

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплине «Проектирование программно-управляемых сетей и систем»
для студентов направления подготовки
11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
Направленность (профиль)
«Технологии построения программно-управляемых систем и компьютерных сетей»

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. SDR-ТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА РАДИОСИГНАЛОВ	7
1.1. Ключевые понятия, термины и определения, радиотехнические характеристики и параметры радиосвязи	7
1.2. Классификация и описание модулированных радиосигналов	17
1.3. Аналого-цифровое преобразование, цифровая обработка и фильтрация сигналов	21
1.4. SDR-архитектура. Программно-определяемый радиосканер USB RTL-SDR на базе тюнера RTL2832 и его характеристики.....	27
2. ИНТЕРАКТИВНЫЙ РАДИОМОНИТОРИНГ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАДИОВЕЩАНИЯ В ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ СРЕДЕ SDRSHARP	35
2.1. Инсталляция и знакомство с программно-определяемой средой SDRSharp	35
2.2. Регистрация и анализ данных SDR-устройств в программной среде SDRSharp.....	44
2.3. Программный радиомониторинг, анализ и радиочастотные измерения каналов эфирного радиовещания в программно-определяемой среде SDRSharp	47
3. АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ SDR-СИСТЕМ ПОСРЕДСТВОМ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СРЕДЕ GNU RADIO.....	53
3.1. Знакомство со средой визуального программирования программно-определяемых SDR-систем GNU Radio	53
3.2. Управление и настройка параметров SDR-модулей (блоков) в среде GNU Radio	56
3.3. Правила архитектурного проектирования, создание, компиляция, сохранение проекта в среде GNU Radio, а также трансляция проекта в программный листинг на языке Python.....	71

3.4. Визуальное программирование и моделирование радиотехнических блок-схем в среде GNU Radio	73
3.5. Настройка режимов моделирования регистрации сигналов в среде GNU Radio	80
3.6. Архитектурное проектирование и анализ программно- определяемого ЧМ- и АМ-приемника на базе тюнера RTL2832 в среде GNU Radio	83
4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ	89
ПРИЛОЖЕНИЕ. ЧАСТОТНАЯ СЕТКА УКВ РАДИОВЕЩАНИЯ.....	142
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	144
СЕТЕВЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫЕ РЕСУРСЫ.....	144

ВВЕДЕНИЕ

Программно-определяемые радиотехнологии (Software Defined Radio – SDR) – IT направление в радиотехнике, позволяющее на уровне программного проектирования создавать архитектуру и управлять параметрами и настройками радиочастотных устройств при помощи средств программирования.

Сегодня программно-определяемые радиотехнологии вызывают большой интерес у исследователей и разработчиков современных устройств радиосвязи, радиомониторинга и телеметрии. Такие устройства отличаются возможностью реализации функций радиофизического уровня программным способом, что обеспечивает осуществление обработки различных типов сигналов без изменения аппаратной схмотехнической части радиоэлектронного изделия. С появлением доступных и гибких в управлении радиоприемных устройств интерес к SDR-технологии возрос еще больше, поскольку она позволяет создать SDR-системы, работающие в широкополосном радиочастотном диапазоне.

Не менее важным при проектировании и моделировании SDR-устройств является выбор и практическое освоение специализированного программного обеспечения, позволяющего создавать проекты программно-конфигурируемых средств радиомониторинга и телеметрии.

Учебное пособие имеет профильную направленность, ориентированную на формирование у обучающегося необходимых знаний и умений для успешного развития в направлении дальнейшей деятельности в области программного радиомониторинга и архитектурного проектирования SDR-систем посредством визуального (блочного) программирования USB RTL-SDR тюнера RTL2832 – цифрового приемника.

Пособие состоит из трех тематических разделов, а также приложения практических заданий с примерами решений и ответами.

В первом разделе сформулированы ключевые понятия, термины и определения, радиотехнические характеристики и параметры средств радиосвязи. Приведены основные сведения о параметрах и характеристиках USB RTL-SDR радиосканера на базе тюнера RTL2832.

Второй раздел посвящен интерактивному радиомониторингу и спектральной визуализации каналов эфирного радиовещания в программно определяемой среде SDRSharp с использованием RTL-SDR радиосканера.

В третьем разделе рассматриваются практические решения архитектурного проектирования и моделирования SDR-систем посредством визуального программирования в среде GNU Radio на базе RTL-SDR радиосканера.

В приложении учебного пособия приведены типовые задания по созданию проектов SDR-систем в программном обеспечении SDRSharp и GNU Radio с примерами решений и ответами.

1. SDR-ТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА РАДИОСИГНАЛОВ

1.1. Ключевые понятия, термины и определения, радиотехнические характеристики и параметры радиосвязи

Радиотехника – область радиоэлектроники, изучающая методы и средства передачи, преобразования и получения информации с помощью радиоволн.

Радиоволна – возмущенное электромагнитное поле (электромагнитное колебание), распространяющиеся в пространстве со скоростью света c , равной 300 000 км/сек. Радиоволны охватывают волновой диапазон от 1 мм до 100 км или же эквивалентный частотный диапазон от 3 кГц до 300 ГГц (рис. 1).

Наиболее известное практическое применение радиоволн – средства телерадиовещания, радиосвязи, навигации и радиолокации.

Радиосвязь – технология беспроводной передачи информации (радиосигналов), где в качестве информационного носителя используются радиоволны, которые могут свободно распространяться в пространстве.

Радиосигнал – радиоволна, преобразованная при помощи радиотехнических решений для передачи информации на расстояние в воздушном пространстве.

Радиоволны характеризуются тремя основными радиотехническими параметрами: длина волны λ , радиочастота f и мощность переносимой энергии W .

Длина радиоволны λ – расстояние, которое проходит электромагнитное колебание за время одного периода, распространяясь со скоростью света c . Единица измерения длины радиоволн – [мм, см, дм, м, км].

Однако в радиотехнике наиболее удобнее оперировать радиочастотой f – числом колебаний радиоволны за единицу времени, поскольку длина радиоволны, также, как и ее фазовая скорость v_{ϕ} , является величиной, зависящей от параметров среды (магнитная и диэлектрическая проницаемость), в которой она распространяется. В то же время радиочастота не зависит от свойств среды, поскольку нивелируется отношением фазовой скорости радиоволны к ее длине $-f = v_{\phi} / \lambda$. Единица измерения радиочастоты – [кГц, МГц, ГГц].

Мощность переносимой энергии W – мощность радиосигнала, передаваемая антенной в радиоэфир. Единица измерения мощности – [кВт, Вт, мВт, мкВт]. Мощность измеряется также в относительных величинах – [дБ, дБм].

Шкала радиоволн перекрывается радиодиапазонами (полосами) и приведена на рис. 1 и в таблице 1.

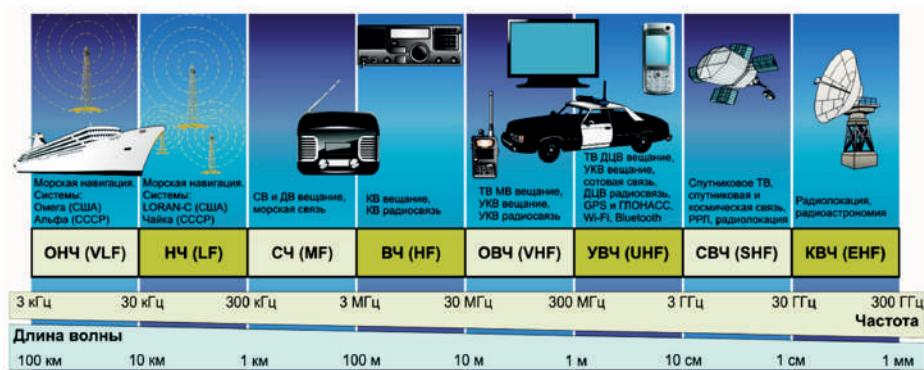


Рис. 1. Радиидиапазоны и области их применения

Радиодиапазоны и области их применения

№ полосы	Полоса частот*	Название полосы частот	Диапазон длин волн	Название диапазона	Основные области применения
4	3...30 кГц	Очень низкие (ОНЧ, VLF)	100...10 км	Мириаметровые	Служба точного времени, радиосвязь с подводными лодками
5	30...300 кГц	Низкие (НЧ, LF)	10...1 км	Километровые	Радиовещание, радиосвязь земной волной, навигация
6	300...3000 кГц	Средние (СЧ, MF)	1000...100 м	Гектометровые	Радиовещание и радиосвязь земной волной и ионосферная
7	3...30 МГц	Высокие (ВЧ, HF)	100...10 м	Декаметровые	Радиовещание и радиосвязь ионосферная, загоризонтная радиолокация, радиостанции, радиомониторинг
8	30...300 МГц	Очень высокие (ОВЧ, VHF)	10...1 м	Метровые	Телевидение, радиовещание, радиосвязь тропосферная и прямой волной, радиостанции, радиомониторинг
9	300...3000 МГц	Ультра-высокие (УВЧ, UHF)	10...1 дм	Дециметровые	Телевидение, радиосвязь тропосферная и прямой волной, мобильная телефония, радиостанции, медицина, микроволновые печи, спутниковая навигация, радиосенсорная телеметрия, радиомониторинг, технологии беспроводной связи

№ полосы	Полоса частот*	Название полосы частот	Диапазон длин волн	Название диапазона	Основные области применения
10	3...30 ГГц	Сверх- высокие (СВЧ, SHF)	10...1 см	Сантиметровые	Радиолокация, интернет, спутниковое телевещание, спутниковая- и радиосвязь прямой волной, беспроводные компьютерные сети, радиовидение, радиосенсорная телеметрия, радиомониторинг
11	30...300 ГГц	Крайне высокие (КВЧ. EHF)	10...1 мм	Миллиметровые	Радиоастрономия, высокоскоростная радиорелейная связь, радиолокация (метеорологическая, управление вооружением), медицина, спутниковая радиосвязь, радиовидение, радиосенсорная телеметрия
12	300... 3000 ГГц	Гипер- высокие (ГВЧ, THF)	1...0,1 мм	Децимиллимет- ровые	Высокочастотное тепловидение
*Полосы частот включают наибольшую и исключают наименьшую частоту, а диапазоны длин волн включают наименьшую длину и исключают наибольшую.					

Радиочастотный диапазон – это граничная область радиочастот, имеющая конкретное полосовое радиочастотное разделение по применению, а также электродинамическим условиям распространения радиоволн (рис. 2). При этом полосы частот включают наибольшую и исключают наименьшую частоту.

Применительно к радиосвязи и телерадиовещанию отдельно выделяют:

- длинноволновый (ДВ)-диапазон (30...300 кГц);
- средневолновый (СВ)-диапазон (300 кГц...3 МГц);

- коротковолновый (КВ)-диапазон (3...50 МГц);
- ультракоротковолновый (УКВ)-диапазон (64...108 МГц);
- дециметровый (ДМВ)-диапазон (0,3...3,0 ГГц);
- диапазон цифровых стандартов связи (400...30 ГГц).

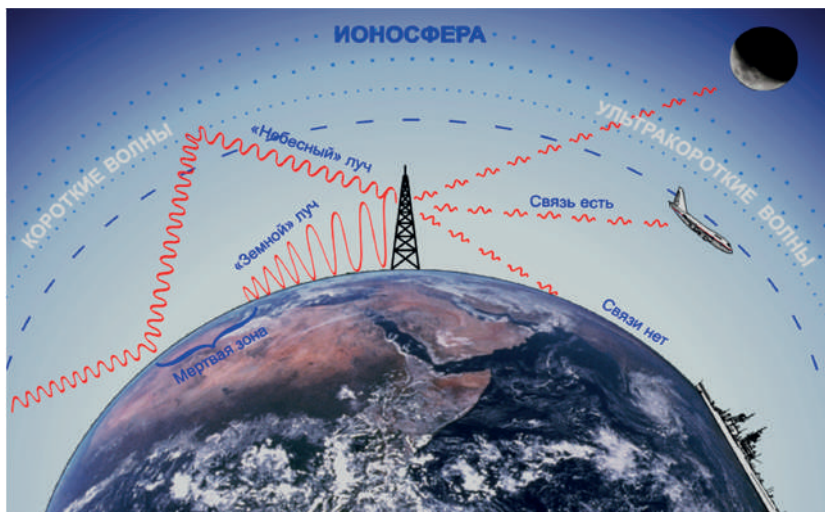


Рис. 2. Электродинамические условия распространения радиоволн

В зависимости от типа диапазона радиоволны имеют свои особенности и законы распространения:

- Радиоволны ДВ-диапазона сильно поглощаются ионосферой, основное значение имеют приземные волны, которые распространяются, огибая землю. Их интенсивность по мере удаления от передатчика уменьшается сравнительно быстро.
- Радиоволны СВ-диапазона сильно поглощаются ионосферой днем, и район действия СВ определяется приземной волной, вечером хорошо отражаются от ионосферы и район действия определяется отраженной волной.

- Радиоволны КВ-диапазона распространяются исключительно посредством отражения ионосферой, поэтому вокруг передатчика существует зона радиомолчания. Днем лучше распространяются более короткие волны (30 МГц), ночью – более длинные (3 МГц). Короткие волны могут распространяться на большие расстояния при малой мощности передатчика.
- Радиоволны УКВ-диапазона распространяются прямолинейно и, как правило, не отражаются ионосферой, однако при определенных условиях способны огибать земной шар из-за разности плотностей воздуха в разных слоях атмосферы. Легко огибают препятствия и имеют высокую проникающую способность, находят активное применение во всех видах наземной радиосвязи.
- Радиоволны ДМВ-диапазона и сантиметрового диапазона не огибают препятствия, распространяются в пределах прямой видимости. Используются в цифровых стандартах радиосвязи, как, например, GSM, WiFi, LTE, WiMax, UWB, Bluetooth, 4G, а также в системах спутниковой связи, в том числе в системах ГЛОНАСС, GPS, Galileo и т. д.

Принцип формирования радиосвязи следующий: выбирается несущая радиочастота из конкретного радиочастотного диапазона в зависимости от заданных условий возможного распространения радиоволн, которая служит основой для передачи информации (голосовой речи, музыки, изображения, текстового сообщения и т. д.), а затем на нее накладывается сам передаваемый сигнал при помощи модуляции.

Модуляция – видоизменение заданных радиотехнических параметров (одного или нескольких) сигнала несущей радиочастоты при воздействии на него сигнала передаваемой информации. Таким образом, радиосигнал несущей частоты принято называть модулируемым сигналом, а сигнал информации – модулирующим сигналом.

Необходимость формирования радиосигнала высокой несущей частоты и его последующая модуляция обусловлена тем, что в системах радиосвязи сиг-

налы передаются и принимаются антеннами. При этом минимальные геометрические размеры антенны зависят от длины, принимаемой или передаваемой радиоволны. Именно поэтому невозможно передавать, например, звуковую речь по радиоканалу, преобразованную в радиосигнал без наложения ее на высокочастотное колебание, поскольку в этом случае размеры антенны были бы слишком велики.

Антенна – это радиотехническое устройство, необходимое для обеспечения возможности передачи радиоволн в свободное пространство (в радиоэфир), а также регистрации радиоволн в радиоэфирном вещании. Конструкции антенн разнообразны и каждый тип рассматриваемой конструкции антенны (штыревые, мачтовые, ферритовые, директорные, зеркальные, рупорные, микрополосковые, антенные решетки и т. д.) с конкретными геометрическими размерами определяет ее рабочий радиочастотный диапазон. Так, для каждого радиочастотного диапазона (см. таблицу 1) применяются свои типы и соответствующие размеры конструкций антенн (ДВ-антенны, КВ-антенны, УКВ-антенны, спутниковые антенны и т. д.).

Принцип радиотехнического формирования системы радиосвязи показан на рис. 3.

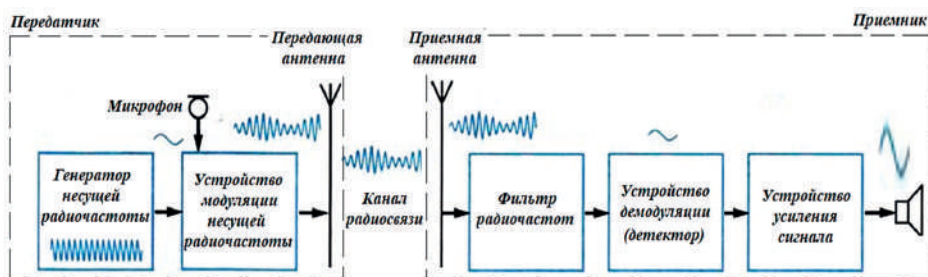


Рис. 3. Принцип формирования системы радиосвязи

Системы связи классифицируются по видам, а также режимам передачи и приема информации, от чего будут зависеть их конструктивные особенности:

- симплексная связь – это односторонняя связь между двумя абонентами, в которой направление осуществляется в одну сторону и по одному и тому же каналу связи. Т. е. при симплексной связи второй абонент, которому направлено сообщение или послание, не может ни ответить, ни подтвердить ничего, а только слушать. Такая связь используется в радио-, теле- и спутниковом вещании, поскольку нет необходимости передавать какие-либо данные обратно на радиопередающую станцию. Также примером симплексной связи является однонаправленная связь между пусковой установкой и ракетой с радиокомандным управлением, когда команды передаются ракете, но прием информации от ракеты не предусмотрен;
- дуплексная связь – это двусторонняя связь, которая может осуществляться одновременно. Передача и прием ведутся устройством одновременно по двум физически разделенным каналам связи на прием и на передачу информации. Примером такой связи являются системы телефонной связи и видеомост;
- частным случаем дуплексной связи является полудуплексная связь, когда устройство связи в один момент времени может либо передавать, либо принимать информацию. Пример полудуплексной связи – разговор по рации: каждый из абонентов в один момент времени либо говорит, либо слушает. Для обозначения конца передачи и перехода в режим приема абонент произносит слово «прием».

Радиосигналы классифицируются:

- по типу генерации во времени: стационарные и финитные.

Стационарный сигнал – сигнал, не изменяющий свои параметры во времени (неограниченный во времени).

Финитный сигнал – сигнал, ограниченный во времени, например, импульс.

- По однозначности параметров сигналов: детерминированные и случайные (стохастические или шумоподобные).

Детерминированный сигнал – сигнал, мгновенные значения которого в любой момент времени известны, т. е. предсказуемы с вероятностью, равной единице. Они могут быть описаны определенными функциями времени. Анализ и исследование этих сигналов осуществляется с помощью математического аппарата, не связанного с теорией вероятностей.

Случайный сигнал (стохастический, шумоподобный) – сигнал, мгновенные значения которого в любой момент времени не известны, но могут быть предсказаны с вероятностью, меньшей единицы. Случайные сигналы являются объектом исследования статистической радиотехники, базирующейся на теории вероятностей, в частности на теории случайных процессов.

- По периодичности генерации: периодические и непериодические.

Периодический сигнал – детерминированный сигнал, мгновенные значения которого повторяются через равные промежутки времени с периодичностью, например, гармонический синусоидальный сигнал.

Непериодический сигнал – частный случай периодического, у которого период бесконечно велик.

- По типу преобразования: управляющие (модулирующие) и управляемые (модулируемые).

Управляющий (модулирующий) сигнал – информационный сигнал, воздействующий на изменение параметров сигнала несущей радиочастоты в процессе модуляции (голосовой речи, музыки, изображения, текстового сообщения и т. д.).

Управляемый сигнал (модулируемый) – высокочастотный несущий радиосигнал, параметры которого (амплитуда, фаза, частота, поляризация и т. д.) преобразуются под воздействием управляющего сигнала в процессе модуляции.

- По виду преобразования: непрерывные (аналоговые), квантованные (квантованные по уровню и непрерывные по времени), дискретные (произвольные по величине и прерывистые по времени) и цифровые (рис. 4).

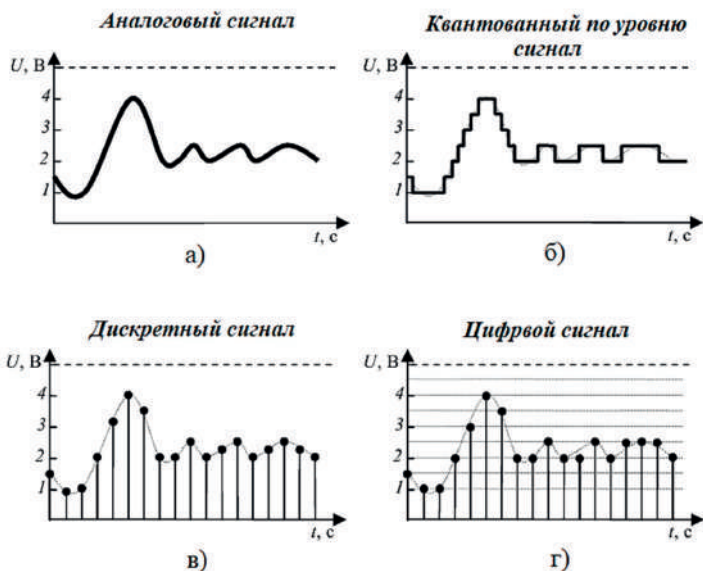


Рис. 4. Основные виды преобразования сигналов в радиосвязи

Непрерывный (аналоговый) сигнал – сигнал, определенный в каждый момент времени и принимающий все значения в своей области допустимых значений (рис. 4 а).

Квантованный сигнал – в отличие от аналогового, прерывистый сигнал по уровню (квантованный по уровню) и принимающий непрерывное значение во времени (рис. 4 б).

Дискретный сигнал – в отличие от аналогового, прерывистый сигнал во времени (дискретный по времени) и принимающий непрерывное значение по уровню (рис. 4 в).

Цифровой сигнал – сигнал, квантованный по величине и дискретный по времени, который можно представить в виде последовательности двоичного (бинарного) кода цифровых значений уровня и времени (рис. 4 г). Для передачи цифрового сигнала по аналоговым каналам используются различные виды цифровой манипуляции. Переход от аналогового сигнала к цифровому сигналу обеспечивается аппаратно при помощи аналого-цифрового преобразователя.

На примере гармонического периодического сигнала, графическое представление которого показано на рис. 5, представленного функцией вида

$$u(t) = U_m \sin(2\pi f t + \varphi_0),$$

определим основные радиотехнические параметры сигналов:

- U_m – амплитуда сигнала. Порядковая единица измерения [В, мВ, мкВ];
- f – линейная радиочастота сигнала. Порядковая единица измерения [кГц, МГц, ГГц];
- $T = 1/f$ – период сигнала. Порядковая единица измерения [мс, мкс, нс];
- φ_0 – начальная фаза сигнала. Единица измерения [град, рад];
- t – переменная времени.

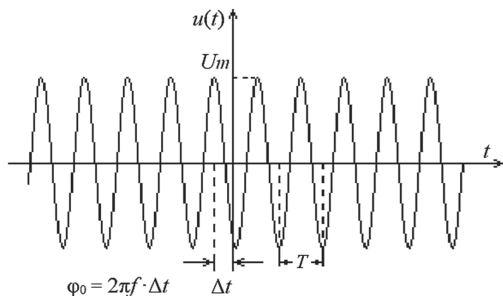


Рис. 5. Временное представление гармонического сигнала

1.2. Классификация и описание модулированных радиосигналов

Различают следующие основные виды модуляции высокочастотных сигналов в радиосвязи:

- аналоговая: амплитудная модуляция (АМ) и угловая модуляция (частотная (ЧМ), фазовая (ФМ));
- импульсная: амплитудно-импульсная (АИМ), широтно-импульсная (ШИМ), фазово-импульсная (ФИМ), частотно-импульсная (ФИМ), импульсно-коддовая (ИКМ).

Амплитудная модуляция является наиболее простым и распространенным способом передачи информации в ДВ-, СВ-, КВ-диапазоне. При АМ происходит изменение амплитуды несущего колебания по закону модулирующего сигнала при неизменных остальных его параметрах (рис. 6).

Как можно заметить из рис. 6 АМ-сигнал с однотоновой модуляцией содержит три спектральные гармонические составляющие:

$$s(t) = U_n \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + U_n M \cos(\Omega t + \gamma_0) \cos(\Omega t + \varphi_0) = \\ = U_n \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + 1/2 U_n M \cos([\omega_0 + \Omega t] + \varphi_0 + \gamma_0) + 1/2 U_n M \cos([\omega_0 - \Omega t] + \varphi_0 - \gamma_0),$$

где U_n – амплитуда несущего сигнала; $M = (U_{max} - U_{min}) / (U_{max} + U_{min})$ – коэффициент модуляции; $\omega_0 = 2\pi f$ – угловая частота сигнала; Ω – частота модулирующего низкочастотного сигнала; φ_0, γ_0 – начальные фазы несущего и управляющего сигнала соответственно.

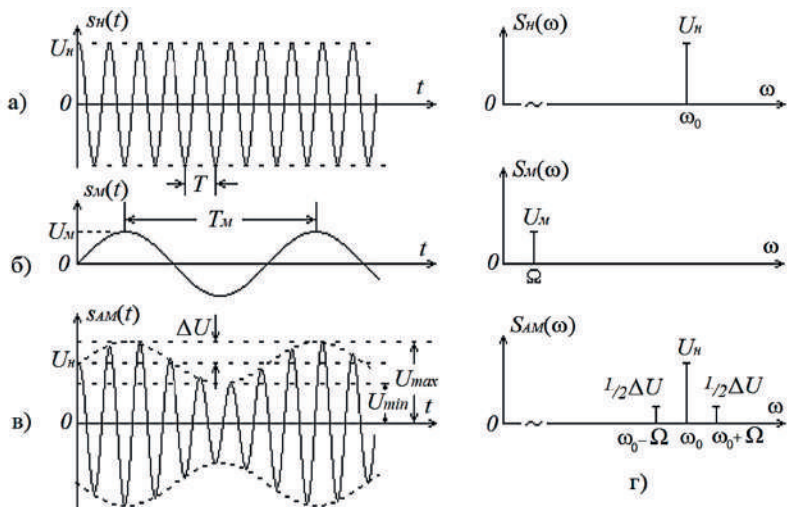


Рис. 6. Представление АМ-сигнала: а) – несущий высокочастотный (модулируемый) сигнал; б) – низкочастотный (модулирующий) сигнал; в) – АМ-сигнал с однотоновой модуляцией; г) – спектральное представление АМ-сигнала и составляющих его сигналов соответственно

На рис. 6 г следует обратить внимание на спектральный способ представления сигналов. Действительно, различают два способа представления сигналов: временное и частотное (спектральное). Также отдельно выделяют спектрально-временное представление сигнала, которое в данном случае не рассматривается.

Как уже известно, временное представление сигнала – зависимость параметра (уровня или фазы) сигнала от времени.

Частотное представление сигнала – зависимость параметра (уровня или фазы) сигнала от частоты. Действительно, согласно преобразованию Фурье, любой сигнал можно разложить на простые гармонические составляющие. Такое разложение сигнала называется спектральным, а представление – спектром сигнала. Спектр – совокупность простых составляющих сигнала с определенными амплитудами, частотами и начальными фазами.

Различают амплитудный и фазовый спектр.

Амплитудный спектр – зависимость уровня сигнала от частоты.

Фазовый спектр – зависимость фазы сигнала от частоты.

Между спектром сигнала и его формой существует жесткая взаимосвязь: изменение формы сигнала приводит к изменению его спектра и наоборот, любое изменение спектра сигнала приводит к изменению его формы. Это важно запомнить, поскольку при передаче сигналов в радиосвязи, они подвергаются преобразованиям, а значит, происходит преобразование их спектров.

Частотная модуляция, также, как и амплитудная, является самым распространенным способом модуляции сигналов радиозфирного вещания УКВ-диапазона. При ЧМ происходит изменение частоты несущего колебания по закону модулирующего сигнала при неизменных остальных его параметрах (рис. 6).

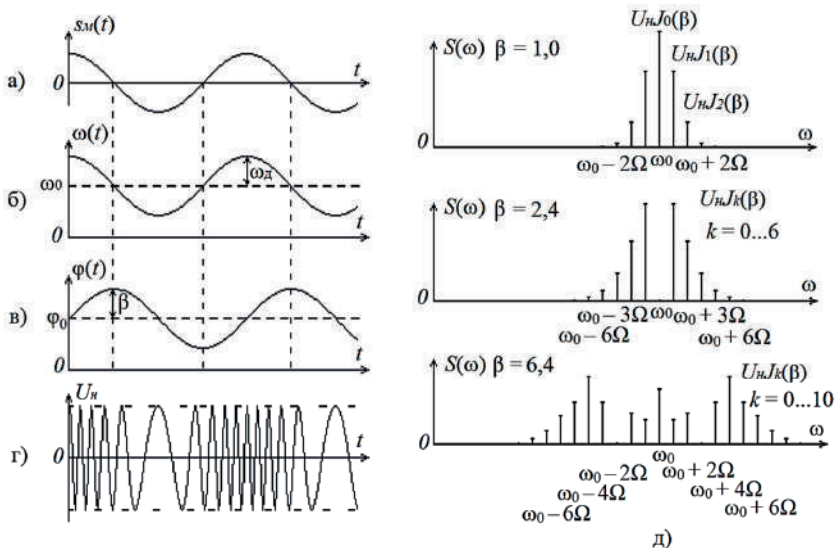


Рис. 7. Представление ЧМ-сигнала:

- а) – низкочастотный (модулирующий) сигнал; б) – сигнал изменения (девиации) частоты несущего (модулируемого) высокочастотного колебания;
 в) – сигнал изменения фазы несущего (модулируемого) высокочастотного колебания; г) – ЧМ-сигнал с однотоновой модуляцией;
 д) – спектральное представление ЧМ-сигнала

Как можно заметить из рис. 7 ЧМ-сигнал с однотоновой модуляцией в зависимости от величины индекса угловой модуляции β содержит несколько спектральных гармонических составляющих и имеет общий вид:

$$s(t) = U_n \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] = U_n \cos \psi(t),$$

где $\psi(t)$ – полная фаза (аргумент функции) ЧМ-сигнала.

Это обусловлено тем, что при частотной модуляции высокочастотный несущий (модулируемый) сигнал плавно изменяет свою частоту в зависимости от воздействия модулирующего сигнала, сжимаясь и растягиваясь во времени.

При этом выражение для ЧМ-сигнала с однотоновой модуляций будет иметь вид:

$$s(t) = U_n \cos[\omega_0 t + \beta \sin(\Omega t + \gamma_0) + \varphi_0],$$

где $\beta = \omega_d / \Omega$ – индекс частотной модуляции, ω_d – девиация частоты модулируемого сигнала, U_n – амплитуда несущего сигнала; $\omega_0 = 2\pi f$ – угловая частота несущего сигнала; Ω – частота модулирующего низкочастотного сигнала; φ_0, γ_0 – начальные фазы несущего и управляющего сигнала соответственно.

Для того, чтобы АМ- или ЧМ-приемник смог принять информацию и транслировать ее в виде исходного низкочастотного информационного сигнала, над модулированным сигналом необходимо произвести демодуляцию.

В зависимости от типа модуляции различают АМ- и ЧМ-демодуляцию соответственно. Радиотехнический процесс демодуляции является обратным модуляции несущего высокочастотного колебания.

Детектирование АМ-сигнала (АМ-демодуляция) состоит в выделении (фильтрации) модулирующего (информативного) сигнала из модулированного АМ-сигнала путем фильтрации амплитудной огибающей несущего высокочастотного сигнала. Таким образом, АМ-демодуляция – процесс обратный АМ-модуляции – выделение огибающей (информационного сигнала) из АМ-сигнала (рис. 6 в).

Детектирование ЧМ-сигнала (ЧМ-демодуляция) состоит в выделении модулирующего (информативного) сигнала из модулируемого путем преобразования изменения частоты (с заданной девиацией) ЧМ-сигнала в соответствующее изменение уровня исходного модулирующего сигнала.

Таким образом, ЧМ-демодуляция – процесс обратный ЧМ-модуляции, заключающийся в преобразовании девиации частоты ЧМ-сигнала в исходный низкочастотный сигнал (рис. 7 г).

1.3. Аналого-цифровое преобразование, цифровая обработка и фильтрация сигналов

Возможность преобразования аналогового радиосигнала в цифровой код, в том числе, в системах радиосвязи, открывает и существенно упрощает процедуру обработки и анализа радиотехнических сигналов. Данное обстоятельство

объясняется тем, что обработка и преобразование аналоговых сигналов решается исключительно аппаратно на основе физических и схемотехнических принципов преобразования непрерывных сигналов. В то же время предварительно оцифрованный сигнал легко поддается процедуре численной (программной) обработки при помощи инструментальных средств математического аппарата.

Обработка сигнала – процесс преобразования, регистрации и изменения радиотехнических параметров сигнала с использованием методов обработки.

Среди наиболее встречаемых методов (процессов) обработки сигналов в радиосвязи выделяют следующие:

- усиление, ослабление сигнала.

Усиление сигнала – процесс увеличения уровня амплитуды сигнала на заданный коэффициент усиления $k > 1,0$.

Ослабление сигнала (аттенюация) – уменьшение уровня амплитуды сигнала на заданный коэффициент ослабления $k < 1,0$.

- Модуляция, демодуляция сигнала (см. предыдущий раздел).
- Фильтрация сигнала: нижних частот, верхних частот, полосовая, режекторная (заграждающая).

Фильтрация сигнала – метод обработки сигнала с целью выделения и/или подавления определенных частот в спектре этого сигнала.

- Гетеродинирование сигнала – перенос несущего сигнала высокой частоты на более низкую несущую (промежуточную) путем сложения/вычитания несущей частоты и частоты гетеродина с целью удобства обработки сигнала.
- Частотное преобразование сигнала (прямое и обратное преобразования Фурье).

Прямое преобразование Фурье – преобразование сигнала из временной области (временного представления) в частотную.

Обратное преобразование Фурье – процесс, обратный прямому преобразованию Фурье.

- Передискретизация сигнала: децимация и интерполяция.

Децимация сигнала – уменьшение частоты дискретизации дискретного во времени сигнала путем прореживания его дискретных отсчетов с заданным коэффициентом децимации k_d .

Интерполяция – увеличение частоты дискретизации дискретного во времени сигнала путем добавления к сигналу дискретных отсчетов с заданным коэффициентом интерполяции k_i .

- Наложение сигналов: аддитивное наложение (сложение сигналов), мультиплексирование (сложение/вычитание частот сигналов).
- Кодирование и декодирование сигналов.

Как уже было отмечено ранее, опираясь на определение цифрового сигнала, аналого-цифровое преобразование сигнала включает в себя два этапа (рис. 8):

- дискретизация сигнала (во времени или пространстве);
- квантование по уровню.

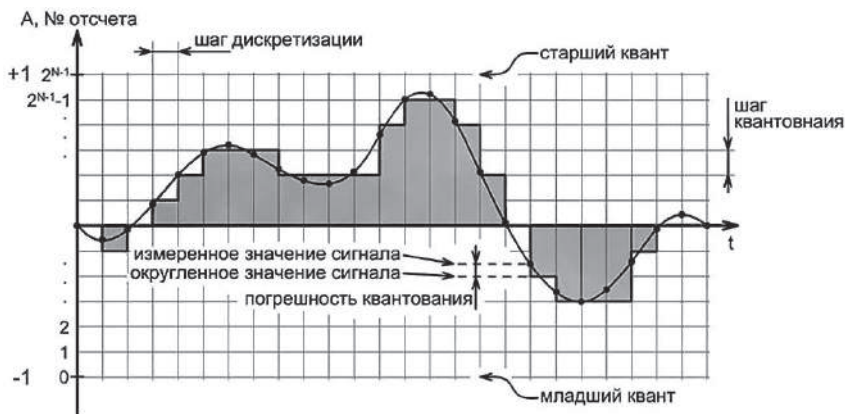


Рис. 8. Принцип аналого-цифровой обработки сигналов

На этапе дискретизации берутся отсчеты сигнала с некоторым периодом (шагом) дискретизации T_d . При этом частоту дискретизации f_d можно определить, как величину обратную периоду дискретизации $f_d = 1/T_d$.

Минимальная частота дискретизации определяется из фундаментального утверждения теоремы В. А. Котельникова (Найквиста – Шеннона), связывающей цифровой сигнал с аналоговым, согласно которому «любой сигнал, описываемый функцией $F(t)$, состоящий из частот (полосы частот) от 0 до f_1 , можно непрерывно передавать с любой точностью при помощи чисел, следующих друг за другом через $1/(2f_1)$ секунд».

Понятие полоса частот в отношении сигнала радиосвязи связано с понятиями об эффективной ширине спектра сигнала, в которой сосредоточено 90% энергии сигнала, а также о нижней f_{min} и верхней f_{max} границах полосы частот сигнала.

Иными словами, для того, чтобы оцифровать любой сложный сигнал, состоящий из набора гармонических сигналов с разными частотами, фазами и амплитудами, необходимо выбрать такую минимальную частоту дискретизации f_d , чтобы она была в два раза больше максимальной частоты f_1 в спектре исходного аналогового сигнала: $f_d = 1/(2f_1)$.

Процесс получения отсчета входного сигнала должен занимать очень малую часть периода дискретизации, чтобы снизить динамические ошибки преобразования, обусловленные изменением сигнала за время снятия отсчета.

На этапе квантования задается динамический диапазон сигнала (интервал изменения уровня сигнала от младшего до старшего кванта) и делится на требуемый шаг квантования q . Минимальный шаг квантования определяется динамическим диапазоном сигнала и разрядностью аналого-цифрового преобразователя.

Особое внимание в системах радиосвязи отдается процессу фильтрации радиосигналов. Данное обстоятельство обусловлено принципами частотного разделения каналов радиоэфирного вещания.

Частотное разделение каналов – разделение радиостанций по заданным несущим радиочастотам.

Важно отметить, что антенны, например, КВ- и УКВ-диапазона способны принимать широкий радиочастотный диапазон. Однако отделение (частотная

селекция) одной радиостанции от другой достигается при помощи – полосовой фильтрации приемного устройства. Каждый фильтр имеет свою полосу пропускания (диапазон радиочастот, в пределах которого сигнал принимается без помех) и полосу заграждения (диапазон радиочастот, в пределах которого сигнал полностью подавляется), которые в совокупности называются амплитудно-частотной характеристикой фильтра (АЧХ) (рис. 9).

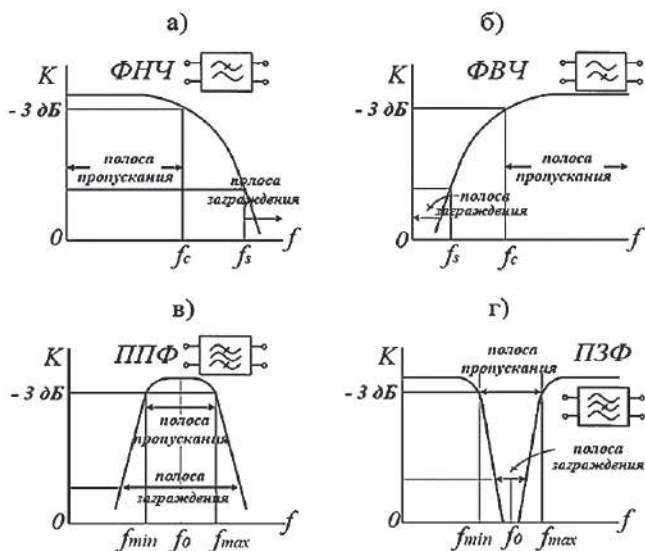


Рис. 9. Амплитудно-частотные характеристики фильтров радиочастот и их обозначения: а) – фильтр нижних частот (ФНЧ); б) – фильтр верхних частот (ФВЧ); в) – полосно-пропускающий фильтр (ППФ); г) – полосно-заграждающий фильтр (ПЗФ)

Итак, радиочастотные фильтры классифицируются на следующие виды:

- фильтр нижних частот (ФНЧ): пропускает низкие частоты до частоты среза f_c и подавляет высокие частоты, начиная с частоты заграждения f_s (рис. 9 а);
- фильтр верхних частот (ФВЧ): пропускает высокие частоты начиная с частоты среза f_c и подавляет низкие частоты до частоты заграждения f_s (рис. 9 б);

- полосно-пропускающий фильтр (ППФ): пропускает полосу радиочастот в диапазоне между минимальной f_{min} и максимальной f_{max} радиочастотой и имеет максимальную прозрачность на центральной частоте f_0 (рис. 9 в);
- полосно-заграждающий фильтр (ПЗФ): подавляет полосу радиочастот в диапазоне между минимальной f_{min} и максимальной f_{max} радиочастотой и имеет максимальное подавление на центральной частоте f_0 (рис. 9 г).

Таким образом, применение фильтрации в радиосвязи позволяет выполнять широкий класс радиотехнических задач, в том числе, касающихся, в первую очередь, частотной селекции радиостанций и их демодуляции.

Важно отметить, что качество принимаемого сигнала радиостанции может быть искажено (зашумлено) различными узкополосными и широкополосными помехами.

К узкополосной помехе можно отнести воздействие помехи в виде гармонического синусоидального сигнала, например, соседней станции, попавшей в частотную полосу сигнала.

К широкополосной помехе можно отнести влияние естественного и промышленного электромагнитного фона – белого (гауссовского) шума.

Показатель, определяющий качество принимаемой радиостанции в радиочастотном эфире, является параметр отношения сигнал-шум (ОСШ) SNR , определяемый как:

$$SNR = 10\lg(P_S/P_N) = 20\lg(U_S/U_N),$$

где P_S и P_N – средние мощности сигнала и шума, соответственно. U_S и U_N – среднеквадратичные значения амплитуд сигнала и шума, соответственно. Единица измерения параметра ОСШ: [дБ, дБм]. Логарифмическое представление параметра ОСШ обусловлено удобством применения свойства вычитания логарифмов при расчете ОСШ (рис. 10).

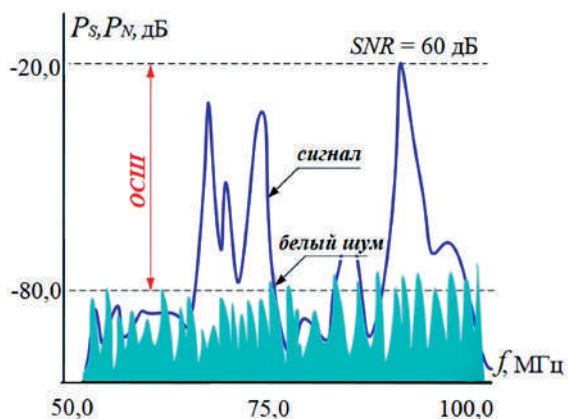


Рис. 10. Амплитудно-частотный спектр сигнала на фоне широкополосной помехи (белый или гауссовский шум)

Информационная способность радиостанции определяется из условий теоремы Шеннона – Хартли, которая утверждает, что пропускная способность канала C , означающая теоретическую верхнюю границу скорости передачи данных, которые можно передать с заданной средней мощностью сигнала P_S через аналоговый канал связи, подверженный аддитивному белому гауссовскому шуму мощности P_N равна:

$$C = \Delta f \log_2(1 + P_S/P_N),$$

где Δf – частотная полоса канала радиостанции.

Как можно заметить из указанного соотношения, помехоустойчивость и качество передаваемой информации радиоэфира прямо пропорционально полосе радиостанции и зависит от параметра ОСШ. Существует три способа повышения ОСШ: увеличение мощности передаваемого сигнала, фильтрация шумов и расширение полосы канала радиостанции.

1.4. SDR-архитектура. Программно-определяемый радиосканер USB RTL-SDR на базе тюнера RTL2832 и его характеристики

При создании средств радиосвязи используют два радиотехнических подхода и две радиотехнологии: HDR-технология и SDR-технология.

Первый, классический подход, заключается в том, что радиотехнические методы обработки сигналов (фильтрация, усиление, демодуляция и т. д.) в устройстве радиосвязи (приемник/передатчик) реализуются с помощью специализированных микросхем или аналоговых модулей, т. е. аппаратно. При этом только интерфейсная и управляющая части реализуются на программно-управляемых микроконтроллерах. Программным при реализации HDR-технологии является только область управления такими устройствами.

Таким образом, классическая архитектура радиосистемы (HDR-технология) – аппаратно-характеризуемая радиосистема, то есть параметры приемника (или передатчика) определяются схемотехническими решениями. Простейшая структурная схема приемника, построенная по HDR-технологии показана на рис. 11.

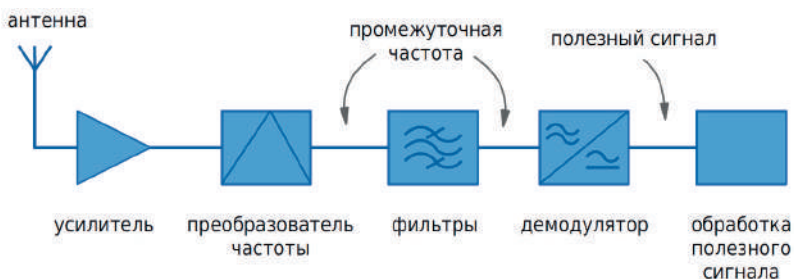


Рис. 11. Простейшая схема приемника, построенная по HDR-технологии

Недостатки традиционного аналогового приемника: требуется точная настройка; чувствительный к температуре и разбросу параметров компонентов; нелинейные искажения; сложно строить перестраиваемые фильтры и фильтры с высоким коэффициентом подавления, обеспечивающим подавление свыше 60 дБ.

Второй, прогрессивный подход, состоит в архитектурном проектировании средств связи программным способом (на основе программирования), когда большая часть функциональности устройства перенесена в программную

обработку – цифровые методы обработки сигналов. Программным при реализации SDR-технологии в таких устройствах является область управления и собственно обработки сигналов, ограниченная аппаратными ресурсами. Так, например, цифровой радиоприемник можно отнести к радиотехническому устройству, выполненному по SDR-технологии только тогда, когда выполняются два условия построения его архитектуры: программное управление и программная обработка сигналов.

Таким образом, прогрессивное направление программируемой архитектуры – SDR-технология – предоставляет возможность с помощью программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры трансиверов, включая: диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность и т. д. Технология SDR позволяет выполнить значительную часть цифровой обработки сигналов на программируемых логических микросхемах ПЛИС и цифровых сигнальных процессорах DSP. Среди преимуществ данного подхода – гибкость при создании алгоритмов модуляции/демодуляции, возможность оперативно вносить изменения в алгоритмы, динамическое изменение характеристик сигнала, возможность работы в широком диапазоне с различными видами модуляции одновременно. Простейшая структурная схема приемника, построенная по SDR-технологии показана на рис. 12.

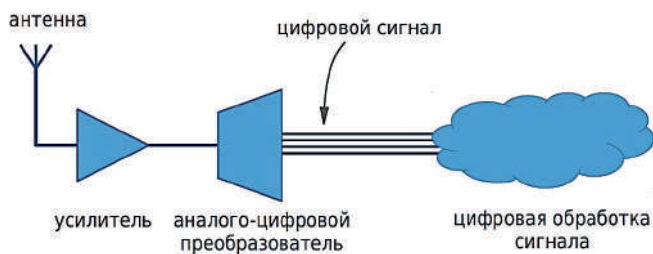


*Рис. 12. Простейшая схема приемника,
построенная по SDR-технологии*

Принцип работы SDR-технологии основывается на оцифровке принятого радиосигнала и дальнейшей обработке его уже в цифровой форме. Среди вариантов построения SDR-приемников классифицируют два класса:

- интегрированные с ПК SDR-устройства, использующие системные возможности ПК, когда SDR-приемник выполняет роль только аналого-цифрового преобразователя;
- автономные SDR-устройства, в которых цифровая обработка и прием сигналов происходят в едином функционально законченном устройстве.

SDR-технология позволяет разрабатывать средства радиосвязи, обеспечивающие поддержку широкого спектра стандартов связи. Перепрограммирование SDR-устройства для его адаптации под другой стандарт связи не влечет за собой изменения в его аппаратной (схемотехнической) части.

Отличительными чертами таких устройств являются:

- сверхширокополосная и малощумящая радиочастотная часть, обладающая большим динамическим диапазоном;
- высокоскоростной с большим динамическим диапазоном аналого-цифровой преобразователь;
- обладающий большой вычислительной мощностью сигнальный процессор.

Использование SDR технологии обусловлено тем, что она позволяет принимать и передавать сигналы с использованием разных частот и стандартов, выбор которых зависит от самых различных факторов.

SDR-технология позволяет производить стандартные устройства и делать эти устройства уникальными программным способом. Одной из составных частей концепции SDR-технологии является использование цифровой промежуточной частоты (ПЧ) для обеспечения режимов Digital IF на прием и Direct IF на передачу по локальной сети или сети интернет.

Достоинства SDR-технологии: не требует настройки; низкая чувствительность к температуре и разбросу параметров компонентов; простая реализа-

ция перестраиваемых фильтров с подавлением более 100 дБ; высокая точность и широкий диапазон перестройки фазы и частоты гетеродина.



Рис. 13. Типовые примеры классов SDR-приемников:

а) – интегрированные с ПК SDR-устройства (USB RTL-SDR тюнер RTL2832);

б) – автономные SDR-устройства (трансивер Kenwood TS-990)

По типу преобразования различают два типа SDR-приемников:

Гетеродинные SDR-приемники (USB RTL-SDR, 8-битные), имеющие встроенный аналого-цифровой преобразователь и передающие сигналы в ПК в цифровом формате. Это большинство современных SDR-устройств общего назначения. Они построены по принципу гетеродинного приема, только после переноса частоты вместо низкочастотного блока стоит аналого-цифровой преобразователь. Такие SDR-приемники (тюнеры) имеют ширину полосы пропускания (полосы обзора) 2...10 МГц.

SDR-приемники прямой оцифровки (DDC, 16-битные) на сверхбыстродействующих аналого-цифровых преобразователях с частотой дискретизации до 100 Мвыб/с (или 100 МГц). Такой DDC-приемник оцифровывает непосред-

ственно входной сигнал с эфира, что позволяет (согласно теореме В. А. Котельникова) иметь прием до частоты, равной половине частоты дискретизации, т.е. при частоте дискретизации 100 МГц – до 50 МГц.

Одной из популярных моделей в радиотехнических средствах связи является программно-определяемый радиосканер USB RTL-SDR на базе однокристалльного тюнера RTL2832 (рис. 14).



Рис. 14. Общий вид RTL-SDR приемника на базе тюнера RTL2832

Благодаря однокристальному тюнеру реального времени Realtek RTL2832RTL-SDR (рис. 15) радиосканер USB RTL-SDR позволяет осуществлять прием и радиомониторинг аналоговых и цифровых радиостанций, при использовании бесплатного интерактивного программного обеспечения типа SDRSharp, а также разрабатывать SDR-архитектуру приемника на базе программного обеспечения типа GNU Radio при помощи средств визуального (блочного) программирования. SDR приемник имеет миниатюрный размер, что позволяет удобно использовать его с планшетами, телефонами, встраивать его в корпуса различных устройств.

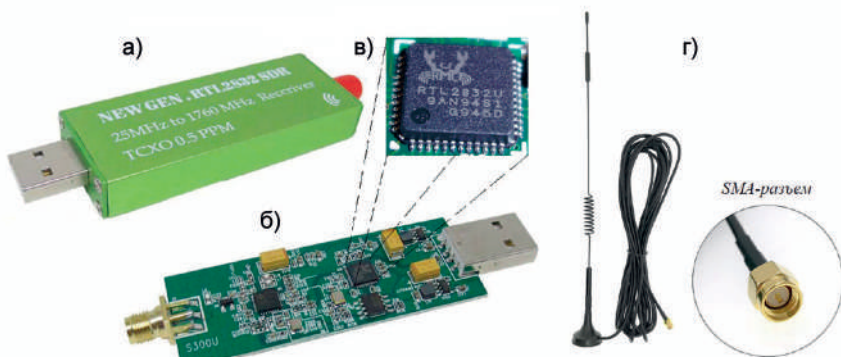


Рис. 15. Программно определяемый USB RTL-SDR радиосканер:

- а) – общий вид RTL-SDR приемника в алюминиевом корпусе;*
- б) – печатный модуль RTL-SDR приемника; в) – основной чип*
однокристального тюнера реального времени Realtek RTL2832;
- г) – широкополосная SMA-антенна*

Широкополосная антенна, подключаемая к SMA разъему USB RTL-SDR радиосканера идеально подходит для того, чтобы обеспечить отличный прием в УКВ- и ДМВ- диапазоне (рис. 15 г).

Представленная модель USB RTL-SDR радиосканера имеет несколько ключевых улучшений по сравнению с другими моделями.

Основные радиотехнические характеристики USB RTL-SDR радиосканера:

- составные чипы: RTL2832U + R820T2;
- радиочастотный диапазон: 24,0...1760,0 МГц;
- диапазон усиления сигнала – 0... 50 дБ;
- разрядность АЦП – 8 бит;
- частота дискретизации на промежуточной частоте – до 2,8 МГц;
- полоса обзора – 0,25...3,2 МГц;
- опорный генератор – TCXO 1ppm;
- антенный разъем – SMA;
- интерфейс – USB 2.0.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы.
2. Детерминированные и случайные сигналы.
3. Отношение сигнал-шум. Утверждение теоремы Шеннона – Хартли.
4. Частотное и временное представление сигналов.
5. Аналого-цифровое преобразование сигналов.
6. Частота дискретизации и передискретизация сигналов. Теорема Котельникова.
7. АМ-модуляция и демодуляция сигналов.
8. ЧМ-модуляция и демодуляция сигналов.
9. Фильтрация радиосигналов. Полоса пропускания, обзора и фильтрации.
10. Базовые структурные схемы аппаратной и SDR-радиосистемы. Классификация архитектурных решений SDR-технологии.

2. ИНТЕРАКТИВНЫЙ РАДИОМОНИТОРИНГ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАДИОВЕЩАНИЯ В ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ СРЕДЕ SDRSHARP

2.1. Инсталляция и знакомство с программно-определяемой средой SDRSharp

SDRSharp – наиболее часто используемая интерактивная программная среда SDR для ОС Windows. Данная среда программно определяемого управления и обработки данных из радиочастотного эфира сегодня рекомендуется как одна из самых доступных в настройке и использовании при работе с USB RTL-SDR тюнерами.

Как известно, началу активной работы с любым программным обеспечением предшествует его инсталляция. Поэтому обратимся к алгоритму действий по установке и настройке параметров интерактивной среды SDRSharp (SDR#):

1. Для использования SDRSharp должен быть установлен Microsoft.NET 4.6 или более поздняя распространяемая версия. На большинстве ПК с Windows 10 это должно быть уже установлено по умолчанию, но для запуска SDR# на компьютерах с более старыми операционными системами это может потребоваться. Обратите внимание, что на некоторых компьютерах вам также может понадобиться установить среду выполнения Visual C ++, если она еще не установлена.

2. Перейдите на сайт www.airspy.com и выполните загрузку архива пакета программ SDR# `sdrsharp-x86.zip`.

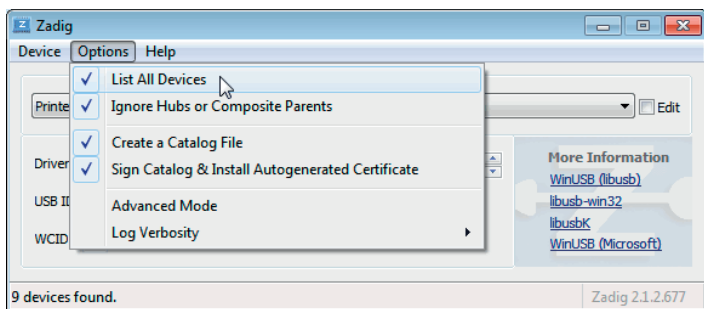
3. Извлеките содержимое архива `sdrsharp-x86.zip` в папку на вашем компьютере. (Внимание! Не запускайте файлы программы из `zip`-файла, иначе следующие шаги будут выполнены некорректно).

4. Запустите файл консольного приложения `install-rtlSDR.bat` в извлеченной папке, для того, чтобы загрузить все драйверы, необходимые для работы SDRSharp с RTL-SDR. Командная строка автоматически закроется через несколько секунд, когда операция будет выполнена. Если файл `install-rtlSDR.bat` успешно запущен, то в каталоге SDR# появятся файлы `rtlSDR.dll` и `zadig.exe`. Если данные файлы не оказались подгруженными, то ваш компьютер или антивирусное обеспечение могут быть неправильно настроены и могут возникнуть проблемы с запуском пакетных файлов (убедитесь, что папка имеет свойства не только для чтения и не находится в каталоге Program Files).

5. Подключите USB RTL-SDR тюнер к своему компьютеру или ноутбуку. Не устанавливайте какое-либо программное обеспечение, которое входит в комплект поставки (если оно есть). Если вы уже установили драйверы, которые поставлялись в комплекте с другими RTL-SDR устройствами, удалите их.

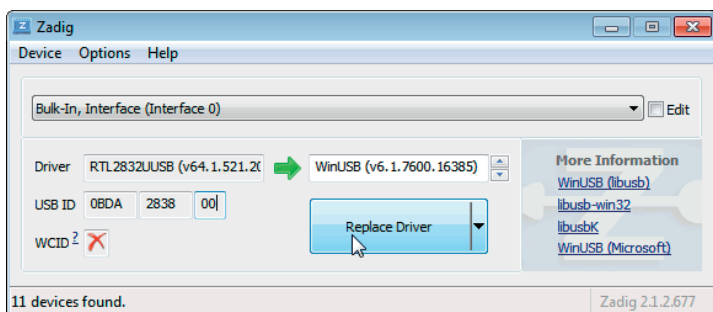
6. В папке, в которую вы распаковали файлы пакета `sdrsharp`, найдите файл с именем `zadig.exe`. Запустите этот файл и выберите «Запуск от имени администратора».

7. В приложении Zadig перейдите в «Опции» (Options) и далее установите режим «Список всех устройств» (List All Devices) или убедитесь, что эта опция отмечена галочкой. Если вы используете Windows 10, в некоторых случаях вам может потребоваться снять флажок «Игнорировать...» (Ignore...).



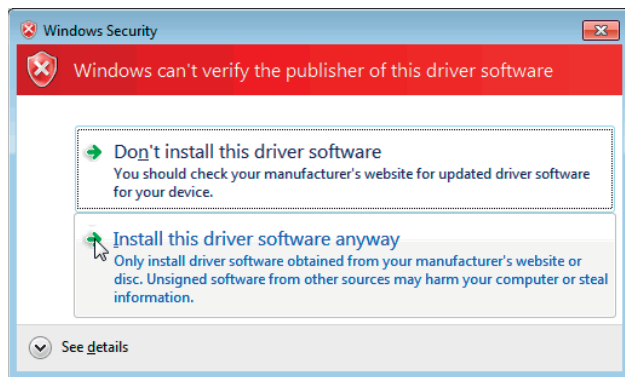
8. Из выпадающего списка выберите раздел «Bulk-In, Interface (Interface 0)». Обратите внимание, что на некоторых ПК вы можете увидеть что-то вроде RTL2832UHIDIR или RTL2832U вместо основной части интерфейса. Это также правильный выбор. Не выбирайте «USB-приемник (интерфейс 0)» или интерфейс 1» или что-либо другое, иначе произойдет перезапись драйвера! Проверьте, чтобы на USB ID отображалось «0BDA 2838 00», так как это указывает на то, что выбран USB RTL-SDR тюнер.

9. Теперь необходимо установить драйвер WinUSB, поэтому также убедитесь, что WinUSB выбран в поле справа от поля Driver после зеленой стрелки (это выбор по умолчанию).

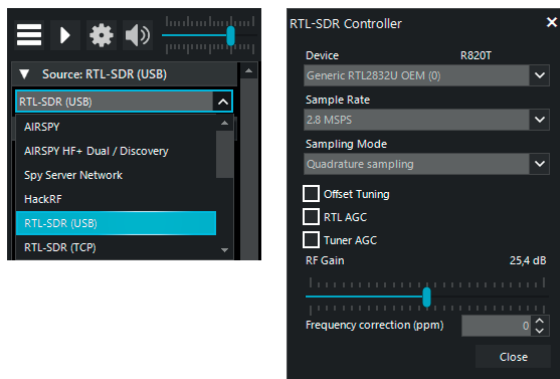


10. Нажмите «Заменить драйвер» (Replace Driver). На некоторых ПК вы можете получить предупреждение об ошибке, но просто примите его, нажав «Все равно установить этот драйвер». Это установит драйверы, необходимые

для запуска USB RTL-SDR тюнера, определяемые программным обеспечением. Обратите внимание, что вам может потребоваться снова запустить `zadig.exe`, если вы переподключили USB RTL-SDR тюнер к другому USB-порту или хотите использовать два или более USB RTL-SDR устройства вместе.



11. Откройте SDRSharp.exe и установите в выпадающем списке «Source» значение «RTL-SDR (USB)» – локальный режим доступа. При работе в сетевом режиме доступа («картографическом») необходимо указать значение «Spy Server Network». Обратите внимание, что при первом запуске вы можете получить сообщение, указывающее, что Windows защитила ваш компьютер, но это ложная тревога. Просто нажмите «подробнее», а затем укажите «запустить в любом случае».



12. Нажмите кнопку воспроизведения – «▶». Ваше программное обеспечение RTL-SDR должно быть настроено и готово к работе! Не забудьте также отрегулировать настройки усиления радиочастоты, нажав кнопку «Настройки». По умолчанию усиление RF установлено на ноль дБ. Для начала работы рекомендуется установить среднее значение – около 25,4 дБ. Также установите частоту дискретизации 2,8 МГц (2,8 MSPS).

Теперь познакомимся с интерфейсом интерактивной среды SDRSharp (рис. 16):

п. 1 – инструментальная панель выбора режима экрана, запуска программы, паузы воспроизведения, настройки и регулировки громкости SDR-радиоприемника;

п. 2 – панель выбора типа источников сигнала радиоэфирного вещания: локальный («RTL-SDR (USB)») и сетевой – «картографический» («Spy Server Network»). «Картографический» режим предполагает выбор RTL-SDR приемника, подключенного в сеть Интернет по IP-адресу. IP-адрес можно указать вручную, а можно выбрать на карте. Зеленым цветом указаны доступные подключения, красным и желтым – временно не доступные подключения (рис. 17).

п. 3 – панель «Radio», которая служит для управления основными настройками SDR-приемника:

- выбор типа демодуляции (режимов приема): NFM (узкополосный ЧМ-демодулятор); WFM (классический широкополосный ЧМ-демодулятор); AM (АМ-демодулятор), LSB (АМ-демодулятор сигнала с левой боковой полосой); USB (АМ-демодулятор сигнала с правой боковой полосой); DSP – демодулятор, аналогичный АМ-демодулятору, но требующий центрированной настройки; CW – режим прослушивания азбуки Морзе; RAW – режим, используемый для прослушивания или записи данных в формате RAW IQ.

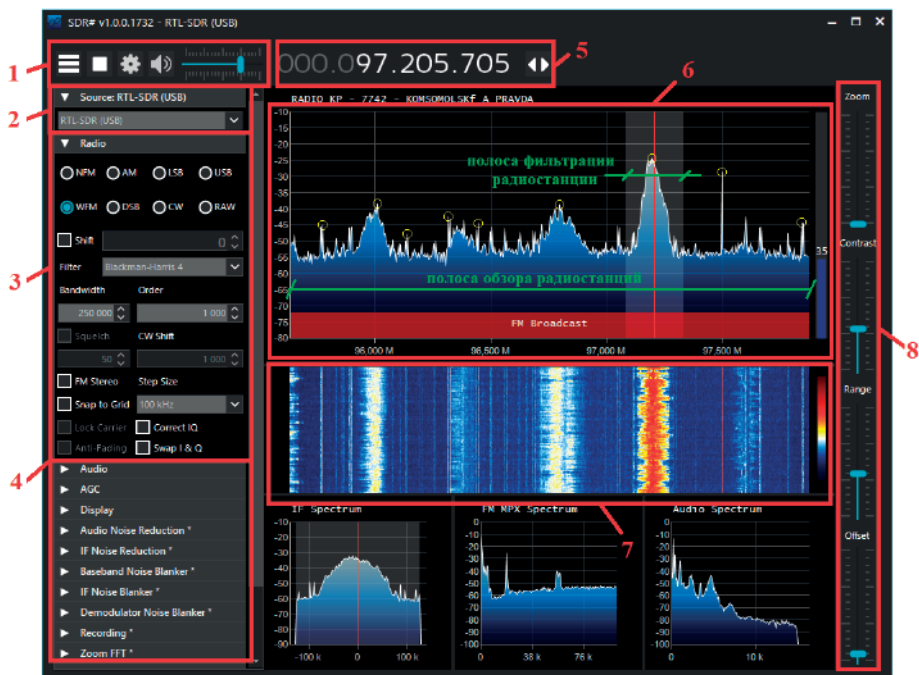


Рис. 16. Интерфейс интерактивной среды SDRSharp

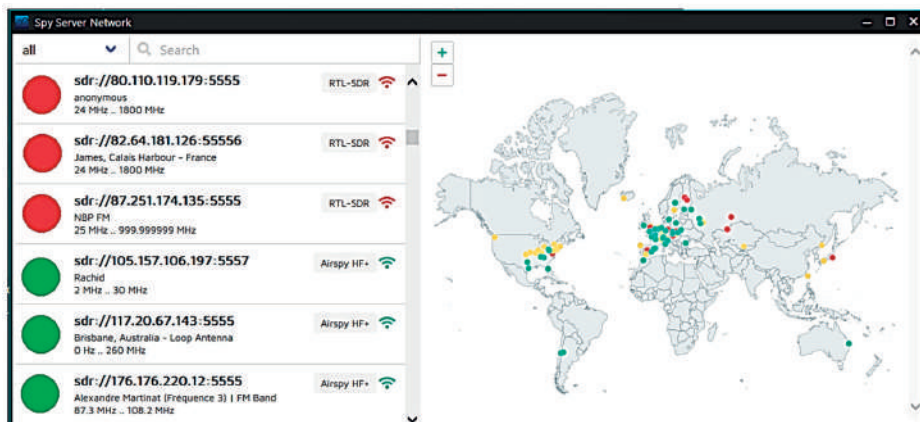


Рис. 17. «Картографический» режим подключения к RTL-SDR приемнику по IP-адресу или через дислокацию, указанную на географической карте мира

- Настройка режима фильтрации «Bandwidth» – ширина полосы фильтрации полосно-пропускающего фильтра в Гц. Определяет частотную полосу захвата канала радиостанции.
- Настройка режима фильтрации «Order» – порядок фильтра (по умолчанию 250...500).
- Управление шагом перестройки в полосе обзора – от 1 Гц до 1 МГц. Неактивный режим данной опции позволяет вести плавную перестройку.

п. 4 – плагины, позволяющие управлять дополнительными настройками программы: дисплея («Display»), записью прослушиваемой радиостанции («Recording»), записью прослушиваемых каналов радиостанций в память программы («Frequency Manager»), измерения уровня радиостанции или шума в полосе обзора («Signal Diagnostics»), «зумирования» спектра звукового сигнала («Zoom FFT») и т. д. (рис. 18). Плагины можно также добавлять при помощи специальных настроек.

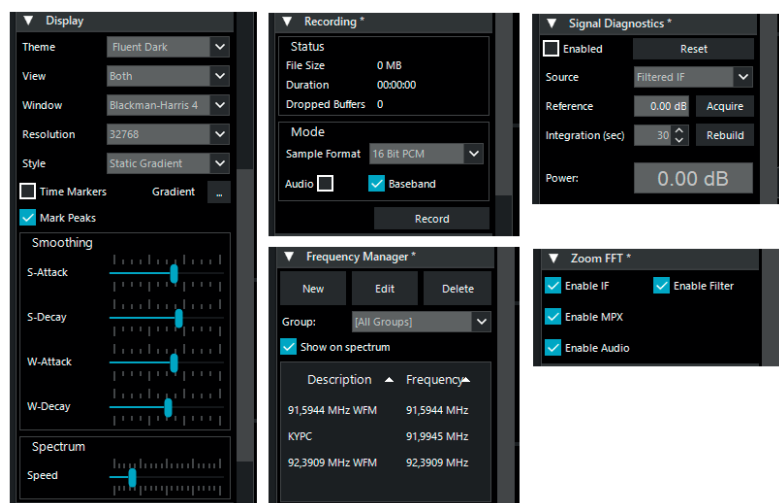


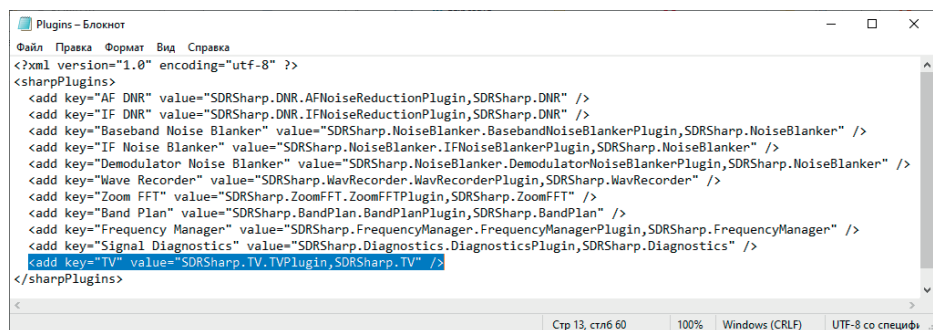
Рис. 18. Типовые плагины интерактивной среды SDRSharp

Процедура добавления плагинов следующая:

- Необходимо скачать плагин в виде архива, например, телевизионного приемника – «TV плагин» по ссылке <http://rtl-sdr.ru/category/plugin>. Архив содержит два типа файла: сам плагин в библиотечном формате *.dll и текстовый документ.
- Для подключения плагин (файл в формате *.dll) необходимо разместить в папке SDRSharp, а в файл управления плагинами «Plugins» скопировать тег (код, прописанный одной строчкой) из тестового документа (рис. 18). Далее перезапустить программу SDRSharp и плагин «TV плагин» отобразится в левой части интерфейса программы среди других плагинов.

п. 5 – четырехразрядная панель управления перестройкой радиочастоты, для RTL-SDR приемника на базе тюнера RTL2832 – от 25,0 МГц до 1760,0 МГц. Управление перестройкой в данной панели осуществляется как с клавиатуры, так и в режиме «mouse wheel scrolling» при помощи компьютерной мышки.

п. 6 – анализатор радиочастотного спектра, визуализирующий радиостанции в заданной полосе обзора. При помощи визирной линии можно также управлять перестройкой частоты в режиме «mouse wheel scrolling» при помощи компьютерной мышки. В поле окна анализатора спектра также можно управлять настройкой полосы пропускания фильтра «Bandwidth» (рис. 19).



```
Plugins - Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<sharpPlugins>
  <add key="AF DNR" value="SDRSharp.DNR.AFNoiseReductionPlugin,SDRSharp.DNR" />
  <add key="IF DNR" value="SDRSharp.DNR.IFNoiseReductionPlugin,SDRSharp.DNR" />
  <add key="Baseband Noise Blanker" value="SDRSharp.NoiseBlanker.BasebandNoiseBlankerPlugin,SDRSharp.NoiseBlanker" />
  <add key="IF Noise Blanker" value="SDRSharp.NoiseBlanker.IFNoiseBlankerPlugin,SDRSharp.NoiseBlanker" />
  <add key="Demodulator Noise Blanker" value="SDRSharp.NoiseBlanker.DemodulatorNoiseBlankerPlugin,SDRSharp.NoiseBlanker" />
  <add key="Wave Recorder" value="SDRSharp.WavRecorder.WavRecorderPlugin,SDRSharp.WavRecorder" />
  <add key="Zoom FFT" value="SDRSharp.ZoomFFT.ZoomFFTPlugin,SDRSharp.ZoomFFT" />
  <add key="Band Plan" value="SDRSharp.BandPlan.BandPlanPlugin,SDRSharp.BandPlan" />
  <add key="Frequency Manager" value="SDRSharp.FrequencyManager.FrequencyManagerPlugin,SDRSharp.FrequencyManager" />
  <add key="Signal Diagnostics" value="SDRSharp.Diagnostics.DiagnosticsPlugin,SDRSharp.Diagnostics" />
  <add key="TV" value="SDRSharp.TV.TVPlugin,SDRSharp.TV" />
</sharpPlugins>
```

Рис. 19. Добавление плагина в файл управления плагинами «Plugins»

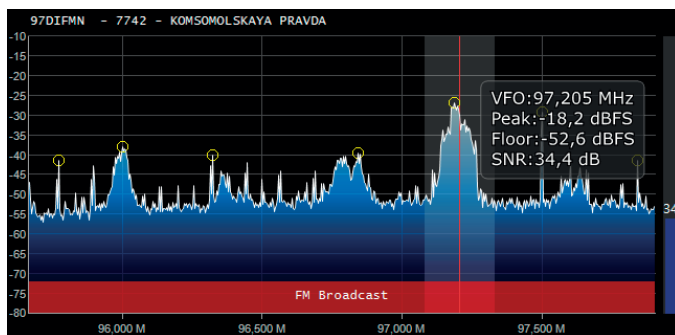


*Рис. 20. Окно анализатора радиочастотного спектра в полосе обзора 2,8 МГц.
Индикация радиотехнических характеристик радиостанции*

При наведении курсора мыши на настроенную станцию можно наблюдать за ее радиотехническими характеристиками: центральная частота (частота, соответствующая положению визирной линии), максимальный и минимальный уровень сигнала радиостанции, а также параметр ОСШ. При наведении курсора мыши на край полосы пропускания фильтра, программа выводит значение ширины полосы пропускания фильтра (рис. 21).

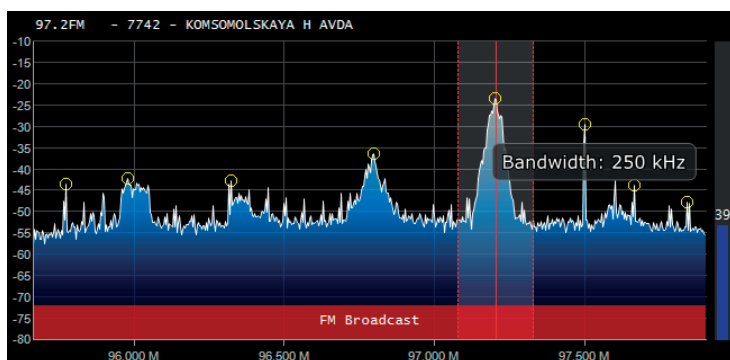


*Рис. 21. Окно анализатора радиочастотного спектра в полосе обзора 2,8 МГц.
Индикация радиотехнических характеристик радиостанции*

п. 7 – окно «водопадной» диаграммы. «Водопадная» диаграмма показывает уровень (интенсивность) распределения сигнала во времени в зависимости от частоты (рис. 22).

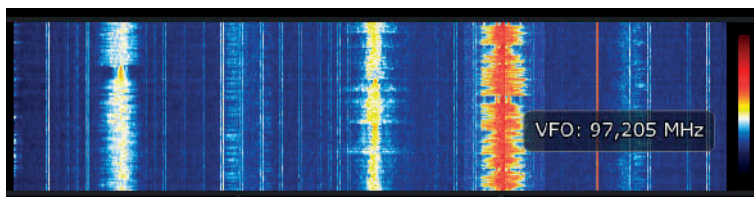


Рис. 22. Окно «водопадной» диаграммы (цветной номограммы), соответствующей спектру, показанному на рис. 20 и рис. 21

п. 8 – панель управления настройками радиочастотного анализатора спектра и «водопадной» диаграммой:

- «Zoom» – сжатие/расширение полосы обзора анализатора спектра;
- «Contrast» – настройка контраста распределения интенсивности уровней сигнала «водопадной» диаграммы;
- «Range» – настройка шкалы динамического диапазона анализатора спектра;
- «Offset» – настройка смещения минимального уровня сигнала.

2.2. Регистрация и анализ данных SDR-устройств в программной среде SDRSharp

Прежде, чем приступить к регистрации и анализу сигналов радиостанций в частотной области рекомендуется убедиться в точности соответствия настройки радиочастоты RTL-SDR тюнера. Проверить это достаточно легко: для этого при помощи клавиатуры ПК необходимо в панели управления перестройки частоты ввести заранее известную радиостанцию с заданной частотой, например, 97,5 МГц. Если красная визирная линия анализатора спектра установится на максимум принимаемого уровня радиостанции, тюнер не нуждается в

дополнительной калибровке и можно приступить к приему и радиоизмерениям характеристик регистрируемых каналов радиовещания. Однако если визирная линия будет смещена относительно максимума заданной станции, RTL-SDR тюнер необходимо откалибровать.

Калибровка частоты радиочастотного приема сигналов необходима для точного соответствия индикации принимаемой частоты ее реальному значению. Это позволит в дальнейшем более полно и с максимальным удобством использовать все возможности интерактивной среды SDRSharp и ее плагинов. Для выполнения калибровки также понадобится радиостанция с заведомо известной частотой. Для этих целей хорошо подходят сигналы известных радиостанций КВ- или УКВ-диапазона. При этом точность установки частоты будет зависеть от качества принимаемого сигнала радиостанции.



Рис. 23. Принцип частотной калибровки RTL-SDR тюнера

Порядок калибровки следующий:

- Установите выбранную частоту радиостанции (эталон), увеличьте масштаб анализатора спектра с помощью настройки «Zoom». Вероятнее всего центр принимаемого сигнала не будет совпадать с центром визирной линии установленной частоты (рис. 23 а).
- Откройте панель настроек и при помощи надстройки «Frequency correction» совместите центр принимаемого радиостанции с центром визирной линии. На этом калибровка частоты RTL-SDR тюнера выполнена (рис. 23 б).

Значение параметра калибровки PPM можно также рассчитать по формуле:

$$PPM = (f - F) \cdot 10^6 / f,$$

где f – реальная частота передатчика (радиостанции); F – частота настройки RTL-SDR тюнера. Вычисленное значение PPM (в данном случае 13,0) можно использовать в качестве отправной точки, а точная величина, полученная при просмотре более узкополосных спектров радиостанций, скорее всего, будет немного отличаться.

В качестве эталона можно использовать и другие сигналы, если есть уверенность, что они имеют достаточную точность установки частоты, например, сигналы точного времени или сигналы радиостанций аэродромов.

Процесс исследования и регистрации параметров станций радиовещания в радиочастотной области называется радиомониторингом. Среди регистрируемых и анализируемых данных (радиотехнических характеристик) сигналов станций радиовещания при радиочастотном мониторинге в заданной полосе обзора выделяют следующие основные:

- Число зафиксированных каналов радиостанций в заданной полосе обзора.
- Несущие частоты радиостанций, кГц, МГц, ГГц.
- Ширина полос каналов радиостанций, кГц.
- Максимальные уровни сигналов радиостанций, дБ.

- Минимальные уровни сигналов радиостанций, дБ.
- Средние уровни сигналов радиостанций в заданной полосе фильтрации, дБ.
- ОСШ для каждой, зафиксированной в полосе обзора радиостанции, дБ.
- Средний уровень шумов (белого шума) в заданной полосе обзора, дБ.
- Частотный шаг расположения соседних каналов радиостанций в заданной полосе обзора, кГц, МГц.
- Типы модуляции зарегистрированных радиостанций.
- Частотная (спектральная) маска радиостанций (амплитудный спектр) в заданной полосе обзора.

2.3. Программный радиомониторинг, анализ и радиочастотные измерения каналов эфирного радиовещания в программно определяемой среде SDRSharp

Рассмотрим типовые задачи программного радиомониторинга в интерактивной среде SDRSharp.

Пример 1. В режиме локального доступа USB RTL-SDR тюнера RTL2832 при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 94,52...97,05 МГц (рис. 23). Указать радиочастоты зафиксированных радиоканалов f_i и измерить максимальный Max_i и минимальный Min_i уровни принимаемых радиоканалов в полосе фильтрации 190,00 кГц. Зафиксировать средний уровень шумов N в заданной полосе обзора. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 3,2 Мвыб/с, коэффициент усиления – 19,7 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

Результаты программного радиомониторинга будут следующие:

- Сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{94,8030 \text{ МГц}; 95,2017 \text{ МГц}; 95,6041 \text{ МГц}; 96,0066 \text{ МГц}; 96,4016 \text{ МГц}; 96,8078 \text{ МГц}\}.$

- Предельные уровни станций $Max_i/Min_i = \{[-33,5/-59,1] \text{ дБ}; [-27,7/-60,7] \text{ дБ}; [-25,5/-62,3] \text{ дБ}; [-33,2/-61,9] \text{ дБ}; [-45,7/-61,9] \text{ дБ}; [-32,8/-59,4] \text{ дБ}\}$.
Средний уровень шумов $N = -59,5 \text{ дБ}$.



Рис. 24. Спектральная маска радиостанций в полосе обзора 94,52...97,05 МГц

Пример 2. В режиме сетевого («картографического») IP-доступа (`sdr://92.188.98.169:5555`) при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 94,00...96,10 МГц (рис. 25). Определить радиочастоты зафиксированных радиоканалов f_i , а также шаг частотного разделения F_{mn} соседних каналов. Указать зафиксированные в заданной полосе обзора станции с максимальным SNR_{max} и минимальным SNR_{min} отношением сигнал-шум при установленной полосе фильтрации 112,00 кГц. Задать частоту дискретизации SDR-приемника

2,4 Мвыб/с, коэффициент усиления – 12,0 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».



Рис. 25. Спектральная маска радиостанций в полосе обзора 94,00...96,10 МГц

Результаты программного радиомониторинга будут следующие:

- Сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{94,100 \text{ МГц}; 94,300 \text{ МГц}; 94,500 \text{ МГц}; 94,800 \text{ МГц}; 95,100 \text{ МГц}; 95,400 \text{ МГц}; 95,500 \text{ МГц}; 95,800 \text{ МГц}; 96,000 \text{ МГц}\}$.
- Шаг частотного разделения соседних каналов $F_{mn} = \{200,00 \text{ кГц}; 200,00 \text{ кГц}; 300,00 \text{ кГц}; 300,00 \text{ кГц}; 300,00 \text{ кГц}\}$. $SNR_{\max}(95,100 \text{ МГц}) = 24,7 \text{ дБ}$. $SNR_{\min}(94,100 \text{ МГц}) = 10,2 \text{ дБ}$.

Пример 3. В режиме локального доступа USB RTL-SDR тюнера RTL2832 при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 96,59...99,00 МГц (рис. 26). Указать радиочастоты f_i зафиксированных станций и измерить ширину спек-

тральной полосы частот Δf_i , занимаемой каждой станцией. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 3,2 Мвыб/с, коэффициент усиления – 15,7 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».



Рис. 26. Спектральная маска радиостанций в полосе обзора 96,59...99,00 МГц

Результаты программного радиомониторинга будут следующие:

- Сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{96,8078 \text{ МГц}; 97,1953 \text{ МГц}; 97,6052 \text{ МГц}; 98,0151 \text{ МГц}; 98,3952 \text{ МГц}; 98,8014 \text{ МГц}\}$.
- Значения ширины спектральной полосы частот $\Delta f_i = \{193,050 \text{ кГц}; 245,210 \text{ кГц}; 140,870 \text{ кГц}; 200,480 \text{ кГц}; 170,660 \text{ кГц}; 193,010 \text{ кГц}\}$.

Пример 4. В режиме локального доступа USB RTL-SDR тюнера RTL2832 при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 90,71...93,00 МГц. Указать радиочастоты зафиксированных радиоканалов f_i и измерить средний уро-

вень мощности P_i каждой станции на промежуточной частоте, а также отношение сигнал-шум SNR_i в полосе фильтрации 120,00 кГц. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 3,2 Мвыб/с, коэффициент усиления – 16,6 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».



Рис. 27. Спектральная маска радиостанций в полосе обзора 90,71...93,00 МГц

Результаты программного радиомониторинга будут следующие:

- Сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{90,8024 \text{ МГц}; 91,1899 \text{ МГц}; 91,5961 \text{ МГц}; 92,9861 \text{ МГц}; 92,8109 \text{ МГц}; 91,9873 \text{ МГц}\}$.
- Средний уровень мощности радиоканалов зафиксированных станций $P_i = \{-43,14 \text{ дБ}; -45,24 \text{ дБ}; -44,43 \text{ дБ}; -28,13 \text{ дБ}; -45,45 \text{ дБ}; -33,86 \text{ дБ}\}$.
- Отношение сигнал-шум $SNR_i = \{27,3 \text{ дБ}; 28,1 \text{ дБ}; 23,1 \text{ дБ}; 36,7 \text{ дБ}; 21,6 \text{ дБ}; 21,9 \text{ дБ}\}$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Интерактивное управление USB RTL-SDR тюнером RTL2832.
2. Составные плагины графического интерфейса ПО SDRSharp.
3. Основные режимы радиовещания в среде SDRSharp.
4. Частотная калибровка RTL-SDR тюнера RTL2832 в ПО SDRSharp.
5. Интерактивный радиомониторинг и радиочастотные измерения.
6. Спектральная визуализация эфирного радиовещания.
7. Поиск каналов, регистрация и управление свойствами спектрограммы.
8. Настройка параметров спектроанализатора и «водопадной» диаграммы.
9. Управление частотой дискретизации, шириной полосы обзора и полосы пропускания SDR-приемника.

3. АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ SDR-СИСТЕМ ПОСРЕДСТВОМ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СРЕДЕ GNU RADIO

3.1. Знакомство со средой визуального программирования программно-определяемых SDR-систем GNU Radio

В предыдущем разделе была рассмотрена среда интерактивного радиомониторинга SDRSharp, позволяющая освоить основные принципы управления, регистрации и анализ характеристик программно определяемых средств радиосвязи. Практическая возможность архитектурного проектирования SDR-систем опирается на их программную разработку – системное проектирование в специализированном программном обеспечении, которым служит среда GNU Radio.

Программная среда GNU Radio – пакет инструментов для разработки программного обеспечения с открытым исходным кодом, который состоит из модулей (блоков) обработки сигналов для компьютерного моделирования и практической реализации архитектуры программно определяемых радиостанций (приемных, передающих, приемопередающих).

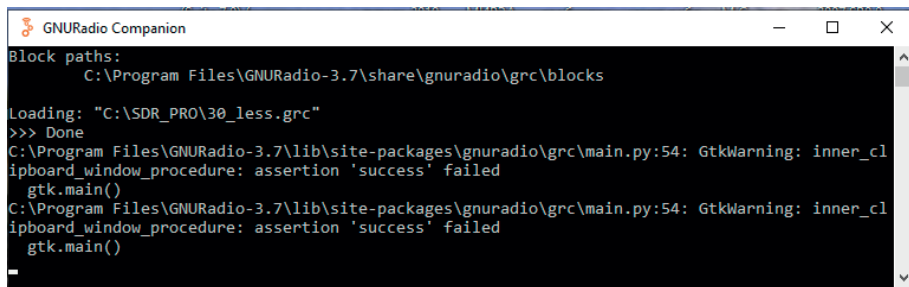
В настоящее время системная сборка пакета GNU Radio базируется на ОС Linux. Однако существуют специализированные сборки, работающие на базе ОС Windows. Для инсталляции GNU Radio следует перейти по ссылке информационного ресурса <https://wiki.gnuradio.org/index.php/WindowsInstall> (<http://www.gcndevdevelopment.com/gnuradio/downloads.htm>) и выбрать наиболее подходящую сборку Windows для вашего процессора. Пользователям ОС Windows 10 рекомендуется выбрать GNU Radio v3.7.12.

При инсталляции программной среды GNU Radio рекомендуется следовать стандартным опциям установки программного пакета, следуя подсказками мастера установки.

После выполнения процедуры установки рекомендуется создать ярлык GNU Radio на рабочем столе. Для этого (при стандартной установке) необходимо перейти в папку GNURadio 3.7, расположенной по адресу «C:\ProgramData\Microsoft\Windows\StartMenu\Programs\GNURadio3.7\GNURadio» и на файл «GNURadio Companion» создать ярлык на рабочий стол.

Важно обратить внимание, что в дальнейшем при сохранении проектов в среде GNURadio файлы проектов не рекомендуется сохранять на системный диск «C». В связи с этим программа GNURadio может выдать предупреждение о невозможности сохранения проекта или ошибке сохранения. Поэтому рекомендуется сохранять проекты на любой другой документальный локальный диск с разрешенной записью или USB флеш-накопитель.

При запуске программы GNURadio отображается два окна: командная строка (рис. 28) и собственно интерфейс самой программы (рис. 29).



```
GNURadio Companion
Block paths:
  C:\Program Files\GNURadio-3.7\share\gnuradio\grc\blocks

Loading: "C:\SDR_PRO\30_less.grc"
>>> Done
C:\Program Files\GNURadio-3.7\lib\site-packages\gnuradio\grc\main.py:54: GtkWarning: inner_cl
ipboard_window_procedure: assertion 'success' failed
  gtk.main()
C:\Program Files\GNURadio-3.7\lib\site-packages\gnuradio\grc\main.py:54: GtkWarning: inner_cl
ipboard_window_procedure: assertion 'success' failed
  gtk.main()
```

Рис. 28. Консольное приложение GNURadio

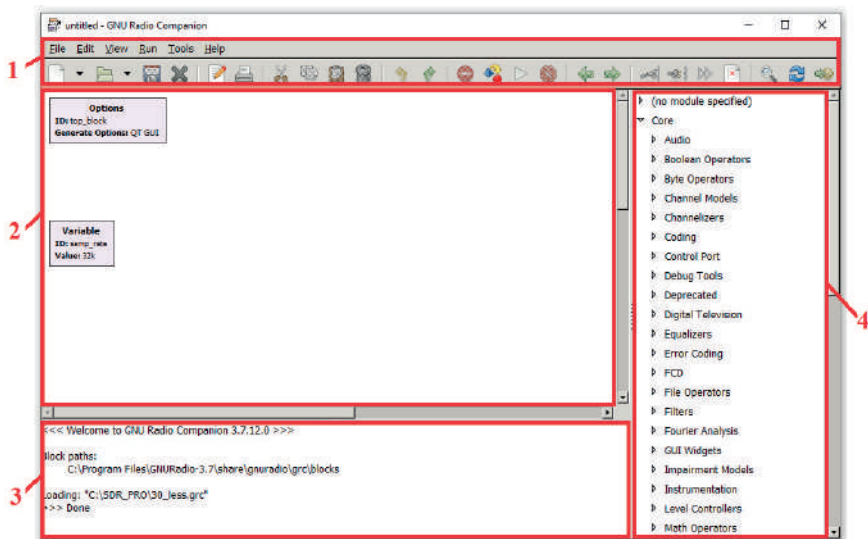


Рис. 29. Интерфейс программной среды визуального программирования GNU Radio v3.7.12

Интерфейс программной среды визуального программирования GNU Radio v3.7.12 состоит из следующих составляющих областей:

п. 1 – панель инструментов: создание/сохранение/открытие проекта; удаление проекта/прямой обратный откат выполнения действий над проектом; трансляция (генерация) проекта; навигация (поиск) функциональных модулей (блоков) для создания проекта;

п. 2 – область визуального архитектурного программирования и моделирования SDR-системы;

п. 3 – окно дублирования командной строки, представленной на рис. 28.

п. 4 – библиотека функциональных SDR-модулей (блоков) архитектурной спецификации среды GNU Radio: базовых, источников сигналов, математических и логических, индикации, фильтрации и передискретизации, ограничения скорости потока данных, конвертации формата данных, трансляции данных и т. д.

Архитектурное проектирование SDR-систем в среде GNU Radio выполняется при помощи средств визуального программирования.

Технология визуального программирования – способ кросс-интерактивного программирования, который позволяет создавать алгоритмы программ, манипулируя связями между графическими элементами (блоками) и управляя настройками их опций, не прибегая к написанию алгоритма через печать текстовых команд, формируя при этом кодовый листинг программы. В случае визуального программирования каждый графический элемент представляет собой программный код. При корректном соединении таких элементов (блоков) формируется конечный код программы. Так, например, конечный графический проект, выполненный в среде GNU Radio, можно скомпилировать в программный код в виде листинга на языке Python.

3.2. Управление и настройка параметров SDR-модулей (блоков) в среде GNU Radio

Библиотека функциональных SDR-модулей архитектурной спецификации среды GNU Radio состоит из следующих блоков:

- вспомогательных (базовых): базовый блок опций («Options»), блок глобальной переменной частоты дискретизации («Variable»), блок глобальной переменной («Variable»); блоки конвертации формата данных («Type Converters», например, Complex to Real»), блок ограничения скорости потока данных («Throttle») и т. д. (рис. 30);

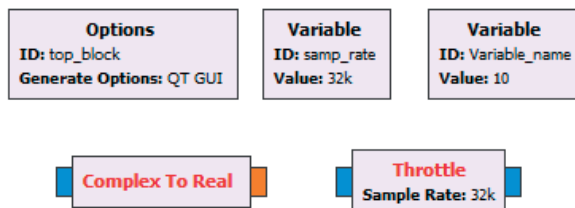


Рис. 30. Вспомогательные (базовые) блоки GNU Radio

- источников сигнала («Waveform Generators»): генератор специальной формы сигналов («Signal Source»), генератор белого шума («Noise Source»), SDR-приемник («Osmocom Source») и т. д. (рис. 31);

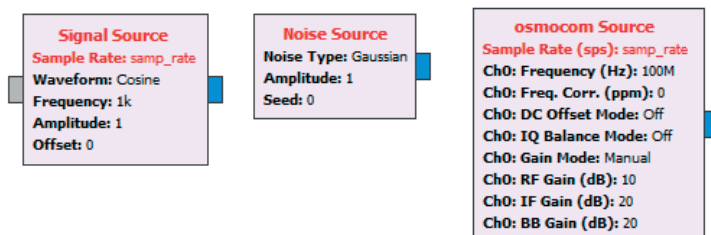


Рис. 31. Блоки источников сигнала GNU Radio

- математических и логических операций над сигналами: аддитивное сложение сигналов («Add»); аддитивное сложение сигнала с константой («Add Constant»); сложение/вычитание (мультиплексирование) сигналов («Multiply»); мультиплексирование сигнала с константой («Multiply Const»); блок логического умножения («And»), блок логического умножения на константу («And Const»), и т. д. (рис. 32);

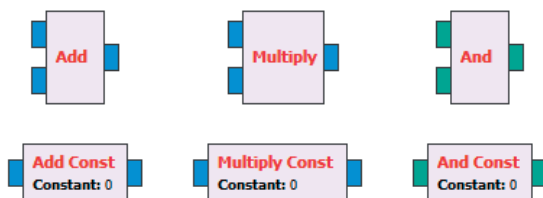


Рис. 32. Блоки математических и логических операций GNU Radio

- цифровой фильтрации сигналов: ФНЧ («Low Pass Filter»), ФВЧ («High Pass Filter»), ППФ («Band Pass Filter»), ПЗФ («Band Reject Filter»), передискретизации [децимации/интерполяции] («Rational Resampler») и т. д. (рис. 33);

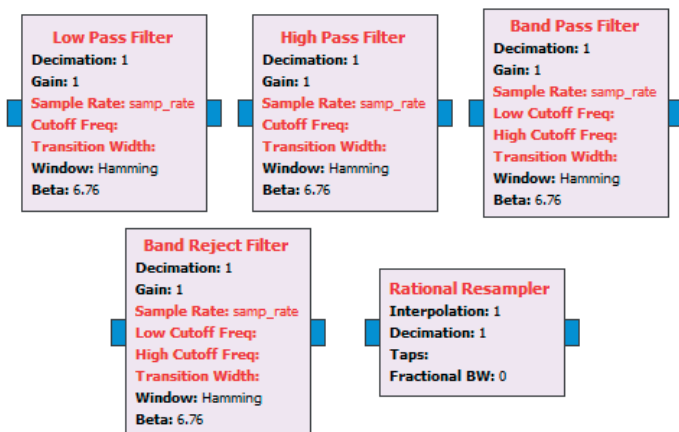


Рис. 33. Блоки цифровой фильтрации GNU Radio

- индикации сигналов («Instrumentation»): осциллограф («QT GUI Time Sink»), анализатор спектра («QT GUI Frequency Sink»), «водопадная» диаграмма («QT GUI Waterfall Sink»), мультиблок индикации («QT GUI Sink») и т. д. (рис. 34).
- аудио воспроизведения звуковых сигналов («Audio Sink») (рис. 34).

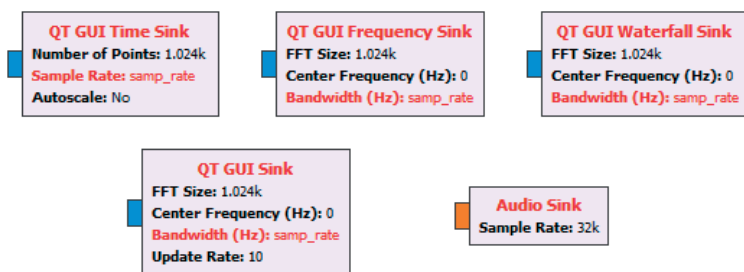


Рис. 34. Блоки индикации и аудио воспроизведения сигналов GNU Radio

Для размещения блоков на область визуального архитектурного программирования и моделирования GNU Radio достаточно навести мышкой на выбранный блок из библиотеки и путем удержания левой клавиши мыши пере-

тянуть его на рабочую область или же дважды кликнуть по нему в библиотечном каталоге модулей.

Рассмотрим для каждого из типовых блоков среды визуального программирования GNU Radio порядок управления настройками их опций. Для просмотра и редактирования настроек блока достаточно навести на него курсор и дважды кликнуть по нему левой клавишей мыши. Откроется окно настроек параметров модуля «Properties...».

Базовый блок опций («Options») служит для указания типа формата обработки данных. По умолчанию – тип обработки цифровых данных «QT GUI» (рис. 35).

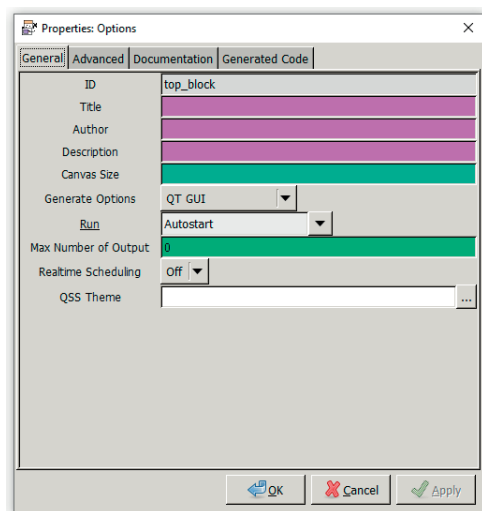


Рис. 35. Окно настроек параметров базового модуля «Options»

Блок глобальной переменной частоты дискретизации («Variable») служит для задания частоты дискретизации всей системы. Имя переменной частоты дискретизации по умолчанию – «samp_rate», значение по умолчанию – 32,0 кГц (рис. 36). При работе с USB RTL-SDR тюнером RTL2832 рекомендуется указать значение частоты дискретизации 2,048 МГц. Следует обратить внимание,

что частота вводится в Гц, т. е., чтобы ввести, например, значение 32,0 кГц в окне значения необходимо указать 32000 или 32e3. Неразрывная приставка «e3» означает 32×10^3 и т. д.

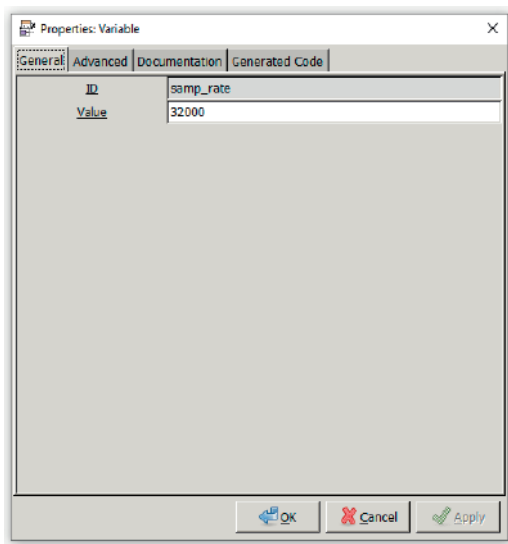


Рис. 36. Окно настроек параметров блок глобальной переменной частоты дискретизации «Variable» (32 кГц)

Блок глобальной переменной («Variable») абсолютно повторяет предыдущий блок и служит для задания любых переменных значений SDR-системы. Данный блок удобно применять для того, чтобы не перенастраивать параметры других блоков: в блоке «Variable» просто задается некоторое имя переменной и ее значение, тогда в настройках других блоков в графе значения достаточно просто прописать присвоенное имя той или иной переменной. Таких блоков и соответственно переменных может быть сколько угодно. Так, например, в качестве племенной можно задать амплитуду генерации гармонического сигнала с именем переменной «amplituda» и значением 100e-3, что означает 100 мВ (рис. 37).

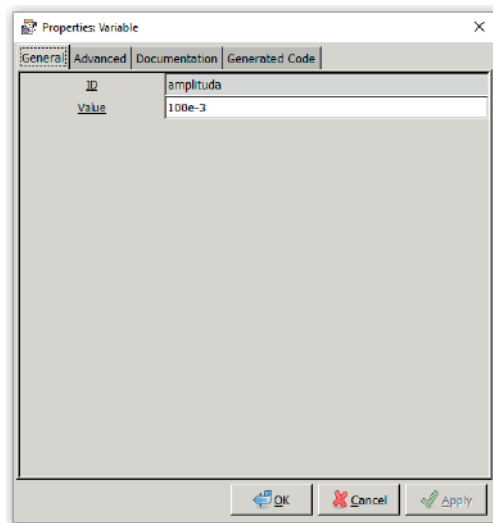


Рис. 37. Окно настроек параметров блока произвольной глобальной переменной «Variable» (амплитуда 100 мВ)

Блоки конвертации формата данных («Complex to Real») служат для конвертирования типа данных формата «Complex» в тип данных «Real». Класс данных «Complex» – это комплексное число, которое имеет действительную и мнимую части. Так, модуль «Complex to Real» позволяет выделить вещественную часть комплексного числа.

Следует обратить внимание на то, что в среде GNU Radio допускается использование различных форматов или классов данных: complex, float, int, short, byte и т. д. При этом для того, чтобы не ошибиться при соединении блоков, их выводы для каждого класса данных подсвечиваются различными цветами, что очень удобно (рис. 30 – рис. 33). Кроме того, в блоках возможно управление изменением типов данных на входе и типов данных на выходе.

Блок ограничения скорости потока данных («Throttle») служит для аппаратного ограничения частоты дискретизации с тем, чтобы не перегружать цен-

тральный процессор ПК. Значение ограничения скорости в данном типе блока задается в Гц. Использование его в схемах является необязательным.

Блок генератора специальной формы сигналов («Signal Source») служит для генерации сигнала заданной формы (константа или постоянное напряжение, синусоидальный, косинусоидальный, меандр, треугольный, пилообразный), амплитуды и частоты (рис. 38).

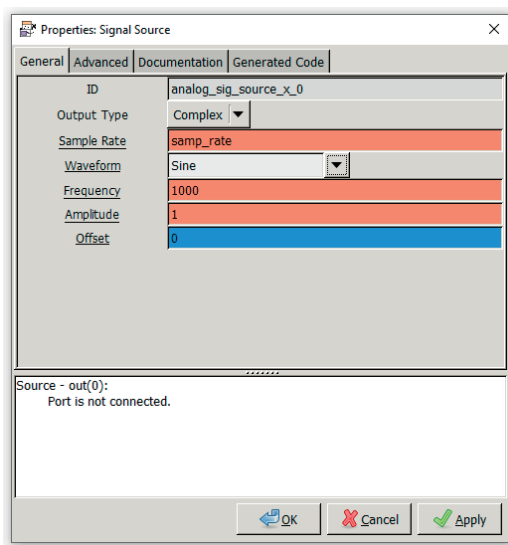


Рис. 38. Окно настроек параметров блока генератора специальной формы сигналов «Signal Source» (указанные настройки: тип данных – «complex», форма сигнала – синусоидальная, радиочастота – 1 кГц, амплитуда – 1 В, постоянная составляющая – 0 В)

Блок генератора белого шума («Noise Source») служит для генерации сигнала широкополосной помехи – белого (гауссовского шума). Основная задаваемая переменная – среднее значение шума (рис. 39).

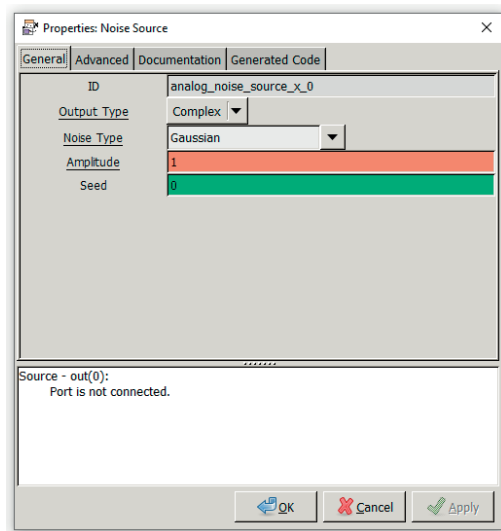


Рис. 39. Окно настроек параметров блока генератора белого шума «Noise Source» (указанные настройки: тип данных – «complex», форма сигнала – гауссовский шум, среднее значение уровня шума – 1 В)

Блок SDR-приемника («Osmocom Source») служит для считывания данных с USB RTL-SDR тюнера RTL2832, т. е. данный блок позволяет управлять настройками тюнера и используется в качестве блока, генерирующего сигнал, который принимает USB RTL-SDR тюнер на антенну из радиочастотного эфира (рис. 40). Данный блок имеет три основных параметра:

- частоту дискретизации Sample Rate, которая задается глобальной переменной «samp_rate» и является, собственно, полосой обзора;
- центральную частоту полосы обзора Ch0: Frequency;
- коэффициент усиления SDR-приемника Ch0: RF Gain.

Следует обратить внимание, что центральная частота на анализаторе спектра отображается как «нулевая» частота и для того, чтобы работать с сигналом принимаемой радиостанции ее необходимо всегда смещать на «нулевую» частоту при помощи мультиплексирования.

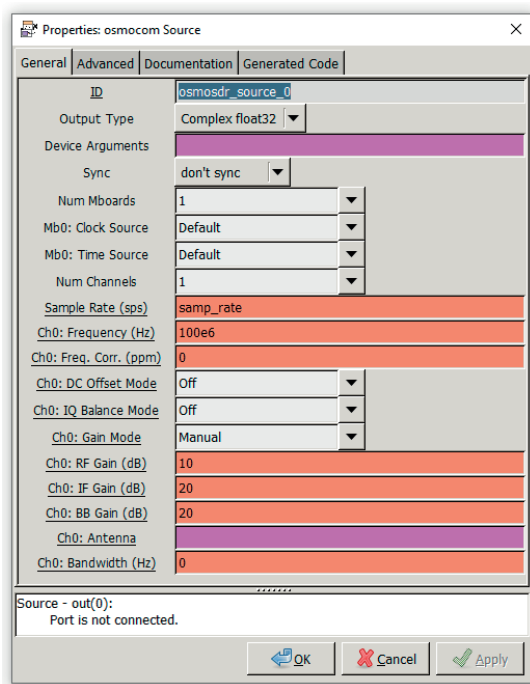


Рис. 40. Окно настроек параметров блока SDR-приемник «Osmocom Source»
(указанные настройки: тип данных «complex float32», частота дискретизации – задается глобальной переменной «samp_rate», центральная частота (нулевая) полосы обзора – 100 МГц, коэффициент усиления – 10 дБ)

Блок аддитивного сложения сигналов («Add») служит для арифметического сложения амплитуд нескольких сигналов (рис. 41). Основным задаваемым параметром блока сложения – число каналов (сигналов) на входе.

Блок аддитивного сложения сигнала с константой («Add Constant») служит для сложения одного сигнала с постоянным значением (сложение переменного сигнала с постоянным). Основным параметром данного блока служит значение константы.

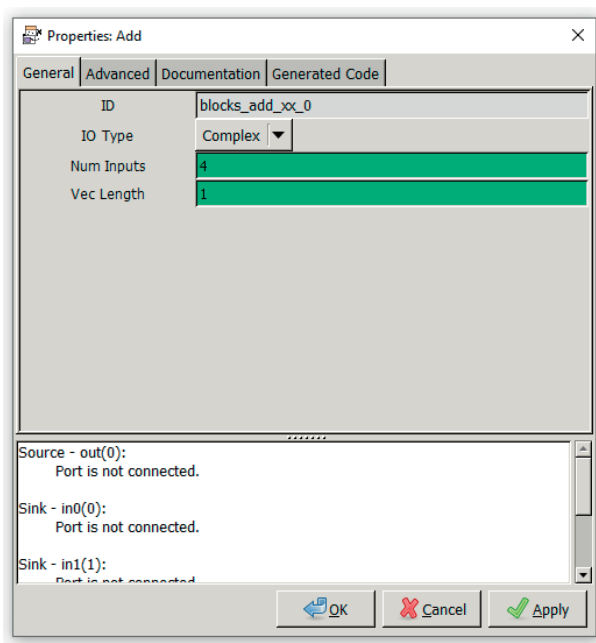


Рис. 41. Окно настроек параметров блока аддитивного сложения сигналов «Add» (указанные настройки: тип данных: «complex», число каналов на входе блока сложения – 4)

Блок мультиплексирования сигналов («Multiply») служит для гетеродирования сигналов, т. е. переноса частоты одного из сигналов на заданную, например, «нулевую» частоту (рис. 42). Основной задаваемый параметр блока мультиплексирования – число каналов (сигналов) на входе.

Блок мультиплексирования сигнала с константой («Multiply Const») служит для умножения сигнала на заданное постоянное значение, например, для усиления сигнала в заданное число раз умножение происходит на указанное значение константы (коэффициент усиления). Основным параметром данного блока служит значение константы.

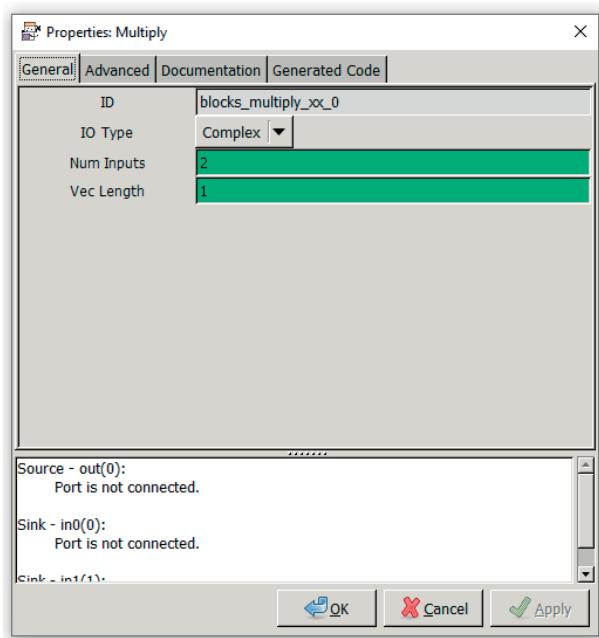


Рис. 42. Окно настроек параметров блока мультиплексирования сигналов «Multiply» (указанные настройки: тип данных: «complex», число каналов на входе блока сложения – 2)

Блок цифровой фильтрации сигналов ФНЧ («Low Pass Filter») является фильтром нижних частот. Основные параметры фильтра (рис. 43):

- тип данных на входе и тип данных на выходе FIR Type;
- коэффициент децимации сигнала на выходе фильтра Decimation;
- коэффициент усиления Gain;
- частота дискретизации Sample Rate (задается глобальной переменной или заданным иным значением);
- частота среза Cutoff Freq;
- ширина полосы перехода (абсолютная разница между частотой среза и частотой заграждения) Transition Width.

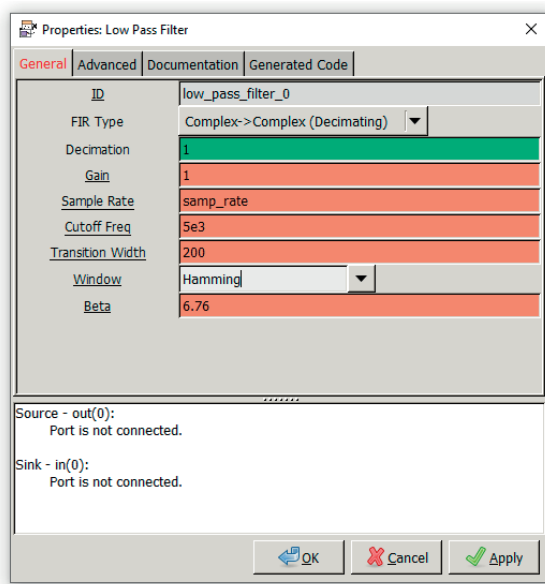


Рис. 43. Окно настроек параметров блока цифровой фильтрации сигналов

ФНЧ «Low Pass Filter» (указанные настройки:

тип данных: «complex-complex», децимация – 1 (т. е. отсутствует),

коэффициент усиления – 1 (т. е. отсутствует),

частота дискретизации – задается глобально переменной,

частота среза – 5 кГц, полоса перехода – 200 Гц)

Блок цифровой фильтрации сигналов ФВЧ («High Pass Filter») является фильтром верхних частот. Основные параметры фильтра:

- тип данных на входе и тип данных на выходе FIR Type;
- коэффициент децимации сигнала на выходе фильтра Decimation;
- коэффициент усиления Gain;
- частота дискретизации Sample Rate (задается глобальной переменной или заданным иным значением);
- частота среза Cutoff Freq;
- ширина полосы перехода (абсолютная разница между частотой среза и частотой заграждения) Transition Width.

Блок цифровой фильтрации сигналов ППФ («Band Pass Filter») является полосовым фильтром. Основные параметры фильтра (рис. 44):

- тип данных на входе и тип данных на выходе FIR Type;
- коэффициент децимации сигнала на выходе фильтра Decimation;
- коэффициент усиления Gain;
- частота дискретизации Sample Rate (задается глобальной переменной или заданным иным значением);
- Нижняя (минимальная или «левая») частота среза Low Cutoff Freq;
- Верхняя (максимальная или «правая») частота среза Hight Cutoff Freq;
- ширина полосы перехода (абсолютная разница между частотой среза и частотой заграждения) Transition Width.

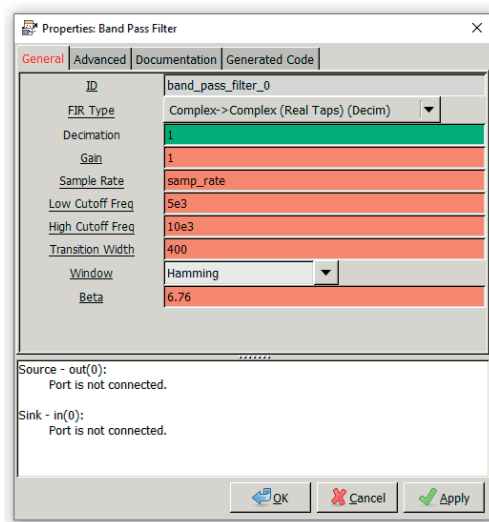


Рис. 44. Окно настроек параметров блока цифровой фильтрации сигналов

ППФ «Band Pass Filter» (указанные настройки: тип данных: «complex-complex», децимация – 1 (т. е. отсутствует), коэффициент усиления – 1 (т. е. отсутствует), частота дискретизации – задается глобально переменной, нижняя частота среза – 5 кГц, верхняя частота среза – 10 кГц, полоса перехода («слева» и «справа») – 400 Гц)

Блок цифровой фильтрации сигналов ПЗФ («Band Reject Filter») является режекторный фильтром. Основные параметры фильтра:

- тип данных на входе и тип данных на выходе FIR Type;
- коэффициент децимации сигнала на выходе фильтра Decimation;
- коэффициент усиления Gain;
- частота дискретизации Sample Rate (задается глобальной переменной или заданным иным значением);
- нижняя (минимальная или «левая») частота среза Low Cutoff Freq;
- верхняя (максимальная или «правая») частота среза Hight Cutoff Freq;
- ширина полосы перехода (абсолютная разница между частотой среза и частотой заграждения) Transition Width.

Блок осциллографа («QT GUI Time Sink») служит для временного представления регистрируемых сигналов. Настройка параметров данного блока показана на рис. 45.

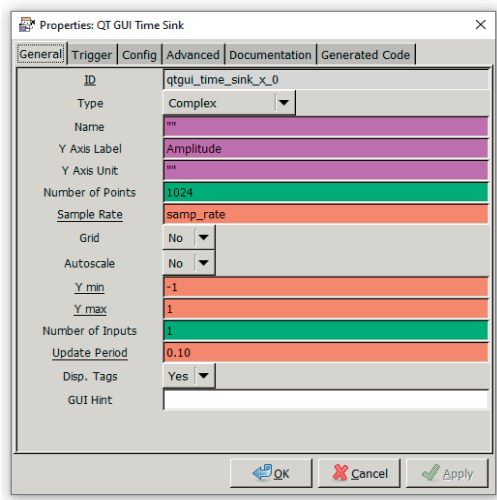


Рис. 45. Окно настроек параметров блока осциллографа «QT GUI Time Sink»

Блок анализатора спектра («QT GUI Frequency Sink») служит для частотного представления регистрируемых сигналов. Настройка параметров данного блока показана на рис. 46.

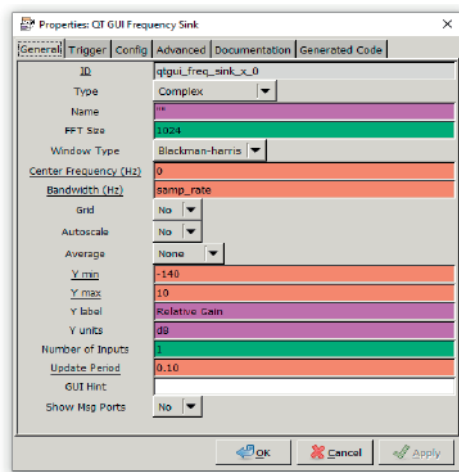


Рис. 46. Окно настроек параметров блока анализатора
«QT GUI Frequency Sink»

Блок «водопадной» диаграммы («QT GUI Waterfall Sink») служит для временного представления распределения уровней интенсивности регистрируемых сигналов относительно частоты. Настройка параметров данного блока показана на рис. 47.

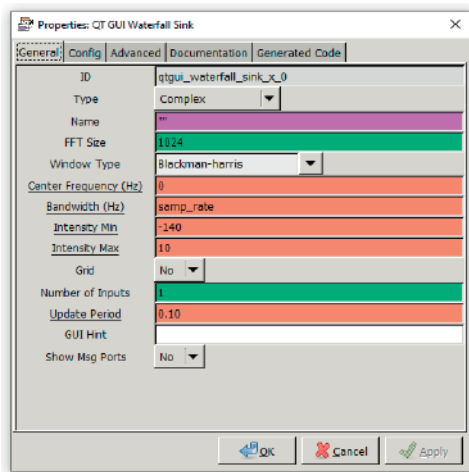


Рис. 47. Окно настроек параметров блока анализатора
«QT GUI Waterfall Sink»

Мультиблок индикации («QT GUI Sink») является универсальным и совмещает: осциллограф, анализатор, «водопадную» и фазовую диаграмму (рис. 48).

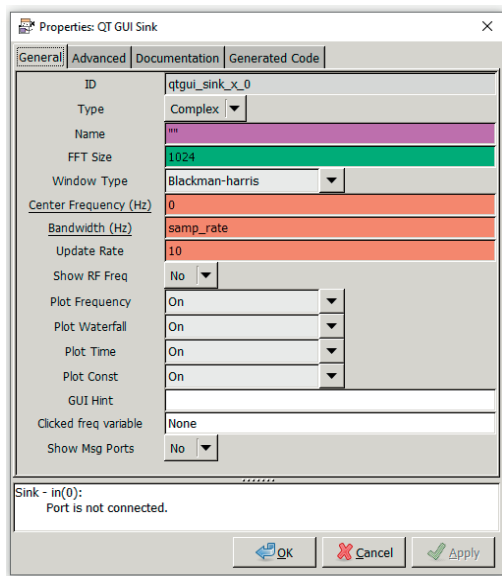


Рис. 48. Окно настроек параметров мультиблока индикации «QT GUI Sink»

Блок аудио воспроизведения звуковых сигналов («Audio Sink») служит для прослушивания звуковых сигналов и демодулированных радиостанций. Основной задаваемый параметр данного модуля – частота дискретизации аудиокарты ПК. Формат данных блока «Audio Sink» – float.

3.3. Правила архитектурного проектирования, создание, компиляция, сохранение проекта в среде GNU Radio, а также трансляция проекта в программный листинг на языке Python

Правила архитектурного проектирования следующие:

- По техническому заданию создается проект SDR-системы из блоков.

- Блоки необходимо соединить в единую схему. При этом при попытке соединить блоки с различными входными и выходными классами данных программа выдаст ошибку.
- Расположение блоков на рабочей области GNU Radio должно быть читабельным и эстетичным.
- Для радиотехнического параметра наиболее часто задаваемого в блоках схемы следует ввести глобальную переменную.
- Файл проекта следует сохранять на локальный диск с разрешенной записью или USB флеш-накопитель (см. п. 3.1) с присвоением файлу названия, напечатанного на латинском алфавите.
- Компиляция проекта производится путем клика клавиши «▶» в верхней панели инструментов интерфейса программы GNU Radio. При этом если схема из блоков окажется собранной с нарушениями правил проектирования, кнопка «▶» будет неактивна и появится сообщение об ошибке «error». Для остановки процесса моделирования (симуляции или трансляции проекта) необходимо кликнуть по клавише «stop».
- При успешном выполнении компиляции разработанного при помощи визуального программирования проекта SDR-системы запускается его трансляция: на экране отображаются графики (осциллограммы, спектры, водопадные диаграммы и т. д.), указанные в схеме посредством модулей индикации. При наличии блока аудио воспроизведения в схеме проекта и колонок (наушников) также запускается режим прослушивания, например, настроенной на заданную частоту радиостанции.
- При сохранении проекта в указанной папке также сохраняется второй файл проекта с расширением *.ру в виде классического кодового листинга на языке Python.
- Все файлы проектов запускаются из программы GNU Radio.

3.4. Визуальное программирование и моделирование радиотехнических блок-схем в среде GNU Radio

Рассмотрим пример визуального программирования в среде GNU Radio.

В программно определяемой среде GNU Radio необходимо построить модель аддитивной смеси радиосигналов, принимаемой от двух генераторов: генератор I (амплитуда 120 мВ, частота 3,0 кГц), генератор II (амплитуда 300 мВ, частота 9,0 кГц). Глобальная переменная частоты дискретизации 64 кГц (рис. 49). Получить осциллограмму и спектр аддитивной смеси сигналов. Определить уровень сигнала S_1 и S_2 в дБ.

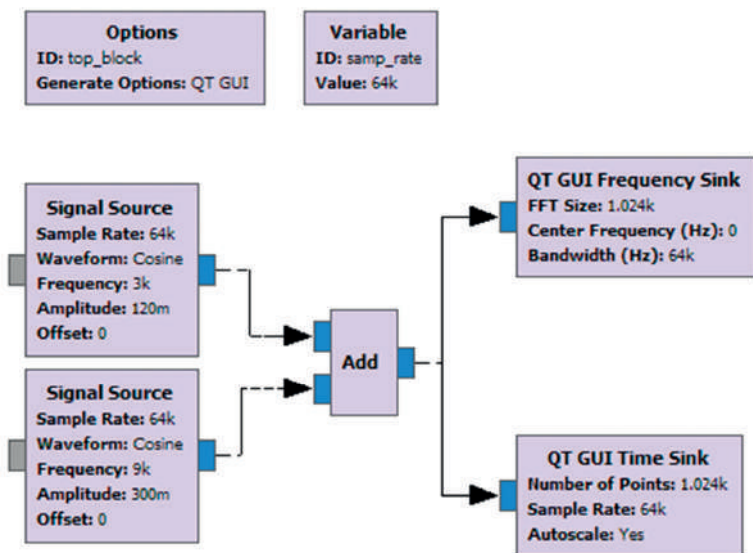


Рис. 49. Блок-схема модели согласно техническому заданию

Результатом трансляции проекта будет являться осциллограмма и радиочастотный спектр аддитивной смеси двух сигналов (рис. 50). Уровень сигнала $S_1 = -28,66$ дБ, $S_2 = -18,70$ дБ.

Как можно заметить, временная форма аддитивного сигнала имеет две гармонические составляющие. Спектр также показывает два сигнала на заданных частотах.

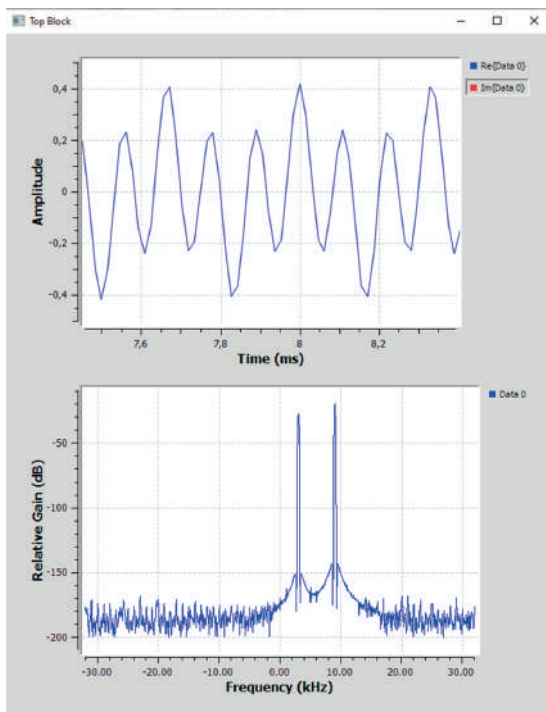


Рис. 50. Осциллограмма аддитивной смеси двух гармонических сигналов и частотное представление результата сложения двух сигналов

Программный листинг разработанной блок-схемы будет выглядеть следующим образом:

```
#!/usr/bin/env python2
# -*- coding: utf-8 -*-
#####
# GNU Radio Python Flow Graph
# Title: Top Block
# Generated: Sat Mar 21 22:54:46 2020
#####
```

```

if __name__ == '__main__':
    import ctypes
    import sys
    if sys.platform.startswith('linux'):
        try:
            x11 = ctypes.cdll.LoadLibrary('libX11.so')
            x11.XInitThreads()
        except:
            print "Warning: failed to XInitThreads()"

from PyQt4 import Qt
from gnuradio import analog
from gnuradio import blocks
from gnuradio import eng_notation
from gnuradio import gr
from gnuradio import qtgui
from gnuradio.eng_option import eng_option
from gnuradio.filter import firdes
from optparse import OptionParser
import sip
import sys
from gnuradio import qtgui

class top_block(gr.top_block, Qt.QWidget):

    def __init__(self):
        gr.top_block.__init__(self, "Top Block")
        Qt.QWidget.__init__(self)
        self.setWindowTitle("Top Block")
        qtgui.util.check_set_qss()
        try:
            self.setWindowIcon(Qt.QIcon.fromTheme('gnuradio-gre'))
        except:
            pass
        self.top_scroll_layout = Qt.QVBoxLayout()
        self.setLayout(self.top_scroll_layout)
        self.top_scroll = Qt.QScrollArea()
        self.top_scroll.setFrameStyle(Qt.QFrame.NoFrame)
        self.top_scroll_layout.addWidget(self.top_scroll)
        self.top_scroll.setWidgetResizable(True)
        self.top_widget = Qt.QWidget()

```

```

self.top_scroll.setWidget(self.top_widget)
self.top_layout = Qt.QVBoxLayout(self.top_widget)
self.top_grid_layout = Qt.QGridLayout()
self.top_layout.addLayout(self.top_grid_layout)

self.settings = Qt.QSettings("GNU Radio", "top_block")
self.restoreGeometry(self.settings.value("geometry").toByteArray())

#####
# Variables
#####
self.samp_rate = samp_rate = 64000

#####
# Blocks
#####
self.qtgui_time_sink_x_0 = qtgui.time_sink_c(
    1024, #size
    samp_rate, #samp_rate
    "", #name
    1 #number of inputs
)
self.qtgui_time_sink_x_0.set_update_time(0.10)
self.qtgui_time_sink_x_0.set_y_axis(-1, 1)

self.qtgui_time_sink_x_0.set_y_label('Amplitude', '')

self.qtgui_time_sink_x_0.enable_tags(-1, True)
self.qtgui_time_sink_x_0.set_trigger_mode(qtgui.TRIG_MODE_FREE, qtgui.TRIG_SLOPE_POS, 0.0,
0, 0, "")

self.qtgui_time_sink_x_0.enable_autoscale(True)
self.qtgui_time_sink_x_0.enable_grid(True)
self.qtgui_time_sink_x_0.enable_axis_labels(True)
self.qtgui_time_sink_x_0.enable_control_panel(False)
self.qtgui_time_sink_x_0.enable_stem_plot(False)

if not True:
    self.qtgui_time_sink_x_0.disable_legend()

labels = ["", "", "", "",
          "", "", "", ""]
widths = [1, 1, 1, 1, 1,

```

```

1, 1, 1, 1, 1]
colors = ["blue", "red", "green", "black", "cyan",
          "magenta", "yellow", "dark red", "dark green", "blue"]
styles = [1, 1, 1, 1, 1,
          1, 1, 1, 1, 1]
markers = [-1, -1, -1, -1, -1,
           -1, -1, -1, -1, -1]
alphas = [1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0,
          1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0]

for i in xrange(2):
    if len(labels[i]) == 0:
        if(i % 2 == 0):
            self.qtgui_time_sink_x_0.set_line_label(i, "Re{ {Data {0}} }".format(i/2))
        else:
            self.qtgui_time_sink_x_0.set_line_label(i, "Im{ {Data {0}} }".format(i/2))
    else:
        self.qtgui_time_sink_x_0.set_line_label(i, labels[i])
        self.qtgui_time_sink_x_0.set_line_width(i, widths[i])
        self.qtgui_time_sink_x_0.set_line_color(i, colors[i])
        self.qtgui_time_sink_x_0.set_line_style(i, styles[i])
        self.qtgui_time_sink_x_0.set_line_marker(i, markers[i])
        self.qtgui_time_sink_x_0.set_line_alpha(i, alphas[i])

self.qtgui_time_sink_x_0_win = sip.wrapinstance(self.qtgui_time_sink_x_0.pyqwidget(), Qt.QWidget)
self.top_grid_layout.addWidget(self.qtgui_time_sink_x_0_win)

self.qtgui_freq_sink_x_0 = qtgui.freq_sink_c(
    1024, #size
    firdes.WIN_BLACKMAN_hARRIS, #wintype
    0, #fc
    samp_rate, #bw
    "", #name
    1 #number of inputs
)

self.qtgui_freq_sink_x_0.set_update_time(0.10)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_y_axis(-140, 10)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_y_label('Relative Gain', 'dB')
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_trigger_mode(qtgui.TRIG_MODE_FREE, 0.0, 0, "")
self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_autoscale(True)
self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_grid(True)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_fft_average(1.0)
self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_axis_labels(True)

```

```

self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_control_panel(False)

if not True:
    self.qtgui_freq_sink_x_0.disable_legend()

if "complex" == "float" or "complex" == "msg_float":
    self.qtgui_freq_sink_x_0.set_plot_pos_half(not True)

labels = [",", ",", ",", ",",
           ",", ",", ",", "]
widths = [1, 1, 1, 1, 1,
           1, 1, 1, 1, 1]
colors = ["blue", "red", "green", "black", "cyan",
           "magenta", "yellow", "dark red", "dark green", "dark blue"]
alphas = [1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0,
           1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0]
for i in xrange(1):
    if len(labels[i]) == 0:
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_label(i, "Data {0}".format(i))
    else:
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_label(i, labels[i])
    self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_width(i, widths[i])
    self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_color(i, colors[i])
    self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_alpha(i, alphas[i])

self._qtgui_freq_sink_x_0_win = sip.wrapinstance(self.qtgui_freq_sink_x_0.pyqwidget(), Qt.QWidget)
self.top_grid_layout.addWidget(self._qtgui_freq_sink_x_0_win)
self.blocks_add_xx_0 = blocks.add_vcc(1)
self.analog_sig_source_x_0_0 = analog.sig_source_c(samp_rate, analog.GR_COS_WAVE, 9e3, 300e-3, 0)
self.analog_sig_source_x_0 = analog.sig_source_c(samp_rate, analog.GR_COS_WAVE, 3e3, 120e-3, 0)

#####
# Connections
#####
self.connect((self.analog_sig_source_x_0, 0), (self.blocks_add_xx_0, 0))
self.connect((self.analog_sig_source_x_0_0, 0), (self.blocks_add_xx_0, 1))
self.connect((self.blocks_add_xx_0, 0), (self.qtgui_freq_sink_x_0, 0))
self.connect((self.blocks_add_xx_0, 0), (self.qtgui_time_sink_x_0, 0))

def closeEvent(self, event):
    self.settings = Qt.QSettings("GNU Radio", "top_block")
    self.settings.setValue("geometry", self.saveGeometry())

```

```

        event.accept()

def get_samp_rate(self):
    return self.samp_rate

def set_samp_rate(self, samp_rate):
    self.samp_rate = samp_rate
    self.qtgui_time_sink_x_0.set_samp_rate(self.samp_rate)
    self.qtgui_freq_sink_x_0.set_frequency_range(0, self.samp_rate)
    self.analog_sig_source_x_0.set_sampling_freq(self.samp_rate)
    self.analog_sig_source_x_0.set_sampling_freq(self.samp_rate)

def main(top_block_cls=top_block, options=None):

    from distutils.version import StrictVersion
    if StrictVersion(Qt.qVersion()) >= StrictVersion("4.5.0"):
        style = gr.prefs().get_string('qtgui', 'style', 'raster')
        Qt.QApplication.setGraphicsSystem(style)
    qapp = Qt.QApplication(sys.argv)

    tb = top_block_cls()
    tb.start()
    tb.show()

    def quitting():
        tb.stop()
        tb.wait()
    qapp.connect(qapp, Qt.SIGNAL("aboutToQuit()"), quitting)
    qapp.exec_()

if __name__ == '__main__':
    main()

```

Обратим внимание на немалый объем листинга получившейся программы. Действительно, визуальное программирование радиотехнических систем сегодня на порядки сокращает временной ресурс создания программно-определяемых устройств.

3.5. Настройка режимов моделирования регистрации сигналов в среде GNU Radio

При настройках моделирования блоков индикации следует придерживаться следующих правил:

- Выбирать режимы автоформата шкалы осциллографа и анализатора.
- Выбирать наиболее удобные способы индикации и отображения сигналов: одноканальное или двух- и многоканальное. Одноканальный режим выводит сигнал в отдельное окно. Двух- и многоканальный режим выводит сигналы в одно окно. Такой режим удобен при сравнении параметров нескольких сигналов.

Регистрация радиотехнических характеристик сигналов в среде GNU Radio выполняется аналогично инструментальным средствам SDRSharp при помощи наведения курсора на соответствующую измеряемую точку графика осциллограммы или частотного спектра сигнала.

Рассмотрим типичный пример индикации сигнала принимаемых радиостанций с оптимально подобранными настройками блоков графической индикации, позволяющими проводить радиоизмерения по аналогии с решением задач радиомониторинга в среде SDRSharp.

В программно определяемой среде GNU Radio требуется построить архитектуру SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на центральную частоту 100 МГц. Коэффициент усиления тюнера 12 дБ. Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц (рис. 51). Получить частотный спектр станций радиовещания и «водопадную» диаграмму. Определить несущие частоты радиостанций f_i в МГц и предельный уровень сигнала каждой радиостанции S_i в дБ. При помощи полосно-пропускающего фильтра усилить станцию, настроенную на частоту 100,1 МГц на 20 дБ, оставив при этом неизменными уровни соседних станций.

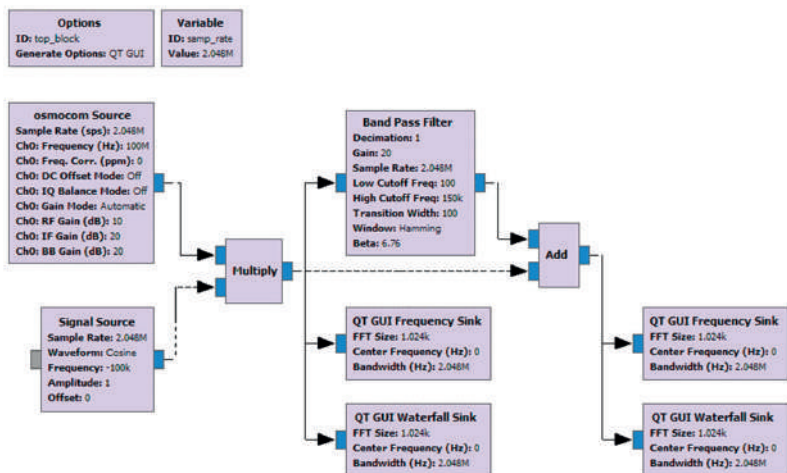


Рис. 51. Блок-схема модели SDR-системы согласно техническому заданию

Результаты регистрации данных до полосового усиления радиоканала на частоте 100,1 МГц приведены на рис. 52.

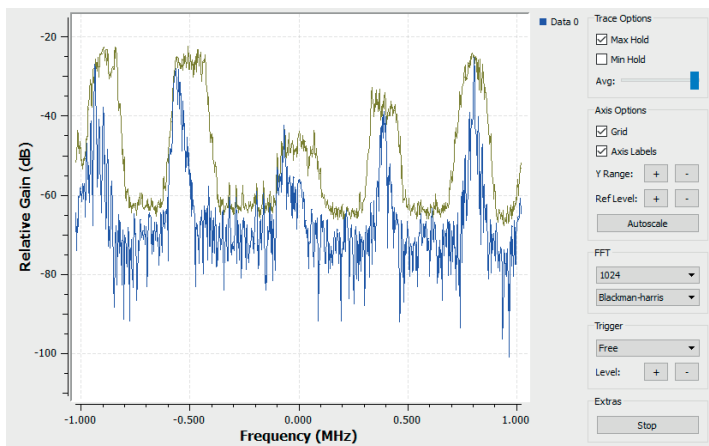


Рис. 52. Амплитудный спектр зарегистрированных радиостанций в полосе обзора $100,1 \text{ МГц} \pm 1,024 \text{ МГц}$: $f_i = \{99,2 \text{ МГц}; 99,6 \text{ МГц}; 100,1 \text{ МГц}; 100,5 \text{ МГц}; 100,9 \text{ МГц}\}$. Предельный уровень сигнала каждой радиостанции $S_i = \{-18 \text{ дБ}; -21 \text{ дБ}; -40 \text{ дБ}; -32 \text{ дБ}; -21 \text{ дБ}\}$

Результаты регистрации данных после полосового усиления радиоканала на частоте 100,1 МГц на 20 дБ приведены на рис. 53.

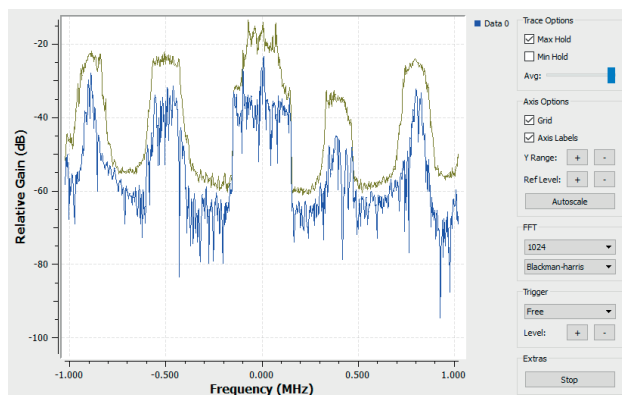


Рис. 53. Амплитудный спектр зарегистрированных радиостанций в полосе обзора $100,1 \text{ МГц} \pm 1,024 \text{ МГц}$; $f_i = \{99,2 \text{ МГц}; 99,6 \text{ МГц}; 100,1 \text{ МГц}; 100,5 \text{ МГц}; 100,9 \text{ МГц}\}$. Предельный уровень сигнала каждой радиостанции $S_i = \{-18 \text{ дБ}; -21 \text{ дБ}; -20 \text{ дБ}; -32 \text{ дБ}; -21 \text{ дБ}\}$

Как можно заметить, в настройках блока анализатора спектра используется опция «Control Panel» для возможности управления графическими параметрами спектрограммы (рис. 54).

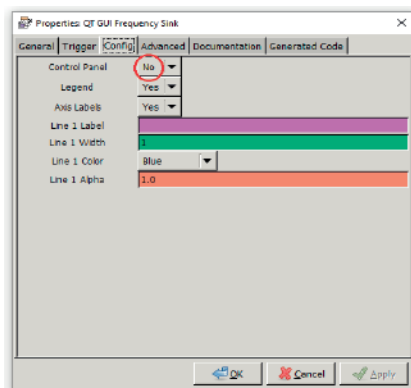


Рис. 54. Подключение опции «Control Panel» в настройках блока «QT GUI Frequency»

3.6. Архитектурное проектирование и анализ программно определяемого ЧМ- и АМ-приемника на базе тюнера RTL2832 в среде GNU Radio

Прежде, чем построить полную блок-схему ЧМ- или АМ-приемника, рассмотрим классическую архитектуру построения SDR-устройств без демодулятора и аудио воспроизведения (рис. 55), позволяющего регистрировать данные радиочастотного эфира с USB RTL-SDR тюнера RTL2832. При этом важно обратить внимание, что драйверы на USB RTL-SDR тюнер необходимо установить при помощи среды SDRSharp.

Итак, в программно определяемой среде GNU Radio необходимо построить архитектуру SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на частоту 99,2 МГц. Коэффициент усиления тюнера 10 дБ. Центральная частота полосы обзора – 100 МГц. Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц. Произвести сдвиг радиостанции на нулевую частоту: для этого необходимо мультиплицировать сигнал тюнера с опорным сигналом +800 кГц и амплитудой 1 В (так как интересующая радиостанция находится слева от центральной частоты обзора) (рис. 55). Получить в принимаемой полосе обзора спектр станций радиовещания, а также «водопадную» диаграмму. Определить предельный уровень сигнала заданной радиостанции в дБ.

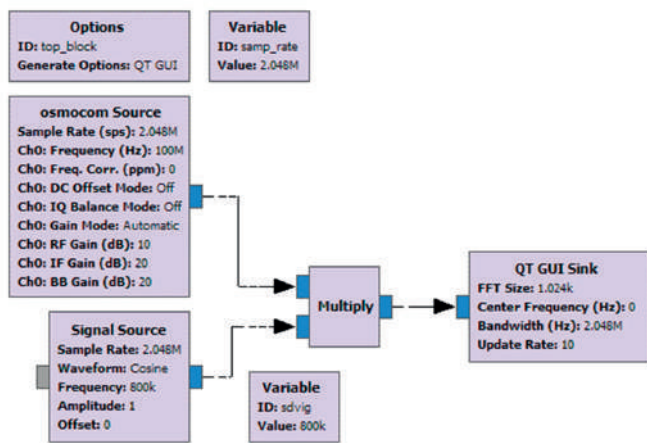


Рис. 55. Архитектура SDR-приемника без устройства демодуляции и аудио прослушивания

После трансляции полученной блок-схемы на рис. 56 и рис. 57 можно видеть уже знакомые амплитудный спектр и водопадную диаграмму соответственно.

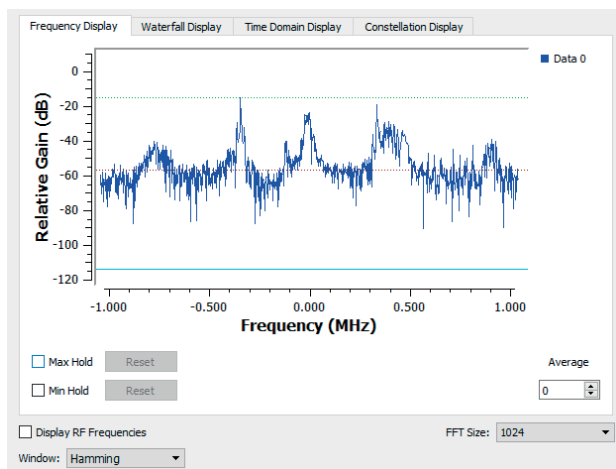


Рис. 56. Амплитудный спектр радиостанций в заданной полосе обзора.
Предельный уровень принимаемой станции около -17,37 дБ

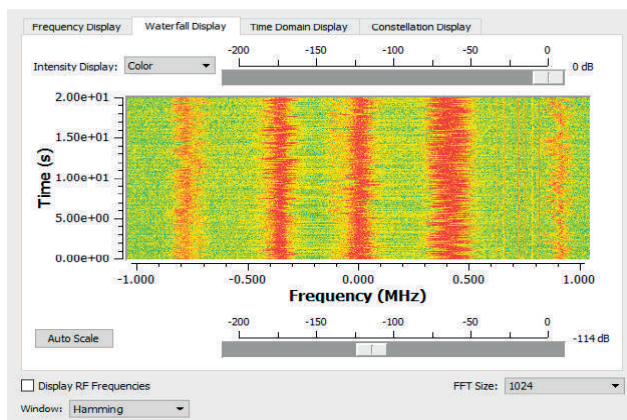


Рис. 57. «Водопадная» диаграмма регистрируемых радиостанций

Далее, к блок-схеме, показанной на рис. 55 добавим ЧМ-дискриминатор, представленный блоком «WBFM Receive» и устройство аудио воспроизведения (рис. 58). Важно обратить внимание, что входной тип данных блока «WBFM Receive» является класс «Complex», а выходной – «float».

Итак, необходимо выполнить демодуляцию заданной ЧМ-радиостанции (99,2 МГц) и вывести звуковой сигнал на аудиокарту. Для этого произвести децимацию сигнала радиостанции с коэффициентом децимации 4,0. Далее выполнить фильтрацию сигнала при помощи фильтра нижних частот (частота среза (полоса фильтрации) 150 кГц, полоса перехода 10 кГц, остальные настройки – по умолчанию). Установить следующие параметры частотного детектора (частота дискретизации 512 кГц, коэффициент аудио децимации – 10,0). Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц (рис. 58). Частота дискретизации аудиокарты – 48 кГц. Полоса анализатора – 300 кГц. Прослушать спектр станции радиовещания и ее «водопадную» диаграмму. Прослушать радиостанцию и убедиться в достаточном качестве ее приема.

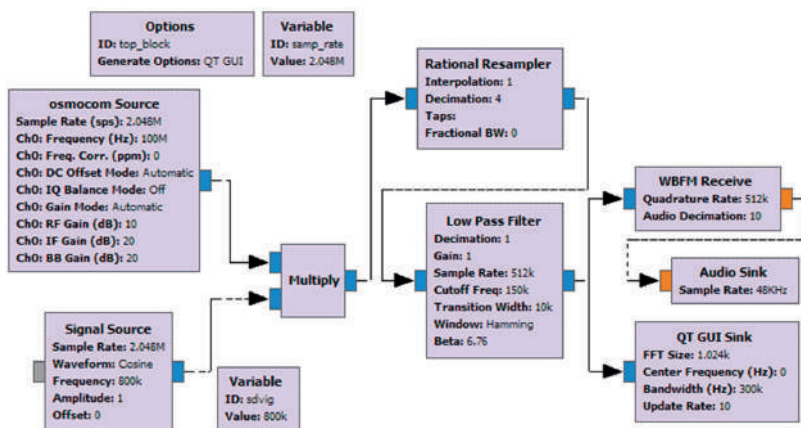


Рис. 58. Архитектура блок-схемы классического SDR ЧМ-приемника

На рис. 59 и рис. 60 показаны амплитудный спектр и «водопадная» диаграмма заданной радиостанции (99,2 МГц) в полосе фильтрации 150 кГц.

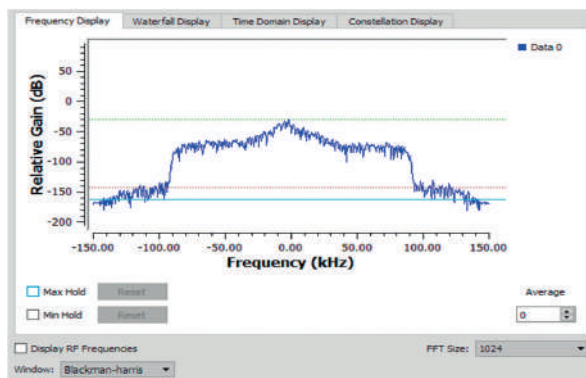


*Рис. 59. Амплитудный спектр радиостанции 99,2 МГц
в полосе фильтрации 150 кГц*

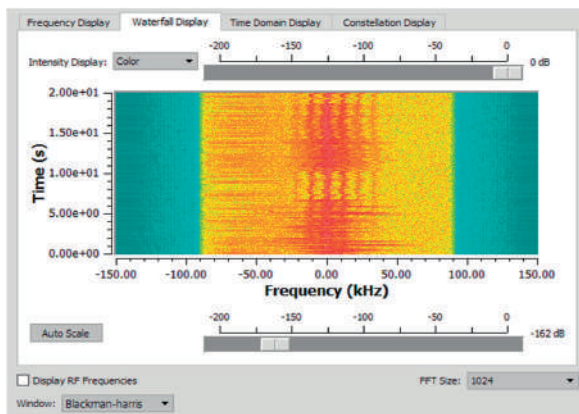


*Рис. 60. «Водопадная» диаграмма радиостанции 99,2 МГц
в полосе фильтрации 150 кГц*

Взяв за базовую блок-схему архитектуру SDR-приемника без устройства демодуляции и аудио прослушивания и добавив АМ-дискриминатор, получим классическую архитектуру блок-схемы АМ-приемника. Однако ввиду достаточной точности калибровки SDR тюнера (что позволяет путем указания настройки центральной частоты тюнера хорошо настраиваться на заданную частоту), схему мультиплексирования можно исключить из общей архитектуры (рис. 58).

Тогда в программно определяемой среде GNU Radio построим архитектуру AM SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на частоту 97,62 МГц (рис. 61). Для этого необходимо пропустить сигнал с приемника через фильтр нижних частот (частота дискретизации 10 кГц, частота среза 1 кГц, ширина перехода – 200 Гц, остальные настройки по умолчанию). Далее преобразовать формат «complex» в значение его модуля. После чего произвести децимацию сигнала (коэффициент децимации 20,0) и усилить сигнал в 4 раза. Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 512 кГц. Частота дискретизации аудиокарты – 48 кГц. Полоса анализатора – 10 кГц. Получить спектр станции радиовещания (рис. 62). Прослушать радиостанцию и убедиться в достаточном качестве ее приема.

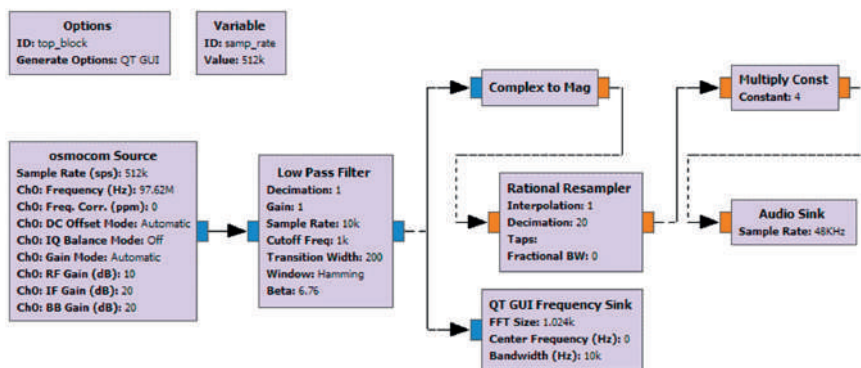


Рис. 61. Архитектура блок-схемы классического SDR AM-приемника

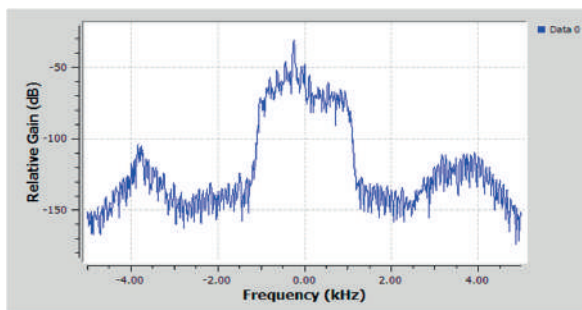


Рис. 62. Амплитудный спектр радиостанции 99,2 МГц
в полосе фильтрации 150 кГц

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принципы визуального программирования в среде GNU Radio.
2. Основные SDR-модули архитектурной спецификации GNU Radio.
3. Управление и настройка параметров SDR-модулей.
4. Основные классы типов цифровых данных. Правила соединения SDR-модулей в среде GNU Radio.
5. ID-адресация и создание переменных в среде GNU Radio.
6. Создание, компиляция и сохранение проекта в среде GNU Radio на языке Python.
7. Визуальное программирование и моделирование радиотехнических блок-схем в среде GNU Radio.
8. Принципы архитектурного проектирования SDR-системы в GNU Radio.
9. Базовые юлок-схемы ЧМ- и АМ-приемника в среде GNU Radio.
10. Настройка режимов спектроанализатора, частотно-временной диаграммы («водопада») и фазовой диаграмм реального времени в среде GNU Radio.

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

1. В режиме локального доступа USB RTL-SDR тюнера RTL2832 при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 104,5...106,8 МГц. Найти число k зафиксированных радиостанций и указать соответствующие им несущие радиочастоты f_i . Задать частоту дискретизации SDR-приемника 2,8 Мвыб/с, коэффициент усиления – 12,5 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

Решение:



Ответ: число зафиксированных станций $k = 6$. Сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{104,719 \text{ МГц}; 104,9945 \text{ МГц}; 105,3117 \text{ МГц}; 105,6804 \text{ МГц}; 106,1918 \text{ МГц}; 106,6279 \text{ МГц}\}$.

2. В режиме сетевого («картографического») IP-доступа (задается преподавателем) при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 106,12...107,57 МГц. Найти число k зафиксированных радиостанций и указать соответствующие им несущие радиочастоты f_i . Задать частоту дискретизации SDR-приемника 1,5 Мвыб/с, коэффициент усиления – 4 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

Решение: IP: sdr://62.203.174.203:5555 (задается преподавателем).



Ответ: число зафиксированных станций $k = 7$. Сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{106,1962 \text{ МГц}; 106,4039 \text{ МГц}; 106,7021 \text{ МГц}; 107,0004 \text{ МГц}; 107,1992 \text{ МГц}; 107,4024 \text{ МГц}; 107,4974 \text{ МГц}\}$.

3. В режиме локального доступа USB RTL-SDR тюнера RTL2832 при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 96,59...99,00 МГц. Указать радиочастоты f_i зафиксированных станций и измерить ширину спектральной полосы частот Δf_i , занимаемой каждой станцией. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 3,2 Мвыб/с, коэффициент усиления – 15,7 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

Решение:



Ответ: сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{96,8078 \text{ МГц}; 97,1953 \text{ МГц}; 97,6052 \text{ МГц}; 98,0151 \text{ МГц}; 98,3952 \text{ МГц}; 98,8014 \text{ МГц}\}$. Значения ширины спектральной полосы частот $\Delta f_i = \{193,050 \text{ кГц}; 245,210 \text{ кГц}; 140,870 \text{ кГц}; 200,480 \text{ кГц}; 170,660 \text{ кГц}; 193,010 \text{ кГц}\}$.

4. В режиме сетевого («картографического») IP-доступа (задается преподавателем) при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 95,88... 97,35 МГц. Указать радиочастоты f_i зафиксированных станций и измерить ширину спектральной полосы частот Δf_i , занимаемой каждой станцией. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 1,5 Мвыб/с, коэффициент усиления – 10,0 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

Решение: IP: sdr://62.203.174.203:5555 (задается преподавателем).



Ответ: сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{96,0035 \text{ МГц}; 96,0985 \text{ МГц}; 96,1979 \text{ МГц}; 96,2973 \text{ МГц}; 96,5934 \text{ МГц}; 96,8960 \text{ МГц}; 97,0992 \text{ МГц}; 97,2009 \text{ МГц}\}$. Значения ширины спектральной полосы частот $\Delta f_i = \{24,7430 \text{ кГц}; 90,7000 \text{ кГц}; 42,0900 \text{ кГц}; 42,0900 \text{ кГц}; 121,6100 \text{ кГц}; 121,6100 \text{ кГц}; 95,1000 \text{ кГц}; 73,0000 \text{ кГц}\}$.

5. В режиме локального доступа USB RTL-SDR тюнера RTL2832 при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 94,52...97,05 МГц. Указать радиочастоты зафиксированных радиоканалов f_i и измерить максимальный Max_i и Min_i минимальный уровни принимаемых радиоканалов в полосе фильтрации 190,00 кГц. Зафиксировать средний уровень шумов N в заданной полосе обзора. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 3,2 Мвыб/с, коэффициент усиления – 19,7 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

Решение:



Ответ: сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{94,8030 \text{ МГц}; 95,2017 \text{ МГц}; 95,6041 \text{ МГц}; 96,0066 \text{ МГц}; 96,4016 \text{ МГц}; 96,8078 \text{ МГц}\}$. Предельные уровни станций $Max_i / Min_i = \{[-33,5/-59,1] \text{ дБ}; [-27,7/-60,7] \text{ дБ}; [-25,5/-62,3] \text{ дБ}; [-33,2/-61,9] \text{ дБ}; [-45,7/-61,9] \text{ дБ}; [-32,8/-59,4] \text{ дБ}\}$. Средний уровень шумов $N = -59,5 \text{ дБ}$.

6. В режиме сетевого («картографического») IP-доступа (задается преподавателем) при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 88,23... 90,24 МГц. Указать радиочастоты зафиксированных радиоканалов f_i и измерить максимальный Max_i и Min_i минимальный уровни принимаемых радиоканалов в полосе фильтрации 142,00 кГц. Зафиксировать средний уровень шумов N в заданной полосе обзора. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 2,4 Мвыб/с, коэффициент усиления – 12,0 дБ. Зафиксировать средний уровень шумов N в заданной полосе обзора. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

Решение: IP: sdr://92.188.98.169:5555 (задается преподавателем).



Ответ: сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{88,298 \text{ МГц}; 88,502 \text{ МГц}; 88,598 \text{ МГц}; 88,806 \text{ МГц}; 88,995 \text{ МГц}; 89,403 \text{ МГц}; 89,603 \text{ МГц}; 89,800 \text{ МГц}; 89,996 \text{ МГц}; 90,126 \text{ МГц}\}$. Предельные уровни станций $Max_i / Min_i = \{[-38,7/-72,0] \text{ дБ}; [-53,1/-72,2] \text{ дБ}; [-59,1/-73,3] \text{ дБ}; [-61,2/-74,0] \text{ дБ}; [-36,2/-74,3] \text{ дБ}; [-33,5/-61,3] \text{ дБ}; [-57,5/-67,1] \text{ дБ}; [-19,5/-48,7] \text{ дБ}; [-49,1/-65,2] \text{ дБ}; [-61,2/-69,7] \text{ дБ}\}$. Средний уровень шумов $N = -75,1 \text{ дБ}$.

7. В режиме локального доступа USB RTL-SDR тюнера RTL2832 при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 90,71...93,00 МГц. Указать радиочастоты зафиксированных радиоканалов f_i и измерить средний уровень мощности P_i каждой станции на промежуточной частоте, а также отношение сигнал-шум SNR_i в полосе фильтрации 120,00 кГц. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 3,2 Мвыб/с, коэффициент усиления – 16,6 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

Решение:



Ответ: сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{90,8024 \text{ МГц}; 91,1899 \text{ МГц}; 91,5961 \text{ МГц}; 92,9861 \text{ МГц}; 92,8109 \text{ МГц}; 91,9873 \text{ МГц}\}$. Средний уровень мощности радиоканалов зафиксированных станций $P_i = \{-43,14 \text{ дБ}; -45,24 \text{ дБ}; -44,43 \text{ дБ}; -28,13 \text{ дБ}; -45,45 \text{ дБ}; -33,86 \text{ дБ}\}$. Отношение сигнал-шум $SNR_i = \{27,3 \text{ дБ}; 28,1 \text{ дБ}; 23,1 \text{ дБ}; 36,7 \text{ дБ}; 21,6 \text{ дБ}; 21,9 \text{ дБ}\}$.

8. В режиме сетевого («картографического») IP-доступа (задается преподавателем) при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 90,25... 92,47 МГц. Указать радиочастоты зафиксированных радиоканалов f_i и измерить средний уровень мощности P_i каждой станции на промежуточной частоте, а также отношение сигнал-шум SNR_i в полосе фильтрации 98,00 кГц. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 2,4 Мвыб/с, коэффициент усиления – 12,0 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

Решение: IP: sdr://92.188.98.169:5555 (задается преподавателем).



Ответ: сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{90,402 \text{ МГц}; 90,806 \text{ МГц}; 90,914 \text{ МГц}; 91,007 \text{ МГц}; 91,2147 \text{ МГц}; 91,403 \text{ МГц}; 91,704 \text{ МГц}; 91,908 \text{ МГц}; 92,101 \text{ МГц}; 92,309 \text{ МГц}\}$. Средний уровень мощности радиоканалов зафиксированных станций $P_i = \{-37,24 \text{ дБ}; -41,34 \text{ дБ}; -49,31 \text{ дБ}; -71,43 \text{ дБ}; -64,32 \text{ дБ}; -59,02 \text{ дБ}; -44,12 \text{ дБ}; -71,82 \text{ дБ}; -50,66 \text{ дБ}; -67,55 \text{ дБ}\}$. Отношение сигнал-шум $SNR_i = \{25,2 \text{ дБ}; 14,3 \text{ дБ}; 32,4 \text{ дБ}; 10,2 \text{ дБ}; 9,4 \text{ дБ}; 27,3 \text{ дБ}; 30,5 \text{ дБ}; 8,7 \text{ дБ}; 28,2 \text{ дБ}; 9,3 \text{ дБ}\}$.

9. В режиме локального доступа USB RTL-SDR тюнера RTL2832 при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 87,20...89,69 МГц. Определить радиочастоты зафиксированных радиоканалов f_i , а также шаг частотного разделения F_{mn} соседних каналов. Указать зафиксированные в заданной полосе обзора станции с максимальным SNR_{max} и минимальным SNR_{min} отношением сигнал-шум при установленной полосе фильтрации 157,00 кГц. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 2,4 Мвыб/с, коэффициент усиления – 12,0 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

Решение:



Ответ: сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{87,4919 \text{ МГц}; 87,7229 \text{ МГц}; 87,9018 \text{ МГц}; 88,3005 \text{ МГц}; 88,7104 \text{ МГц}; 89,1054 \text{ МГц}; 89,5004 \text{ МГц}\}$. Шаг частотного разделения соседних каналов $F_{mn} = \{231,0 \text{ кГц}; 178,9 \text{ кГц}; 398,7 \text{ кГц}; 409,9 \text{ кГц}; 395,0 \text{ кГц}; 395,0 \text{ кГц}\}$. $SNR_{max}(88,7104 \text{ МГц}) = 23,4 \text{ дБ}$. $SNR_{min}(87,7229 \text{ МГц}) = 12,3 \text{ дБ}$.

10. В режиме сетевого («картографического») IP-доступа (задается преподавателем) при помощи интерактивной среды SDRSharp провести программный радиомониторинг каналов ЧМ-радиостанций в полосе обзора 94,00...96,10 МГц. Определить радиочастоты зафиксированных радиоканалов f_i , а также шаг частотного разделения F_{mn} соседних каналов. Указать зафиксированные в заданной полосе обзора станции с максимальным SNR_{max} и минимальным SNR_{min} отношением сигнал-шум при установленной полосе фильтрации 112,00 кГц. Задать частоту дискретизации SDR-приемника 2,4 Мвыб/с, коэффициент усиления – 12,0 дБ. Записать данные радиомониторинга в плагин «Frequency Manager».

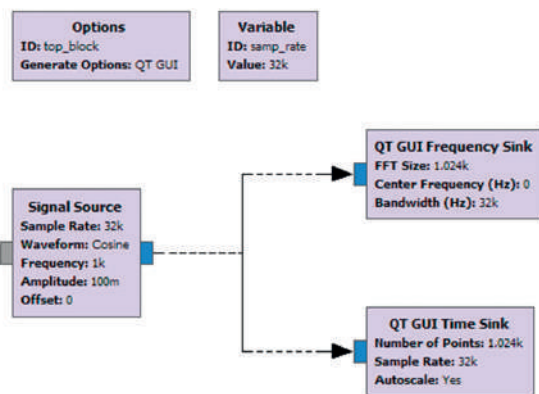
Решение: IP: sdr://92.188.98.169:5555 (задается преподавателем).



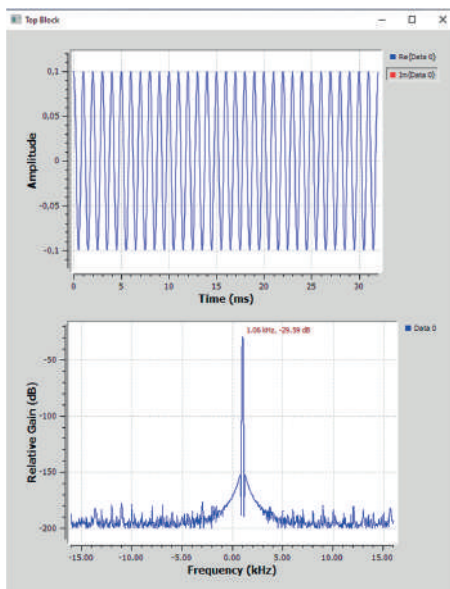
Ответ: сетка несущих частот зафиксированных станций: $f_i = \{94,100 \text{ МГц}; 94,300 \text{ МГц}; 94,500 \text{ МГц}; 94,800 \text{ МГц}; 95,100 \text{ МГц}; 95,400 \text{ МГц}; 95,500 \text{ МГц}; 95,800 \text{ МГц}; 96,000 \text{ МГц}\}$. Шаг частотного разделения соседних каналов $F_{mn} = \{200,00 \text{ кГц}; 200,00 \text{ кГц}; 300,00 \text{ кГц}; 300,00 \text{ кГц}; \text{кГц}; 300,00 \text{ кГц}\}$. $SNR_{max}(95,100 \text{ МГц}) = 24,7 \text{ дБ}$. $SNR_{min}(94,100 \text{ МГц}) = 10,2 \text{ дБ}$.

11. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель «генератора – регистратора сигнала». Тип источника – гармонический синусоидальный сигнал (амплитуда 100 мВ, частота 1,0 кГц). Глобальная переменная частоты дискретизации 32 кГц. Получить осциллограмму и спектр сигнала. Определить уровень сигнала S в дБ.

Решение:



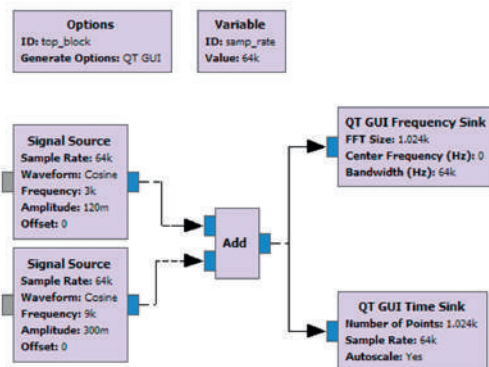
Ответ:



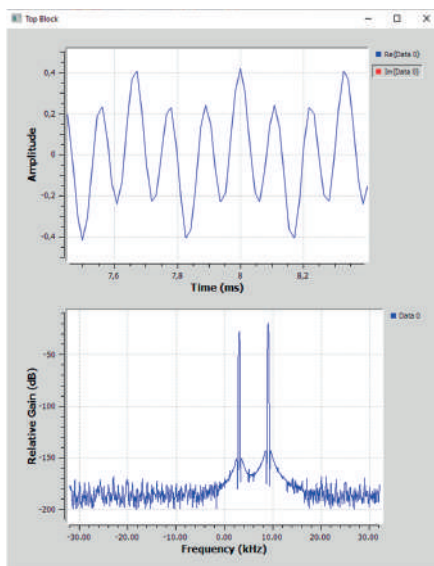
Уровень сигнала $S = -29,59$ дБ.

12. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель аддитивной смеси радиосигналов, принимаемой от двух генераторов: генератор I (амплитуда 120 мВ, частота 3,0 кГц), генератор II (амплитуда 300 мВ, частота 9,0 кГц). Глобальная переменная частоты дискретизации 64 кГц. Получить оциллограмму и спектр аддитивной смеси сигналов. Определить уровень сигнала S_1 и S_2 в дБ.

Решение:



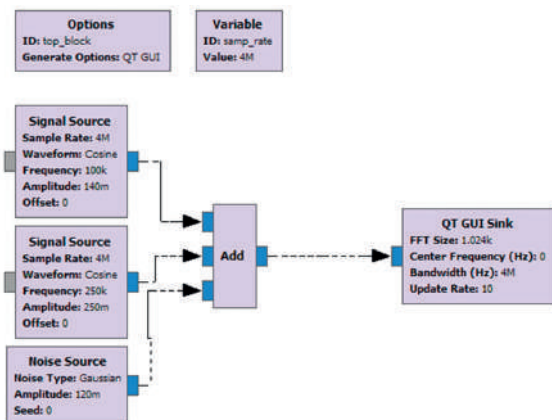
Ответ:



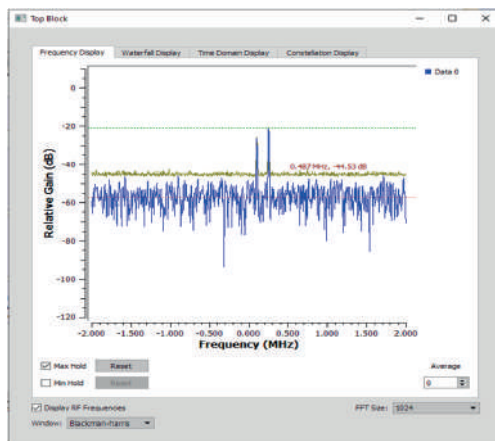
Уровень сигнала $S_1 = -28,66$ дБ, $S_2 = -18,70$ дБ.

13. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель аддитивной смеси радиосигналов, принимаемой от трех генераторов: генератор I (амплитуда 140 мВ, частота 100 кГц), генератор II (амплитуда 250 мВ, частота 250 кГц), генератор III – гауссовского шума (среднее значение уровня 50 мВ). Глобальная переменная частоты дискретизации 4 МГц. Получить спектр аддитивной смеси сигналов. Определить уровень сигнала S_1 , S_2 и S_3 в дБ, а также отношения сигнал-шум SNR_1 и SNR_2 .

Решение:



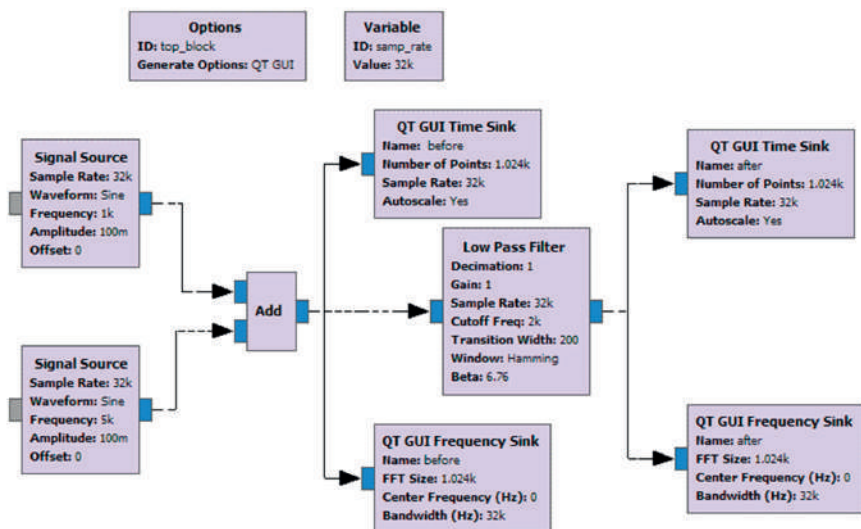
Ответ:



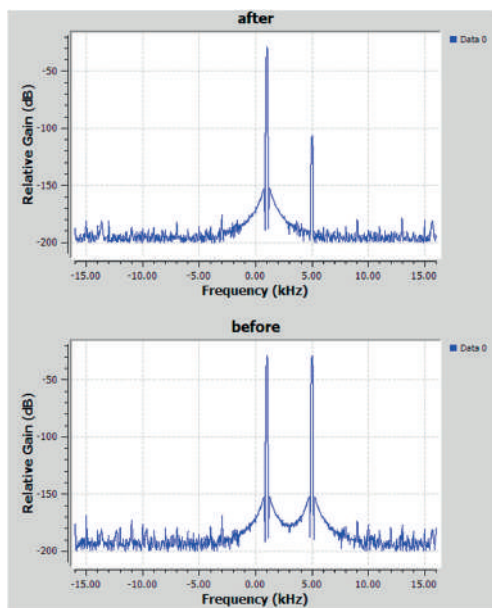
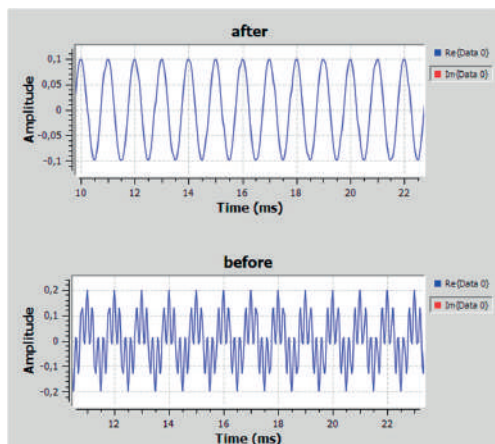
Уровень сигнала $S_1 = -26,18$ дБ, $S_2 = -20,81$ дБ, $S_3 = -45,31$ дБ.
 Отношения сигнал-шум: $SNR_1 = 19,13$ дБ, $SNR_2 = 24,50$ дБ.

14. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель аддитивной смеси радиосигналов, принимаемой от двух генераторов: генератор I (амплитуда 100 мВ, частота 1 кГц), генератор II (амплитуда 100 мВ, частота 5 кГц). Глобальная переменная частоты дискретизации 32 кГц. Получить спектр аддитивной смеси сигналов. Определить уровень сигнала S_1 , S_2 до и после фильтрации (фильтр нижних частот: частота среза 2 кГц, ширина полосы перехода 200 Гц, остальные настройки – по умолчанию). Как изменятся уровни сигналов после прохождения фильтрации?

Решение:



Ответ:



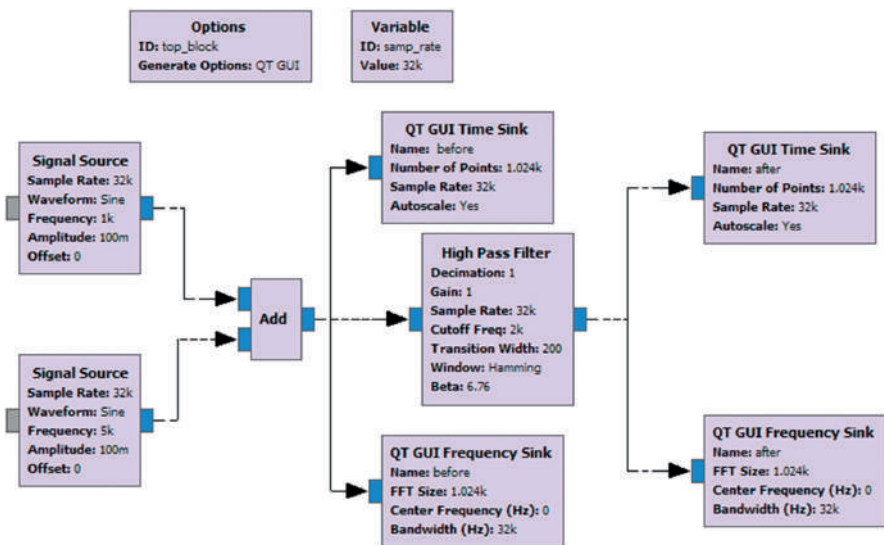
Уровни сигналов до фильтрации $S_1 = -28,72$ дБ, $S_2 = -28,72$ дБ.

Уровни сигналов после фильтрации $S_1 = -28,72$ дБ, $S_2 = -107,10$ дБ.

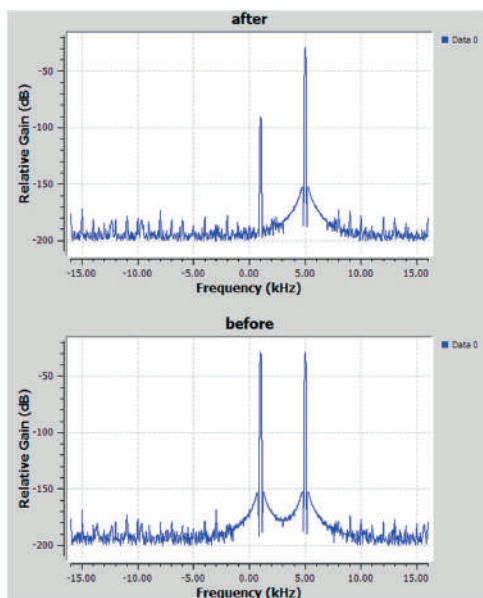
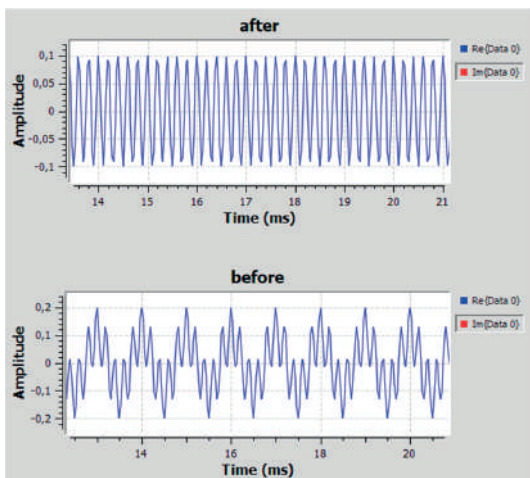
Уровень сигнала с частотой 1 кГц не изменился. Уровень сигнала с частотой 5 кГц уменьшился на 78,38 дБ.

15. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель аддитивной смеси радиосигналов, принимаемой от двух генераторов: генератор I (амплитуда 100 мВ, частота 1 кГц), генератор II (амплитуда 100 мВ, частота 5 кГц). Глобальная переменная частоты дискретизации 32 кГц. Получить спектр аддитивной смеси сигналов. Определить уровень сигнала S_1 , S_2 до и после фильтрации (фильтр верхних частот: частота среза 2 кГц, ширина полосы перехода 200 Гц, остальные настройки – по умолчанию). Как изменятся уровни сигналов после прохождения фильтрации?

Решение:



Ответ:



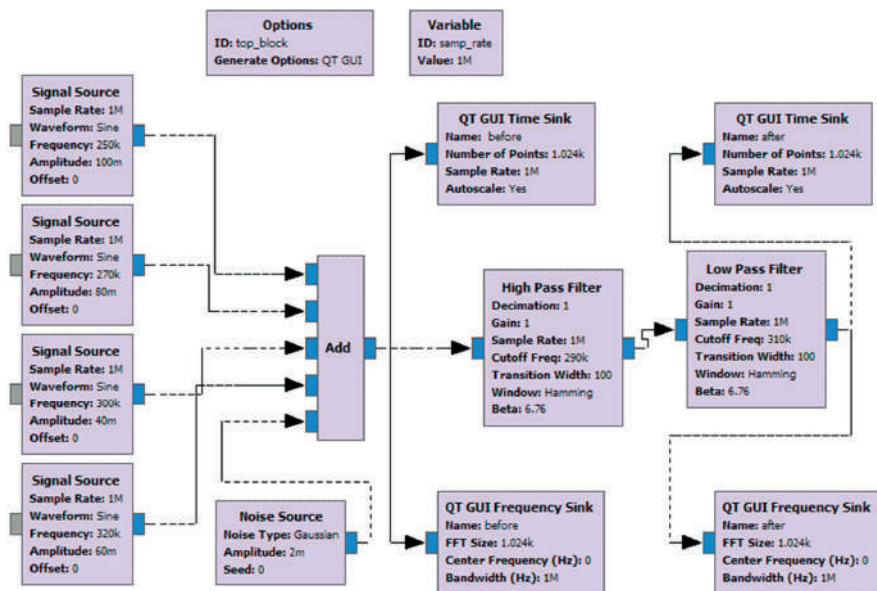
Уровни сигналов до фильтрации $S_1 = -28,72$ дБ, $S_2 = -28,72$ дБ.

Уровни сигналов после фильтрации $S_1 = -91,01$ дБ, $S_2 = -28,72$ дБ.

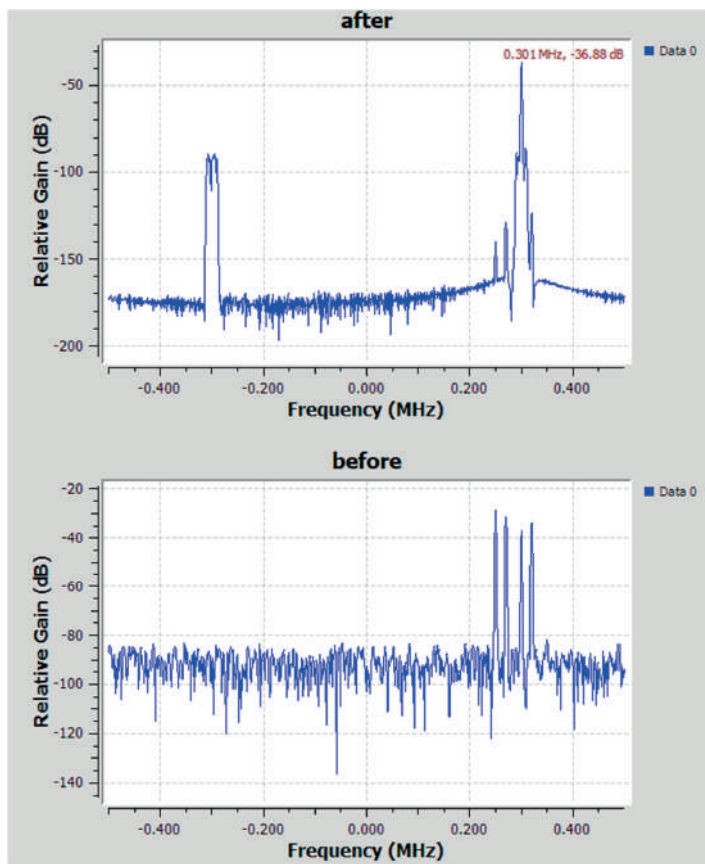
Уровень сигнала с частотой 5 кГц не изменился. Уровень сигнала с частотой 1 кГц уменьшился на 92,29 дБ.

16. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель радиовещания четырех каналов радиостанций на частотах 250 кГц (амплитуда 100 мВ), 270 кГц (амплитуда 80 мВ), 300 кГц (амплитуда 40 мВ) и 320 кГц (амплитуда 60 мВ) в присутствие сигнала помехи (гауссовский шум со средним уровнем 5 мВ). Построить полосовой фильтр сигнала, настроенный на частоту 300 кГц, путем последовательного включения двух фильтров: нижних частот (фильтр верхних частот: частота среза 310 кГц, ширина полосы перехода 100 Гц, остальные настройки – по умолчанию) и верхних частот (фильтр верхних частот: частота среза 290 кГц, ширина полосы перехода 100 Гц, остальные настройки – по умолчанию). Глобальная переменная частоты дискретизации 1 МГц. Получить спектр аддитивной смеси сигналов. Как изменятся уровни радиостанций, попавших в полосу загромождения и в полосу пропускания полосового фильтра? Определить ширину полосы фильтрации.

Решение:



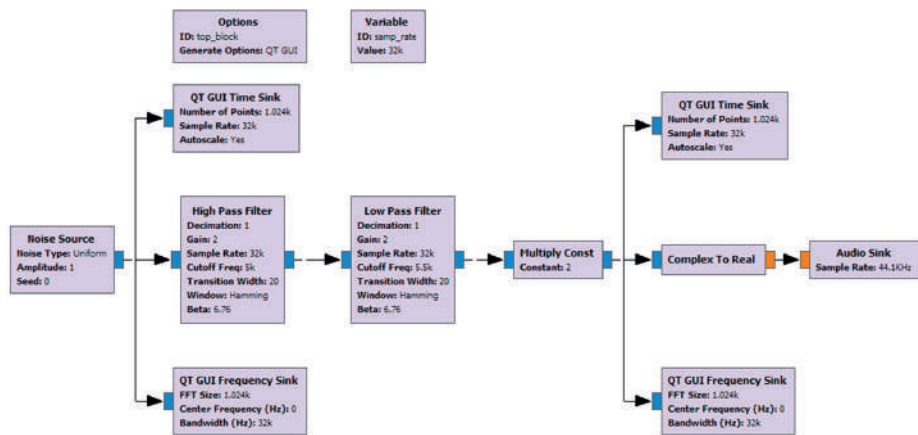
Ответ:



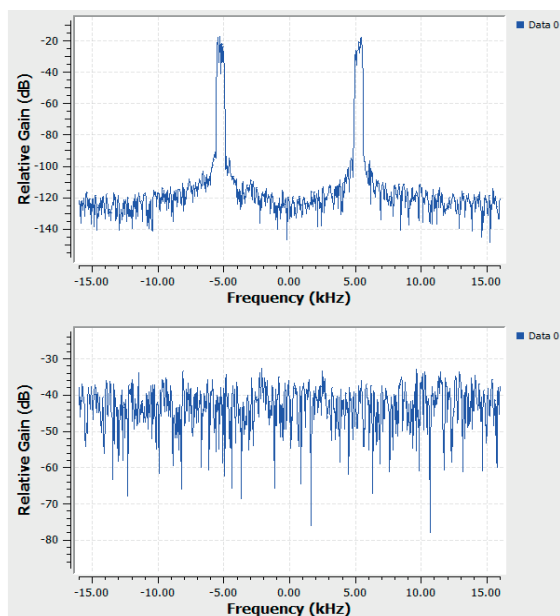
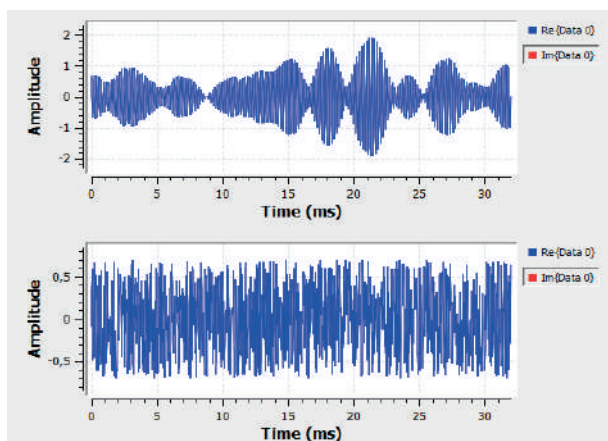
Уровень сигнала радиостанции на частоте 300 кГц составляет около – 36,88 дБ до и после фильтрации. Однако уровни соседних каналов радиостанций существенно спадают после фильтрации, попадая в полосу загромождения фильтра на 93,12 дБ. Таким образом, за счет подавления соседних каналов достигается частотная селекция принимаемой радиостанции. Ширина полосы фильтрации составляет около 20 кГц.

17. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель фильтрации белого (гауссовского) шума со средним уровнем 1000 мВ в частотной полосе 5,00...5,50 кГц. Глобальная переменная частоты дискретизации 32 кГц. Полосовой фильтр построить на базе двух фильтров – нижних и верхних частот. Настройки параметров фильтров: ФНЧ (частота среза 5,50 кГц, полоса перехода – 20 Гц), ФВЧ (частота среза 5,00 кГц, полоса перехода – 20 Гц). Усилить полученный сигнал в четыре раза. Получить осциллограммы и спектры сигналов до и после полосовой фильтрации. Как изменился спектр сигнала после цифровой фильтрации? Определить фактическую ширину полосы полученного сигнала на выходе фильтра. По форме осциллограммы отфильтрованного сигнала определить тип получившегося сигнала на выходе фильтра. Полученный сигнал вывести на звуковую карту и прослушать.

Решение:



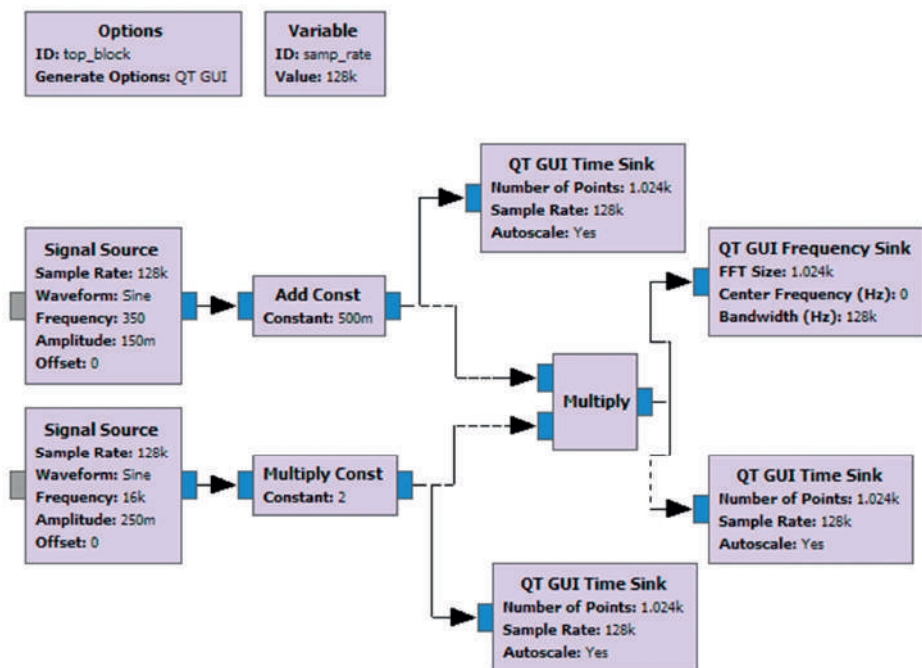
Ответ:



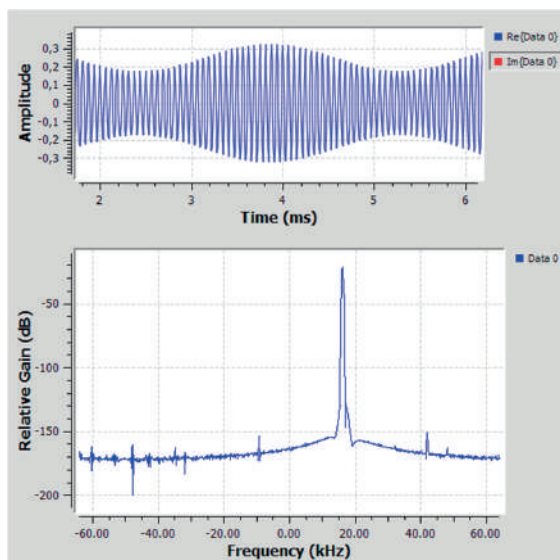
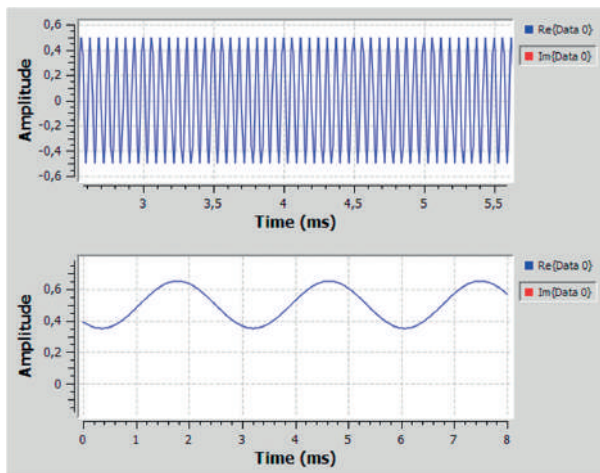
После фильтрации спектр сигнала будет ограничен фактической полосой частот 7,88...5,66 кГц. Уровень полученного сигнала в указанной полосе увеличится на 12 дБ. По форме осциллограммы тип получившегося сигнала на выходе фильтра соответствует АМ-сигналу со случайным модулирующим сигналом.

18. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель мультимплексирования двух гармонических сигналов: сигнал I (амплитуда 150 мВ, частота 350 Гц), сигнал II (амплитуда 500 мВ, частота 16 кГц). К сигналу I добавить постоянную составляющую 500 мВ. Сигнал II усилить в 2 раза. Глобальная переменная частоты дискретизации 128 кГц. Получить осциллограммы сигналов до блока мультимплексирования, а также осциллограмму и спектр конечного сигнала на выходе системы. Измерить минимальный и максимальный уровень получившегося сигнала. По временной форме сигнала определить его тип.

Решение:



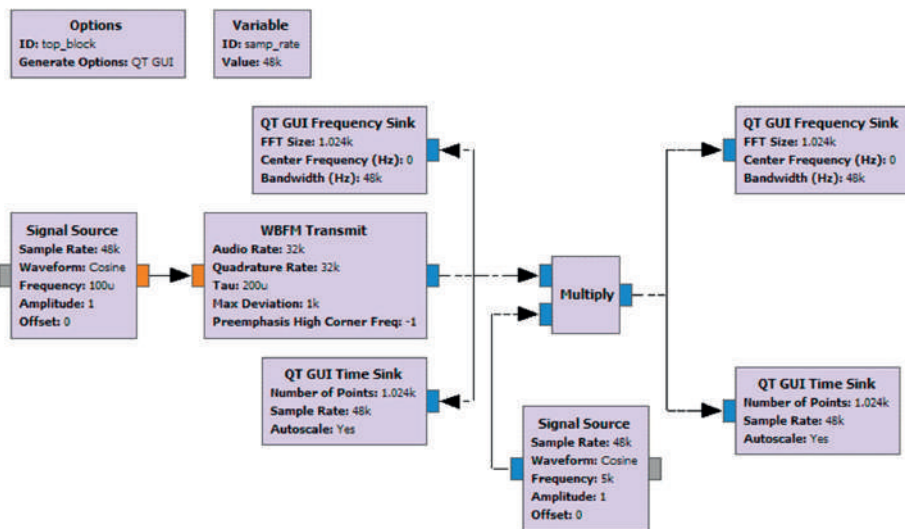
Ответ:



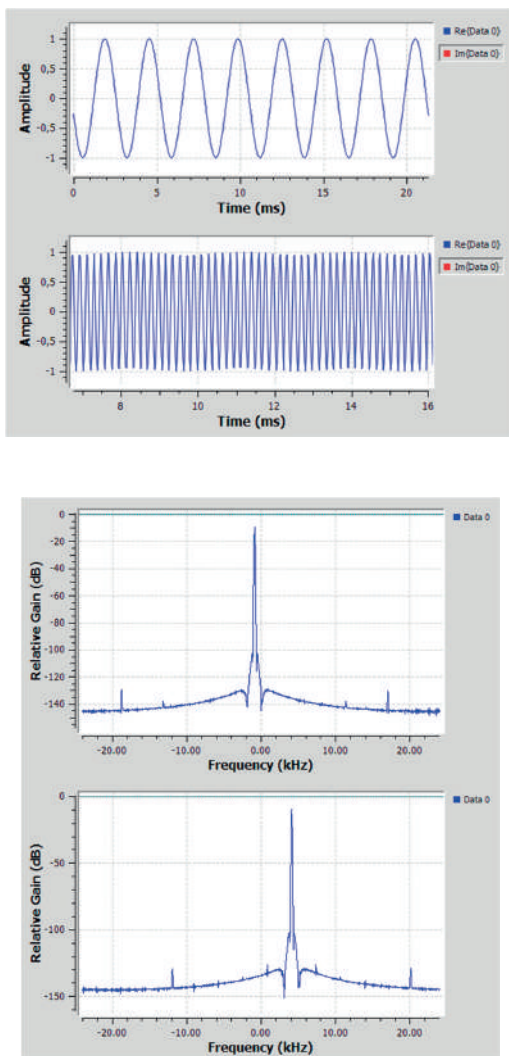
Минимальный уровень сигнала составляет около 175 мВ. Максимальный уровень сигнала составляет около 318 мВ. Тип сигнала – однотоновый АМ-сигнал. Частота несущей – 16 кГц (модулируемый сигнал), частота модулирующего сигнала – 350 Гц.

19. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель мультимплексирования двух сигналов: сигнал I (сигнал качающейся частоты, построенный на базе генератора гармонического сигнала (амплитуда 1 В, частота 100 мГц) и частотного модулятора (максимальная девиация частоты 1 кГц)), сигнал II – гармонический сигнал (амплитуда 1 В, частота 5 кГц). Глобальная переменная частоты дискретизации 48 кГц. Получить осциллограмму и спектр сигналов до блока мультимплексирования, а также осциллограмму и спектр конечного сигнала на выходе системы. Наблюдать изменение осциллограммы сигнала и его спектра во времени. Как изменились осциллограммы сигналов и их спектров после мультимплексирования? Определить частотный диапазон качания частоты на выходе системы. По временной форме сигнала определить его тип.

Решение:



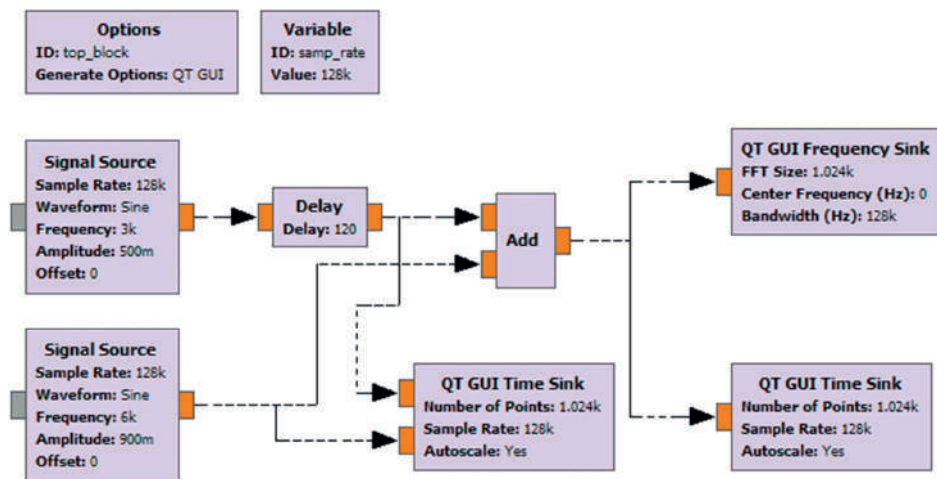
Ответ:



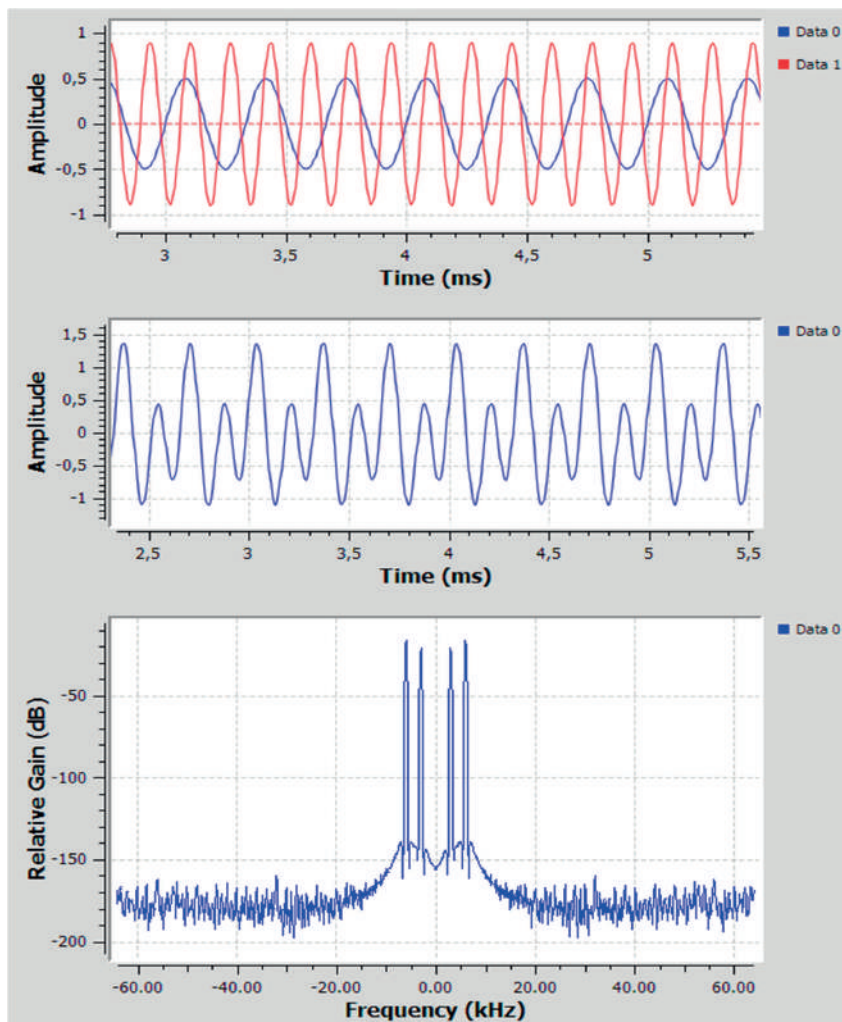
Сигнал качающейся частоты перенесся с нулевой на несущую частоту 5 кГц. Частотный диапазон качения частоты на выходе системы 4,0...6,0 кГц. Тип сигнала – однотоновый ЧМ-сигнал. Частота несущей – 5 кГц (модулируемый сигнал), частота модулирующего сигнала – 100 мкГц (исключительно для удобства наблюдения качения частоты на экране).

20. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель аддитивной смеси из двух сигналов: сигнал I (амплитуда 500 мВ, частота 3 кГц), сигнал II (амплитуда 900 мВ, частота 6 кГц). Сигнал I пропустить через линию задержки на 120 дискретов (точек). Глобальная переменная частоты дискретизации 128 кГц (т. е. 1 дискрет составляет $(1/128)$ мс или 7,8 мкс). Получить осциллограммы сигналов до блока сложения двух сигналов, а также осциллограмму и спектр конечного сигнала на выходе системы. Как влияет временной сдвиг на результирующий сигнал?

Решение:



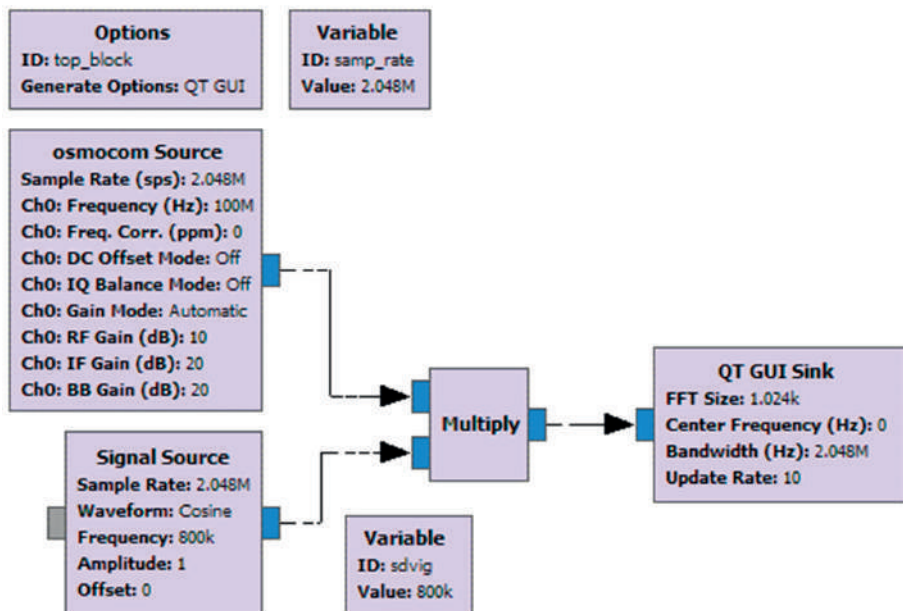
Отвеч:



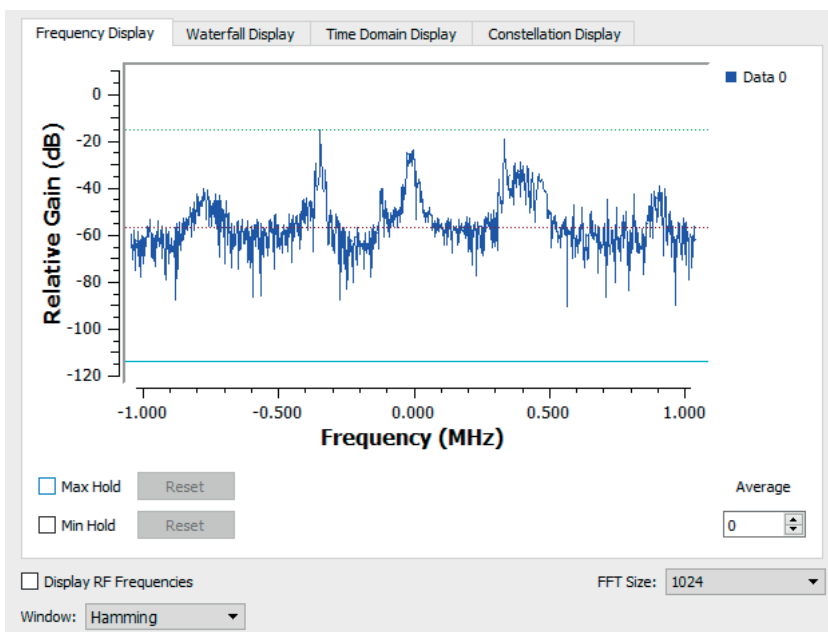
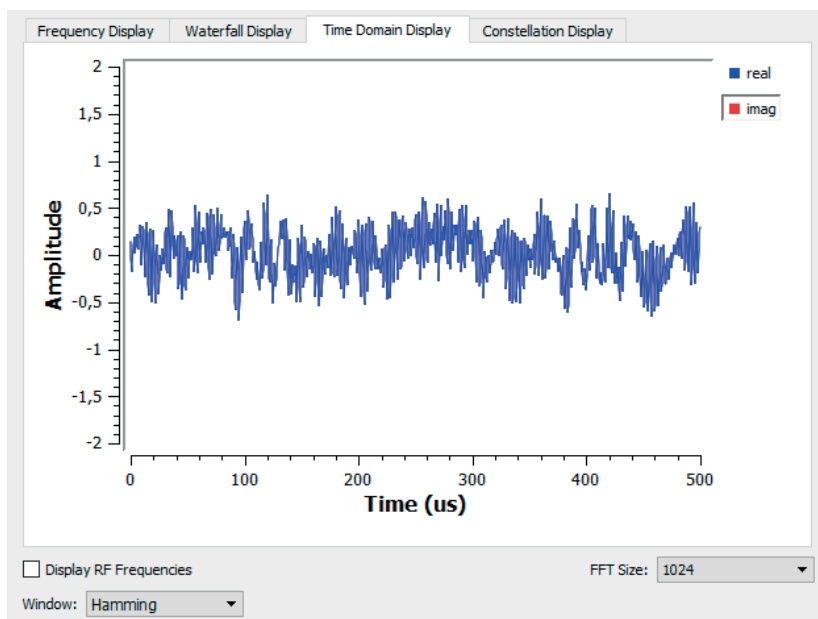
Изменение временной задержки одного из сигналов приводит к разной результирующей форме сигнала на выходе системы (наблюдается фазовое сложение сигналов). При этом амплитудный спектр результирующего сигнала на выходе остается неизменным.

21. В программно определяемой среде GNU Radio построить архитектуру SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на частоту 99,2 МГц. Коэффициент усиления тюнера 10 дБ. Центральная частота полосы обзора – 100 МГц. Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц. Произвести сдвиг радиостанции на нулевую частоту: для этого необходимо мультиплицировать сигнал тюнера с опорным сигналом +800 кГц и амплитудой 1 В (так как интересующая радиостанция находится слева от центральной частоты обзора). Получить сигнальную осциллограмму в принимаемой полосе обзора, спектр станций радиовещания, а также «водопадную» и фазовую диаграммы. Определить предельный уровень сигнала заданной радиостанции в дБ.

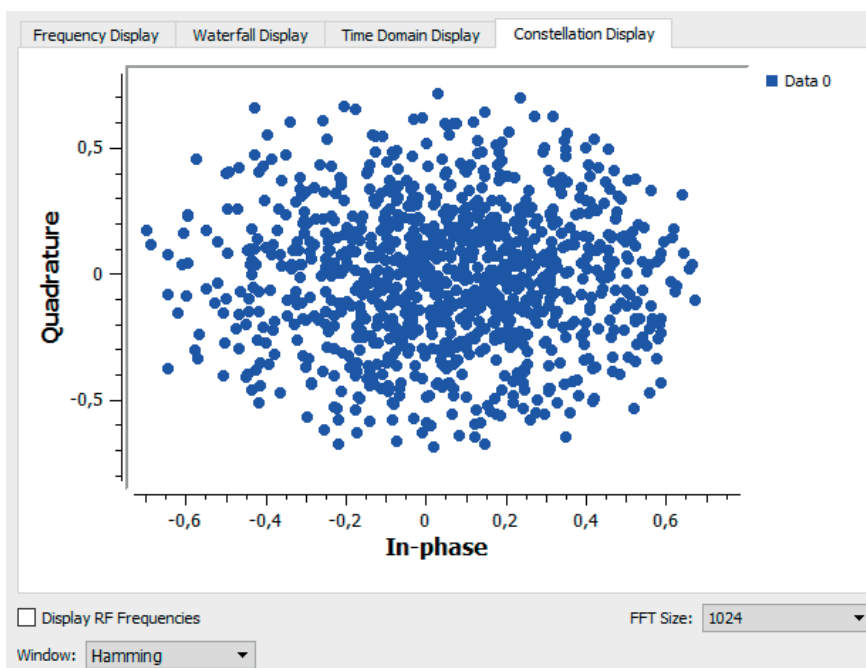
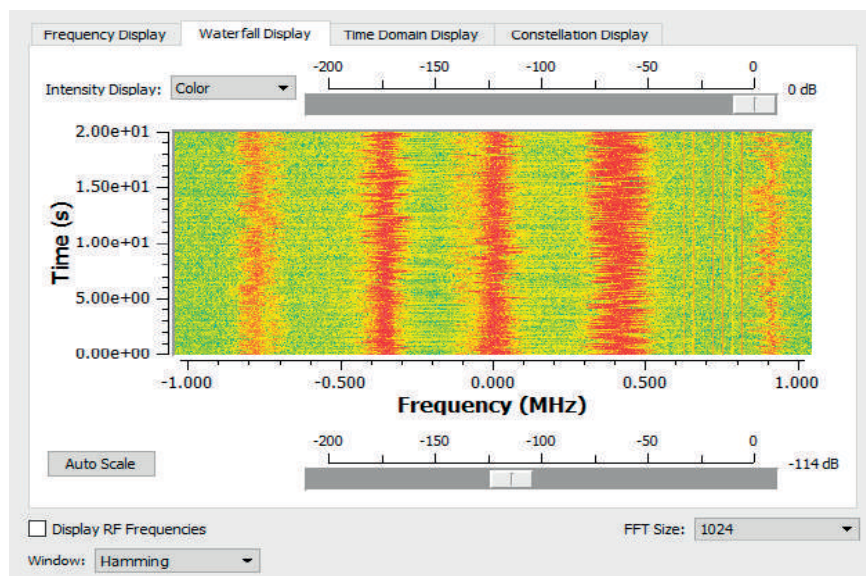
Решение:



Омгем:

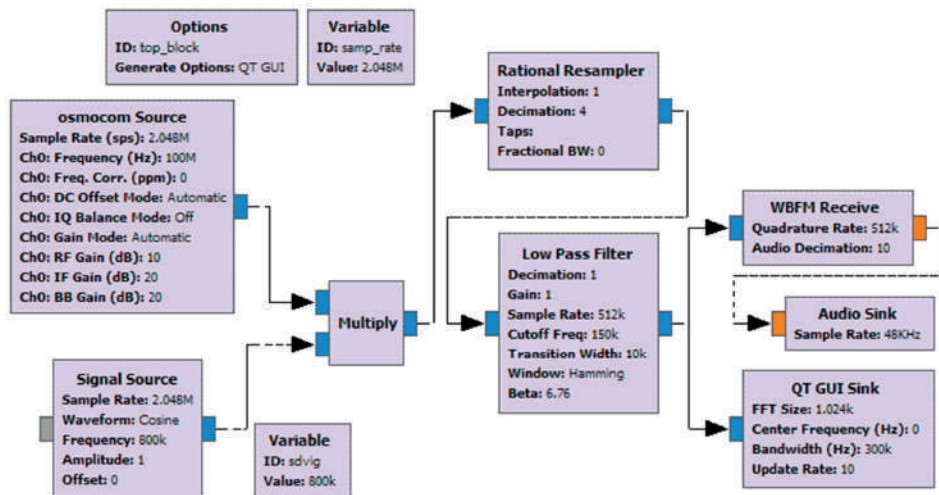


Предельный уровень принимаемой станции около -17,37 дБ.

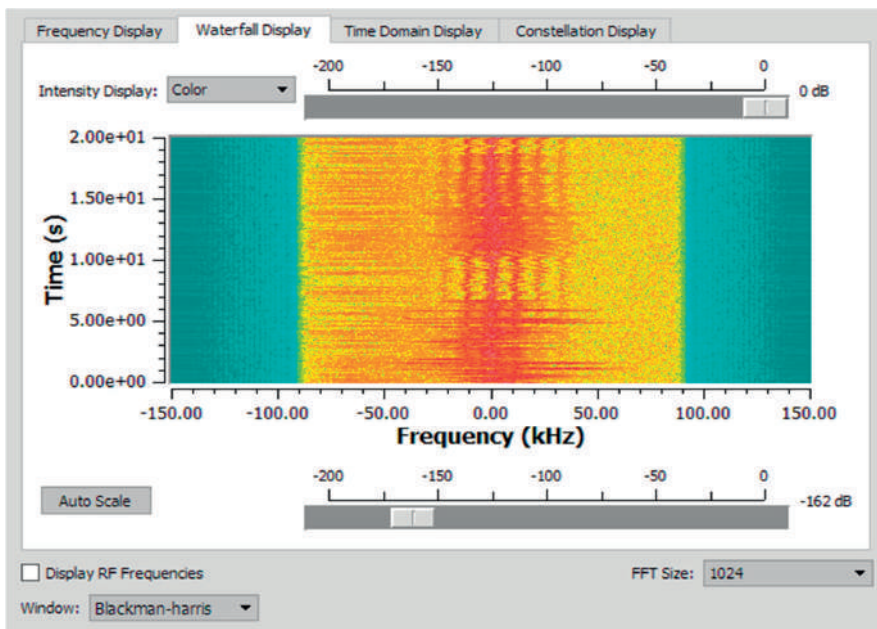
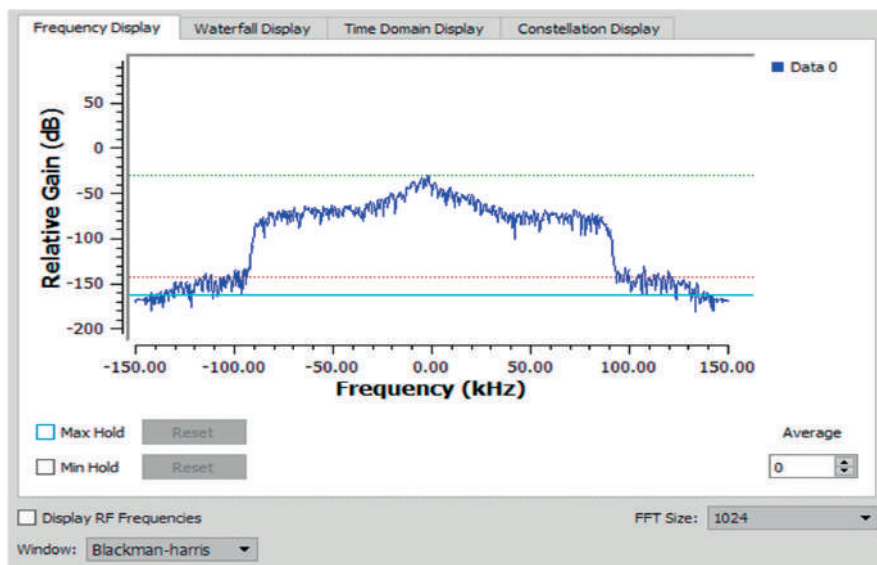


22. В программно определяемой среде GNU Radio построить архитектуру SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на частоту 99,2 МГц (исходные данные см. из решения задания № 21). Выполнить демодуляцию заданной ЧМ-радиостанции и вывести звуковой сигнал на аудиокарту. Для этого произвести децимацию сигнала радиостанции с коэффициентом децимации 4,0. Далее выполнить фильтрацию сигнала при помощи фильтра нижних частот (частота среза (полоса фильтрации) 150 кГц, полоса перехода 10 кГц, остальные настройки – по умолчанию). Установить следующие параметры частотного детектора (частота дискретизации 512 кГц, коэффициент аудио децимации – 10,0). Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц. Частота дискретизации аудиокарты – 48 кГц. Полоса анализатора – 300 кГц. Получить спектр станции радиовещания и ее «водопадную» диаграмму. Прослушать радиостанцию и убедиться в достаточном качестве ее приема.

Решение:

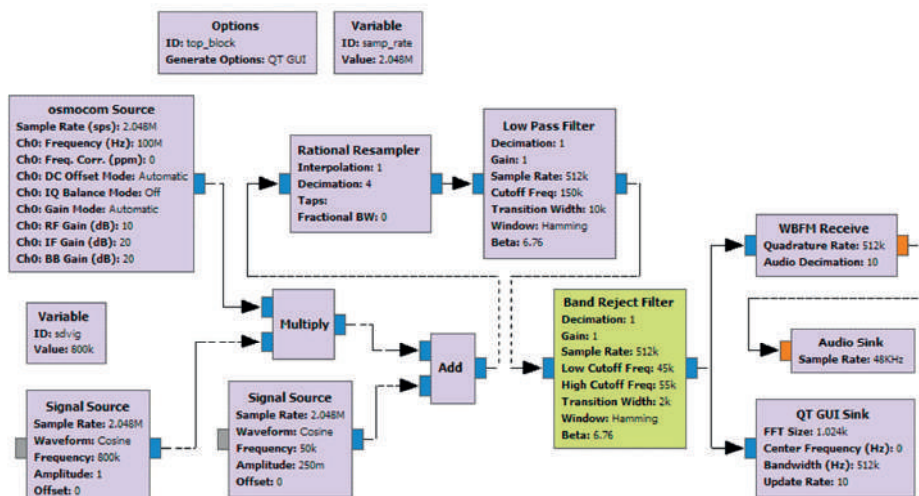


Omsgem:

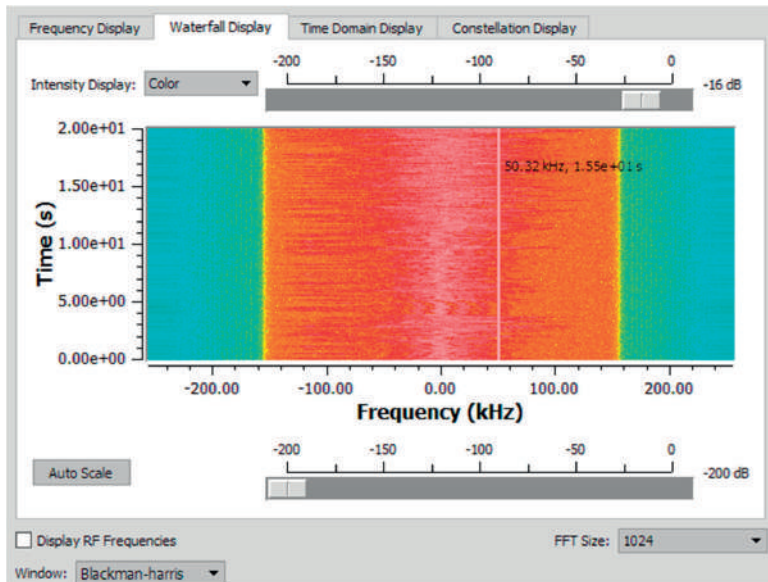
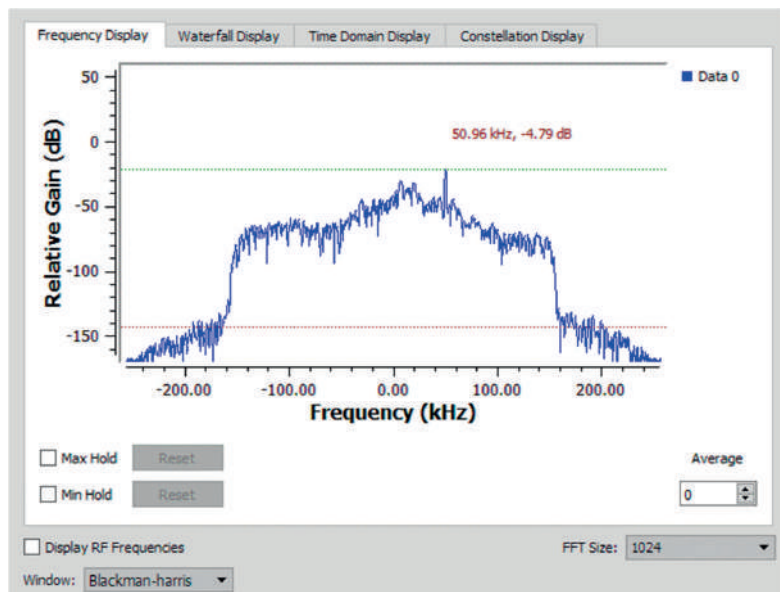


23. В программно определяемой среде GNU Radio построить архитектуру SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на частоту 99,2 МГц (исходные данные см. из решения задания № 22). Провести моделирование воздействия на радиостанцию узкополосного сигнала помехи на частоте 99,25 МГц (это эквивалентно аддитивному добавлению гармонического сигнала с частотой 50 кГц и амплитудой 250 мВ после процедуры переноса на нулевую частоту). Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц. Частота дискретизации аудиокарты – 48 кГц. Полоса анализатора – 512 кГц. Получить спектр станции радиовещания и ее «водопадную» диаграмму. Прослушать радиостанцию и убедиться в качестве ее приема при влиянии узкополосной помехи. Далее произвести подавление сигнала узкополосной помехи путем добавления в системную архитектуру устройства режекторного фильтра (нижняя частота среза 45 кГц, верхняя частота среза – 55 кГц, переходная ширина – 2 кГц). Получить спектр станции радиовещания и ее «водопадную» диаграмму после подавления помехи. Прослушать радиостанцию и убедиться в достаточном качестве ее приема.

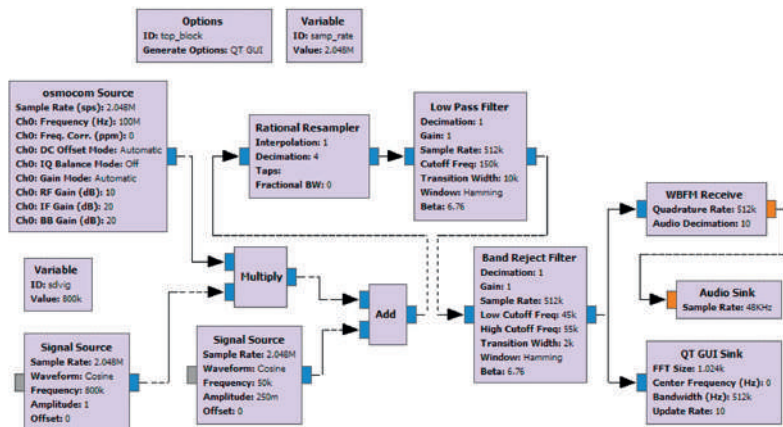
Решение 1: влияние помехи (сигнал проходит минуя ('Bypass') режекторный фильтр).



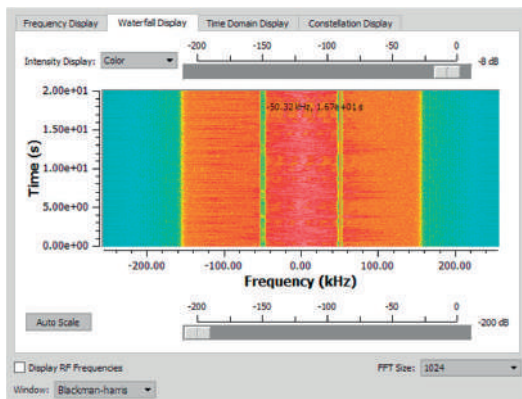
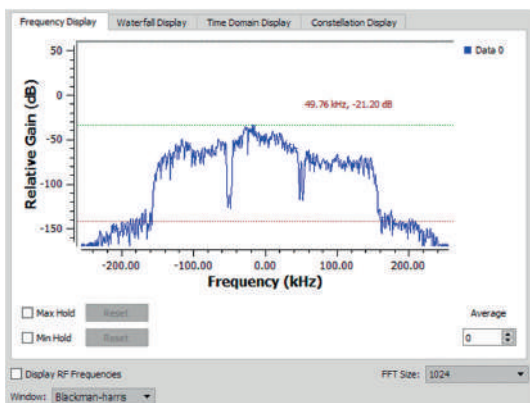
Omsiem 1:



Решение 2: подавление помехи (сигнал проходит через режекторный фильтр).

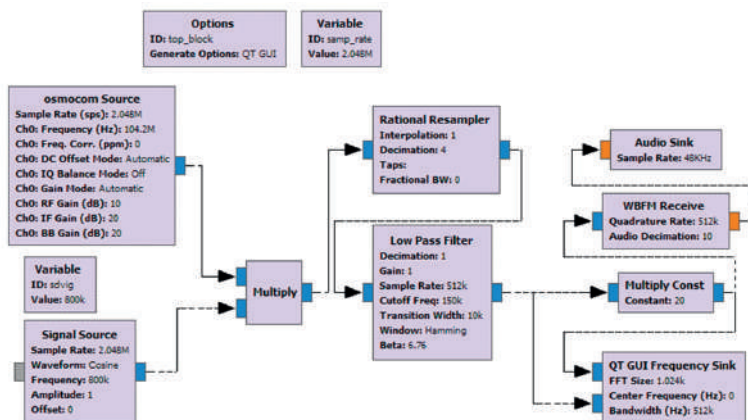


Ответ 2:

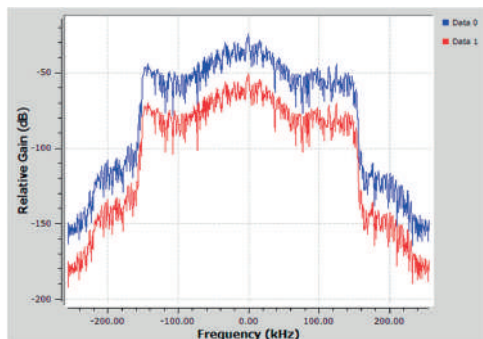


24. В программно определяемой среде GNU Radio построить архитектуру SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на частоту 103,4 МГц. Коэффициент усиления тюнера 10 дБ. Центральная частота полосы обзора – 104,2 МГц. Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц. Произвести сдвиг радиостанции на нулевую частоту: для этого необходимо мультимплексировать сигнал тюнера с опорным сигналом +800 кГц и амплитудой 1 В (так как интересующая радиостанция находится слева от центральной частоты обзора). Детектировать принимаемую радиостанцию. Данные детектирования взять из задания № 22. Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц. Частота дискретизации аудиокарты – 48 кГц. Полоса анализатора – 512 кГц. Усилить принимаемый сигнал в 20 раз. Получить амплитудный спектр станции радиовещания.

Решение:

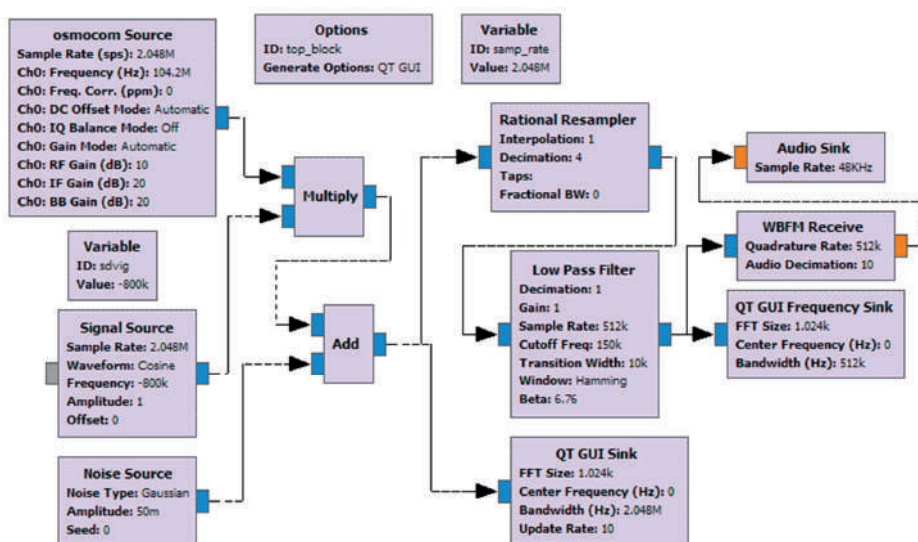


Ответ:

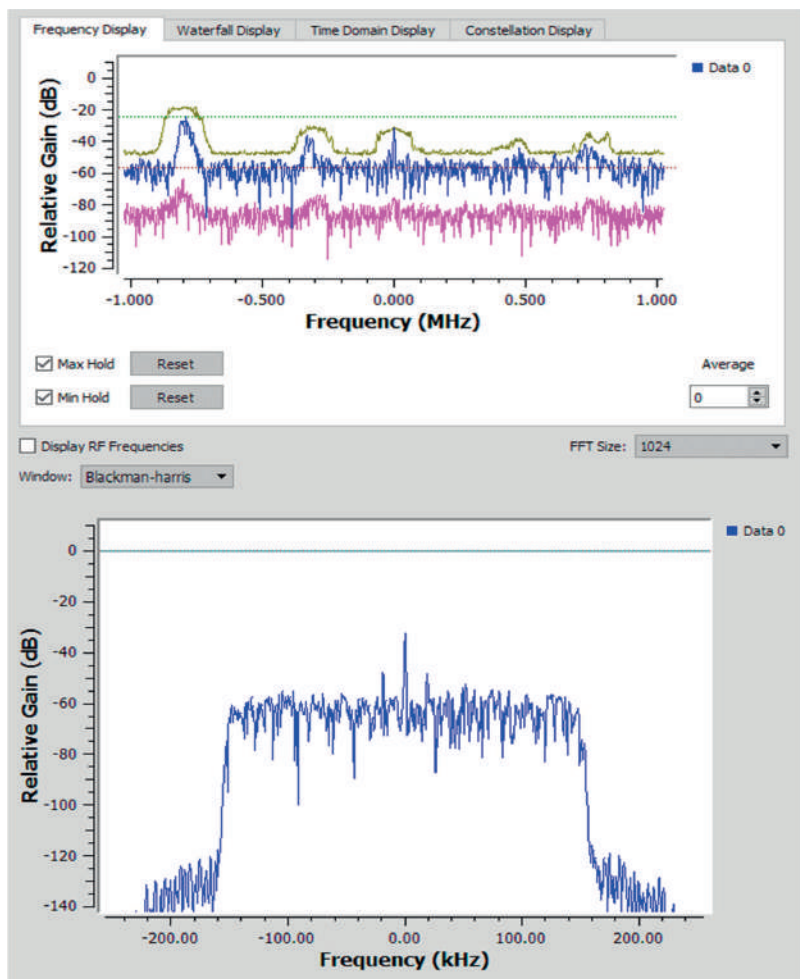


25. В программно определяемой среде GNU Radio построить архитектуру SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на частоту 105,0 МГц. Коэффициент усиления тюнера 10 дБ. Центральная частота полосы обзора – 104,2 МГц. Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц. Произвести сдвиг радиостанции на нулевую частоту: для этого необходимо мультипликировать сигнал тюнера с опорным сигналом -800 кГц и амплитудой 1 В (так как интересующая радиостанция находится справа от центральной частоты обзора). Детектировать принимаемую радиостанцию. Данные детектирования взять из задания № 22. Сигнал вывести на аудиокарту компьютера. Полоса анализатора – 512 кГц. Определить влияние широкополосной помехи (гауссовский шум со средним уровнем 100 мВ) на сигнал приема. Получить амплитудный спектр станции радиовещания. Определить отношение сигнал-шум.

Решение:



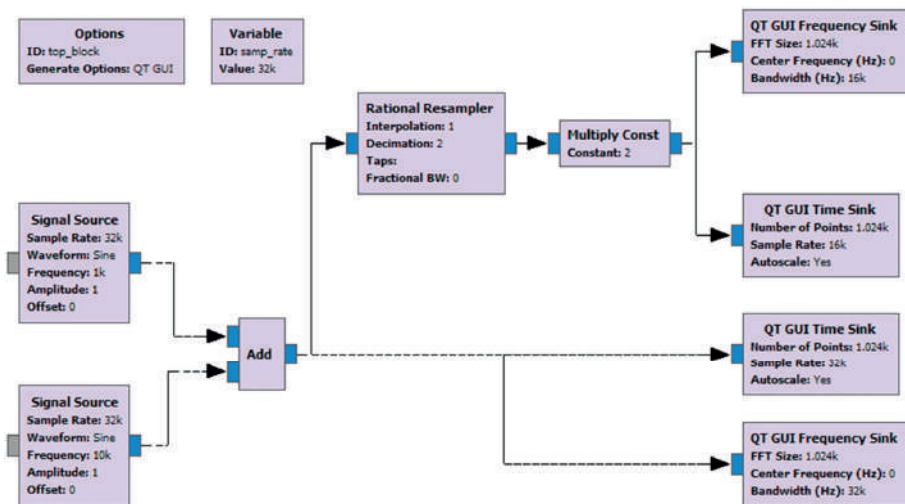
Отмет:



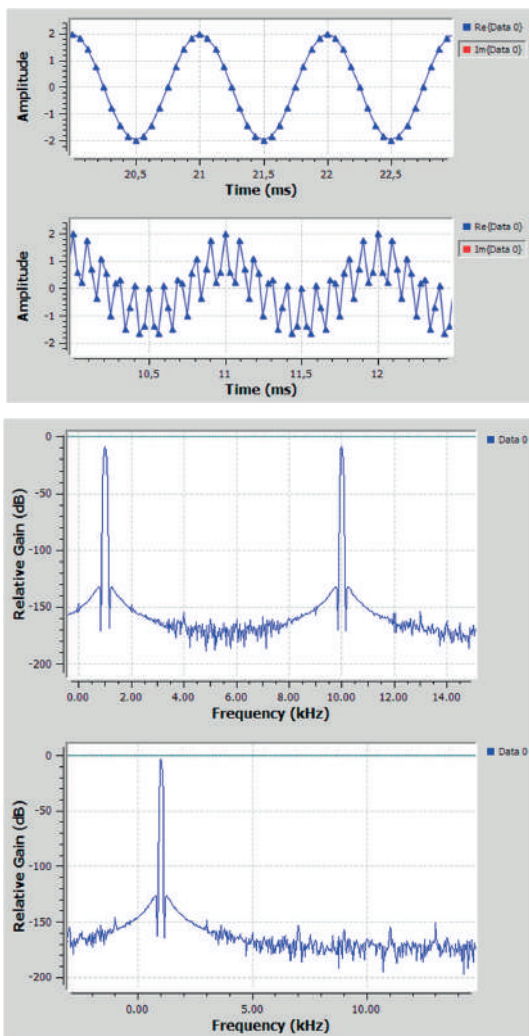
Отношение сигнал-шум на частоте 105,0 МГц составляет около 18,3 дБ.

26. В программно определяемой среде GNU Radio построить модель частотной децимации аддитивной смеси двух гармонических синусоидальных сигналов: сигнал I (амплитуда 1 В, частота 1 кГц), сигнал II (амплитуда 1 В, частота 10 кГц). Коэффициент децимации указать равный 2,0. Сигнал на выходе блока децимации усилить в два раза. Глобальная переменная частоты дискретизации 32 кГц. Получить осциллограммы и амплитудные спектры сигнала до и после децимации сигнала. Указать, как изменился абсолютный шаг дискретизации сигнала после двукратной децимации. Как влияет коэффициент децимации на результирующий сигнал? Почему составляющая сигнала на выходе системы с частотой 10 кГц исчезла с осциллограммы и спектра?

Решение:



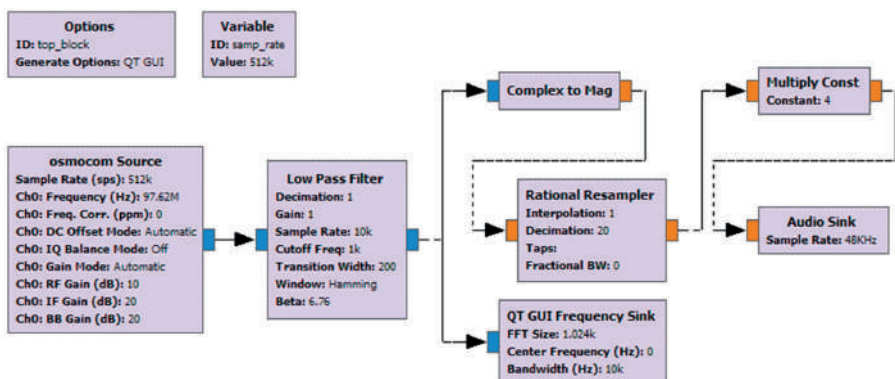
Ответ:



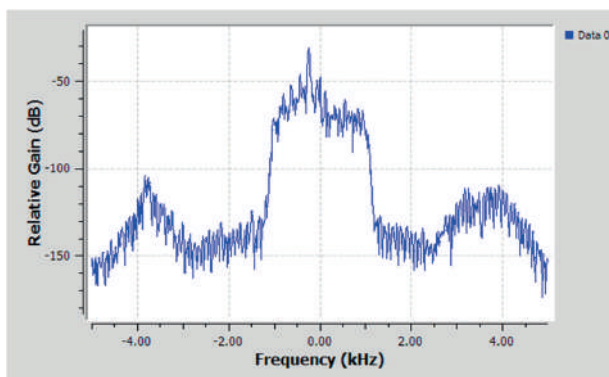
Увеличение коэффициента децимации увеличивает период дискретизации результирующего сигнала, в следствие чего составляющая сигнала II становится незаметной при оцифровке, т. е. децимация эквивалентна работе фильтра нижних частот. Поэтому всесоставная составляющая аддитивного сигнала пропала с экранов осциллографа и анализатора. За счет прореживания сигнала в два раза, поток данных также уменьшается в два раза. Шаг дискретизации был 0,03 мс, а стал 0,06 мс.

27. В программно определяемой среде GNU Radio построить архитектуру SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на частоту 97,62 МГц. Построить АМ-демодулятор. Для этого пропустить сигнал с приемника через фильтр нижних частот (частота дискретизации 10 кГц, частота среза 1 кГц, ширина перехода – 200 Гц, остальные настройки по умолчанию). Далее преобразовать формат «complex» в значение его модуля. После чего произвести децимацию сигнала (коэффициент децимации 20,0) и усилить сигнал в 4 раза. Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 512 кГц. Частота дискретизации аудиокарты – 48 кГц. Полоса анализатора – 10 кГц. Получить спектр станции радиовещания. Прослушать радиостанцию и убедиться в достаточном качестве ее приема.

Решение:

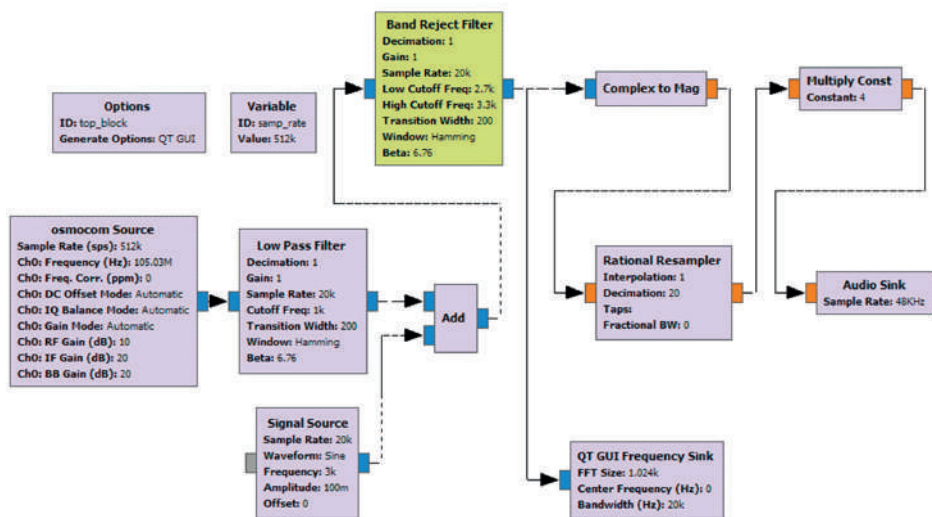


Отчет:

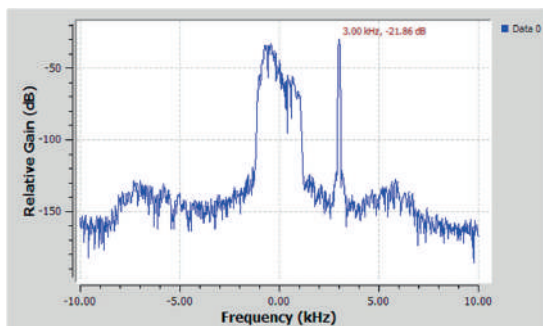


28. В программно определяемой среде GNU Radio построить архитектуру SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на частоту 105,02 МГц. Построить АМ-демодулятор. Для этого пропустить сигнал с приемника через фильтр нижних частот (частота дискретизации 20 кГц, частота среза 1 кГц, ширина перехода – 200 Гц, остальные настройки по умолчанию). Далее преобразовать формат «complex» в значение его модуля. После чего проинтегрировать сигнал (коэффициент децимации 20,0) и усилить сигнал в 4 раза. Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 512 кГц. Частота дискретизации аудиокарты – 48 кГц. Полоса анализатора – 20 кГц. Внести воздействие узкополосной помехи на частоте 3 кГц (амплитуда 100 мВ). Получить спектр станции радиовещания. Прослушать радиостанцию и убедиться в качестве ее приема. Обеспечить подавление помехи при помощи режекторного фильтра. Снова получить спектр станции радиовещания. Прослушать радиостанцию и убедиться в достаточном качестве ее приема. Сронить две полученные спектрограммы. Определить на сколько удалось подавить сигнал узкополосной помехи.

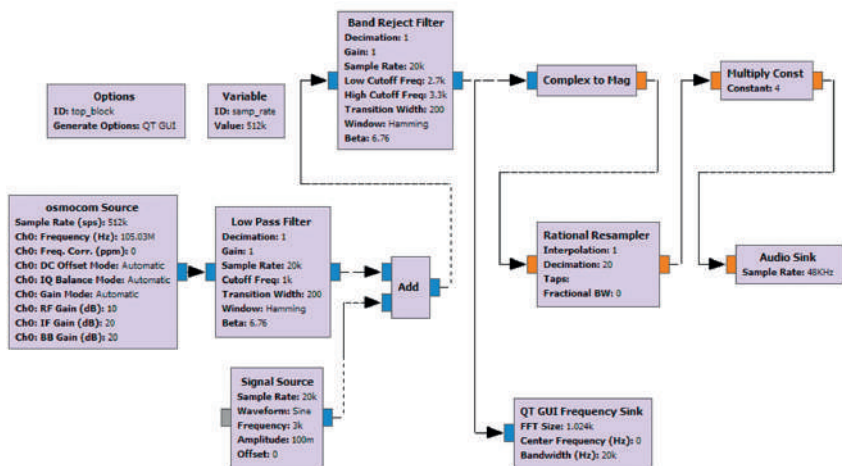
Решение 1: (сигнал проходит, минуя режекторный фильтр).



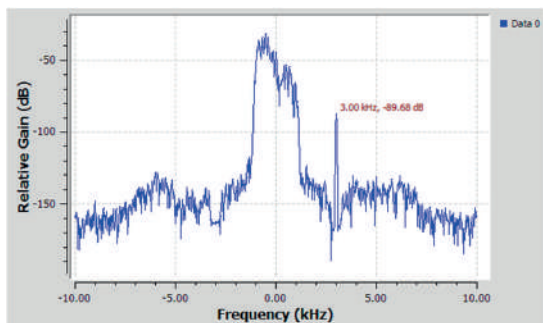
Отчет 1:



Решение 2: (сигнал проходит через режсекторный фильтр).



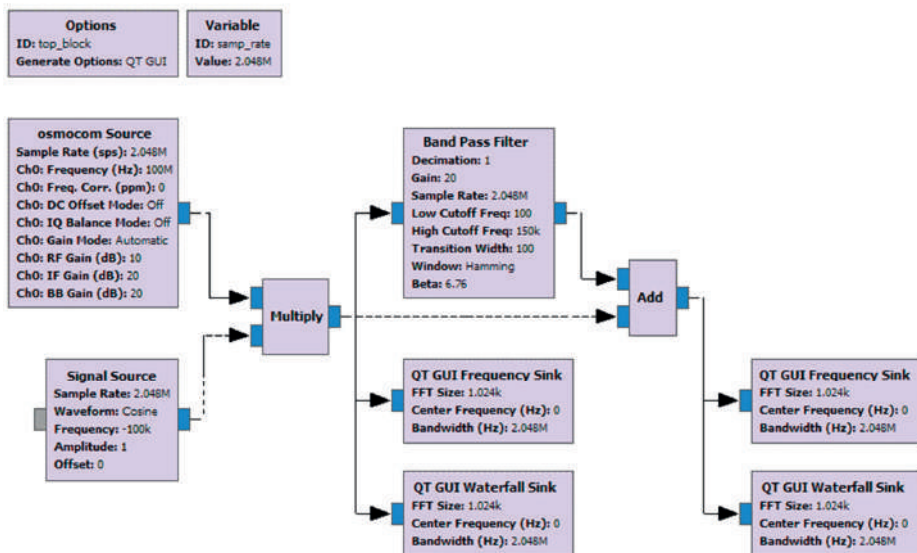
Отчет 2:



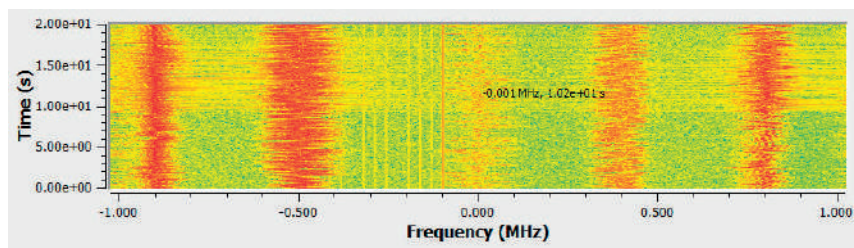
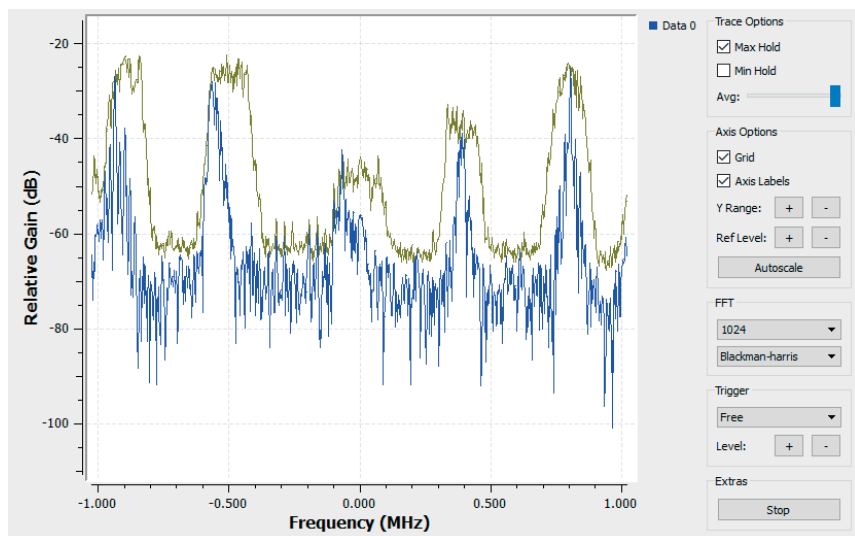
Сигнал узкополосной помехи (частоте 3 кГц) удалось подавить на 67,82 дБ.

29. В программно определяемой среде GNU Radio построить архитектуру SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на центральную частоту 100 МГц. Коэффициент усиления тюнера 12 дБ. Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц. Получить частотный спектр станций радиовещания и «водопадную» диаграмму. Определить несущие частоты радиостанций f_i в МГц и предельный уровень сигнала каждой радиостанции S_i в дБ. При помощи полосно-пропускающего фильтра усилить станцию, настроенную на частоту 100,1 МГц на 20 дБ, оставив при этом неизменными уровни соседних станций.

Решение:



Ответ 1: (до полосового усиления радиоканала на частоте 100,1 МГц).



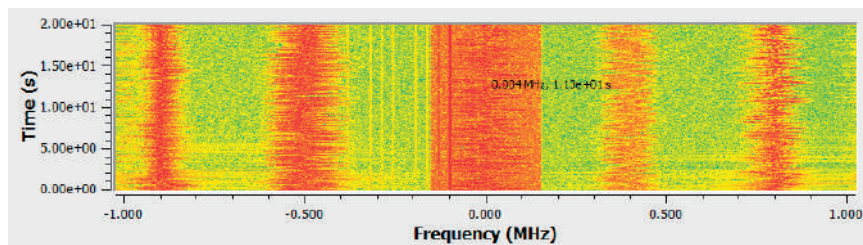
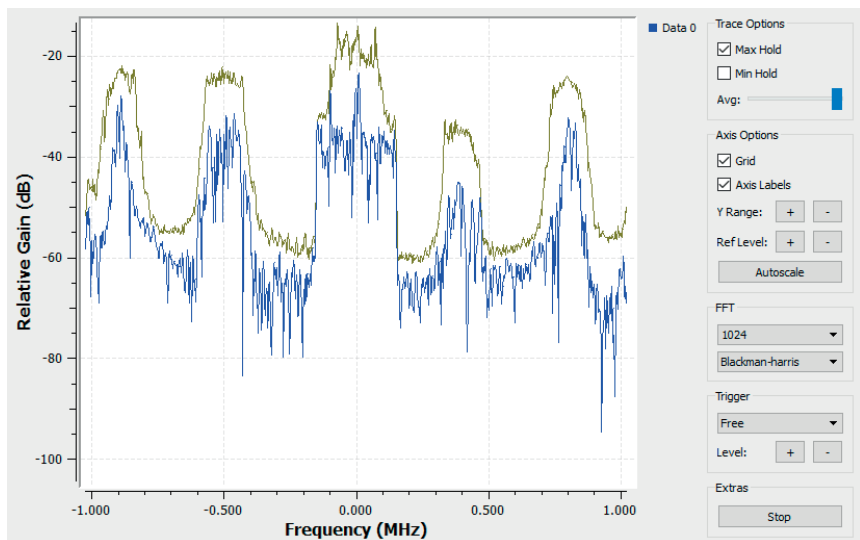
Зафиксированные радиостанции в полосе обзора 100,1 МГц±1,024 МГц:

$$f_i = \{99,2 \text{ МГц}; 99,6 \text{ МГц}; 100,1 \text{ МГц}; 100,5 \text{ МГц}; 100,9 \text{ МГц}\}.$$

Предельный уровень сигнала каждой радиостанции

$$S_i = \{-18 \text{ дБ}; -21 \text{ дБ}; -40 \text{ дБ}; -32 \text{ дБ}; -21 \text{ дБ}\}$$

Ответ 2: (после полосового усиления радиоканала на частоте 100,1 МГц на 20 дБ).

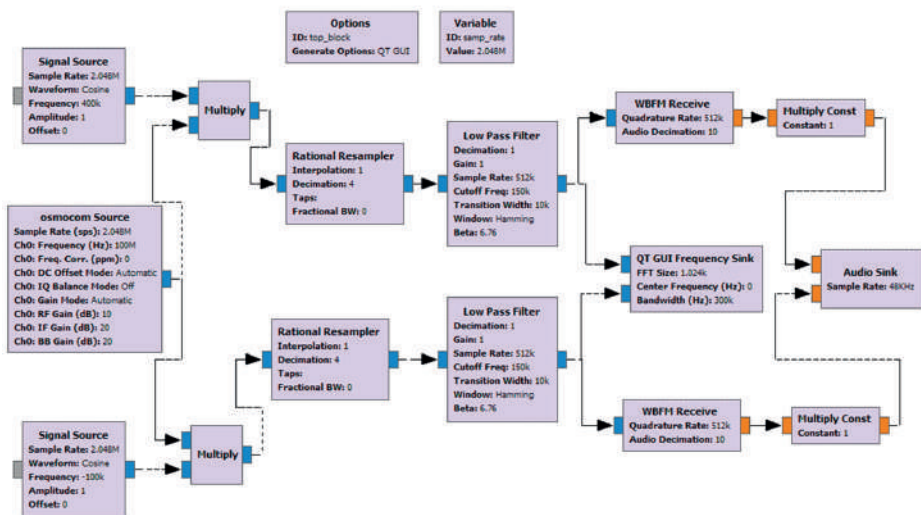


Предельный уровень сигнала каждой радиостанции

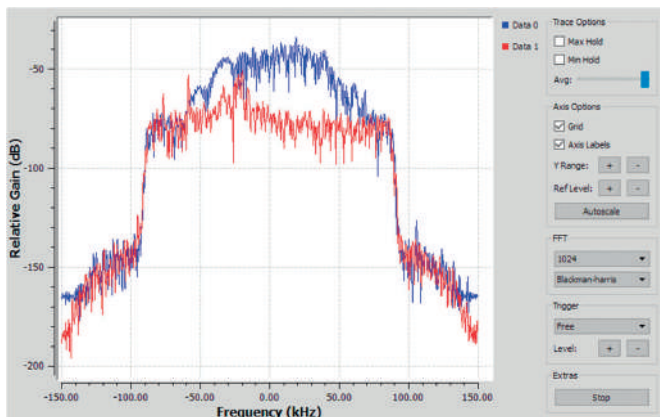
$$S_i = \{-18 \text{ дБ}; -21 \text{ дБ}; -20 \text{ дБ}; -32 \text{ дБ}; -21 \text{ дБ}\}$$

30. В программно определяемой среде GNU Radio построить архитектуру двухканального SDR-приемника на базе USB RTL-SDR тюнера RTL2832, настроенного на частоту 99,6 МГц и 100,1 МГц. Центральная частота приемника 100 МГц. Выполнить демодуляцию заданной ЧМ-радиостанции и вывести звуковой сигнал на аудиокарту (исходные данные см. из решения задания № 22). Глобальная переменная частоты дискретизации (ширина полосы обзора) 2,048 МГц. Частота дискретизации аудиокарты – 48 кГц. Полоса анализатора – 300 кГц. Получить амплитудные спектры станций радиовещания и их «водопадные» диаграммы. Прослушать две радиостанции одновременно в режиме стерео и убедиться в достаточном качестве приема эфирного вещания. Результат визуального программирования архитектуры SDR-приемника сформировать в программный листинг на языке Python.

Решение:



Ответ:



Программный листинг двухканального SDR-приемника на языке Python:

```
#!/usr/bin/env python2
# -*- coding: utf-8 -*-
#####
# GNU Radio Python Flow Graph
# Title: Top Block
# Generated: Sat Mar 14 22:32:40 2020
#####

if __name__ == '__main__':
    import ctypes
    import sys
    if sys.platform.startswith('linux'):
        try:
            x11 = ctypes.cdll.LoadLibrary('libX11.so')
            x11.XInitThreads()
        except:
            print "Warning: failed to XInitThreads()"

from PyQt4 import Qt
from gnuradio import analog
from gnuradio import audio
```

```

from gnuradio import blocks
from gnuradio import eng_notation
from gnuradio import filter
from gnuradio import gr
from gnuradio import qtgui
from gnuradio.eng_option import eng_option
from gnuradio.filter import firdes
from optparse import OptionParser
import osmosdr
import sip
import sys
import time
from gnuradio import qtgui

class top_block(gr.top_block, Qt.QWidget):

    def __init__(self):
        gr.top_block.__init__(self, "Top Block")
        Qt.QWidget.__init__(self)
        self.setWindowTitle("Top Block")
        qtgui.util.check_set_qss()
        try:
            self.setWindowIcon(Qt.QIcon.fromTheme('gnuradio-gre'))
        except:
            pass
        self.top_scroll_layout = Qt.QVBoxLayout()
        self.setLayout(self.top_scroll_layout)
        self.top_scroll = Qt.QScrollArea()
        self.top_scroll.setFrameStyle(Qt.QFrame.NoFrame)
        self.top_scroll_layout.addWidget(self.top_scroll)
        self.top_scroll.setWidgetResizable(True)
        self.top_widget = Qt.QWidget()
        self.top_scroll.setWidget(self.top_widget)
        self.top_layout = Qt.QVBoxLayout(self.top_widget)
        self.top_grid_layout = Qt.QGridLayout()
        self.top_layout.addLayout(self.top_grid_layout)

        self.settings = Qt.QSettings("GNU Radio", "top_block")

```

```

self.restoreGeometry(self.settings.value("geometry").toByteArray())

#####
# Variables
#####

self.samp_rate = samp_rate = 2.048e6

#####
# Blocks
#####

self.rational_resampler_xxx_0 = filter.rational_resampler_ccc(
    interpolation=1,
    decimation=4,
    taps=None,
    fractional_bw=None,
)

self.rational_resampler_xxx_0 = filter.rational_resampler_ccc(
    interpolation=1,
    decimation=4,
    taps=None,
    fractional_bw=None,
)

self.qtgui_freq_sink_x_0 = qtgui.freq_sink_c(
    1024, #size
    firdes.WIN_BLACKMAN_hARRIS, #wintype
    0, #fc
    300e3, #bw
    "", #name
    2 #number of inputs
)

self.qtgui_freq_sink_x_0.set_update_time(0.10)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_y_axis(-140, 10)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_y_label('Relative Gain', 'dB')
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_trigger_mode(qtgui.TRIG_MODE_FREE, 0.0, 0, "")
self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_autoscale(False)
self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_grid(False)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_fft_average(1.0)
self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_axis_labels(True)

```

```

self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_control_panel(True)

if not True:
    self.qtgui_freq_sink_x_0.disable_legend()

if "complex" == "float" or "complex" == "msg_float":
    self.qtgui_freq_sink_x_0.set_plot_pos_half(not True)

labels = [",", ",", ",", ",",
           ",", ",", ",", "]
widths = [1, 1, 1, 1, 1,
           1, 1, 1, 1, 1]
colors = ["blue", "red", "green", "black", "cyan",
          "magenta", "yellow", "dark red", "dark green", "dark blue"]
alphas = [1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0,
          1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0]
for i in xrange(2):
    if len(labels[i]) == 0:
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_label(i, "Data {0}".format(i))
    else:
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_label(i, labels[i])
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_width(i, widths[i])
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_color(i, colors[i])
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_alpha(i, alphas[i])

self._qtgui_freq_sink_x_0_win = sip.wrapinstance(self.qtgui_freq_sink_x_0.pyqwidget(), Qt.QWidget)
self.top_grid_layout.addWidget(self._qtgui_freq_sink_x_0_win)
self.osmosdr_source_0 = osmosdr.source( args="numchan=" + str(1) + " " + " ")
self.osmosdr_source_0.set_sample_rate(samp_rate)
self.osmosdr_source_0.set_center_freq(100e6, 0)
self.osmosdr_source_0.set_freq_corr(0, 0)
self.osmosdr_source_0.set_dc_offset_mode(2, 0)
self.osmosdr_source_0.set_iq_balance_mode(0, 0)
self.osmosdr_source_0.set_gain_mode(True, 0)
self.osmosdr_source_0.set_gain(10, 0)
self.osmosdr_source_0.set_if_gain(20, 0)
self.osmosdr_source_0.set_bb_gain(20, 0)
self.osmosdr_source_0.set_antenna("", 0)

```

```
self.osmosdr_source_0.set_bandwidth(0, 0)
```

```
self.low_pass_filter_0_0 = filter.fir_filter_ccf(1, firdes.low_pass(
    1, 512e3, 150e3, 10e3, firdes.WIN_HAMMING, 6.76))
```

```
self.low_pass_filter_0 = filter.fir_filter_ccf(1, firdes.low_pass(
    1, 512e3, 150e3, 10e3, firdes.WIN_HAMMING, 6.76))
```

```
self.blocks_multiply_xx_0_0 = blocks.multiply_vcc(1)
```

```
self.blocks_multiply_xx_0 = blocks.multiply_vcc(1)
```

```
self.blocks_multiply_const_vxx_0_0 = blocks.multiply_const_vff((1, ))
```

```
self.blocks_multiply_const_vxx_0 = blocks.multiply_const_vff((1, ))
```

```
self.audio_sink_0 = audio.sink(48000, "", True)
```

```
self.analog_wfm_rcv_0_0 = analog.wfm_rcv(
    quad_rate=512e3,
    audio_decimation=10,
)
```

```
self.analog_wfm_rcv_0 = analog.wfm_rcv(
    quad_rate=512e3,
    audio_decimation=10,
)
```

```
self.analog_sig_source_x_0_0 = analog.sig_source_c(samp_rate, analog.GR_COS_WAVE, -100e3, 1,
```

```
0)
```

```
self.analog_sig_source_x_0 = analog.sig_source_c(samp_rate, analog.GR_COS_WAVE, 400e3, 1, 0)
```

```
#####
```

```
# Connections
```

```
#####
```

```
self.connect((self.analog_sig_source_x_0, 0), (self.blocks_multiply_xx_0, 0))
```

```
self.connect((self.analog_sig_source_x_0_0, 0), (self.blocks_multiply_xx_0_0, 1))
```

```
self.connect((self.analog_wfm_rcv_0, 0), (self.blocks_multiply_const_vxx_0_0, 0))
```

```
self.connect((self.analog_wfm_rcv_0_0, 0), (self.blocks_multiply_const_vxx_0, 0))
```

```
self.connect((self.blocks_multiply_const_vxx_0, 0), (self.audio_sink_0, 1))
```

```
self.connect((self.blocks_multiply_const_vxx_0_0, 0), (self.audio_sink_0, 0))
```

```
self.connect((self.blocks_multiply_xx_0, 0), (self.rational_resampler_xxx_0, 0))
```

```
self.connect((self.blocks_multiply_xx_0_0, 0), (self.rational_resampler_xxx_0_0, 0))
```

```
self.connect((self.low_pass_filter_0, 0), (self.analog_wfm_rcv_0, 0))
```

```
self.connect((self.low_pass_filter_0, 0), (self.qtgui_freq_sink_x_0, 0))
```

```
self.connect((self.low_pass_filter_0_0, 0), (self.analog_wfm_rcv_0_0, 0))
```

```
self.connect((self.low_pass_filter_0_0, 0), (self.qtgui_freq_sink_x_0, 1))
```

```

self.connect((self.osmosdr_source_0, 0), (self.blocks_multiply_xx_0, 1))
self.connect((self.osmosdr_source_0, 0), (self.blocks_multiply_xx_0_0, 0))
self.connect((self.rational_resampler_xxx_0, 0), (self.low_pass_filter_0, 0))
self.connect((self.rational_resampler_xxx_0_0, 0), (self.low_pass_filter_0_0, 0))

def closeEvent(self, event):
    self.settings = Qt.QSettings("GNU Radio", "top_block")
    self.settings.setValue("geometry", self.saveGeometry())
    event.accept()

def get_samp_rate(self):
    return self.samp_rate

def set_samp_rate(self, samp_rate):
    self.samp_rate = samp_rate
    self.osmosdr_source_0.set_sample_rate(self.samp_rate)
    self.analog_sig_source_x_0.set_sampling_freq(self.samp_rate)
    self.analog_sig_source_x_0.set_sampling_freq(self.samp_rate)

def main(top_block_cls=top_block, options=None):
    from distutils.version import StrictVersion
    if StrictVersion(Qt.qVersion()) >= StrictVersion("4.5.0"):
        style = gr.prefs().get_string('qtgui', 'style', 'raster')
        Qt.QApplication.setGraphicsSystem(style)
    qapp = Qt.QApplication(sys.argv)

    tb = top_block_cls()
    tb.start()
    tb.show()

    def quitting():
        tb.stop()
        tb.wait()
    qapp.connect(qapp, Qt.SIGNAL("aboutToQuit()"), quitting)
    qapp.exec_()

if __name__ == '__main__':
    main()

```

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П. 1

ЧАСТОТНАЯ СЕТКА УКВ РАДИОВЕЩАНИЯ

Частота, МГц	Наименование	Место установки передатчика / Мощность, кВт
FM радиостанции Москвы - CCIR FM (диапазон 87,5...108 МГц)		
87,5	<i>Бизнес FM</i>	Останкино МСК / 5,0
87,9	<i>Like FM</i>	Балашиха МО / 5,0
88,3	<i>Радио Ретро FM</i>	Останкино МСК / 5,0
88,7	<i>Юмор FM</i>	Балашиха МО / 10,0
89,1	<i>Радио Джаз</i>	Останкино МСК / 5,0
89,5	<i>Радио Мегapolis FM</i>	Балашиха МО / 10,0
89,9	<i>Страна FM</i>	Балашиха МО / 5,0
90,3	<i>АвтоРадио</i>	Балашиха МО / 20,0
90,8	<i>Relax-FM</i>	Балашиха МО / 5,0
91,6	<i>Радио Культура</i>	Останкино МСК / 5,0
92,0	<i>Москва FM</i>	Балашиха МО / 5,0
92,4	<i>Радио Дача</i>	Ходынка (Октод) МСК / 5,0
92,8	<i>Радио Карнавал</i>	Балашиха МО / 5,0
93,2	<i>Studio 21 new!</i>	Балашиха МО / 5,0
93,6	<i>Коммерсант FM</i>	Останкино МСК / 5,0
94,0	<i>Восток FM</i>	Ходынка (Октод) МСК / 5,0
94,4	<i>Весна FM</i>	Ходынка (Октод) МСК / 5,0
94,8	<i>Говорит Москва</i>	Останкино МСК / 5,0
95,2	<i>Рок FM</i>	Останкино МСК / 5,0
95,6	<i>Радио Звезда-FM</i>	Балашиха МО / 10,0
96,0	<i>Дорожное радио</i>	Балашиха МО / 5,0
96,4	<i>Такси FM</i>	Ходынка (Октод) МСК / 5,0
96,8	<i>Детское радио</i>	Балашиха МО / 5,0
97,2	<i>Общее радио – Радио Ком. правда</i>	Балашиха МО / 10,0
97,6	<i>Вести FM</i>	Останкино МСК / 5,0
98,0	<i>Радио Шоколад</i>	Останкино МСК / 5,0
98,4	<i>Новое Радио</i>	Ходынка (Октод) МСК / 5,0
98,8	<i>Радио Романтика</i>	Балашиха МО / 10,0
99,2	<i>Радио Орфей</i>	Останкино МСК / 5,0
99,6	<i>Радио Русский хит new!</i>	Останкино МСК / 5,0
100,1	<i>Радио Серебряный Дождь</i>	Ходынка (Октод) МСК / 5,0

Частота, МГц	Наименование	Место установки передатчика / Мощность, кВт
FM радиостанции Москвы - CCIR FM (диапазон 87,5...108 МГц)		
100,5	<i>Жара FM new!</i>	Ходынка (Октод) МСК / 5,0
100,9	<i>Путер FM</i>	Останкино МСК / 5,0
101,2	<i>Радио DFM (Динамит FM)</i>	Останкино МСК / 10,0
101,7	<i>Наше Радио</i>	Ходынка (Октод) МСК / 10,0
102,1	<i>Радио Монте-Карло</i>	Останкино МСК / 5,0
102,5	<i>Comedy Radio</i>	Балашиха МО / 5,0
103,0	<i>Радио Шансон</i>	Балашиха МО / 10,0
103,4	<i>Радио Маяк</i>	Ходынка (Октод) МСК / 5,0
103,7	<i>Радио Максимум</i>	Останкино МСК / 10,0
104,2	<i>Радио Energy FM (NRJ)</i>	Балашиха МО / 15,0
104,7	<i>Радио 7 На Семи Холмах</i>	Ходынка (Октод) МСК / 5,0
105,0	<i>Радио Книга</i>	Ходынка (Октод) МСК / 5,0
105,3	<i>Capital FM</i>	Ходынка (Октод) / 5,0
105,7	<i>Русское Радио</i>	Останкино МСК / 10,0
106,2	<i>Радио Европа Плюс</i>	Останкино МСК / 10,0
106,6	<i>Love радио</i>	Ходынка (Октод) МСК / 10,0
107,0	<i>Аудиодорожка телеканала IZ.RU (под брендом «PCH») new!</i>	Балашиха МО / 5,0
107,4	<i>Радио Хит FM</i>	Балашиха МО / 5,0
107,8	<i>Радио Новая Милицейская Волна</i>	Балашиха МО / 5,0
УКВ - OIRT FM (диапазон 65,9...74 МГц)		
66,44	<i>Радио России / Радио 1</i>	Останкино МСК / 5,0
68,0	<i>Авторадио</i>	Балашиха МО / 5,0
71,3	<i>Пи FM new!</i>	Останкино МСК / 5,0
72,92	<i>Радонеж</i>	Универ МСК / 10,0

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Будагян И. Ф., Дубровин В. Ф., Сигов А. С. Электродинамика: уч. пособие. – М.: Альфа-М, 2019. – 304 с.
2. Галкин В. А. Основы программно-конфигурируемого радио. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 372 с.
3. Доусон М. Программируем на Python: пер. с англ. / М. Доусон. – СПб.: Питер, 2018. – 415 с.
4. Киселев Д. Н., Перфилов О.Ю. Радиомониторинг и распознавание радиоизлучений: учебное пособие. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 90 с.
5. Костин М. С., Воруничев Д. С. Введение в радиоинжиниринг: учебное пособие / М. С. Костин, Д. С. Воруничев. – М.: РТУ МИРЭА, 2018. – 116 с.
6. Костин М. С., Воруничев Д. С. Радиоволновые процессы и технологии: учебное пособие / М. С. Костин, Д. С. Воруничев. – М.: МИРЭА, 2019. – 296 с.
7. Куликов Г. В. Радиовещательные приемники: учеб. пособие / Г. В. Куликов, А. А. Парамонов. – М.: МИРЭА, 2009. – 119 с.
8. Нефедов В., Сигов А., Битюков В., Самохина Е. Электрорадиоизмерения: учебник. – М.: Инфра-М, 2017. – 384 с.
9. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи: учеб. пособие для вузов / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. – М.: Высш. шк., 2009. – 735 с.
10. Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А. М. Рембовского (4-е изд.). – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 640 с.
11. Фокин Г. А. Технологии программно-конфигурируемого радио: учеб. Пособие. – М.: Горячая Линия – Телеком., 2019. – 316 с.
12. Travis F. Collins, Robin Getz, Di Pu, and Alexander M. Wyglinski. Software-Defined. – USA.: Analog Devices, 2018. – 375 p.

СЕТЕВЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫЕ РЕСУРСЫ

1. Информационный ресурс SDR AIRSPY <https://airspy.com/>
2. Информационный ресурс технической поддержки RTL-SDR <http://rtl-sdr.ru/>
3. Информационно-аналитический портал GNU Radio <https://www.gnuradio.org/>
4. Справочный ресурс GNU Radio <https://wiki.gnuradio.org/>

Книги почтой

Заказ можно сделать на сайте издательства
www.infra-e.ru

№ п/п	Наименование книги
1	Бесконтактные устройства пуска и торможения электродвигателей
2	Внутренние электромонтажные работы
3	Волоконно-оптическая техника. <i>Практическое руководство</i>
4	Волоконно-оптические линии связи и их защита от внешних влияний
5	Вопросы электробезопасности при эксплуатации воздушных линий электропередачи
6	Выпрямительные устройства в силовой электронике
7	Главные электрические схемы и схемы собственных нужд электростанций и подстанций
8	Классическая электродинамика
9	Конструирование источников питания усилителей мощности звуковой частоты
10	Источники вторичного электропитания
11	Источники и системы теплоснабжения
12	Котельные установки и парогенераторы
13	Методы проектирования электронных устройств
14	Механизмы воздействия квазипостоянных геоиндуцированных токов на электрические сети
15	Микроконтроллеры для систем автоматики
16	Микропроцессорные реле защиты. <i>Устройство, проблемы, перспективы</i>
17	Моделирование и оптимизация промышленных теплоэнергетических установок
18	Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза
19	Надежность цифровых устройств релейной защиты. <i>Показатели. Требования. Оценки</i>
20	Защита оборудования подстанций от электромагнитного импульса
21	Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов
22	Обслуживание электрических подстанций
23	Обслуживание электрических подстанций: теория и практика
24	Основы классической электродинамики
25	Основы микросенсорики
26	Основы рационального потребления электроэнергии
27	Основы электроники
28	Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах
29	Проектирование силовых высокочастотных трансформаторов
30	Производство гибридных интегральных схем
31	Релейная защита в системах электроснабжения напряжением 0,38–110 кВ

32	Релейная защита электроэнергетических систем
33	Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем
34	Справочник цехового энергетика
35	Справочник инженера по КИПиА
36	Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей.
37	Термодинамический и эксергетический анализ в теплотехнологии
38	Технологические процессы в микро- и нанoeлектронике
39	Устройства электропитания релейной защиты. <i>Проблемы и решения</i>
40	Уязвимости микропроцессорных реле защиты. <i>Проблемы и решения</i>
41	Электробезопасность. <i>Теория и практика</i>
42	Электродинамика, радиоволновые процессы и технологии
43	Электроника
44	Электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва и защита электрооборудования от него
45	Электроснабжение промышленных предприятий
46	Электротехническое материаловедение
47	Электротехнологические установки
48	Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций