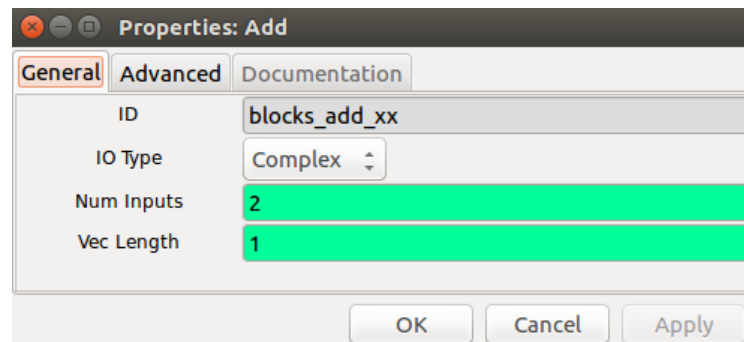


Рисунок 4.10 - Настройки для сумматора

Настройка генератора Гауссовского белого шума, осуществляется в соответствии с выбранным типом модуляции.

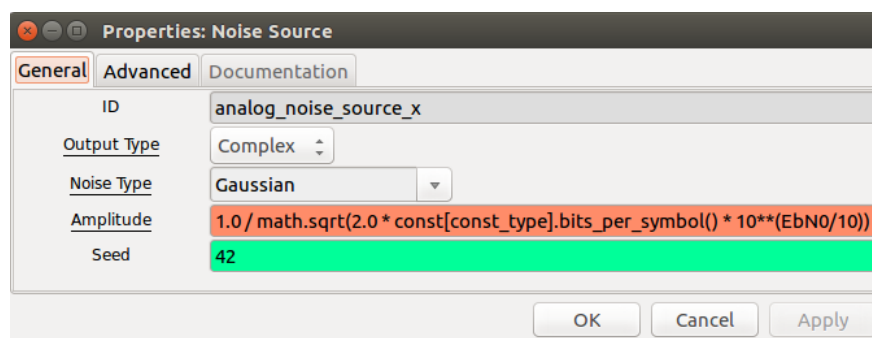


Рисунок 4.11 - Настройки для блока добавления Гауссовского белого шума

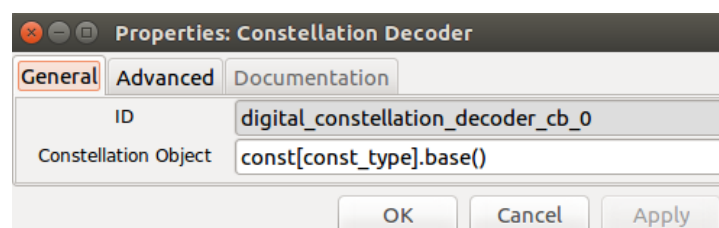


Рисунок 4.12 - Настройки для демодулятора QAM/PSK

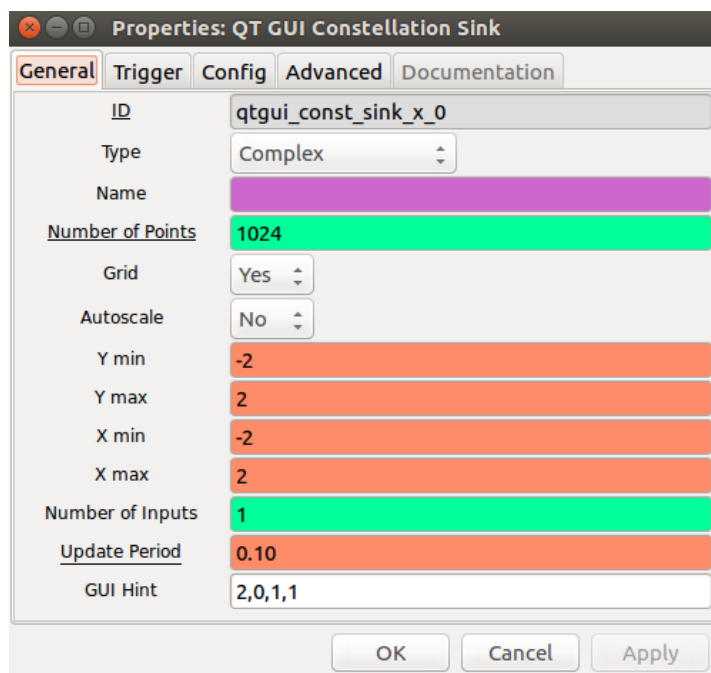


Рисунок 4.13 - Основные настройки для блока просмотра диаграммы созвездий (Часть 1)

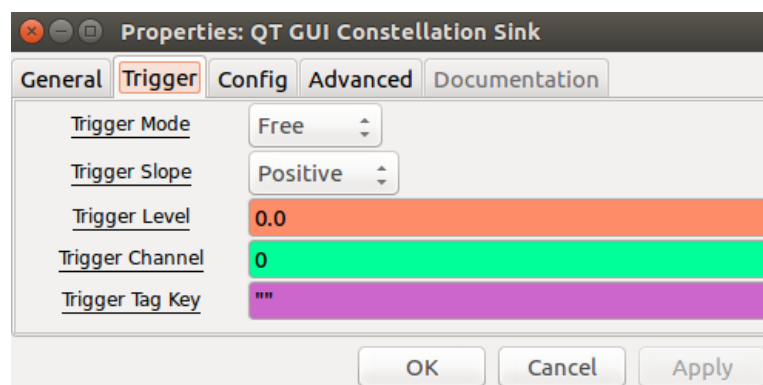


Рисунок 4.14 - Настройки синхронизации для блока просмотра диаграммы созвездий (Часть 2)

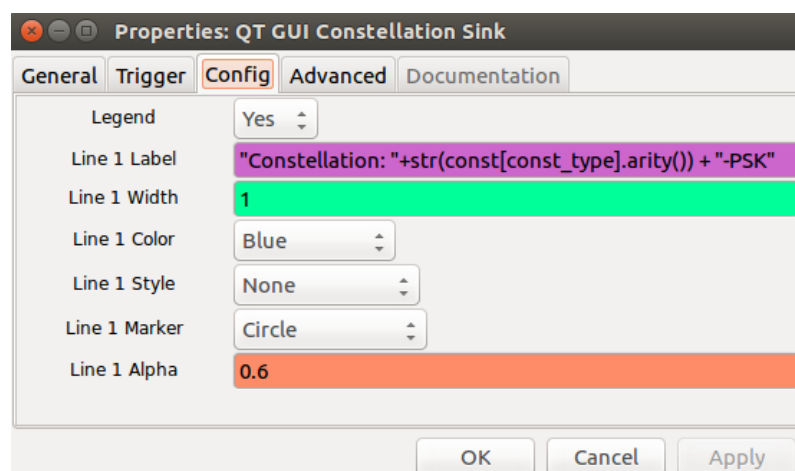


Рисунок 4.15 - Настройки геометрии для блока просмотра диаграммы созвездий (Часть 3)

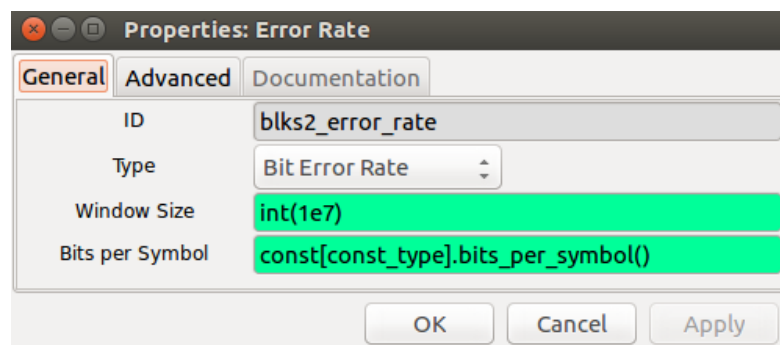


Рисунок 4.16 - Настройки для блока измерения вероятности битовой ошибки

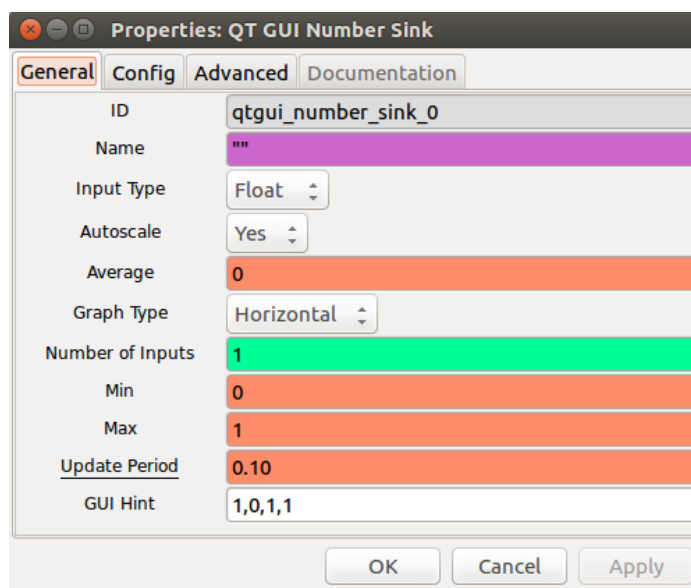


Рисунок 4.17 - Настройки для блока записи ошибок

Таблица 4.1 - Теоретические данные пороговых значений ОСШ для различных типов QAM/PSK

Тип цифровой модуляции	Пороговое значение отношения с/ш при АБГШ
BPSK	8 дБ
QAM-4/QPSK	10 дБ
8-PSK	14 дБ

После составления программы должны получиться графики звездных диаграмм, представленные на рисунках ниже.

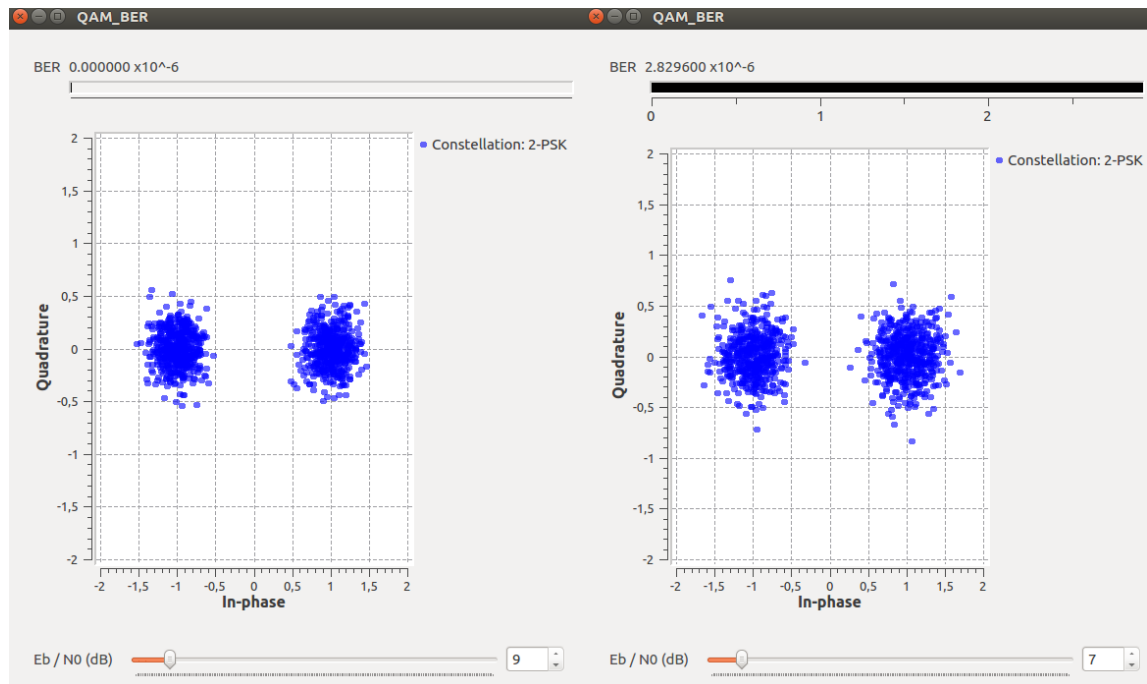


Рисунок 4.18 - Диаграммы созвездий для BPSK с разными параметрами отношения сигнал/шум

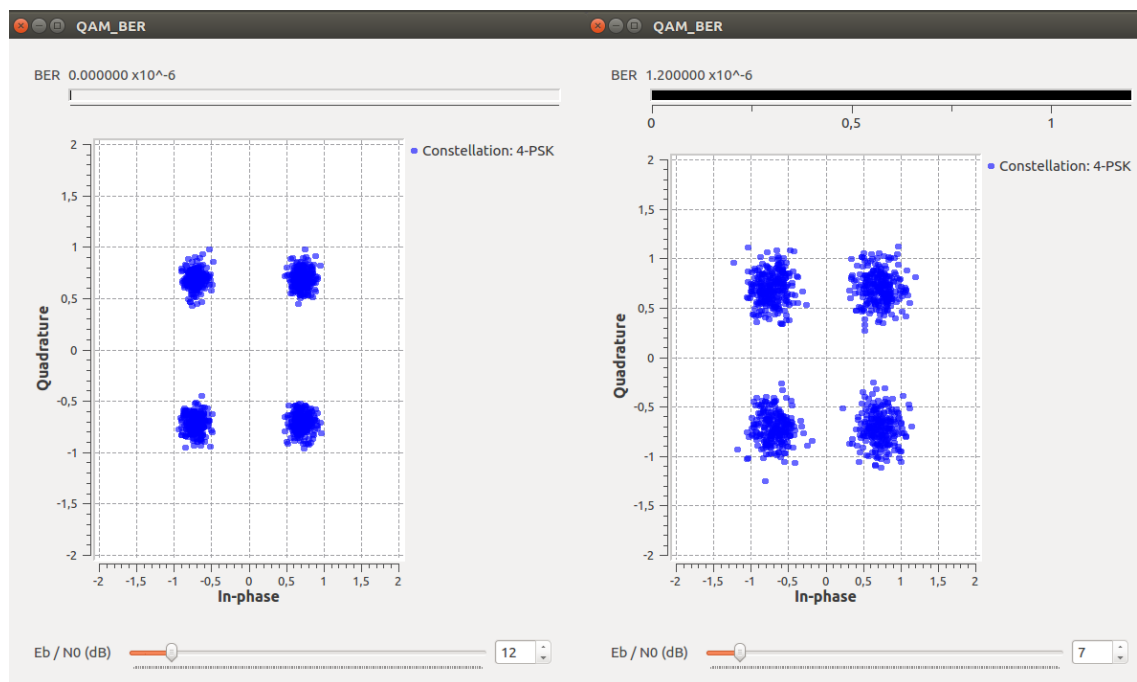


Рисунок 4.19 - Диаграммы созвездий для QAM-4 с разными параметрами отношения сигнал/шум

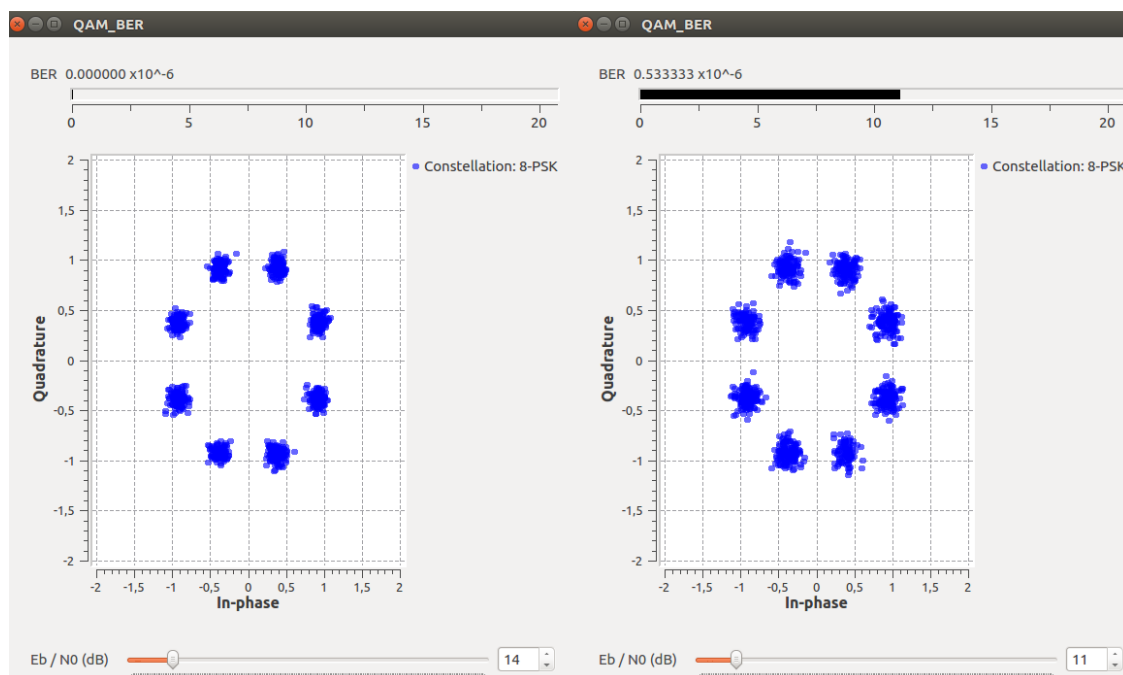


Рисунок 4.20 - Диаграммы созвездий для 8-PSK с разными параметрами отношения сигнал/шум

Задания для самостоятельного выполнения

- 1) Произвести изменение типов модуляции, и зафиксировать те значения отношения сигнал/шум, при которых вероятность битовой ошибки будет равна нулю.
- 2) Уменьшить количество символов в пакете (Num Samples в блоке Random Source) и зафиксировать изменение вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

- 1) Какие типы цифровой модуляции были представлены в данной работе? В чем их отличие.
- 2) Почему при прохождении QAM-модулированного сигнала через реальный канал, происходит произвольный поворот созвездия?
- 3) Что такое вероятность битовой ошибки?
- 4) Что такое отношение сигнал/шум?
- 5) Почему при повышении порядка QAM, необходимо обеспечить более высокий показатель отношения сигнал/шум?

5. Лабораторная работа «Технология OFDM»

Цель работы: Ознакомиться с технологией OFDM, сформировать канал передачи аудиоданных в программной среде GNURadio.

Задачи лабораторной работы:

- 1) Составить программу с применением технологии OFDM в программной среде GNU Radio.
- 2) Произвести передачу и прием аудиоданных по реальному каналу. Зафиксировать и проанализировать изменение сигнала при прохождении через реальный канал.

Краткие теоретические сведения

Технология OFDM разбивает входные данные (N_s) на параллельные потоки, и каждый символ модулируется с использованием отдельной несущей частоты. Несмотря на наличие спектральных перекрытий между поднесущими, они не мешают друг другу. Другими словами, сохраняется спектральная ортогональность между поднесущими. Рисунок 5.1 иллюстрирует спектр OFDM в частотной области, где T_p - интервал между поднесущими, G - нормированная к единице амплитуда сигнала, $F1-F7$ - поднесущие, f - частота.

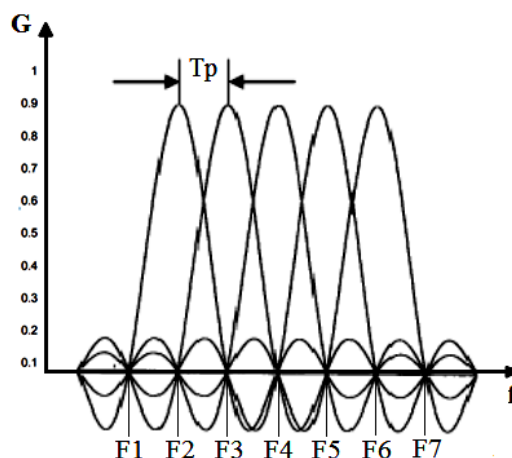


Рисунок 5.1 - Спектр OFDM

Следует сказать, что для большого количества поднесущих OFDM требуется очень точная синхронизация частоты между приемником и передатчиком. Это связано с тем, что с отклонениями по частоте (смещениями) поднесущие теряют свою ортогональность, и это вызывает интерференционные помехи. Частотные смещения обычно вызваны несовершенством аппаратуры или доплеровского сдвига частоты из-за быстрого перемещения передатчика или приемника. Рисунок 5.2 изображает структурную приемопередатчика для системы OFDM. В передатчике информационные биты модулируются в P символов квадратурным модулятором. Символы распределяются на N_s ортогональных поднесущих и преобразуются во временную область с помощью обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ). Затем к данным добавляются защитные интервалы по бокам спектра и происходит добавление циклического префикса.

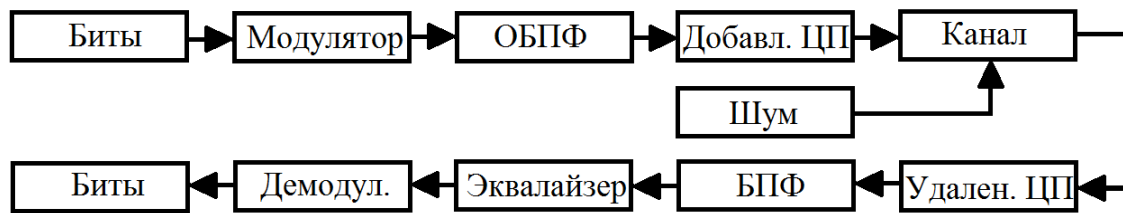


Рисунок 5.2 - Структурная схема формирования OFDM

Циклический префикс вводится в передаваемый сигнал для борьбы с межсимвольной интерференцией, которая возникает между символами OFDM из больших разбросов с задержкой при многолучевом распространении. СР является циклически расширенным защитным интервалом, где каждому символу OFDM добавляется периодическое расширение. Общая длительность символа $T_{\text{total}} = T_d + T_g$, где T_g - это защитный интервал, а T_d длительность самого символа. Когда защитный интервал длиннее задержки многолучевого распространения, межсимвольной интерференции можно избежать. СР преобразует линейную свертку передаваемого сигнала с импульсной характеристикой канала в циклическую свертку. Это означает, что эффект многолучевого замирания в переданных символах упрощаются до поэлементного умножения между созвездиями переданных данных (d) с частотной характеристикой канала (H). Частотная характеристика канала определяется с помощью преобразования Фурье (FT) от импульсной характеристики канала (h).

После приема сигнала, циклический префикс удаляется и выполняется быстрое преобразование Фурье БПФ размера N_s . Модель принятого сигнала после БПФ на i -й поднесущей может быть охарактеризована как:

$$r_i = H_i d_i + n_i. \quad (4.1)$$

В формуле 4.1 H_i и n_i обозначают характеристики канала и сигнал АБГШ на i -й поднесущей. Частотный отклик подканала на i -й поднесущей ($i = 1, 2, \dots, N_s$) вычисляется по формуле:

$$H_i = \sum_{l=0}^{L-1} h(l) \exp(-j2\pi i \tau_l / N_s). \quad (4.2)$$

В формуле 4.2, τ - временная задержка, которую должен нивелировать циклический префикс. Значение τ , может быть любым положительным действительным числом. Это можно использовать для представления и расчетов реалистичных сред каналов.

Ход выполнения работы

В программной среде GNU Radio составить программу, показанную на рисунке 5.3 и передать аудиоданные по реальному каналу с использованием технологии OFDM. Далее приводится описание работы программы.

При помощи загрузчика аудиофайлов формируются аудиоданные, которые поступают на блок Rational resampler для децимации с шагом 6. После децимации аудиоданные поступают на блок Float to short для изменения типа данных. Далее происходит кодирование специальных телефонным аудиокодеком, с которого выходят данные в виде векторных значений, и для перевода их в строки применяется блок Vector to stream. После этого кодированные данные упаковываются с помощью блока Unpacked to packed и подвергаются модуляции при помощи технологии OFDM блоком OFDM mod. Добавляется константа для правильной работы системы, а так же подключается виртуальный спектроанализатор для отслеживания сигнала. После формирования OFDM символа, данные поступают в передатчик B210, и транслируются в реальный канал распространения сигналов. Приемная часть B210 осуществляет обработку сигнала и отправляет поток бит на OFDM demod. Данный блок производит демодуляцию принятого OFDM символа и отправляет демодулированные данные на блок Packed to unpacked. После этого происходят обратные процедуры конвертации строк в

векторные значения и декодирования телефонным аудиокодеком. Для правильного восстановления аудиоданных происходит процедура интерполяции с шагом 6 и данные воспроизводятся на динамических головках ПК после обработки блоком Audio sink.

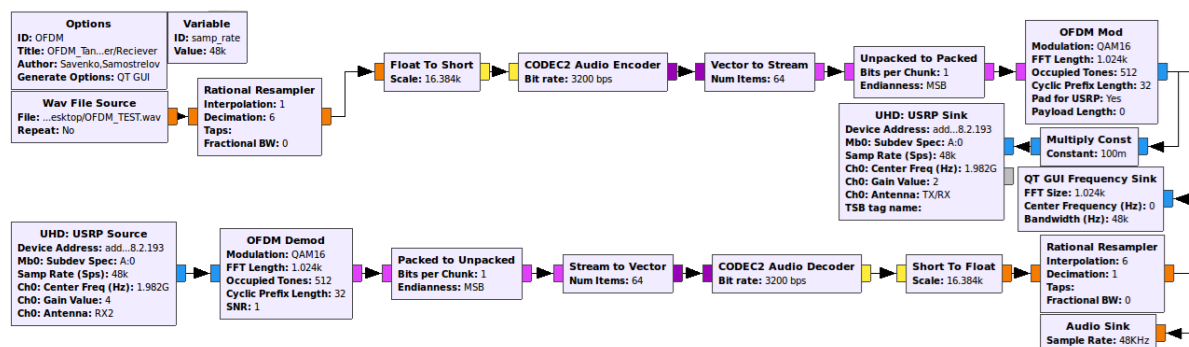


Рисунок 5.3 - Общая схема приемника и передатчика с применением технологии OFDM в GNU Radio

Параметры каждого блока указаны на рисунках 5.4 - 5.24. В начале работы производится настройка частоты дискретизации. Для этого необходимо создать переменную как показано на рисунке ниже.

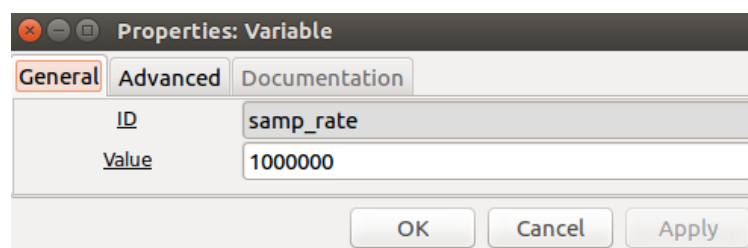


Рисунок 5.4 - Настройка частоты дискретизации системы

Далее создаем генератор загрузчик аудиофайлов, как показано на рисунке ниже. Путь к файлу необходимо указать с учетом его местонахождения на вашем ПК.

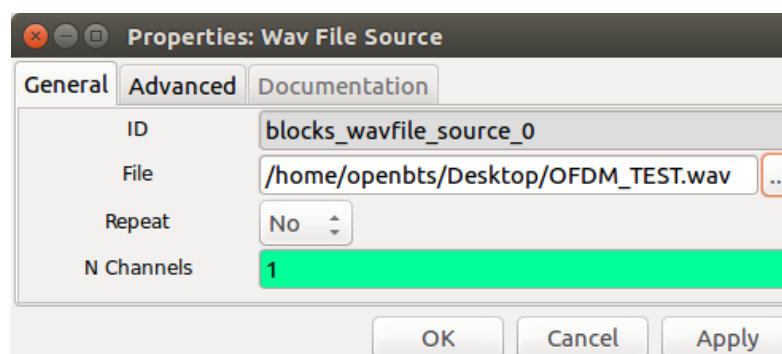


Рисунок 5.5 - Настройки для загрузчика аудиофайлов

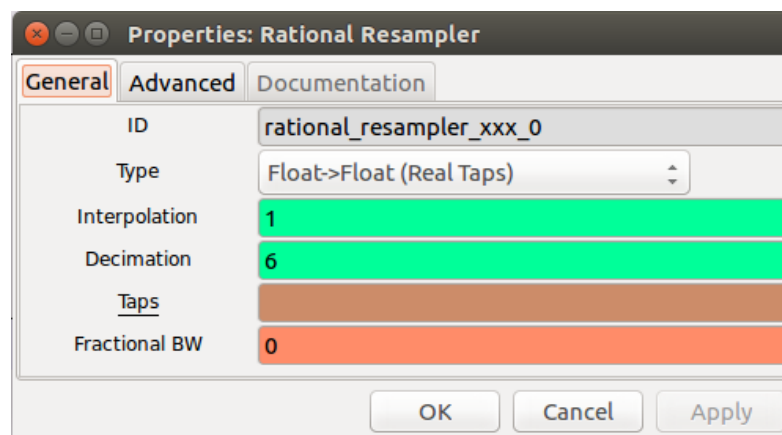


Рисунок 5.6 - Настройки блока Rational resampler

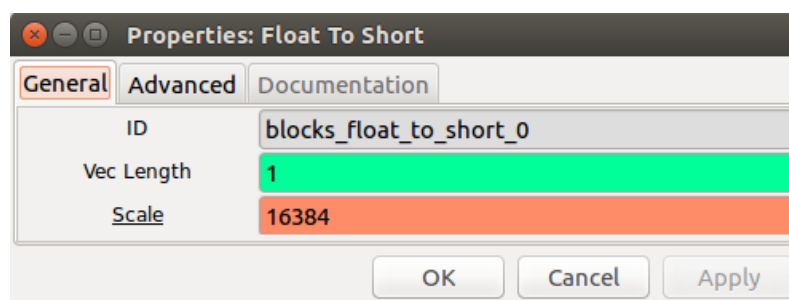


Рисунок 5.7 - Настройки блока Float to short

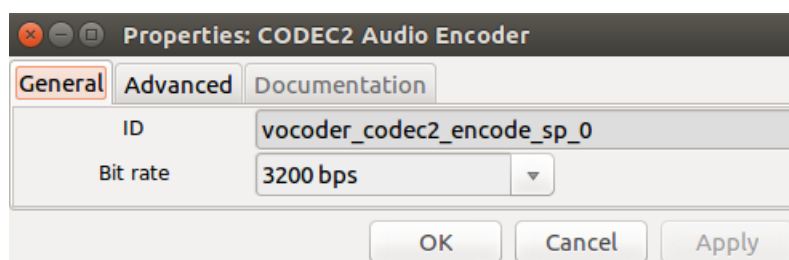


Рисунок 5.8 - Настройки блока аудиокодека

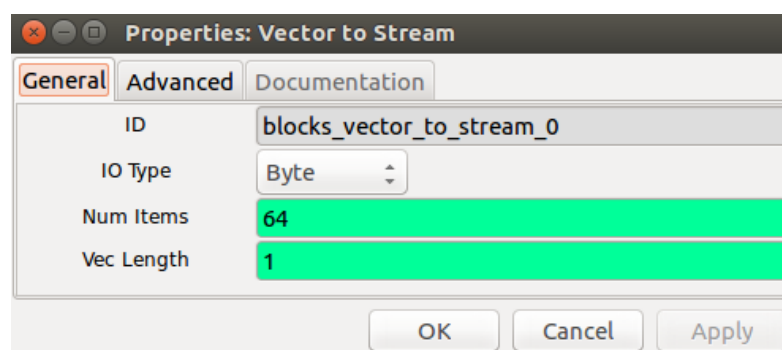


Рисунок 5.9 - Настройки блока Vector to stream

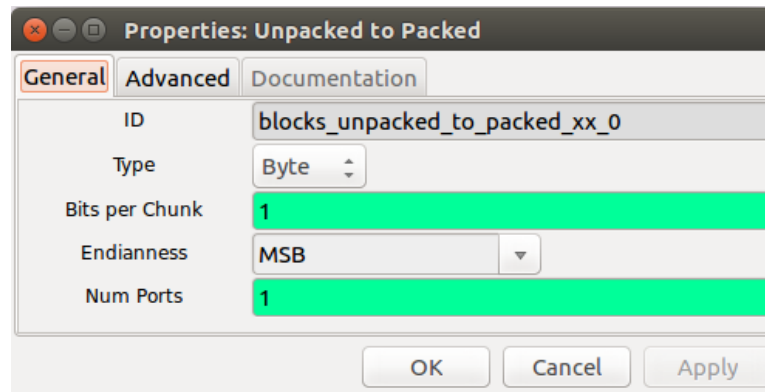


Рисунок 5.10 - Настройки блока Unpacked to packed

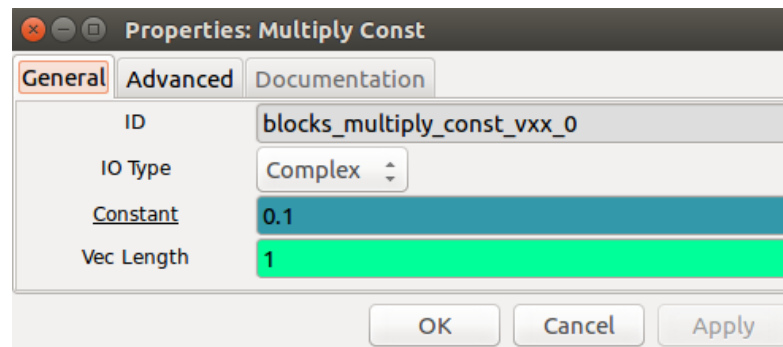


Рисунок 5.11 - Настройки блока Multiply Const

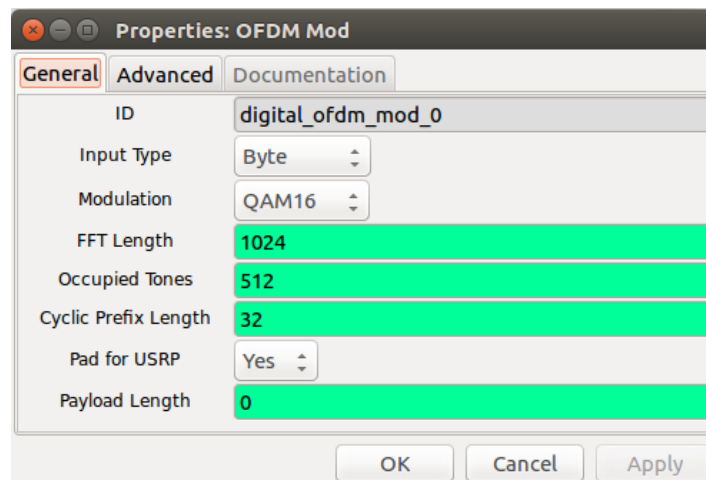


Рисунок 5.12 - Настройки блока OFDM mod

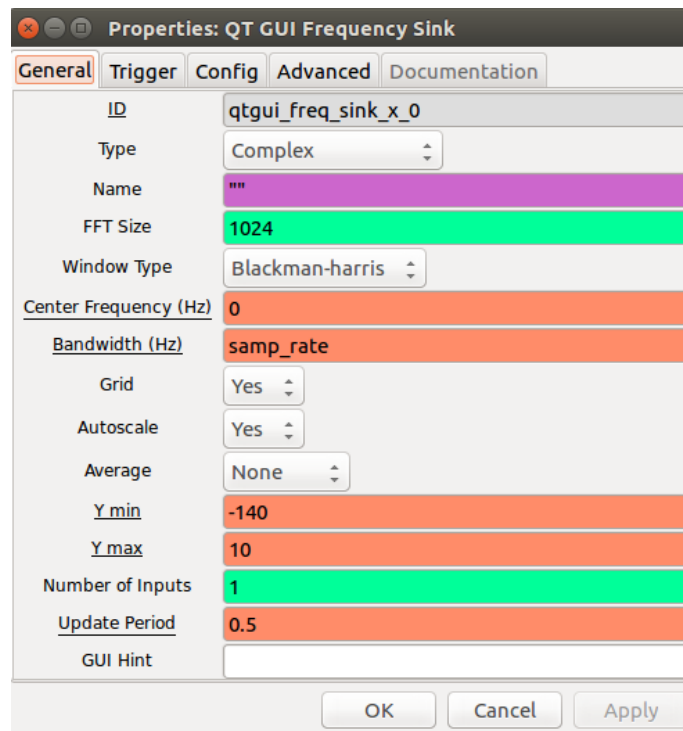


Рисунок 5.13 - Настройки блока спектроанализатора (Часть 1)

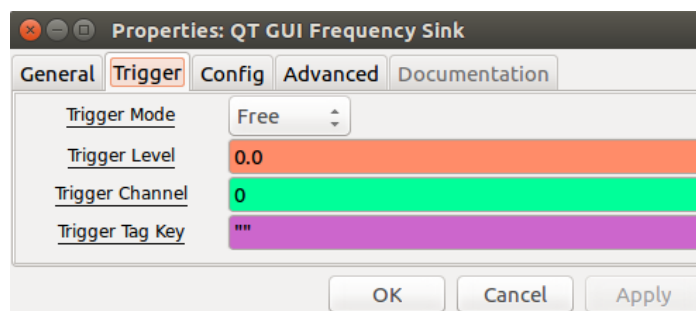


Рисунок 5.14 - Настройки блока спектроанализатора (Часть 2)

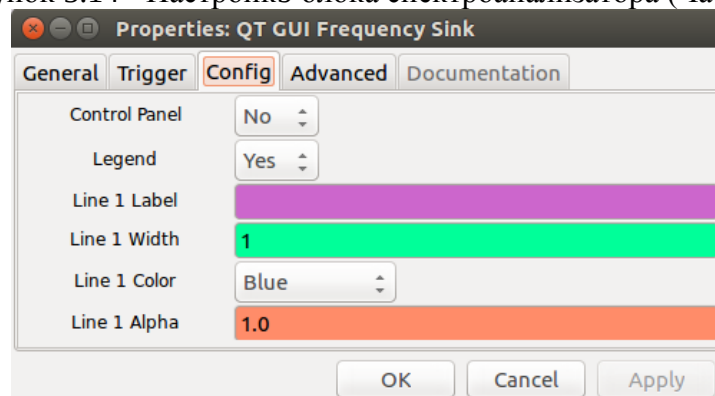


Рисунок 5.15 - Настройки блока спектроанализатора (Часть 3)

Важным пунктом является точная настройка передатчика, характеристики которого приведены далее на рисунках. В пункте Device Arguments необходимо вписать "b210".

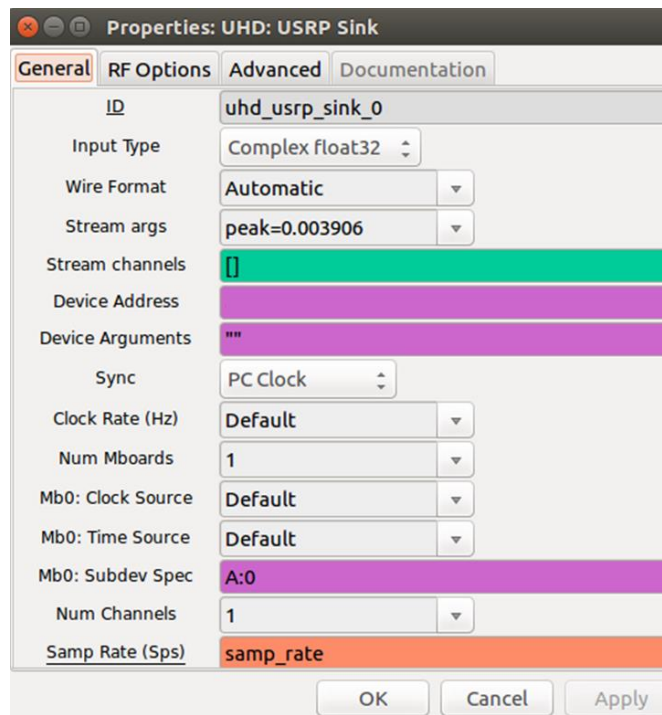


Рисунок 5.16 - Настройки общих параметров для передающей части NI-USRP(Часть 1)

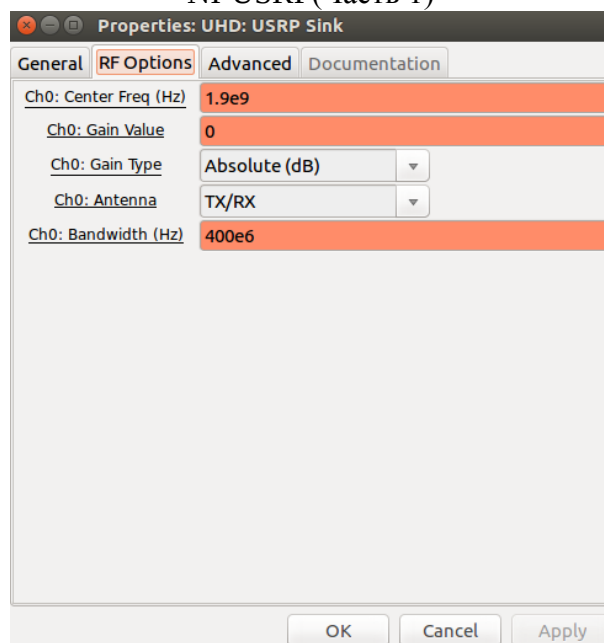


Рисунок 5.17 - Настройки общих параметров для передающей части NI-USRP(Часть 2)

Для правильного приема сигнала из эфира, приемник необходимо настроить в точности с теми же характеристиками, как и передатчик. В пункте Device Arguments необходимо вписать "b210".

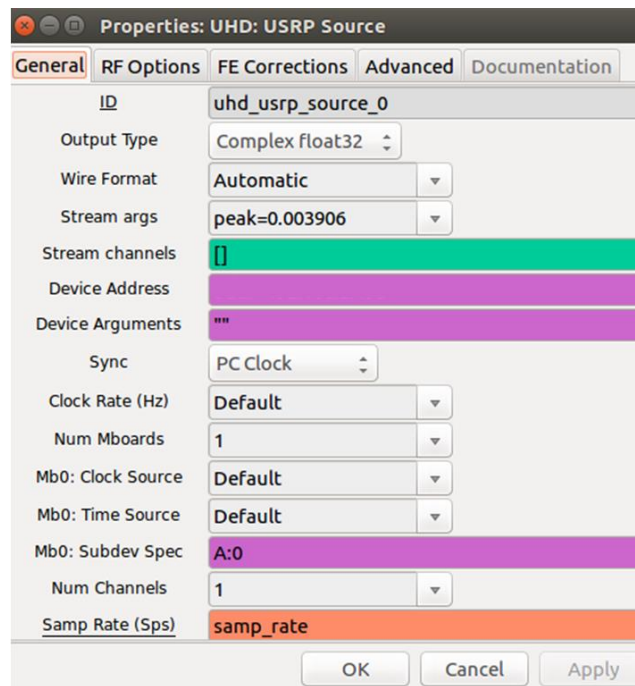


Рисунок 5.18 - Настройки общих параметров для приёмной части NI-USRP (Часть 1)

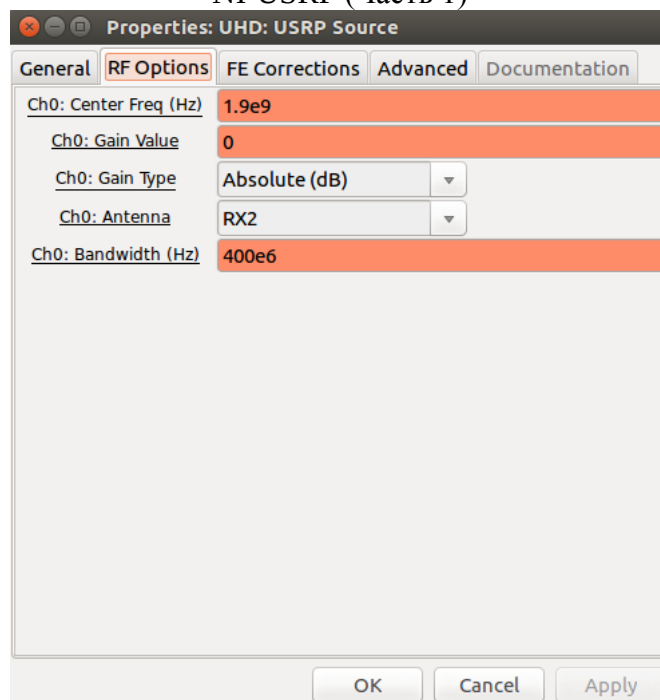


Рисунок 5.19 - Настройка общих параметров для приёмной части NI-USRP (Часть 2)

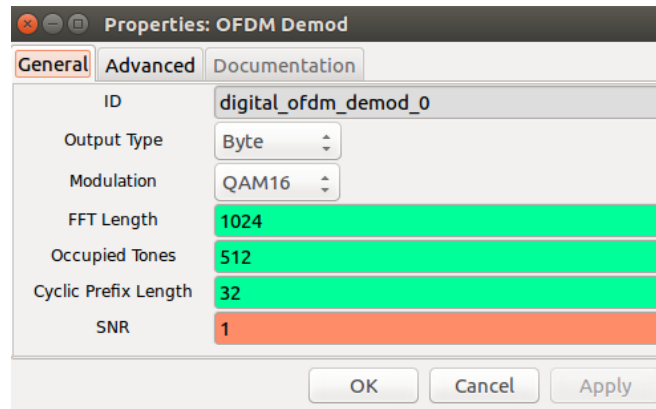


Рисунок 5.20 - Настройки блока OFDM demod

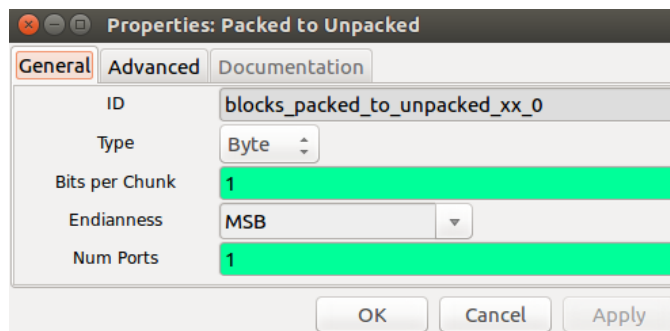


Рисунок 5.21 - Настройки блока Packed to unpacked

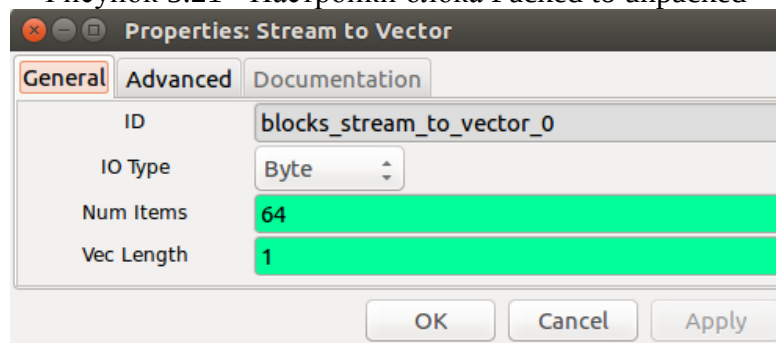


Рисунок 5.22 - Настройки блока Stream to vector

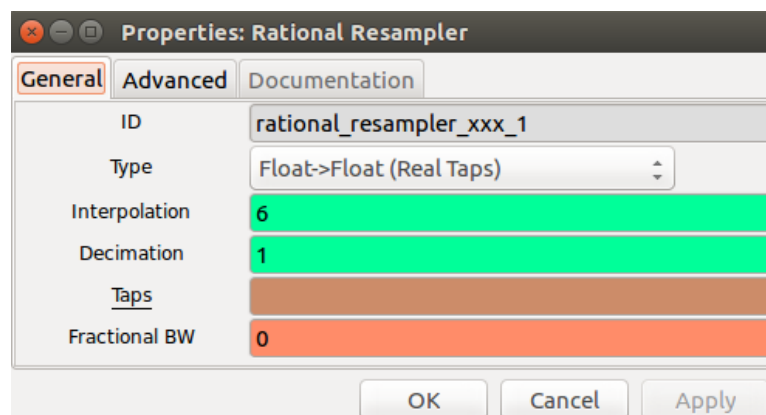


Рисунок 5.23 - Настройки блока Rational resampler для интерполяции

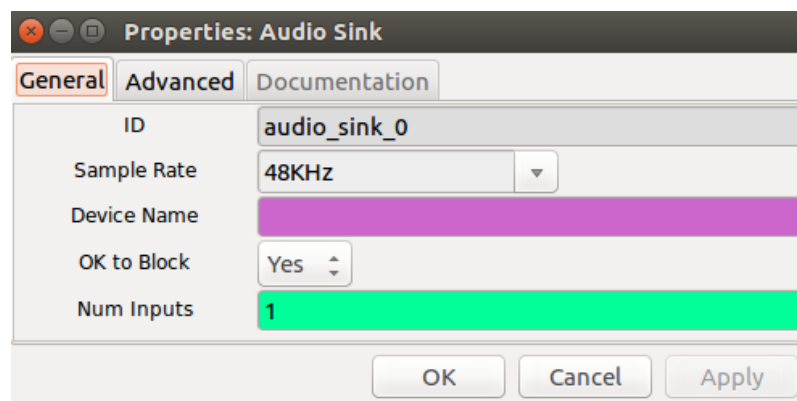


Рисунок 5.24 - Настройки блока Audio sink

После правильного составления программы в GNU Radio, необходимо произвести запуск. Ниже на рисунках приведены графики, полученные после блока формирования OFDM. После правильно составленной программы, в динамических головках звукового оборудования компьютера будет воспроизводиться тестовый звуковой файл.

На выходе виртуального спектроанализатора должен быть показан сформированный OFDM символ, до переноса на несущую частоту.

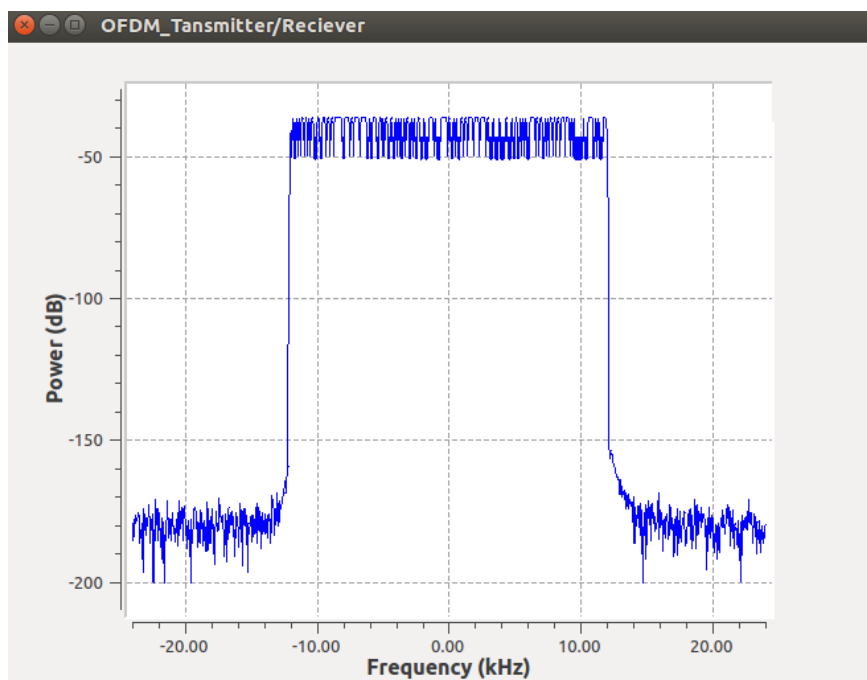


Рисунок 5.25- Сформированный OFDM символ до переноса на несущую частоту

На поднесущих данного OFDM символа производится передача аудиоданных по реальному каналу связи. Для более точного понимания процесса необходимо выполнить задания, которые приведены далее.

Задания для самостоятельного выполнения

- 1) Произвести подключение спектроанализатора к выходу передатчика. Обнаружить сформированный OFDM символ и зафиксировать его параметры.
- 2) Произвести изменения типов модуляции, несущей частоты, размера циклического префикса и других параметров. Произвести анализ полученных данных OFDM символа, после снятия качественных характеристик с помощью цифрового спектроанализатора.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

- 1) Что такое OFDM-модуляция?
- 2) Что такое межсимвольная интерференция?
- 3) Что такое циклический префикс? Почему он имеет разные длительности?
- 4) Что такое децимация и интерполяция?
- 5) Каким выражением определяется частотный отклик подканала на i -й поднесущей?

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «Радиопередающие устройства»

для студентов направления подготовки

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность (профиль)

«Интеллектуальная обработка данных в инфокоммуникационных системах и сетях»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА».....	7
2 ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	13
3 КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО НИМ	14
4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА.....	15
5 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ	31
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	36

ВВЕДЕНИЕ

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Решение этой задачи вряд ли возможно только путем передачи знаний в готовом виде от преподавателя к студенту. Для решения этой задачи в учебные планы всех специальностей включена самостоятельная работа, составляющая значительную часть учебного времени обучаемого.

В связи с этим, обучаемому из пассивного потребителя знаний необходимо превратиться в активного их творца, умеющего сформулировать проблему, проанализировать пути ее решения, найти оптимальный результат и доказать его правильность. Происходящая в настоящее время реформа высшего образования связана по своей сути с переходом парадигмы обучения к парадигме образования. В этом плане следует признать, что самостоятельная работа студентов является не просто важной формой образовательного процесса, а должна стать его основой. Это предполагает ориентацию на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей студентов, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей личности.

В широком смысле под самостоятельной работой следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне ее, в контакте с преподавателем и в его отсутствие.

Самостоятельная работа *в контакте с преподавателем* реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий – на лекциях, практических и семинарских занятиях, при выполнении лабораторных работ;
- вне рамок расписания – на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении студентом учебных и творческих задач.

Видами заданий для *внеаудиторной* самостоятельной работы могут быть:

1. Для овладения знаниями:

– чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы);

– составление плана текста;

– графическое изображение структуры текста;

– конспектирование текста;

– работа со словарями и справочниками;

– работа с нормативными документами;

– учебно-исследовательская работа;

– использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники,

Интернет и др.

2. Для закрепления и систематизации знаний:

– работа с конспектом лекции (обработка текста);

– повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио- и видеозаписей);

– составление плана и тезисов ответа;

– составление таблиц для систематизации учебного материала;

– изучение нормативных материалов;

– ответы на контрольные вопросы;

– аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект, анализ и др.);

– подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции;

– подготовка рефератов, докладов;

– составление библиографии;

– тестирование и др.

3. Для формирования умений:

– решение задач и упражнений по образцу;

- решение вариантных задач и упражнений;
- решение ситуационных производственных (профессиональных) задач;
- подготовка к деловым играм;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности;
- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);
- экспериментальная работа;
- рефлексивный анализ профессиональных умений, с использованием аудио- и видеотехники и др.

Границы между этими видами работ достаточно размыты, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА»

Целью самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Радиопередающие устройства» является формирование у обучающихся личностных качеств, а также набора профессиональных компетенций будущего бакалавра в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

Задачи самостоятельной работы:

- в плане технологической деятельности, по проверке работоспособности и испытанию вводимых в эксплуатацию устройств, путем освоения принципов построения и работы современных и перспективных радиопередающих устройств;

- в плане исследовательской деятельности, по улучшению технико-экономических показателей радиосистем передачи информации, путем освоения принципов математического моделирования базовых узлов радиопередающих устройств на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, по составлению отчетов по выполненным заданиям; путем проведения экспериментов по заданной методике, анализа полученных результатов и выработке практических рекомендаций;

- в плане эксплуатационной деятельности по проведению измерений основных параметров радиопередающих устройств, по получению практики поиска и устранения неисправностей в них на базе создаваемых математических моделей.

В рабочей программе дисциплины «Радиопередающие устройства» определены следующие виды самостоятельной работы:

- подготовка к лабораторной работе;

– самостоятельное изучение литературы.

Целью вида самостоятельной работы «Подготовка к лабораторной работе» по дисциплине «Радиопередающие устройства» является закрепление студентами теоретического материала по специальности и выработка навыков самостоятельной профессиональной и научно-исследовательской деятельности в области инфокоммуникационных систем и сетей.

Задачи вида самостоятельной работы «Подготовка к лабораторной работе» по дисциплине «Радиопередающие устройства» обусловлены необходимостью получения студентом знаний, умений, навыков согласно требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, на основе которых формируются соответствующие результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1. Способен к развитию коммутационных подсистем и сетевых платформ, сетей передачи данных, транспортных сетей и сетей радиодоступа, спутниковых систем связи.	ИД-1 ПК-1 понимает и ориентируется в принципах построения и работы сетей связи, в том числе их составляющих подсистем, и протоколов сигнализации, стандартах качества передачи данных, голоса и видео, применяемых в сетях связи, в Законодательстве Российской Федерации в области связи.	Понимает и ориентируется в принципах построения и работы сетей радиосвязи, в том числе радиопередающих устройств, стандартах качества передачи данных, голоса и видео, применяемых в сетях радиосвязи, в Законодательстве Российской Федерации в области радиопередающих устройств.
ПК-2. Способен применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных	ИД-2 ПК-2 соблюдает требования программ и методик по проведению экспериментальных испытаний объектов и систем связи (инфокоммуникационного оборудования).	Соблюдает требования программ и методик по проведению экспериментальных испытаний радиопередающих устройств.
	ИД-4 ПК-2 контролирует качественные показатели работы инфокоммуникационного	Контролирует качественные показатели работы радиопередающих устройств в

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
средств инфокоммуникаций, использованию и внедрению результатов исследований.	оборудования в соответствии с их нормативными показателями.	соответствии с их нормативными показателями.
	ИД-5 ПК-2 проводит экспериментальные исследования по имеющимся программам и методикам испытаний объектов и систем связи (инфокоммуникационного оборудования) с целью оценки их качественных показателей работы.	Проводит экспериментальные исследования по имеющимся программам и методикам испытаний радиопередающих устройств с целью оценки их качественных показателей работы.
ПК-3. Способен проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ.	ИД-3 ПК-3 проводит расчеты параметров и характеристик сети и средств инфокоммуникаций, анализирует их качественные показатели на основе данных статистики и радиоизмерений, использует специализированное программное обеспечение для проектирования.	Проводит расчеты параметров и характеристик радиопередающих устройств, анализирует их качественные показатели на основе данных статистики и радиоизмерений, использует специализированное программное обеспечение для проектирования.
	ИД-6 ПК-3 осуществляет разработку схемотехнических решений составных частей радиоэлектронных средств, выбор элементной базы для разработки схемных решений, проводит автоматизированное моделирование и экспериментальные работы по проверке технических характеристик модернизируемых радиоэлектронных средств.	Осуществляет разработку схемотехнических решений составных частей радиопередающих устройств, выбор элементной базы для разработки схемных решений, проводит автоматизированное моделирование и экспериментальные работы по проверке технических характеристик модернизируемых радиопередающих устройств.
ПК-5. Способность осуществлять монтаж, настройку, регулировку, тестирование оборудования, отработку режимов работы, контроль проектных параметров работы и испытания оборудования связи, обеспечение соответствия технических	ИД-2 ПК-5 соблюдает технологии выполнения работ по настройке, регулировке и испытаниям оборудования связи (телекоммуникаций), правила эксплуатации и методики применения измерительного и тестового оборудования.	Соблюдает технологии выполнения работ по настройке, регулировке и испытаниям радиопередающих устройств, правила эксплуатации и методики применения измерительного и тестового оборудования.
	ИД-3 ПК-5 выполняет настройки, регулировки и испытания оборудования связи (телекоммуникаций) с помощью технической и технологической документации; ведет техническую и технологическую документацию по	Выполняет настройки, регулировки и испытания радиопередающих устройств с помощью технической и технологической документации; ведет техническую и технологическую документацию по

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
параметров инфокоммуникационных систем и /или их составляющих, установленным эксплуатационно-техническим нормам.	установленным формам; осуществляет проверку качества работы оборудования и средств связи.	по установленным формам; осуществляет проверку качества работы оборудования и средств связи.

Целью вида самостоятельной работы «Самостоятельное изучение литературы» по дисциплине «Радиопередающие устройства» является расширение и закрепление знаний, приобретаемых студентом на традиционных формах занятий и выработка навыков самостоятельной работы с литературой и источниками.

Задачи вида самостоятельной работы «Самостоятельное изучение литературы» по дисциплине «Радиопередающие устройства» обусловлены необходимостью получения студентом знаний, умений, навыков согласно требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, на основе которых формируются соответствующие результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1. Способен к развитию коммутационных подсистем и сетевых платформ, сетей передачи данных, транспортных сетей и сетей радиодоступа, спутниковых систем связи.	ИД-1 ПК-1 понимает и ориентируется в принципах построения и работы сетей связи, в том числе их составляющих подсистем, и протоколов сигнализации, стандартах качества передачи данных, голоса и видео, применяемых в сетях связи, в Законодательстве Российской Федерации в области связи.	Понимает и ориентируется в принципах построения и работы сетей радиосвязи, в том числе радиопередающих устройств, стандартах качества передачи данных, голоса и видео, применяемых в сетях радиосвязи, в Законодательстве Российской Федерации в области радиопередающих устройств.

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-2. Способен применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств инфокоммуникаций, использованию и внедрению результатов исследований.	ИД-2 ПК-2 соблюдает требования программ и методик по проведению экспериментальных испытаний объектов и систем связи (инфокоммуникационного оборудования).	Соблюдает требования программ и методик по проведению экспериментальных испытаний радиопередающих устройств.
	ИД-4 ПК-2 контролирует качественные показатели работы инфокоммуникационного оборудования в соответствии с их нормативными показателями.	Контролирует качественные показатели работы радиопередающих устройств в соответствии с их нормативными показателями.
	ИД-5 ПК-2 проводит экспериментальные исследования по имеющимся программам и методикам испытаний объектов и систем связи (инфокоммуникационного оборудования) с целью оценки их качественных показателей работы.	Проводит экспериментальные исследования по имеющимся программам и методикам испытаний радиопередающих устройств с целью оценки их качественных показателей работы.
ПК-3. Способен проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ.	ИД-3 ПК-3 проводит расчеты параметров и характеристик сети и средств инфокоммуникаций, анализирует их качественные показатели на основе данных статистики и радиоизмерений, использует специализированное программное обеспечение для проектирования.	Проводит расчеты параметров и характеристик радиопередающих устройств, анализирует их качественные показатели на основе данных статистики и радиоизмерений, использует специализированное программное обеспечение для проектирования.
	ИД-6 ПК-3 осуществляет разработку схемотехнических решений составных частей радиоэлектронных средств, выбор элементной базы для разработки схемных решений, проводит автоматизированное моделирование и экспериментальные работы по проверке технических характеристик модернизируемых радиоэлектронных средств.	Осуществляет разработку схемотехнических решений составных частей радиопередающих устройств, выбор элементной базы для разработки схемных решений, проводит автоматизированное моделирование и экспериментальные работы по проверке технических характеристик модернизируемых радиопередающих устройств.
ПК-5. Способность осуществлять монтаж, настройку, регулировку тестирование	ИД-2 ПК-5 соблюдает технологии выполнения работ по настройке, регулировке и испытаниям оборудования связи (телекоммуникаций), правила	Соблюдает технологии выполнения работ по настройке, регулировке и испытаниям радиопередающих устройств, правила эксплуатации и

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
оборудования, отработку режимов работы, контроль проектных параметров работы и испытания оборудования связи, обеспечение соответствия технических параметров инфокоммуникационных систем и /или их составляющих, установленным эксплуатационно-техническим нормам.	эксплуатации и методики применения измерительного и тестового оборудования.	методики применения измерительного и тестового оборудования.
	ИД-3 ПК-5 выполняет настройки, регулировки и испытания оборудования связи (телекоммуникаций) с помощью технической и технологической документации; ведет техническую и технологическую документацию по установленным формам; осуществляет проверку качества работы оборудования и средств связи.	Выполняет настройки, регулировки и испытания радиопередающих устройств с помощью технической и технологической документации; ведет техническую и технологическую документацию по установленным формам; осуществляет проверку качества работы оборудования и средств связи.

2 ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

На первом этапе необходимо ознакомиться с рабочей программой дисциплины, в которой рассмотрено содержание тем дисциплины лекционного курса, взаимосвязь тем лекций с лабораторными работами, темы и виды самостоятельной работы. По каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности.

Наименование лабораторных работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем лабораторных работ	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
1	Лабораторная работа № 1. Начало работы с GNU Radio.	2	0
3	Лабораторная работа № 2. Цифровой FM-передатчик и приемник.	4	0
4	Лабораторная работа № 3. Цифровая модуляция QAM-M.	4	0
5	Лабораторная работа № 4. QAM/PSK модуляция и измерение BER.	2	0
6	Лабораторная работа № 5. Технология OFDM.	4	0
	ИТОГО	16	0

3 КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО НИМ

Рейтинговая оценка знаний студента не применяется.

Текущая аттестация студентов проводится преподавателями, ведущими лабораторные занятия по дисциплине, в следующих формах: собеседование.

Допуск к лабораторным работам происходит при наличии у студентов печатного варианта отчета. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть работы. Основанием для снижения оценки являются:

- наличие ошибок в отчете, не искажающих сути, рассматриваемого вопроса;
- ответы на вопросы преподавателя не являются исчерпывающими;
- письменный отчет выполнен в небрежной форме.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- в представленном письменном отчете приведены неправильные расчеты;
- в представленном письменном отчете приведены не обоснованные выводы;
- задание выполнено не полностью.

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация в форме **зачета с оценкой**.

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

При работе с рекомендованной литературой и источниками студенту необходимо, в первую очередь, обратить внимание на следующие моменты:

1. Внимательно изучить материалы, характеризующие курс и тематику самостоятельного изучения, что изложено в учебно-методическом комплексе по дисциплине. Это позволит четко представить как круг, изучаемых тем, так и глубину их постижения.

2. Составить подборку литературы, достаточную для изучения предлагаемых тем. В учебно-методическом комплексе или методических рекомендациях обязательно представлены основной и дополнительный списки литературы, доступные для студентов. Они носят рекомендательный характер, это означает, что всегда есть литература, которая может не входить в данный список, но является необходимой для освоения темы. При этом следует иметь в виду, что нужна литература различных видов:

- учебники, учебные и учебно-методические пособия;
- монографии, сборники научных статей, публикации в журналах;
- справочная литература – энциклопедии, словари, тематические, терминологические справочники;

3. Обучаемый должен совершать собственные интеллектуальные усилия, а не только механически заучивать понятия и положения.

Вопросы для собеседования по вопросам темы выносимой на самостоятельное изучение

Тема 1. Общие сведения о радиопередающих устройствах

1. Нарисуйте упрощенную структурную схему системы радиосвязи и укажите роль и место в ней радиопередатчика.

2. Перечислите основные функции радиопередающего устройства в составе системы радиосвязи.

3. Перечислите основные нормативные документы, определяющие технические требования к радиопередатчику.
4. Назовите основные системные требования к радиопередатчику.
5. Поясните, в чем состоит задача электромагнитной совместимости радиосредств.
6. Перечислите основные требования по электромагнитной совместимости, предъявляемые к радиопередатчику и поясните их физический смысл.
7. Приведите примеры показателей качества передачи сигнала, определяемые радио-передатчиком.
8. Назовите основные энергетические показатели радиопередатчика.
9. Перечислите основные эксплуатационные показатели радиопередатчика.
10. Поясните, что называется архитектурой радиопередатчика.
11. Укажите, по какой причине редко применяют однокаскадное построение передатчика.
12. Назовите основные преимущества многокаскадного построения радиопередатчика перед однокаскадным.
13. Нарисуйте упрощенную структурную схему радиопередатчика, построенного по многокаскадному принципу с прямой модуляцией на рабочей частоте.
14. Перечислите основные достоинства и недостатки прямой архитектуры радиопередающего тракта.
15. Нарисуйте упрощенную структурную схему радиопередатчика, построенного по многокаскадному принципу с переносом частоты.
16. Перечислите основные достоинства и недостатки радиопередающего тракта на основе архитектуры с переносом частоты.
17. Сформулируйте, что называется частотным планом радиопередатчика и приведите его пример.

18. Сформулируйте, что называется энергетическим планом радиопередатчика и приведите его пример.

Тема 2. Активные элементы радиочастотных усилителей мощности

1. Укажите роль и место усилителя мощности в составе радиопередатчика.

2. Перечислите электровакуумные устройства, применяемые в усилителях мощности радиопередатчиков.

3. Приведите пример реальных статических ВАХ вакуумного триода.

4. Приведите пример идеализированных статических ВАХ вакуумного триода.

5. Приведите пример реальных статических ВАХ вакуумного тетрода.

6. Приведите пример идеализированных статических ВАХ вакуумного тетрода.

7. Укажите основные достоинства и недостатки электровакуумных устройств, применяемых в усилителях мощности радиопередатчиков.

8. Перечислите полупроводниковые устройства, применяемые в усилителях мощности радиопередатчиков.

9. Приведите пример реальных статических ВАХ биполярного транзистора.

10. Приведите пример идеализированных статических ВАХ биполярного транзистора.

11. Приведите пример реальных статических ВАХ полевого МДП-транзистора.

12. Приведите пример идеализированных статических ВАХ полевого МДП-транзистора.

13. Укажите основные достоинства и недостатки полупроводниковых устройств, применяемых в усилителях мощности радиопередатчиков.

14. Приведите пример идеализированных статических ВАХ обобщенного электронного прибора.

15. Объясните физический смысл эквивалентных параметров идеализированных статических ВАХ характеристик обобщенного электронного прибора.

Тема 3. Принципы построения радиочастотных усилителей мощности

1. Изобразите функциональную схему усилителя мощности. Поясните назначение входных и выходных цепей связи.

2. Поясните принцип действия усилителя мощности.

3. Нарисуйте упрощенную принципиальную схему резонансного усилителя мощности. Поясните назначение основных ее элементов.

4. Укажите основные преимущества и недостатки резонансного построения усилителя мощности.

5. Запишите в упрощенном виде уравнение баланса мощностей в выходной цепи каскада усиления мощности. Поясните его физический смысл.

Тема 4. Режимы работы радиочастотных усилителей мощности

1. Поясните понятие динамической характеристики.

2. Приведите классификацию режимов работы усилителей мощности по напряженности режима.

3. Поясните понятие угла отсечки.

4. Приведите классификацию режимов работы усилителей по углу отсечки.

5. Нарисуйте общий вид спектра выходного тока электронного прибора при работе усилителя мощности с отсечкой тока.

6. Нарисуйте динамические характеристики для случаев работы усилителя мощности в недонапряженном и граничном режимах классов А и В.

7. Поясните энергетические преимущества работы в режиме с отсечкой тока.

8. Покажите, как определяется коэффициент использования выходного напряжения для граничного режима работы усилителя мощности.

9. Поясните критерии выбора угла отсечки при работе усилителя мощности в граничном режиме.

10. Нарисуйте динамические характеристики для случаев работы усилителя мощности в слабоперенапряженном и в сильноперенапряженном режимах. Поясните достоинства и недостатки таких режимов.

Тема 5. Характеристики радиочастотных усилителей мощности

1. Поясните качественные зависимости режима работы усилителя мощности при изменениях амплитуды напряжения возбуждения на его входе.

2. Поясните, что такое амплитудная характеристика усилителя.

3. Поясните качественные зависимости режима работы усилителя мощности при изменениях напряжения питания.

4. Поясните качественные зависимости режима работы усилителя мощности при изменениях напряжения смещения.

5. Дайте определение нагрузочным характеристикам усилителя мощности.

6. Поясните суть резистивного, реактивного и комплексного рассогласования нагрузки.

7. Приведите пример нагрузочных характеристик усилителя мощности при отсутствии реактивного рассогласования нагрузки.

8. Перечислите основные достоинства и недостатки усилителей мощности с резистивной и с резистивно-дрессельной нагрузкой.

9. Поясните принцип и энергетические преимущества бигармонических режимов работы усилителя мощности.

10. Приведите классификацию ключевых режимов работы усилителей мощности. Укажите основные достоинства и недостатки применения ключевых режимов.

11. Перечислите основные виды потерь в транзисторе при работе усилителя мощности в ключевом режиме.

12. Приведите пример принципиальной схемы и поясните принцип работы эквивалентной резистивной нагрузки ключевого усилителя мощности в виде «вилки» фильтров.

13. Приведите пример эквивалентной и принципиальной схем ключевого усилителя мощности класса D. Поясните принцип его работы и изобразите осциллограммы токов и напряжений на выходных электродах транзисторов. Перечислите основные достоинства и недостатки ключевых усилителей мощности этого класса.

14. Приведите пример эквивалентной и принципиальной схем двухтактного ключевого усилителя мощности класса F. Поясните принцип его работы и изобразите осциллограммы тока и напряжения на выходном электроде транзистора. Перечислите основные достоинства и недостатки ключевых усилителей мощности этого класса.

15. Приведите пример эквивалентной и принципиальной схем однотактного ключевого усилителя мощности класса F. Поясните принцип его работы и изобразите осциллограммы тока и напряжения на выходном электроде транзистора. Перечислите основные достоинства и недостатки ключевых усилителей мощности этого класса.

16. Приведите пример эквивалентной и принципиальной схем однотактного ключевого усилителя мощности класса B. Поясните принцип его работы и изобразите осциллограммы тока и напряжения на выходном электроде транзистора. Перечислите основные достоинства и недостатки ключевых усилителей мощности этого класса.

17. Приведите пример эквивалентной и принципиальной схем двухтактного ключевого усилителя мощности класса DE. Поясните принцип его работы и изобразите осциллограммы тока и напряжения на выходном электроде транзистора. Перечислите основные достоинства и недостатки ключевых усилителей мощности этого класса.

18. Поясните принцип расчета сеточных цепей лампового усилителя мощности на основе графо-аналитического метода.

19. Поясните принцип расчета коэффициента усиления по току биполярного транзистора в усилителе мощности, с учетом частотных свойств транзистора.

Тема 6. Схемотехника радиочастотных усилителей мощности

1. Изобразите принципиальную схему резонансного усилителя мощности с цепями питания параллельного типа. Поясните главные преимущества и недостатки цепей питания такого типа.

2. Изобразите принципиальную схему резонансного усилителя мощности с цепями питания последовательного типа. Поясните главные преимущества и недостатки цепей питания такого типа.

3. Укажите основные особенности питания катодов мощных генераторных ламп переменным током. Приведите примеры принципиальных схем этого узла.

4. Перечислите главные функции, выполняемые входными и выходными цепями связи каскада усиления мощности.

5. Нарисуйте примеры принципиальных схем трансформирующих цепочек Г-типа. Поясните основные свойства таких цепочек.

6. Нарисуйте примеры принципиальных схем трансформирующих цепочек Т-типа и П-типа. Поясните основные свойства таких цепочек.

7. Изобразите примеры принципиальных схем фильтров верхних и нижних частот, а также полосно-пропускающих фильтров.

8. Приведите примеры амплитудно-частотных характеристик фильтров нижних и верхних частот Чебышева и Золотарева-Кауэра.

9. Укажите, в чем состоит задача широкодиапазонного согласования и назовите основные трудности ее решения.

10. Поясните основные причины ограниченного применения в радиочастотных усилителях мощности классических трансформаторов с магнитной связью.

11. Поясните принцип работы и конструкцию широкополосных трансформаторов на основе отрезков линий передачи.

12. Приведите примеры принципиальных схем трансформаторов-линий для разных коэффициентов трансформации.

13. Поясните, в чем состоит назначение, и приведите примеры построения цепочек частотной коррекции в широкодиапазонных усилителях мощности.

14. Приведите основные достоинства и недостатки параллельного включения нескольких электронных приборов в каскад усиления мощности.

15. Приведите основные достоинства и недостатки двухтактного построения усилителя мощности. Поясните принцип работы двухтактной схемы на примере трансформаторного или резонансного построения.

16. Изобразите пример принципиальной схемы двухтактного каскада усиления мощности на балансном транзисторе.

17. Изобразите пример принципиальной схемы широкодиапазонного двухтактного каскада усиления мощности с трансформаторами-линиями.

18. Поясните принцип действия усилителя с распределенным усилением. Приведите пример простейшей принципиальной схемы такого усилителя мощности. Перечислите основные достоинства и недостатки таких усилителей.

19. Поясните принцип многомодульного построения мощных каскадов усиления радио-передатчика. Перечислите основные достоинства и недостатки такого построения.

20. Поясните принцип работы и основные энергетические соотношения в мостовой схеме сложения мощностей. Перечислите основные достоинства и недостатки мостового способа сложения мощностей.

21. Приведите примеры принципиальных схем мостовых устройств сложения мощностей на основе элементов с сосредоточенными параметрами.

22. Приведите примеры схем и конструкций синфазных мостов сложения на основе отрезков линий передачи.

23. Приведите примеры схем и конструкций квадратурных мостов сложения на основе отрезков линий передачи.

24. Поясните принцип пространственного сложения мощностей радиопередатчиков. Укажите его основные достоинства и недостатки.

25. Укажите основное назначение выходной фильтрующей системы радиопередатчика. Сформулируйте основные технические требования, предъявляемые к ней.

26. Приведите примеры принципиальных схем выходных фильтрующих систем резонансного типа.

27. Приведите примеры принципиальных схем выходных фильтрующих систем на основе неперестраиваемых фильтров.

28. Поясните, каким образом определяется требуемое число неперестраиваемых фильтров при построении выходных фильтрующих систем широкодиапазонных передатчиков.

29. Перечислите основные способы реализации систем автоматической настройки контуров в радиопередатчиках. Кратко поясните принцип их действия.

30. Укажите особенности проблематики построения систем автоматического согласования радиопередатчика с антенной. Приведите примеры схем автоматических согласующих устройств.

Тема 7. Автогенераторы в радиосистемах передачи информации

1. Укажите роль и место автогенераторов в простейших структурных схемах радио-передатчиков.

2. Сформулируйте своими словами условия самовозбуждения автогенератора. Поясните их физический смысл.

3. Сформулируйте, что называют стационарным режимом работы автогенератора.

4. Поясните, чем определяется рабочая частота автоколебаний в стационарном режиме.

5. Сформулируйте, что называется мягким и жестким самовозбуждением автогенератора, и в чем разница между ними.

6. Поясните, чем определяется амплитуда автоколебаний в стационарном режиме.

7. Нарисуйте схему организации автоматического смещения в автогенераторе. Поясните назначение автосмещения.

8. Изобразите эквивалентные трехточечные схемы автогенераторов. Поясните, каким образом в этих схемах выполняются условия самовозбуждения.

9. Нарисуйте принципиальную схему трехточечного автогенератора, построенного по емкостной схеме Колпитца. Поясните назначение элементов схемы. Укажите основные достоинства и недостатки этой схемы.

10. Нарисуйте принципиальную схему трехточечного автогенератора, построенного по емкостной схеме Клаппа. Поясните назначение элементов схемы. Укажите основные достоинства и недостатки этой схемы.

11. Нарисуйте принципиальную схему трехточечного автогенератора, построенного по индуктивной схеме Хартли. Поясните назначение элементов схемы. Укажите основные достоинства и недостатки этой схемы.

12. Назовите количественные меры оценки неустойчивости частоты автогенератора и покажите их взаимосвязь.

13. Перечислите основные дестабилизирующие факторы, влияющие на устойчивость частоты автоколебаний. Укажите основные способы противодействия влиянию этих дестабилизирующих факторов.

14. Кратко поясните устройство и конструкцию кварцевого резонатора. Нарисуйте его эквивалентную схему, как в области основной гармоники, так и в области нечетных высших механических гармоник.

15. Поясните причины температурной неустойчивости параметров кварцевого резонатора.

16. Нарисуйте пример принципиальной схемы трехточечного автогенератора с кварцевым резонатором в роли индуктивности. Поясните механизм стабилизации частоты в таком автогенераторе.

17. Нарисуйте пример принципиальной схемы трехточечного автогенератора с кварцевым резонатором в цепи обратной связи. Поясните механизм стабилизации частоты в таком автогенераторе.

18. Поясните принцип управления частотой автоколебаний с помощью варикапа. Изобразите эквивалентную схему генератора управляемого напряжением на основе трехточечной схемы Клаппа, а также его частотную модуляционную характеристику. Перечислите основные технические показатели генераторов, управляемых напряжением.

19. Нарисуйте пример принципиальной схемы генератора управляемого напряжением на основе схемы Клаппа. Укажите назначение элементов схемы.

20. Нарисуйте пример реального спектра автоколебания. Дайте определение фазового шума. Поясните способ определения фазовых шумов автогенератора на основе анализа спектра его колебания.

21. Перечислите основные причины неустойчивой работы автогенератора. Укажите основные пути повышения устойчивости автогенератора.

22. Приведите пример схемы автогенератора, предназначенного для формирования квадратурных сигналов. Поясните принцип работы такого автогенератора.

23. Приведите пример схемы кольцевого генератора, управляемого напряжением. Поясните принцип работы такого автогенератора.

24. Укажите основные особенности генераторов управляемых напряжением, предназначенных для работы в широком диапазоне частот. Приведите примеры схем таких автогенераторов.

Тема 8. Синтезаторы частот в радиосистемах передачи информации

1. Укажите роль и место синтезатора частот в простейших структурных схемах радио-передатчика. Перечислите основные технические требования к синтезаторам частот.

2. Приведите упрощенную классификацию синтезаторов частот. Поясните кратко основные принципы реализации синтезаторов.

3. Приведите пример построения синтезатора частот на основе прямого аналогового синтеза. Поясните принцип его работы. Укажите основные достоинства и недостатки методов прямого аналогового синтеза частот.

4. Нарисуйте упрощенную структурную схему системы фазовой автоподстройки частоты. Поясните принцип ее работы. Перечислите и поясните возможные состояния такой системы авторегулирования.

5. Приведите основные характеристики системы фазовой автоподстройки частоты. Сформулируйте и поясните определения полосы захвата и полосы удержания.

6. Нарисуйте структурную схему синтезатора частоты косвенного типа на основе системы фазовой автоподстройки. Поясните принцип действия и назначение элементов схемы. Приведите формулу, связывающую частоту выходного колебания синтезатора с опорной частотой и с коэффициентами деления делителей частоты в цепях опорного и подстраиваемого автогенераторов. Перечислите основные достоинства и недостатки синтезаторов частот косвенного типа с целочисленным делением частоты.

7. Нарисуйте принципиальную схему пропорционально-интегрирующего фильтра петли фазовой автоподстройки частоты. Поясните, в чем состоят основные трудности и противоречия фильтрации колебания на выходе синтезатора частот косвенного типа. Назовите основные пути преодоления этих противоречий.

8. Поясните принцип дробного деления частоты в синтезаторе косвенного типа. Укажите, какое противоречие решает переход от

целочисленного деления частоты к дробному. Перечислите основные достоинства и недостатки дробных синтезаторов частот косвенного типа.

9. Поясните принцип прямого цифрового синтеза частот. Перечислите основные достоинства и недостатки прямых цифровых синтезаторов частот.

10. Нарисуйте пример функциональной схемы прямого цифрового синтезатора частот. Поясните его работу.

11. Приведите пример структурной схемы гибридного синтезатора частот с использованием прямого цифрового синтеза.

Тема 9. Модуляция в радиосистемах передачи информации

1. Поясните роль и место устройства формирования модулированного радиосигнала (модулятора) в структурной схеме радиопередатчика.

2. Приведите аналитическую запись, осциллограмму, векторную диаграмму и спектрограмму колебания с амплитудной модуляцией. Дайте определение понятия глубины модуляции. Укажите основные достоинства и недостатки амплитудной модуляции.

3. Нарисуйте простейшую принципиальную схему амплитудного модулятора на диоде. Поясните принцип ее действия и назначение элементов.

4. Поясните, в чем состоят особенности однополосных радиоколебаний. Приведите осциллограммы, векторные диаграммы и спектрограммы однополосных колебаний с различной степенью подавления несущей. Укажите основные достоинства и недостатки однополосной амплитудной модуляции.

5. Нарисуйте принципиальную схему балансного модулятора. Укажите назначение элементов схемы. Поясните принцип ее работы.

6. Нарисуйте структурную схему формирования однополосного сигнала путем многократной балансной модуляции с фильтрацией. Приведите пример частотного плана такого формирователя.

7. Приведите аналитические записи, осциллограммы и спектрограммы колебаний с угловой (частотной и фазовой) модуляцией. Дайте определения понятиям девиации фазы, девиации частоты, индекса модуляции. Поясните, чем отличаются свойства этих колебаний при малых и больших значениях индекса модуляции. Укажите основные достоинства и недостатки угловой модуляции.

8. Запишите аналитическую взаимосвязь между частотой и фазой гармонического колебания. Поясните, в чем состоит прямой и косвенный методы формирования радиосигналов с угловой модуляцией. Нарисуйте упрощенные функциональные схемы получения колебаний с частотной и фазовой модуляцией прямым и косвенным методами.

9. Приведите пример принципиальной схемы фазового модулятора. Поясните принцип его работы.

10. Поясните принцип получения частотной модуляции в автогенераторе. Изобразите пример принципиальной схемы частотно-модулированного автогенератора.

11. Поясните принцип квадратурного представления модулированных сигналов. Дайте словесное и графическое определения вектора ошибки.

12. Поясните принцип векторного представления модулированных сигналов.

13. Приведите примеры сигнальных созвездий сигналов с различными видами модуляции.

14. Поясните назначение предмодуляционной фильтрации. Дайте определение понятия коэффициента скругления.

15. Расскажите, что понимается под коэффициентом фильтрации ВТ при гауссовской предмодуляционной фильтрации.

16. Расскажите об основных свойствах модулированных сигналов FSK. Приведите примеры сигнальных созвездий.

17. Расскажите об основных свойствах модулированных сигналов MSK и GMSK. Приведите примеры сигнальных созвездий.

18. Расскажите об основных свойствах модулированных сигналов BPSK, QPSK и 8PSK. Приведите примеры сигнальных созвездий.

19. Расскажите об особенностях относительной и сдвиговой фазовой модуляции. Приведите сигнальные созвездия для модуляций DQPSK и OQPSK.

20. Расскажите об особенностях многоуровневой модуляции на примере сигналов QAM. Приведите примеры сигнальных созвездий.

21. Расскажите об основных свойствах OFDM-сигнала. Приведите пример спектра такого сигнала.

22. Поясните принцип формирования OFDM-сигнала. Укажите причину высокого пик- фактора такого сигнала и приведите основные способы его снижения.

23. Покажите, к каким искажениям модулированного радиосигнала приводит асимметрия квадратурных каналов.

24. Покажите, к каким искажениям модулированного радиосигнала приводит влияние побочных колебаний в опорном сигнале.

25. Покажите, к каким искажениям модулированного радиосигнала приводит наличие частотной ошибки.

26. Покажите, к каким искажениям модулированного радиосигнала приводит наличие нелинейных искажений в тракте радиопередатчика.

27. Поясните принципы векторной, квадратурной и полярной модуляции.

28. Поясните принцип формирования модулированных радиосигналов с помощью генератора, управляемого напряжением.

29. Приведите функциональную схему и поясните принцип работы квадратурного модулятора.

30. Приведите функциональную схему и поясните принцип работы полярного модулятора.

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он выполняет в полном объеме и безошибочно задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на высоком уровне способность решать стандартные и нестандартные прикладные практические задачи реализации принципов построения и методов исследования современных радиопередающих устройств.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он выполняет, допуская незначительные ошибки, задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на среднем уровне способность решать только стандартные прикладные практические задачи реализации принципов построения и методов исследования современных радиопередающих устройств.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он выполняет, допуская ошибки, исправление которых осуществляет с помощью наводящих вопросов преподавателя, задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на минимальном уровне способность решать стандартные прикладные практические задачи реализации принципов построения и методов исследования современных радиопередающих устройств.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он, выполняя задания оценочных средств по дисциплине, не достигает минимального уровня сформированности компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом не демонстрирует способность решать стандартные прикладные практические задачи реализации принципов построения и методов исследования современных радиопередающих устройств.

5 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

При проведении лабораторных работ по дисциплине «Радиопередающие устройства» студент должен знать и владеть навыками, содержание, которых представлено в программе по дисциплине.

5.1. Методические указания при подготовке к лабораторной работе

Подготовку к лабораторной работе рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- уяснить тему и цель, предстоящего занятия;
- изучить теоретический материал в соответствии с темой занятия (рекомендуется использовать рекомендованную литературу, конспект лекций, учебное пособие (практикум)).

5.2. Методические указания при выполнении задания лабораторной работы

При выполнении задания студенты должны строго соблюдать, установленные правила охраны труда.

При выполнении задания студентам рекомендуется:

- уяснить цель, выполняемых заданий и способы их решения;
- задания, выполнять в той последовательности, в которой они указаны в практикуме;
- при выполнении задания и изучении теоретического материала использовать помощь преподавателя;
- оформить отчет по работе;
- ответить на контрольные вопросы.

5.3. Методические указания при подготовке к защите отчета по лабораторной работе

При подготовке к защите отчета студентам рекомендуется:

- подготовить отчет по практическому занятию;
- уметь обосновать, сделанные выводы;
- закрепить знания теоретического материала по теме занятия (рекомендуется использовать контрольные вопросы);
- знать порядок проведения расчетов (проводимых исследований).

Защита отчета осуществляется путем собеседования студента с преподавателем. При собеседовании студент представляет на проверку отчет по лабораторной работе.

Собеседование со студентом, претендующим на оценку «отлично» проводится по вопросам повышенного уровня обученности.

Собеседование со студентом, не претендующим на оценку «отлично» проводится по вопросам базового уровня, которые приведены в фонде оценочных средств по дисциплине.

Вопросы для защиты отчета по лабораторной работе

Лабораторная работа 1. Начало работы с GNU Radio.

1. Какие типы данных используются в программной среде GNU Radio?
2. Зачем нужен блок Throttle?
3. Что такое частота дискретизации модели? Как она влияет на работу?
4. Могут ли блоки из интерфейса QT GUI работать совместно с WX GUI?
5. Как зависит скорость обработки блока QT GUI Sink от ширины окна преобразования Фурье?

Лабораторная работа 2. Цифровой FM-передатчик и приемник.

1. Чем стереофонический сигнал отличается от монофонического?
2. Почему на частотах 88-108 МГц применяется в основном частотная модуляция сигналов?
3. Что такое избирательность по соседнему и зеркальному каналу?
4. Какие виды фильтров вы знаете? Чем полосовой отличается от режекторного фильтра?
5. Можно ли произвести прием сигнала без подключения каких либо усилительных элементов к антенне (в цепях приемника только пассивные компоненты)?

Лабораторная работа 3. Цифровая модуляция QAM-M.

1. Как формируется сигнал QAM?
2. Как отображается сигнальное созвездие?
3. Перечислите варианты QAM.
4. Как оценивается коэффициент неравномерности сигнального созвездия?
5. Назовите примеры использования QAM-модуляции в системах радиосвязи.
6. Как высокие значения номера QAM влияют на скорость передачи данных?
7. Какие особенности модуляции QAM нужно учитывать при передаче в условиях шумов и помех?

Лабораторная работа 4. QAM/PSK модуляция и измерение BER.

1. Какие типы цифровой модуляции были представлены в данной работе? В чем их отличие.
2. Почему при прохождении QAM-модулированного сигнала через реальный канал, происходит произвольный поворот созвездия?
3. Что такое вероятность битовой ошибки?

4. Что такое отношение сигнал/шум?
5. Почему при повышении порядка QAM, необходимо обеспечить более высокий показатель отношения сигнал/шум?

Лабораторная работа 5. Технология OFDM.

1. Что такое OFDM-модуляция?
2. Что такое межсимвольная интерференция?
3. Что такое циклический префикс? Почему он имеет разные длительности?
4. Что такое децимация и интерполяция?
5. Каким выражением определяется частотный отклик подканала на i -й поднесущей?

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он выполняет в полном объеме и безошибочно задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на высоком уровне способность решать стандартные и нестандартные прикладные практические задачи реализации принципов построения и методов исследования современных радиопередающих устройств.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он выполняет, допуская незначительные ошибки, задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на среднем уровне способность решать только стандартные прикладные практические задачи реализации принципов построения и методов исследования современных радиопередающих устройств.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он выполняет, допуская ошибки, исправление которых осуществляет с

помощью наводящих вопросов преподавателя, задания оценочных средств по дисциплине, относящиеся к данной компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом демонстрирует на минимальном уровне способность решать стандартные прикладные практические задачи реализации принципов построения и методов исследования современных радиопередающих устройств.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он, выполняя задания оценочных средств по дисциплине, не достигает минимального уровня сформированности компетенции (индикаторам достижения компетенции), при этом не демонстрирует способность решать стандартные прикладные практические задачи реализации принципов построения и методов исследования современных радиопередающих устройств.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Богомолов, С. И. Введение в системы радиосвязи и радиодоступа / С. И. Богомолов. - Томск : Эль Контент, 2012. - 152 с.
2. Велигоша, А. В. (Северо-Кавказский федеральный университет). Радиосистемы передачи информации : учебное пособие (Курс лекций) / А. В. Велигоша; Сев.-Кав. федер. ун-т. - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 229 с.
3. Учебно-методическое пособие по дисциплине Сети и системы радиосвязи Электронный ресурс / сост. Г. И. Сорокин. - Учебно-методическое пособие по дисциплине Сети и системы радиосвязи, 2022-04-04. - Москва : Московский технический университет связи и информатики, 2015. - 24 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS.

Дополнительная литература:

1. Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине «Радиосистемы передачи информации»: Направление подготовки 11.03.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Квалификация выпускника – магистр / Сост. К.М. Сагдеев. – Электронный ресурс. – Ставрополь: СКФУ, 2019. экземпляров неограниченно.
2. Лабораторный практикум по дисциплине «Радиосистемы передачи информации» : Направление подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. Профиль подготовки «Системы и устройства радиотехники и связи». / Сев.-Кав. федер. ун-т. – Ставрополь : СКФУ, 2015. – 75 с.