

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ИКТ
С.Н. Даровских _____
« ___ » _____ 2019 г.

«Анализатор частотного распределения плотности мощности ВЧ радиосигналов в
диапазоне 868 МГц»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы:
С.Н. Даровских _____
« ___ » _____ 2019 г.

Автор работы:
студент группы КЭ-459
Н.С. Кирвович _____
« ___ » _____ 2019 г.

Нормоконтролер:
В.Д. Спицына _____
« ___ » _____ 2019 г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Кирвович Н.С. Анализ частотного распределения плотности мощности ВЧ радиосигналов в диапазоне 868 МГц. – Челябинск: ЮУрГУ, ВШ ЭКН; 2019, 48 с., табл.3, 25 ил., библиогр. список – 10 наим..

В выпускной квалификационной работе бакалавра произведен подробный анализ структурной схемы типового анализатора спектра.

Сформулированы требования к разрабатываемому устройству, разработан технический облик и составлены рекомендации к проектированию анализатора частотного распределения плотности мощности ВЧ радиосигналов в диапазоне 868 МГц.

					ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Кирвович Н.С.</i>			Анализатор частотного распределения мощности ВЧ радиосигналов в диапазоне 868 МГц	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Даровских СН.</i>				<i>Д</i>		3 48
<i>Реценз.</i>						ЮУрГУ Кафедра ИКТ		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Спицына В.Д.</i>						
<i>Утверд.</i>		<i>Даровских СН.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Анализ технического задания.....	8
2 Анализ структурной схемы типового анализатора спектра.....	12
2.1 Общие сведения.....	12
2.2 Требования к разрабатываемому устройству.....	30
3 Разработка технического облика устройства анализатора спектра.....	31
3.1 Описание предлагаемого решения.....	31
3.2 Функциональная схема предлагаемого решения.....	33
3.2.1 Описание интерфейса СС1000 - STM.....	39
3.2.2 Описание интерфейса STM – LCD.....	42
3.3 Рекомендации к электрической принципиальной схеме.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	47
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	48

					ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВЧ – высокочастотный;

ГКРЧ – государственная комиссия по радиочастотам;

ЭИМ – эффективная излучаемая мощность;

ФНЧ – фильтр низких частот;

ПЧ – промежуточная частота;

дБ – децибел;

КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению;

КО – коэффициент отражения;

ИУ – исследуемое устройство;

ГУН – генератор, управляемый напряжением;

МШУ (LNA) – малошумящий усилитель;

MIXER – смеситель;

IF STAGE – тракт промежуточной частоты;

DEMOD – демодулятор;

VCO – ГУН (генератор, управляемый напряжением);

CONTROL – цифровой блок управления;

СВЧ – сверхвысокие частоты;

FSK – Frequency Shift Keying;

ОЗУ – оперативное запоминающее устройство;

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.

HSYNC – сигнал синхронизации линии изображения;

VSYNC – сигнал синхронизации линии изображения;

DE – сигнал, который захватывает полезные данные

					ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Широкое распространение сетей сотовой связи и систем беспроводной связи в результате достижений в области полупроводниковой технологии приводит к снижению стоимости элементной базы для радиочастотных технологий. Это позволяет производителям изготавливать устройства широкого потребления таких как: бытовая электроника, системы управления производственными процессами, автомобилестроение и системы сигнализации.

Область частот до 1 ГГц является весьма распространенной для разработки беспроводных устройств, которые требуют максимально возможной дальности и экономии энергии для устройств с автономным питанием. Инженеры должны уделять особое внимание выбору частоты радиосвязи, так как выбор ограничен теми участками спектра, которые не требуют лицензирования. К нелицензируемым диапазонам частотам относятся:

- диапазон частот 13,56 МГц часто используется для связи на малых расстояниях (бесконтактные карты, ключи);
- диапазон 433 МГц;
- диапазон частот 868 МГц, доступен в Европе;
- диапазон частот 2,4 ГГц является популярным, так как это частотный диапазон Bluetooth, WLAN, ZigBee.

Устройства, разрабатываемые для применения в таких диапазонах, не требуют лицензирования, а, следовательно, в данном диапазоне присутствуют другие системы, что приводит к появлению помех и потерям при передаче информации. Возникает необходимость обеспечивать устойчивую работу, в условиях высокой зашумленностью диапазона, при передаче информации в коротких пакетах с низким уровнем мощности. Исходя из этого появляется потребность использовать прибор, с помощью которого можно обнаруживать радиосигнал и измерять характеристики в зависимости от времени. Таким прибором является анализатор спектра.

					ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Анализатор спектра используется для визуального контроля спектра исследуемых сигналов и является важным инструментом при разработке, обслуживании и эксплуатации радиоаппаратуры, мобильного и телекоммуникационного оборудования, а также самых разных систем связи. Важным является контроль за наблюдением спектра сигналов, чтобы обнаруживать помеху и нахождение паразитной модуляции

Целью выпускной квалификационной работы является разработка технического облика анализатора частотного распределения плотности мощности ВЧ радиосигналов в диапазоне 868 МГц для оперативного контроля загруженности эфира.

Для решения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- описание проблемы использования нелицензируемого диапазона частот;
- анализ типового анализатора спектра;
- разработка технического облика устройства;
- разработка функциональной схемы устройства;
- разработка электрической принципиальной схемы анализатора;
- анализ полученного технического решения.

					<i>ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						7
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1 Анализ технического задания

Согласно требованиям, предъявляемым к разрабатываемому устройству, необходимо разработать технический облик анализатора частотного распределения плотности мощности ВЧ радиосигналов, работающего в нелицензируемом диапазоне 868 МГц.

Нелицензируемая частота [1] – это частота, которая определена Федеральной Комиссией Связи, как свободная для использования без необходимости регистрации и авторизации.

Согласно решениям ГКРЧ, модемы и беспроводные устройства ближнего радиуса действия, работающие в диапазоне 868 МГц с мощностью передачи до 100 мВт, не требуют лицензирования и могут быть свободно использованы на территории Российской Федерации.

Беспроводное устройство ближнего радиуса – это радиопередатчик, который обеспечивает однонаправленную или двунаправленную связь и не создаёт помехи другим радиосистемам.

К беспроводным устройствам относят:

- дистанционный контроль автоматических устройств в производственной среде;
- беспроводные датчики;
- автомобилестроение (бесконтактные замки, система удаленного запуска);
- системы сигнализации;
- беспроводное управление видеотехникой и аудиотехникой.

Производитель, изготавливающий изделия, должен соблюдать соответствующие технические параметры по радио, определенными нормами ГКРЧ. В диапазоне 868 МГц можно без лицензии использовать беспроводные системы передачи данных со следующими характеристиками, приведенными в таблице 1 (Приложение № 12 к решению ГКРЧ от 11 сентября 2018 г. № 18-46-03-1):

					<i>ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

Таблица 1 – Характеристики беспроводных систем передачи в диапазоне 868 МГц.

Диапазон частот	Технические характеристики	Дополнительные параметры
866 ... 868 МГц	Максимальная мощность передатчика – 25 мВт (ЭИМ). Максимальная спектральная плотность 1000 мВт/МГц Рабочий цикл <1 %	Запрещается использовать в пределах аэропортов
868 ... 868,2 МГц	Максимальная мощность передатчика – 10 мВт (ЭИМ). Максимальный коэффициент усиления антенны – 3дБ. Рабочий цикл <10 %	Запрещается использовать в пределах аэропортов
868,7 ... 869,2 МГц	Максимальная мощность передатчика – 25 мВт (ЭИМ).	–
868,7 ... 869,2 МГц	Максимальная мощность передатчика – 100 мВт (ЭИМ). Рабочий цикл <10 %	–

Эффективная излучаемая мощность (ЭИМ) – это произведение подводимой к антенне мощности и коэффициента усиления антенны.

Преимущества нелицензируемых полос частот:

- не требует лицензию;
- малые первоначальные затраты.

Недостатки нелицензируемых полос частот:

– в данном диапазоне частот могут присутствовать другие устройства, которые в процессе своей работы приводят к возникновению помех и потерям при передаче;

– необходимо продумывать территориально-частотного планирование размещения данного оборудования;

– следует урегулирования взаимоотношений с иными провайдерами с целью обоюдного снижения воздействия влияния помех.

Анализ сигналов в режиме реального времени предполагает выполнение операций анализа со скоростью, достаточной для точной обработки всех составляющих сигнала в интересующей полосе частот. Для этого необходимо соблюдение следующих условий:

– частота дискретизации входного сигнала должна соответствовать теореме Котельникова. Это значит, что частота дискретизации минимум в два раза превышает интересующую полосу пропускания;

– все измерения выполняются достаточно быстро, для того чтобы отслеживать изменения параметров входного сигнала.

Основные функции анализатора частотного распределения плотности мощности ВЧ радиосигналов.

- захват сигналов с распределенным спектром;
- захват и анализ нестационарных и динамичных сигналов;
- обнаружение кратковременных помех, анализ шума.

Основные области применения анализатора частотного распределения плотности мощности ВЧ радиосигналов:

- мониторинг использования спектра, обнаружение посторонних передач;
- монтаж, обслуживание и ремонт оборудования беспроводных сетей.

					<i>ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

					ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

2 Анализ структурной схемы типового анализатора спектра

2. 1 Общие сведения

Перед тем, как приступить к анализатору спектра следует сформировать знания об самом спектре. Время является системой отсчета [2], где происходит то или иное событие. При использовании осциллографа можно наблюдать за формой сигнала во временной области. Согласно теории Фурье, любое электрическое явление во временной области состоит из одной или нескольких синусоидальных волн с определенными амплитудами, частотами и фазами. Таким образом возможно преобразовать сигнал из временной области в частотную область. Измерения в частотной области показывают, сколько энергии имеется на каждой конкретной частоте. Любой сигнал может быть разложен на спектральные составляющие, которые можно оценить независимо друг от друга. Если сигнал – периодический, то согласно теории Фурье составляющие его синусоидальные волны будут разнесены в частотной области на $1/T$, где T – это период сигнала.

Спектральный анализ – это получение полной информации о сигнале – частоты, амплитуды и фазы. Проанализируем, как анализаторы спектра реализовывают измерения для спектрального анализа. Преобразование из временной области в частотную область, сигнал должен быть оценен на всем промежутке времени. На практике ограничиваемся определенным периодом, когда проводим измерение. Производя измерения только в той области частот, в которой содержится наибольшая часть энергии сигнала, можно получить вполне отличные результаты.

Спектральная плотность дискретного сигнала можно рассчитать, дискретизировав по времени преобразование Фурье, соответствующего ему аналоговому сигналу

$$X'_A(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt.$$

					<i>ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

Подставив вместо nT_d , интеграл на сумму и dt на T_d , получим выражение размерности спектральной плотности (сигнал/частота):

$$X'_d(j\omega) = T_d \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n \cdot T_d) \cdot e^{-j\omega n T_d}.$$

Сигнальный спектр – это [2] набор синусоидальных волн в конкретный момент времени. Амплитудный спектр – это распределение амплитуд гармонических составляющих по частоте. На рисунке 1 изображен сигнал в частотной и временной области. В частотной области представлена амплитуда для синусоидальной волны в спектре в зависимости от частоты. По рисунку 1 видно, что спектр состоит из двух волн. Сигнал не является чистой синусоидой в нем присутствует вторая гармоника. Во временной области доступно определить биения и выбросы, продолжительность и спад фронта.

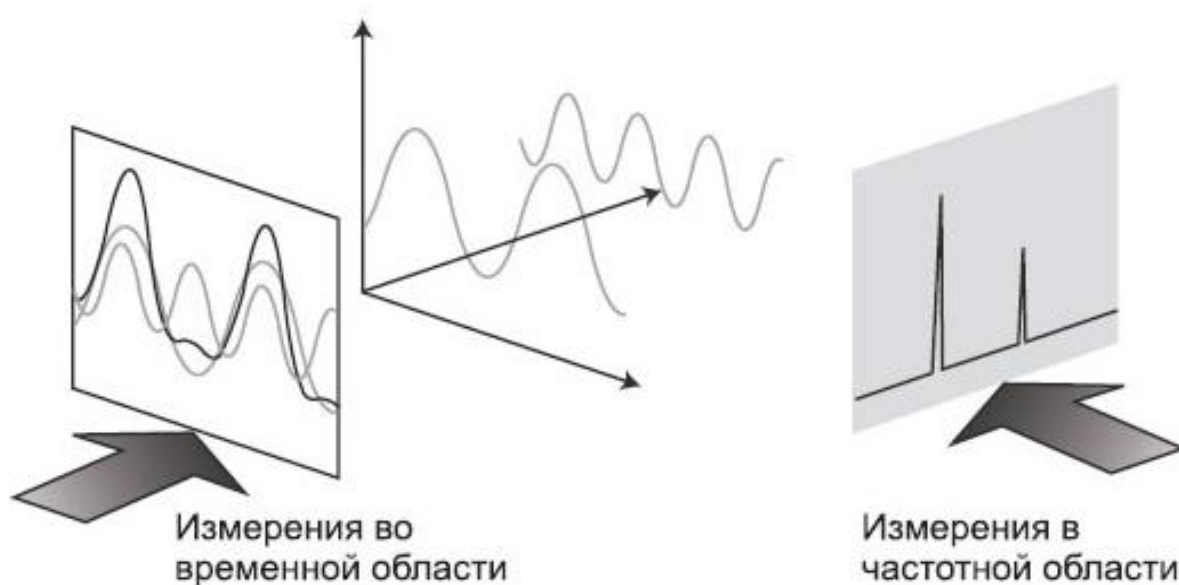


Рисунок 1 – Измерения во временной и частотной области

Частотная область удобнее с целью нахождения гармонического состава сигнала. В беспроводной связи необходимо определять внеполосное и паразитное излучение. В сотовой связи определять на наличие гармоник несущего сигнала, которые могут вносить помехи в другие системы,

работающих на той же частоте, что и гармоники. Искажения при попадании в интересующую полосу частот должны быть качественно отфильтрованы.

Оперативный контроль за загруженностью эфира главная задача измерений в частотной области. Важно, чтобы каждая радиостанция работала только на предназначенной для нее частоте и оставалась в пределах выделенной полосы канала. Передатчики и другие излучатели могут работать на очень близко расположенных соседних частотах. Важным параметром для измерения является количество энергии сигнала.

Электромагнитная интерференция (EMI) – это паразитное излучение от излучателей. Это паразитное излучение, может быть передано в эфир и затруднить работу других радиосистем. При разработке и производстве электрической или электронной продукции нужно проводить измерения на уровне излучения в зависимости от частоты, и приводить их в соответствие со стандартами.

Спектральный анализ радиосигнала очень необходим, особенно в системах с полосой частот ограниченной ширины. Важным измерением является переданная мощность. Малая мощность приведет к тому, что сигнал не сможет быть получен на приёмной стороне. Большая мощность создать помехи или искажения.

Для того чтобы информация передавалась с достаточно высокой точностью необходимы такие измерения, как коэффициент модуляции, уровни полосы боковых частот, качество модуляции и заполнения полосы.

Анализатор спектра – данное устройство создано [2] с целью визуализации и исследование спектра сигнала. Обширно применяется при тестированиях и проверках, где необходимо увидеть распределение энергии по частотами получить амплитудно-частотную характеристику сигнала. Эти процедуры нужно проводить для того, чтобы радиоприборы работали в своей полосе частот и не создавали помехи друг для друга. По результату анализа измерений спектра осуществляется дальнейшая настройка радиотехники.

					ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

На рисунке 2 приведена структурная схема типового анализатора спектра.

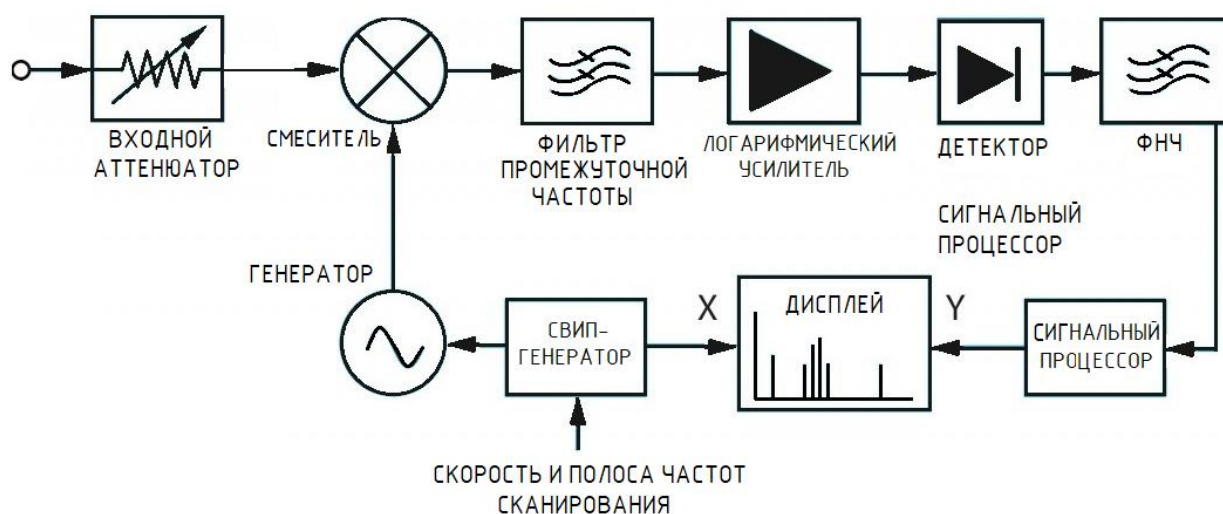


Рисунок 2 – Структурная схема типового анализатора спектра

С помощью рисунка 2 видно, что в основе работы анализатора спектра лежит супергетеродинный приемник.

Анализатор спектра можно представить, как частотно-измерительный вольтметр, реагирующий на амплитуду и настроенный таким образом, чтобы показать среднеквадратичное значение синусоидальной волны. Если известно пиковое или среднее значение синусоидальной волны и сопротивление, через которое проводится измерение, то анализатор спектра можно настроить на отображение мощности.

К основным типам анализаторов спектра относят:

- по принципу действия: последовательные (сканирующие) и параллельные (многоканальные);
- аналоговые и цифровые;
- скалярные и векторные;
- по диапазону частот: узкополосные, широкополосные.

Входной сигнал [3] поступает на антенну и попадает на вход аттенюатор, затем на смеситель.

Смеситель – является нелинейным элементом, следовательно на его выходе будут не только два первоначальных сигнала, но и их гармоники, а также суммы и разности первоначальных частот и их гармоник. Если какой-то из сигналов смешения попадет в полосу фильтра промежуточной частоты (ПЧ), то далее он обрабатывается (усиливается, и, возможно, сжимается по логарифмической шкале). Он существенно сглаживается детектором огибающей, оцифровывается и выводится на дисплей. Свип-генератор создает горизонтальное движение по дисплею слева и направо, а также перестраивает гетеродин таким образом, что его частота изменяется пропорционально напряжению.

Раз выходной сигнал анализатора спектра – это кривая в X-Y плоскости дисплея, то рассмотрим какую информацию сможем получить. Дисплей разграфлен масштабной сеткой на 10 главных горизонтальных линий и 10 вертикальных линий. Горизонтальная ось калибруется по частоте, которая увеличивается линейно слева направо.

Установка частоты обычно двухэтапная процедура. Сначала подгоняем частоту центральной линии масштабной сетки с помощью блока управления центральной частоты. Затем подгоняем обзор, приходящийся на все 10 горизонтальных полос, с помощью блока управления полосой обзора. Эти блоки управления независимы, так что если изменим центральную частоту, полоса обзора не меняется. Как вариант, устанавливаем начальную и конечную частоты вместо установки центральной частоты и полосы обзора. В любом случае, определим абсолютную частоту любого сигнала, отображенного на дисплее, и частотную разность двух любых сигналов.

Вертикальная ось калибруется по амплитуде. Обычно предлагается выбор между линейной шкалой, калиброванной в вольтах, и логарифмической шкалой, калиброванной в децибелах. Логарифмическая шкала используется намного чаще, чем линейная, так как позволяет отображать намного больший динамический диапазон. Логарифмическая шкала позволяет одновременно

отображать сигналы с перепадом в 70 ... 100 дБ (отношения напряжений 3100 ... 100000, отношения мощностей 10^7 ... 10^{10}). С другой стороны, линейную шкалу можно использовать для сигналов, отличающихся не более чем на 20 ... 30 дБ (отношение напряжений 10 ... 32). В любом случае задаем верхнюю линию калибровочной сетки, уровень отсчета, опорный уровень, абсолютную величину с точностью до калибровки и используем цену деления горизонтальной полосы, чтобы найти величину другого значения по вертикали. Так возможно произвести измерение, как абсолютной величины сигнала, так и разность амплитуд двух сигналов. На рисунке 3 показан дисплей типичного анализатора спектра.

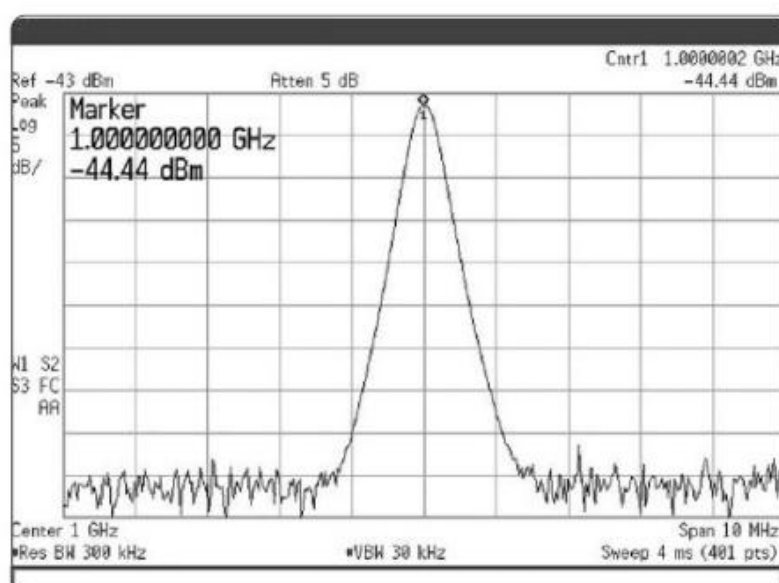


Рисунок 3 – Дисплей анализатора спектра

Спектральный дисплей с немедленным отображением исключительно полезен для выявления частот, на которых действуют нежелательные радиочастотные помехи, и характера этих помех, особенно если имеется возможность сузить полосу просмотра до небольшой части полного спектра.

Сви́п-генератор – это генератор маломощных электрических колебаний, который сканирует частотную полосу по оси X.

Вернемся к структурной схеме типового цифрового анализатора спектра, посмотрим какие компоненты дают вклад в погрешности. Итак, компоненты, дающие вклад в погрешность:

- входной радиочастотный аттенюатор;
- смеситель и входной фильтр (равномерность);
- усиление ПЧ/ослабление (опорный уровень);
- разрешающие фильтры.

При наличии рассогласования, векторы падающего и отраженного сигналов могут складываться, увеличивая или уменьшая результирующий вектор. Поэтому сигнал, пришедший на анализатор, может быть больше или меньше оригинального сигнала. Однако следует отметить, что в то время, как общая точность анализаторов в последнее время возросла, доля «незначительной» погрешности рассогласования теперь составляет заметную часть общей погрешности измерений. В любом случае, улучшая согласование источника и анализатора, можно снизить общую погрешность.

Основное выражение для расчета максимальной погрешности рассогласования в дБ:

$$\text{Погрешность (дБ)} = -20 \log[1 \pm |P_{\text{анализатора}} + P_{\text{источника}}|],$$

где P – коэффициент отражения.

В документации анализаторов спектра обычно указывается входной коэффициент стоячей волны по напряжению. (КСВН). Имея КСВН, можно вычислить коэффициент отражения:

$$P = (КСВН - 1) \cdot (КСВН + 1).$$

Поскольку самый худший случай согласования анализатора имеет место при установке его входного аттенюатора на 0 дБ, по возможности следует избегать такой установки. В качестве альтернативы, можно присоединить хорошо согласованный аттенюатор ко входу анализатора, и тем самым значительно снизить значение рассогласования.

Добавление ослабления – это прием снижения погрешности измерений, который хорошо работает в случае, если исследуемый нами сигнал значительно возвышается над уровнем шума. При низком же отношении сигнал/шум (обычно ≤ 7 дБ), добавление ослабления, наоборот, увеличит погрешность измерения, поскольку мощность шума даст вклад в мощность сигнала из-за чего будут присутствовать ошибочные высокие показания.

Обратимся ко входному аттенюатору. Некоторые относительные измерения производятся с различными установками аттенюатора. В таких случаях должны учитывать погрешность переключения входного ослабления. Поскольку радиочастотный входной аттенюатор должен работать во всем частотном диапазоне анализатора, его ступенчатая точность варьируется с частотой. Аттенюатор также вносит вклад в общий частотный отклик. Так, на частоте 1 ГГц показатели аттенюатора преимущественно лучше, а на частоте 26 ГГц они намного хуже.

Необходимо настроить наш анализатор спектра на нужный частотный диапазон. Настройка есть функция центральной частоты фильтра ПЧ, частотного диапазона гетеродина, и диапазона частот, которые разрешено подавать на смеситель. Из всех сигналов, поступающие из смесителя, два имеют наибольшую амплитуду и поэтому наиболее необходимы, так как это продукт на частоте разности частот гетеродина и сигнала, и продукт на частоте суммы этих частот. Важно, чтобы интересующий нас сигнал лежал выше или ниже частоты гетеродина на величину ПЧ, то один из нужных нам продуктов смешения попадет в полосу пропускания фильтра ПЧ, будет продетектирован и создаст амплитудный отклик на дисплее. Возникает вопрос, как выбрать частоту гетеродина и ПЧ, чтобы создать анализатор с необходимым частотным диапазоном.

Уравнение настройки, в котором можем покрыть данный диапазон:

$$f_{\text{сигнала}} = f_{\text{гет}} - f_{\text{пч}},$$

где $f_{\text{сигнала}}$ – частота сигнала;

$f_{\text{гет}}$ – частота гетеродина;

$f_{\text{пч}}$ – промежуточная частота.

На рисунке 4 показан процесс настройки анализатора. Частота гетеродина недостаточно высока, чтобы продукт смешения с результирующей частотой $f_{\text{гет}} - f_{\text{пч}}$ попадал в полосу ПЧ, следовательно не будет отклика на дисплее. Чтобы настраивать гетеродин на более высокие частоты, то сигнал смешения попадет в полосу ПЧ в некоторой точке развертки, и будет отклик на дисплее. Чтобы отклик появился на дисплее необходимо настроить на $f_{\text{гет}} + f_{\text{пч}}$.

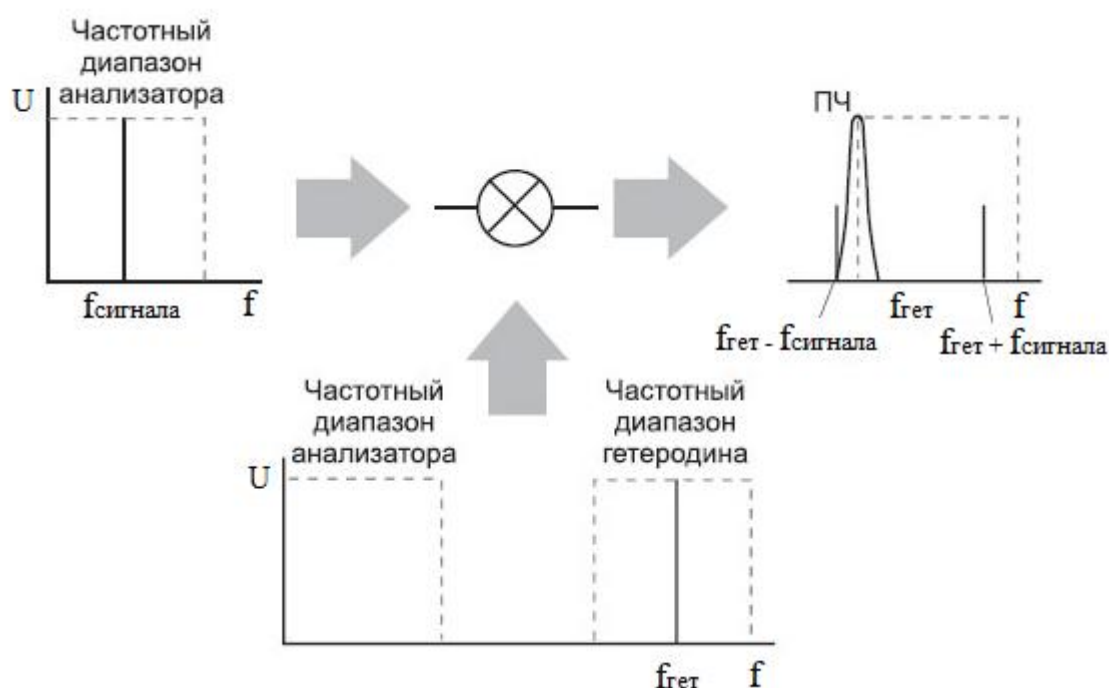


Рисунок 4 – Процесс настройки анализатора спектра

Для анализатора однополосного спектра радиочастот должны выбирать ПЧ выше самой высокой частоты диапазона настройки, делая диапазон перестройки гетеродина от ПЧ до ПЧ плюс верхний предел диапазона

настройки, и включать фильтр нижних частот перед смесителем, чтобы вырезать частоты ниже ПЧ.

Снова вернемся к структурной схеме анализатора спектра (рисунок 2) следующим элементом является усилитель с переменным коэффициентом усиления. Он используется для подстройки вертикального положения сигнала на дисплее без воздействия на уровень сигнала во входном смесителе. Когда изменяется уровень усиления ПЧ, соответственно изменяется значение опорного уровня, чтобы поддерживать корректное отображение амплитуды сигналов. Обычно, вовсе не нужно, чтобы опорный уровень менялся при изменении входного ослабления, поэтому установки ПЧ-усиления и входного аттенюатора сопряжены. Изменение во входном аттенюаторе автоматически вызывает изменение в усилении ПЧ, чтобы отстроить эффект изменения входного ослабления и оставить сигнал на том же месте на дисплее, где он и был. Следом за усилителем ПЧ в схеме идет секция, состоящая из аналоговых или цифровых фильтров полосы частотного разрешения.

Частотное разрешение – это способность анализатора спектра разделять две входные синусоиды на два отдельных отклика. По теории Фурье, вся энергия сигнала чистой синусоидальной волны находится на одной частоте, так что, вроде бы, никаких проблем с разрешением возникать не должно – ведь два сигнала, неважно, насколько близкие друг к другу по частоте, должны отображаться на дисплее в виде двух отдельных линий. Но, внимательно приглядевшись к нашему супергетеродинному приемнику, мы увидим, почему у отображаемых на дисплее сигналов есть вполне ощутимая ширина. На выходе смесителя имеются два исходных сигнала (входной и ПЧ), а также их сумма и разность. Полосовой фильтр определяет промежуточную частоту, и он же пропускает нужный продукт смешения, а остальные сигналы отсеивает. Поскольку входной сигнал – фиксированный, а сигнал гетеродина – качается по частоте, то продукты смешения также

будут качаться. Если при развертке - продукт смешения будет проходить через частоту, соответствующую ПЧ, то на дисплее будет отображаться характеристическая кривая полосового фильтра (рисунок 5).

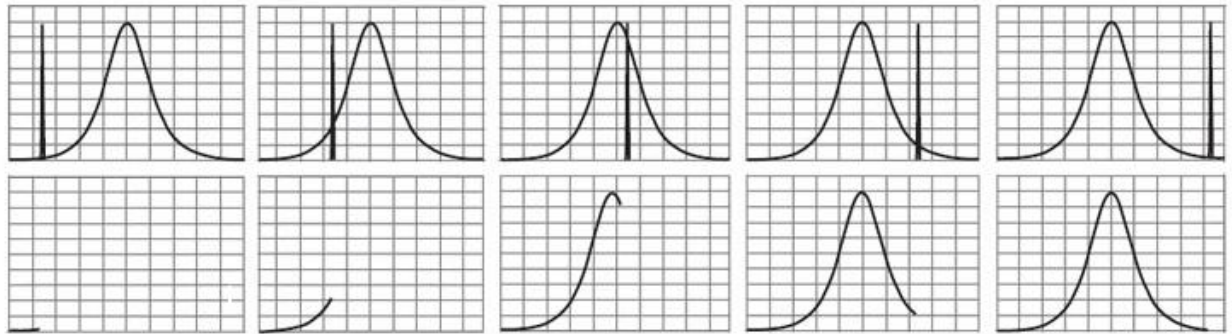


Рисунок 5 – Форма АЧХ полосового фильтра

Так что два сигнала должны отстоять друг от друга довольно значительно, а иначе их отображения будут накладываться друг на друга и отображаться как один единственный отклик. К счастью, в анализаторах спектра можно переключаться между несколькими полосовыми фильтрами (ПЧ), поэтому обычно имеется возможность выбрать один достаточно узкополосный для того, чтобы различить близкие сигналы.

В документации на приборы разрешающая способность заявлена указанием полос по уровню 3 дБ доступных фильтров ПЧ. Такое требование показывает, насколько близко могут находиться друг к другу сигналы – и при этом все еще быть различимы. В данном случае это будет провал приблизительно в 3 дБ между двумя пиками отображаемых сигналов.

Для разрешающих фильтров указывают и другую характеристику: полосовую избирательность (селективность или коэффициент формы). Полосовая избирательность помогает оценить разрешающую способность по отношению к неодинаковым синусоидам. Полосовая избирательность обычно определяется отношением полосы на уровне 60 дБ к полосе на уровне 3 дБ, как показано на рисунке 6.

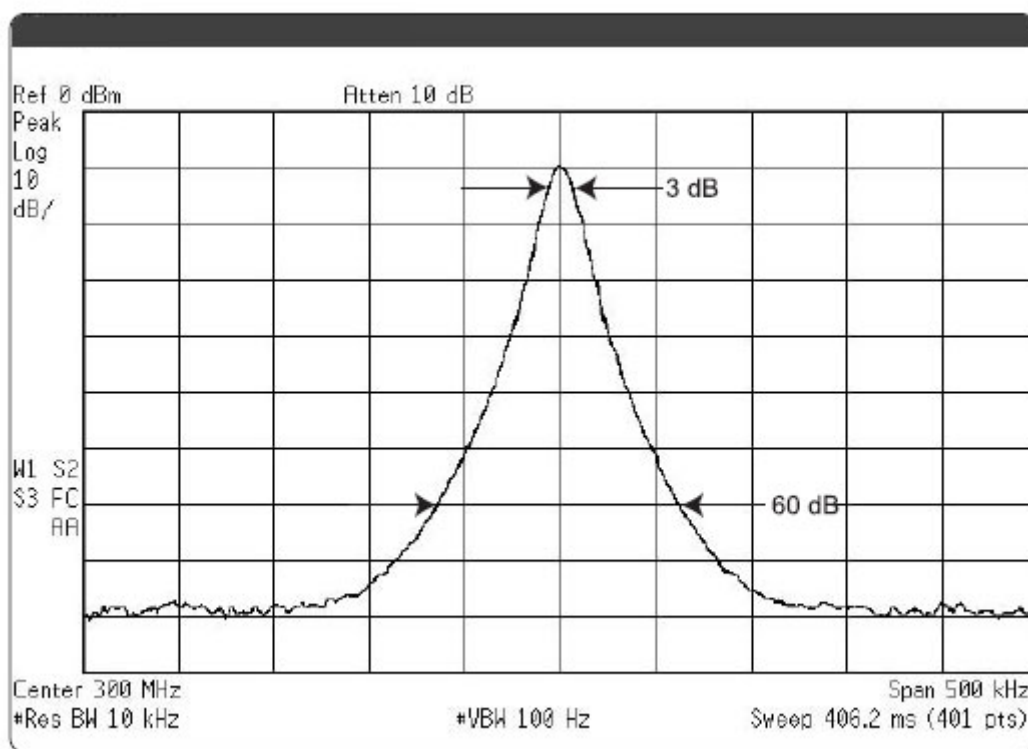


Рисунок 6 – Полосовая избирательность, отношение полос по уровням 60 дБ и 3 дБ

Все равно имеется проявление частотной или фазовой нестабильности, которое можно наблюдать: фазовый шум (также называемый шумом боковой полосы). Нет генераторов с идеальной стабильностью. Все они в какой-то степени частотно - или фазово-модулированы случайным процессом. Нестабильность гетеродина переносится в любой продукт смешения гетеродина и входного сигнала. Поэтому боковая полоса, обязанная фазово-шумовой модуляции гетеродина, присутствует вокруг любой спектральной компоненты на дисплее, которая достаточно велика в сравнении с широкополосным остаточным шумом системы.

Амплитудная разница между изображаемой на дисплее спектральной компонентой и фазовым шумом есть функция стабильности гетеродина. Чем более стабилен гетеродин, тем ниже фазовый шум. Амплитудная разница есть также функция полосы разрешения. Если уменьшим полосу разрешения в десять раз, уровень фазовых шумов уменьшится на 10 дБ.

Форма фазово-шумового спектра зависит от конструкции анализатора, конкретнее – от сложности реализации схемы ФАПЧ гетеродина. В некоторых анализаторах спектр фазового шума – относительно плоский пьедестал до полосы стабилизирующей петли. В других фазовый шум может затухать как функция отстройки от сигнала. Фазовый шум приводится в размерности дБн, то есть дБ относительно несущей, и нормализуется к 1 Гц полосе мощности шума. Иногда он определяется на конкретных частотных отстройках. Иной же раз приводится кривая, чтобы показать характеристики фазового шума в целом диапазоне отстроек. В общем можем видеть собственный фазовый шум анализатора только в самых узких разрешающих фильтрах, когда он скрывает нижние области кривой АЧХ этих фильтров. Использование цифровых фильтров, упомянутых выше, не меняет этот эффект.

Для более широких фильтров фазовый шум невидим под нижней кромкой АЧХ фильтра, так же как в случае двух неравных синусоид, рассмотренном ранее. Современные анализаторы спектра позволяют пользователям выбирать различные режимы стабилизации гетеродина для оптимизации фазового шума.

1 Оптимизация фазового шума для частотных отстроек <50 кГц от несущей. В этом режиме фазовый шум гетеродина оптимизируется для близкой области около несущей, ценой ухудшения фазового шума за пределами 50 кГц отстройки.

2 Оптимизация фазового шума для частотных отстроек более 50 кГц от несущей, в этом режиме фазовый шум оптимизируется для отстроек более 50 кГц от несущей, особенно для области 70-300 кГц. При этом страдают более близкие области около несущей, и падает скорость обработки при измерении;

3 Оптимизация гетеродина на быструю настройку.

					ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

В любом случае, фазовый шум является принципиальным ограничением способности анализатора различать сигналы с неравными амплитудами.

Анализатор спектра обычно преобразует сигнал ПЧ в видео-сигнал при помощи детектора огибающей. В простейшей своей форме, детектор огибающей – это диод, резистивная нагрузка и фильтр НЧ, как показано на рисунке 7.

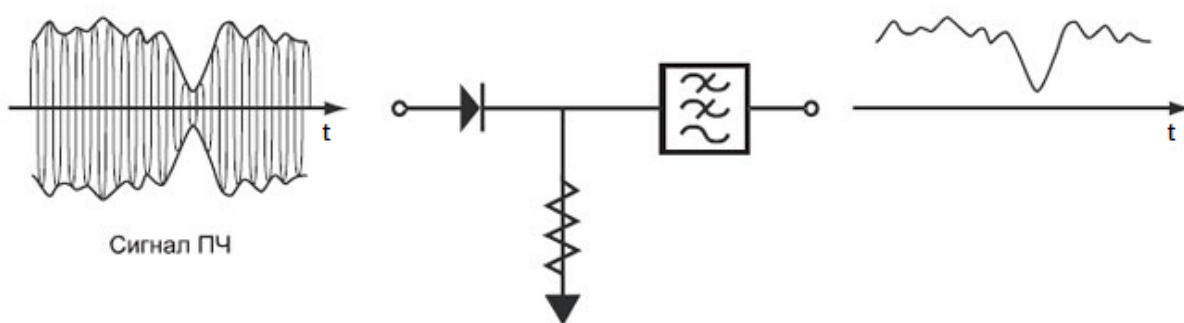


Рисунок 7 – Детектор огибающей

Выход с цепи ПЧ в данном примере амплитудно-модулированная синусоидальная волна поступает на вход детектора. Отклик детектора повторяет изменения в огибающей сигнала ПЧ, но не в мгновенном значении амплитуды самой синусоидальной волны ПЧ.

Для большинства измерений выбираем полосу разрешения достаточно узкой, чтобы разрешить индивидуальные спектральные компоненты входного сигнала. Если мы зафиксируем частоту гетеродина так, чтобы наш анализатор был настроен на одну спектральную компоненту сигнала, выход тракта ПЧ будет устойчивой синусоидой с постоянной огибающей. Тогда выход детектора огибающей будет постоянным напряжением, и не будет вариаций, за которыми следовал бы детектор. Однако случается, что намеренно выбираем разрешающую полосу настолько широкой, чтобы она включала две или более спектральные компоненты. Спектральные компоненты могут быть так тесно расположены по частоте, что не могут

быть разделены самым узким разрешающим фильтром. Если предположить, что в полосе пропускания находятся только две спектральные компоненты, то мы получим две взаимодействующие синусоиды, создающие биения, и огибающая сигнала на ПЧ меняется тогда так, как показано на рисунке 8, по мере изменения разности фаз синусоид.

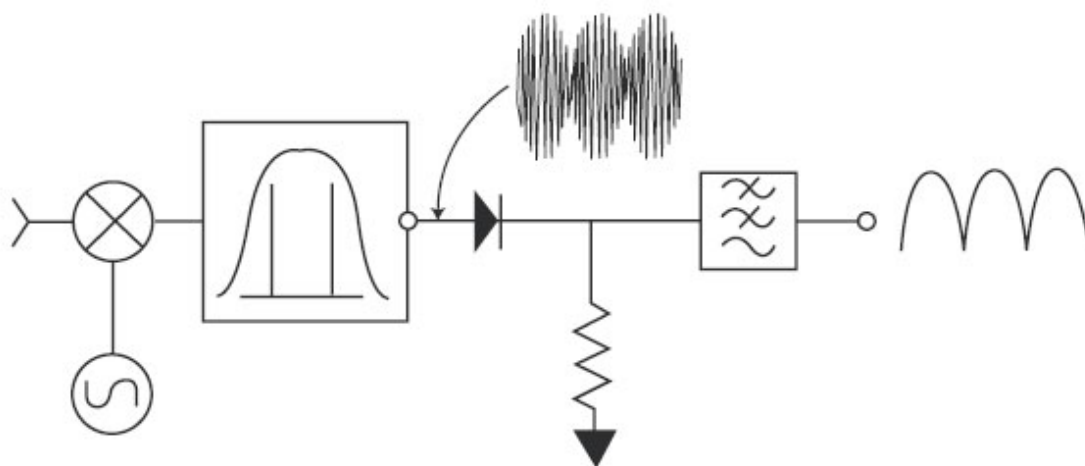


Рисунок 8 – Детектор обрисовывает форму пиков выходного радиочастотного сигнала

Ширина полосы разрешающего фильтра ПЧ определяет максимальную скорость, с которой может меняться огибающая сигнала ПЧ. Эта полоса определяет, как далеко могут быть разнесены две входные синусоиды, чтобы после смещения они одновременно оказались внутри полосы фильтра. Если предположить, что финальная ПЧ равна 21.4 МГц, а полоса равна 100 кГц, то два входных сигнала, разнесенные между собой на 100 кГц, будут давать продукты смещения на 21.35 и 21.45 МГц, и поэтому удовлетворять критерию. На рисунке 8 детектор должен быть способен следовать за изменениями огибающей, созданными этими двумя сигналами, но не за самим сигналом с номинальной ПЧ 21.4 МГц.

Детектор огибающей – это то, что делает анализатор спектра вольтметром. Если предположим два равных по амплитуде сигнала в полосе пропускания ПЧ в один момент времени, что мы ожидаем увидеть на

дисплее. Измеритель мощности показал бы уровень мощности 3 дБ над каждым сигналом, т. е. полную мощность двух сигналов. Предположим, что два сигнала так тесно расположены, что анализатор, настроенный на середину частотного интервала между ними, имеет на их частотах пренебрежимо малое ослабление за счет отклонения их частот от центральной частоты фильтра. Тогда дисплей анализатора покажет кривую, меняющуюся между двойным напряжением каждого (6 дБ) и нулем (минус бесконечность в логарифмической шкале). Необходимо помнить, что два сигнала есть синусоиды (векторы) на различных частотах, и поэтому они непрерывно меняются по фазе друг относительно друга. В один момент времени они складываются точно в фазе, в другой – точно в противофазе.

Детектор огибающей следует за изменениями амплитудных пиков сигнала ПЧ, но не за мгновенными значениями этого сигнала, что выливается в потерю информации о фазе. Это дает анализатору его характеристики как вольтметра. Если сигнал растет и спадает в рамках блока: Четные блоки отображают минимум (отрицательный пик). Максимум запоминается. Нечетные блоки отображают максимум (положительный пик), определяемый сравнением пика текущего блока с пиком предыдущего (запомненным). На рисунке 9 отображается пик, когда сигнал только растет или только спадает в рамках блока, при этом максимум на дисплее может быть сдвинут вправо на одну точку, однако этот сдвиг в процентном отношении от всего обзора дисплея – малая величина, компенсируют этот потенциальный эффект сдвигом начальной и конечной частоты гетеродина.

					ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

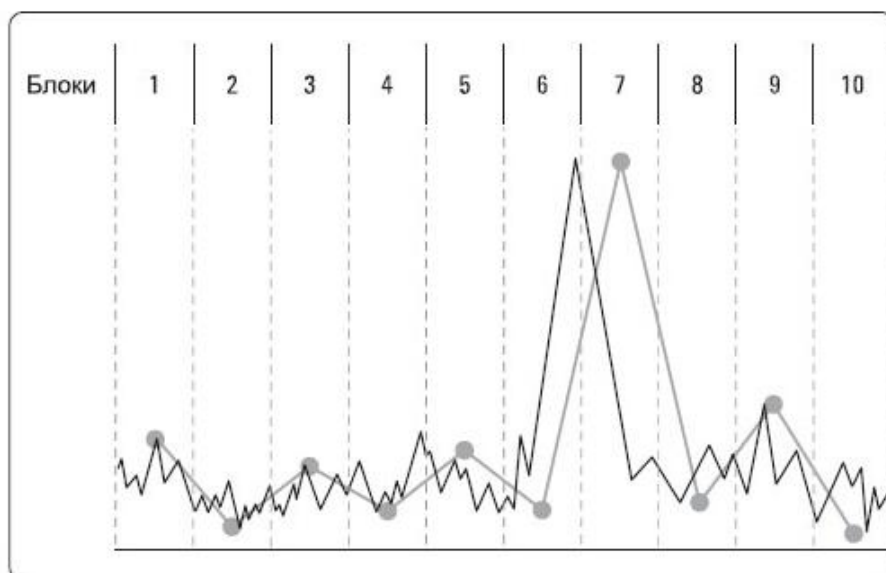


Рисунок 9 – Точки трассы, выбранные алгоритмом нормального детектирования

Другой вид ошибки – это отображение двух пиков вместо одного реального. На рисунке 10 показано, что происходит в таком случае. Контур двух пиков показан с применением пикового детектирования с более широкой полосой.

Итак, пиковое детектирование наилучшим образом справляется с отделением незатухающих сигналов от шума. Режим мгновенного значения больше всего пригоден для наблюдения шума, а нормальный режим – для наблюдения сигналов и шума одновременно.

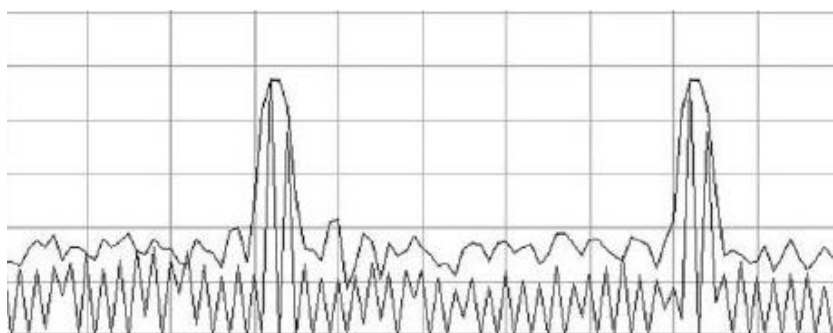


Рисунок 10 – Нормальное детектирование, в котором отображается два максимума

Анализатор спектра отображает сигналы плюс свой собственный внутренний шум, как показано на рисунке 11.

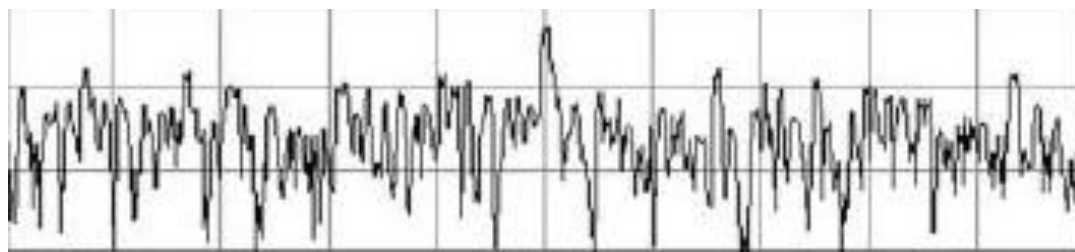


Рисунок 11 – Сигнал и шум на дисплеи

Чтобы уменьшить влияние шума на амплитуду изображаемого сигнала, сглаживаем или усредняем изображаемые данные, как показано на рисунке 12.

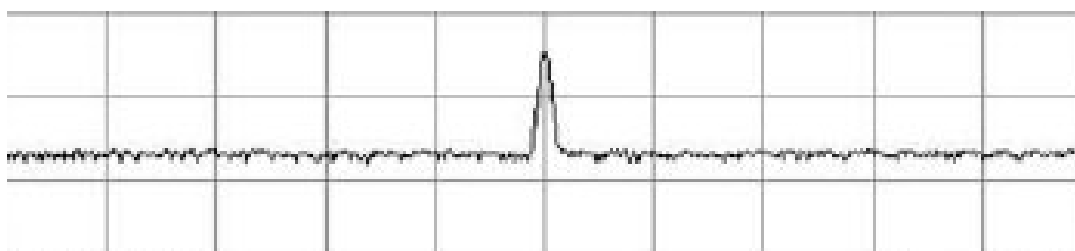


Рисунок 12 – Сигнал после видео-фильтра на дисплеи

Анализаторы спектра для этой цели включают видео-фильтр, либо фильтр нижних частот, который расположен за детектором и задает полосу видеосигнала, который потом будет оцифрован для получения данных об амплитуде. Частота среза может быть уменьшена до точки, в которой она становится меньше, чем полоса выбранного разрешающего фильтра ПЧ. Если это произойдет, видеосистема больше не сможет следовать за более быстрыми вариациями огибающей сигналов, проходящих через цепь ПЧ. В результате получается усреднение или сглаживание изображаемого сигнала.

В современных анализаторах спектра используют цифровые компоненты (сигнальные процессоры, микропроцессоры, цифровые фильтры и т.д.). Принцип работы анализатора спектра в реальном времени будет отличаться:

- принятые радиочастотные сигналы усиливаются или ослабляются;

- устройство собирает информацию во временной области, а после с помощью преобразования Фурье переводит ее в частотную область;
- аналогово-цифровой преобразователь оцифровывает ПЧ и дальнейшая обработка производится цифровыми процессорами;
- существуют режимы демодуляции, в которых входной сигнал оцифровывается без частотного преобразования.

В данной главе рассмотрена архитектура анализатора спектра и получены основные понятия о проведении измерений в частотной области. На основании этого сформируем основные требования к разрабатываемому устройству.

2.2 Требования к разрабатываемому устройству

Исходя из анализа технического задания необходимо разработать технический облик анализатора частотного распределения плотности мощности ВЧ радиосигналов в диапазоне 868 МГц.

В соответствии с анализом структурной схемы типового анализатора спектра можно сделать следующий вывод, что измерительные приёмники анализатора спектра построены по принципу приёмников супергетеродинного типа, так как они должны иметь большую чувствительность и высокую селективность.

Анализатор частотного распределения мощности ВЧ радиосигналов в диапазоне 868 МГц по принципу действия относится к последовательному типу, а по диапазону частот к узкополосному.

Исходя из рисунка 2 структурной схемы типового анализатора спектра видно, что в данном устройстве должны присутствовать: входной аттенюатор, смеситель, генератор, логарифмический усилитель, устройство промежуточной частоты, фильтр промежуточной частоты, логарифмический усилитель, детектор, ФНЧ, свип-генератор, сигнальный процессор, дисплей.

					<i>ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

3 Разработка технического облика устройства анализатора спектра

3.1 Описание предлагаемого решения

Исходя из требований, приведенных в предыдущем разделе 2.2, было принято решение о использовании микросхемы CC1000 Texas Instruments, которая представляет собой готовый трансивер (рисунок 13).



Рисунок 13 – Микросхема CC1000

Радиочастотный трансивер для СВЧ-диапазона (UHF) микросхема CC1000 представляет собой однокристалльный СВЧ-трансивер, который специально проектировался с учетом малого энергопотребления и для работы при низких напряжениях питания. Микросхема изготавливается по технологическому процессу 0,35 микрон и технологии КМОП. Данный радиочастотный трансивер отличается уникальное сочетание низкой стоимости и высокой степени интеграции, производительности и гибкости – одним словом, CC1000 устанавливает новый стандарт для беспроводных коммуникационных систем с малым радиусом действия. Микросхема CC1000 в основном предназначена для FSK-систем (систем с частотной манипуляцией), которые работают в ISM/SRD диапазонах с частотой 315, 433, 868 и 915 МГц. Однако CC1000 можно достаточно легко запрограммировать на работу с любой другой частотой, которая относится к диапазону от 300 до 1000 МГц. Микросхема CC1000 способна обеспечить скорость передачи данных до 76,8 Кбит/с.

Микросхема CC1000 идеально подходит для систем с батарейным питанием, так как она способна работать от напряжения питания в диапазоне

от 2,1 до 3,6 В, благодаря этому она идеально подходит для тех систем, в которых используется единственная литиевая батарейка напряжением 3 В.

В режиме приема ток потребления составляет лишь 7,4 мА, в режиме передачи ток от 5,3 мА (минус 20 дБм) до 26,7 мА (плюс 10 дБм) в зависимости от мощности передатчика. В режиме пониженного потребления СС1000 потребляет всего 0,2 мкА, что очень важно для систем с батарейным питанием.

Низкое энергопотребление и высокий уровень интеграции делают СС1000 идеальным выбором для использования в недорогих устройствах питания на батарейках. Для создания законченного трансивера понадобится лишь небольшое количество дополнительных компонентов, что позволяет создавать на основе СС1000 чрезвычайно компактное устройство.

В системах, где низкая цена имеет большое значение СС1000 является идеальным выбором.

Основные характеристики:

- выходная мощность 5 дБм;
- конструктивное исполнение – чип;
- корпус TSSOP-28;
- режим работы – приёмопередатчик;
- стандарт передачи данных FSK (частотная манипуляция);
- поддерживаемые интерфейсы между микроконтроллером и микросхемой СС1000: SPI, UART;
- мощность передатчика 10 дБм;
- частотный диапазон от 300 до 1000 МГц;
- диапазон рабочих температур в окружающей среде от минус 40° до плюс 80 °С;
- напряжение питания 3,6 В;
- максимальная скорость передачи данных 76,8 кБод;

– оптимальная чувствительность приемника минус 107 дБм.

Трансивер полностью удовлетворяет всем требованиям и содержит все необходимые блоки приёмника. Структурная блок-схема [4] CC1000 представлена на рисунке 14.

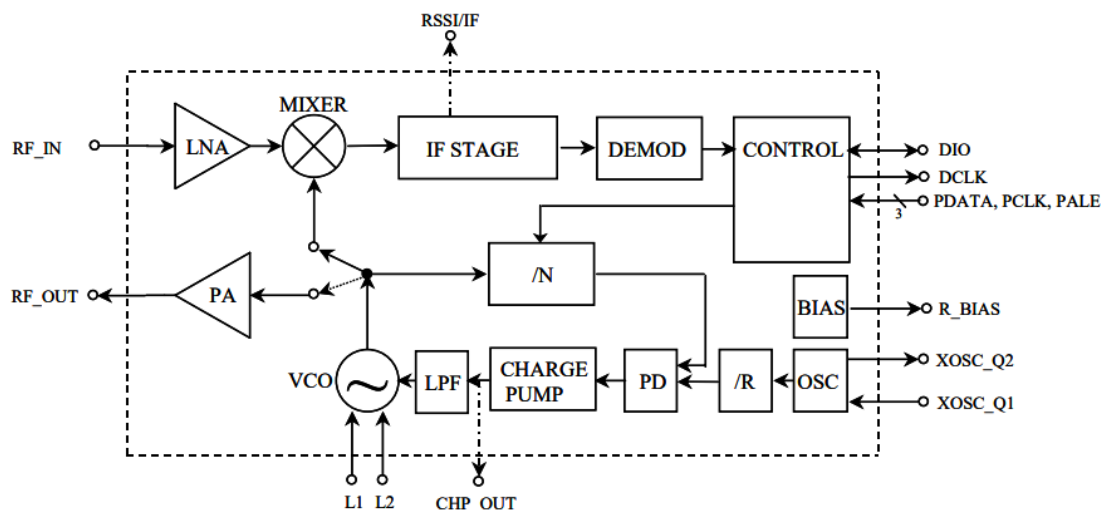


Рисунок 14 – Структурная блок-схема CC1000

Как видно из рисунка 14, данный трансивер полностью удовлетворяет всем требованиям к структурной схеме типового анализатора спектра, и содержит все необходимые блоки приёмника.

В режиме приема микросхема CC1000 настроена, как супергетеродинный приемник. Входной радиочастотный сигнал [3] усиливается малошумящим усилителем МШУ (LNA) и преобразователями до промежуточной частоты с помощью смесителя (MIXERA). На этапе промежуточной частоты (IF STAGE) пониженный сигнал усиливается и фильтруется, а затем подается на демодулятор (DEMOM). После демодуляции выводит демодулированные цифровые данные на блок CONTROL (сигнальный процессор).

3.2 Функциональная схема предлагаемого решения

На рисунке 15 согласно техническому заданию разработана функциональная схема устройства анализатора частотного распределения

плотности мощности ВЧ радиосигналов в диапазоне 868 МГц, которая состоит из самого трансивера CC1000, микроконтроллера и дисплея.

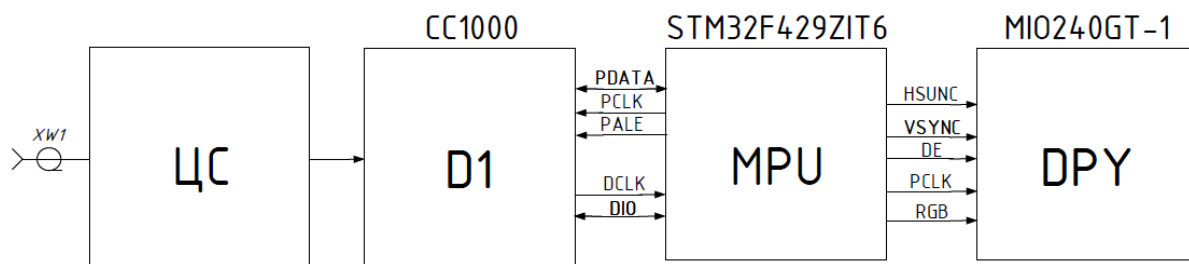


Рисунок 15 – Функциональная схема предлагаемого решения

Как видно из рисунка 15 необходимо рассмотреть интерфейс взаимодействия между трансивером CC1000 и микроконтроллером, интерфейс взаимодействия микроконтроллера и дисплея.

На рисунке 16 показано назначение выводов трансивера CC1000.

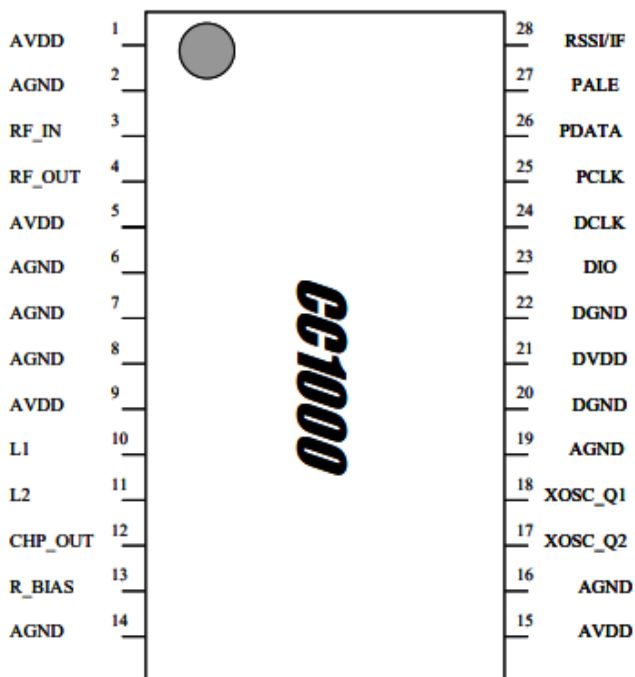


Рисунок 16 – Назначение выводов CC1000

Все выводы микросхемы CC1000 разделены по назначению и приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Выводы микросхемы

Номер вывода	Назначение
1, 5, 9, 21	Питание
10, 11	Катушка индуктивности для ГУН
2, 6, 7, 8, 14, 16, 19	Общий провод
3, 4	Вход/выход радио части
13	Резистор смещения
17, 18	Кварцевый резонатор
23, 24, 25, 26, 27	Связь с микроконтроллером
12, 28	Нет соединения

Элементная база микроконтроллеров и процессоров на сегодняшний день является огромной. Из всего предлагаемого многообразия компонентов выбран 32-разрядный микроконтроллер STM32F429ZIT6 [5] (рисунок 17) фирмы ST Microelectronics, поскольку он отвечает современным требованиям разработчиков аппаратуры, имеет большое количество программных сред разработки и оптимизации, и самое главное, имеет достаточно низкую рыночную стоимость. В дальнейшем, при необходимости модернизации устройства, не будет необходимости замены микроконтроллера, поскольку он обладает огромными ресурсами. Выбранный микроконтроллер построен по архитектуре ARM с набором команд RISC (Reduced Instruction Set Computer). Его преимущество в изначально небольшом наборе простых команд, которые обрабатываются с минимальными затратами.



Рисунок 17 – Внешний вид ARM-микроконтроллера STM32F429ZIT6

Характеристики 32-битного ARM-микроконтроллера STM32F429ZIT6:

- корпус LQFP100 (100 выводов);
- порты ввода-вывода I/O 82 шт.;
- напряжение питания: 1.8 ... 3.6 В;
- тактовая частота ядра: до 168 МГц;
- память программ (Flash): 1 Мбайт;
- память ОЗУ (RAM): 196 Кбайт;
- память SRAM (аналог EEPROM): 4 Кбайт;
- поддержка инструкций DSP и обработки чисел с плавающей точкой;
- 16-битные таймеры: два базовых таймера, восемь таймеров общего назначения, два продвинутых таймера и два сторожевых таймера;
- 2x 32-битных таймера общего назначения;
- USB 2.0 full-speed device/host/OTG со своим PHY;
- USB 2.0 high-speed/full-speed device/host/OTG с отдельным DMA, со своим full-speed PHY, и поддержкой ULPI;

- 10/100 Ethernet MAC с отдельным DMA, поддержка PHY-микросхем с интерфейсами IEEE 1588v2, MII/RMII;
- 3x SPI (37,5 МБит/с), два из них с мультиплексированными полнодуплексными I2S для качественной передачи звука;
- 3x I2C с поддержкой SMBus/PMBus;
- 4x USART, 2x UART: 10,5 МБит/с, интерфейс ISO 7816, LIN, IrDA, modem control;
- 2x CAN (2.0B Active);
- SDIO (для SD-карт);
- DCMII - [от 8 до 14]-битный параллельный интерфейс камеры (до 54 МБайт/с);
- аналоговый генератор случайных чисел;
- встроенный модуль расчёта CRC;
- RTC (Real-Time Clock) – часы реального времени;
- 3x 12-битных АЦП, 2,4 миллиона выборок в секунду, 16 каналов, 7,2 миллиона выборок в секунду в режиме тройного чередования (Triple mode);
- 2x 12-битных ЦАП
- контроллер DMA с 16 каналами и поддержкой FIFO и пакетной передачи;
- параллельный интерфейс LCD, режимы 8080/6800;
- FSMC - контроллер статической памяти с поддержкой Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR и NAND;
- возможность отладки по JTAG или SWD.

На рисунке 18 показано назначение выводов микроконтроллера.

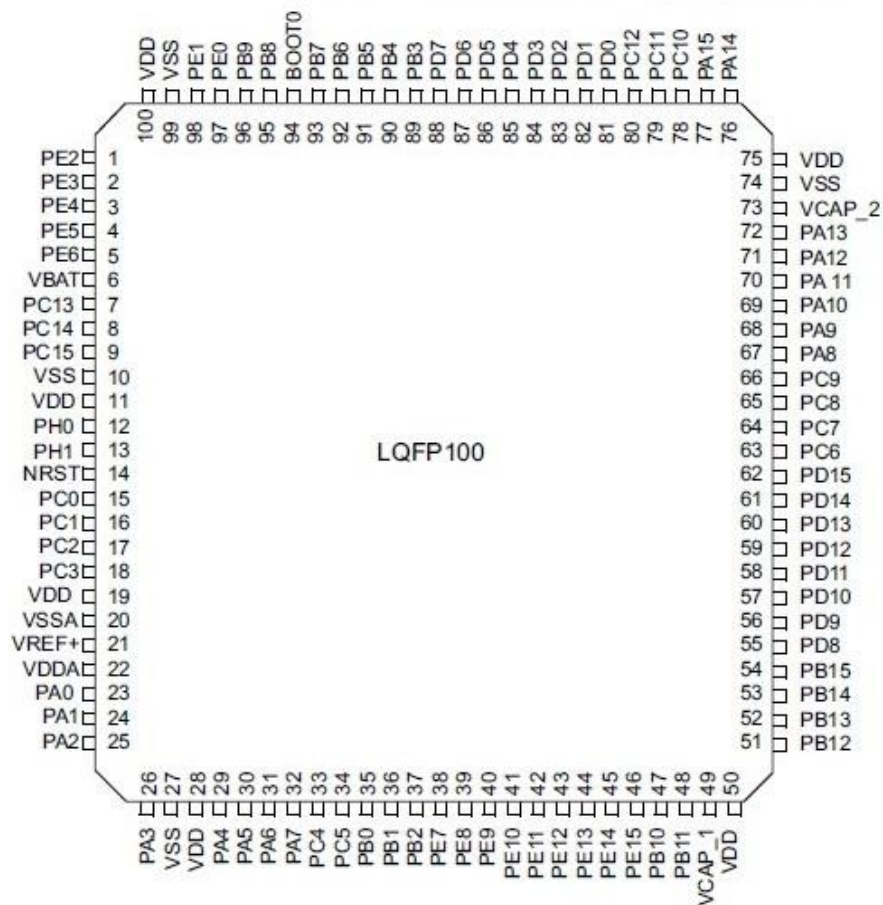


Рисунок 18 – Назначение выводов микроконтроллера STM32F429

Выводы PA0-PA15, PB0-PB15, PC0-PC15, PD0-PD15, PE0-PE15 являются портами ввода-вывода, большинство из которых имеет множество альтернативных функций. К выводам PH0 и PH1 подключается кварцевый резонатор, к выводам VDD, VDDA, VBAT, VREF+ - напряжение питания. VSS, VSSA, VCAP_1 и VCAP_2 – к общей шине. NRST – вход сброса, к нему подключается ключ, при нажатии которого вывод коммутируется на общую шину, а BOOT0 – вход подключения пользовательского ключа (кнопки).

Для проекта потребуется ЖК-модуль (дисплей), связанный с микроконтроллером STM32F429 по интерфейсу LTDC, который позволяет напрямую управлять дисплеем LTDC (LCD-TFT display controller) –

специальный TFT-контроллер, работающий с TFT-дисплеями, которые обладают RGB-интерфейсом.

3.2.1 Описание интерфейса CC1000 - STM

Связь между трансивером CC1000 и микроконтроллером STM реализована при помощи трехпроводной интерфейса конфигурации (выводы PALE, PDATA, PCLK) и сигнального интерфейса (выводы DIO, DCLK), как показано на рисунке 19.

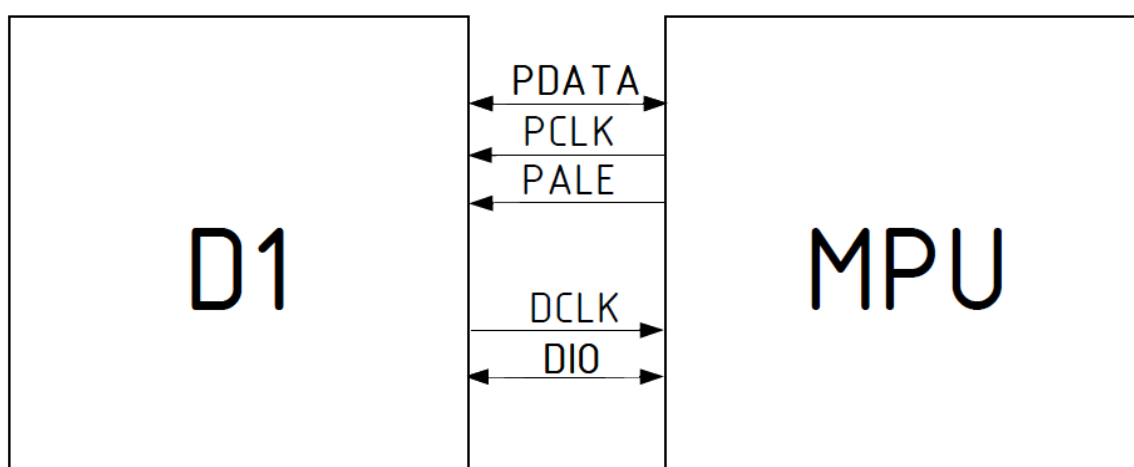


Рисунок 19 – Связь трансивера CC1000 с микроконтроллером

Рассмотрим подробнее интерфейс конфигурации.

Вывод PDATA представляет собой двухстороннюю линию для чтения/записи данных. PCLK – предназначен для тактирования. PALE – для указания, «защёлкивания» адреса чтения/записи.

Для реализации интерфейса конфигурации со стороны микроконтроллера может использоваться модуль SPI, настроенный в режиме полудуплекса.

SPI (Serial Peripheral Interface) – последовательный синхронный интерфейс, в котором передача данных осуществляется в режиме абсолютного дуплекса, рассчитанный для соединения (сопряжения) микроконтроллеров и периферии. Мастер генерирует импульсы синхронизации и передает SCK другим устройствам на шине (рисунок 20).

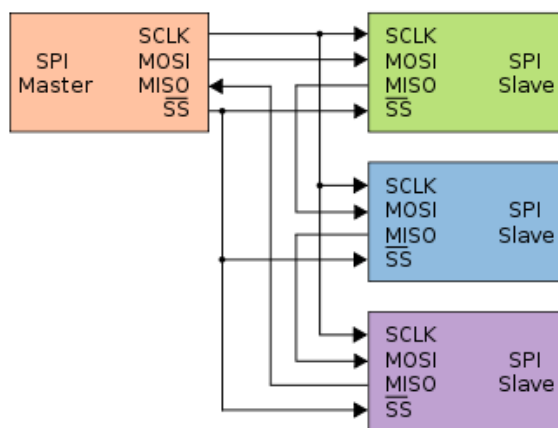


Рисунок 20 – Главное (Master) и подчиненное (Slave) устройства интерфейса SPI

Следует отметить, что в SPI используется четыре цифровых сигнала;

- MOSI осуществляет передачу данных от главного устройства к подчиненному;
- MISO осуществляет передачу данных от подчиненного к главному устройству;
- SCLK или SCK тактирующий сигнал задается главным устройством, который синхронизирует прием или передачу данных;
- CS (Chip Select) или SS позволяет подчиненному устройству начать работать.

SPI в режиме способен работать в двух вариантах конфигурации.

- 1 Один провод тактирование и один двунаправленный провод для передачи и приёма данных;
- 2 Одно тактирование и однонаправленная линия данных (только на передачу или только на приём).

В данном случае PDATA является двунаправленной линией (режим полудуплекса), соответственно нам подходит первый вариант. Этот режим включается установкой бита BIDIMODE в SPI_CR1 регистра. В этом случае PSLK режим используется для тактирования и MOSI в MASTER или MISO в режиме SLAVE используется для передачи данных. Направление передачи

(вход/выход) определяется битом VIDIOE в SPI_CR1 регистр. Когда бит равен единице, линия передачи ввод.

Теперь рассмотрим подробнее сигнальный интерфейс. Данный интерфейс может работать в трех режимах: Synchronous NRZ mode, Synchronous Manchester encoded mode, Transparent Asynchronous UART mode.

Для нас предпочтительным вариантом будет использование универсального асинхронного интерфейса UART между микросхемой CC1000 и микроконтроллером.

UART [7] (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) последовательный интерфейс передачи данных, предназначенный для организации связи с другими цифровыми устройствами. UART реализуется при помощи двух линий: одна на передачу, другая на приём.

У микросхемы CC1000 под UART выделены два вывода. Вывод DIO используется для приёма сигнала микросхемой CC1000 от микроконтроллера. Вывод DCLK – используется для передачи данных от микросхемы CC1000 к микроконтроллеру STM. Так как микросхема CC1000 используется в режиме приёмника, нам потребуется только одна линия DCLK.

Со стороны микроконтроллера потребуется настроить UART в микросхеме CC1000 путем записи в регистр MODEM0[6,4] последовательности бит (101), для выбора скорости передачи по UART.

Скорость обмена по UART будет 38,4 кбит/с. Со стороны микроконтроллера должен быть настроен вывод с подтяжкой.

На рисунке 21 показано, как происходит обмен данными. В режиме передачи от микроконтроллера к микросхеме CC1000, данные предоставляются по DIO, DCLK – не используются в режиме передачи, «RF» частотная манипуляция модулирующего сигнала в CC1000.

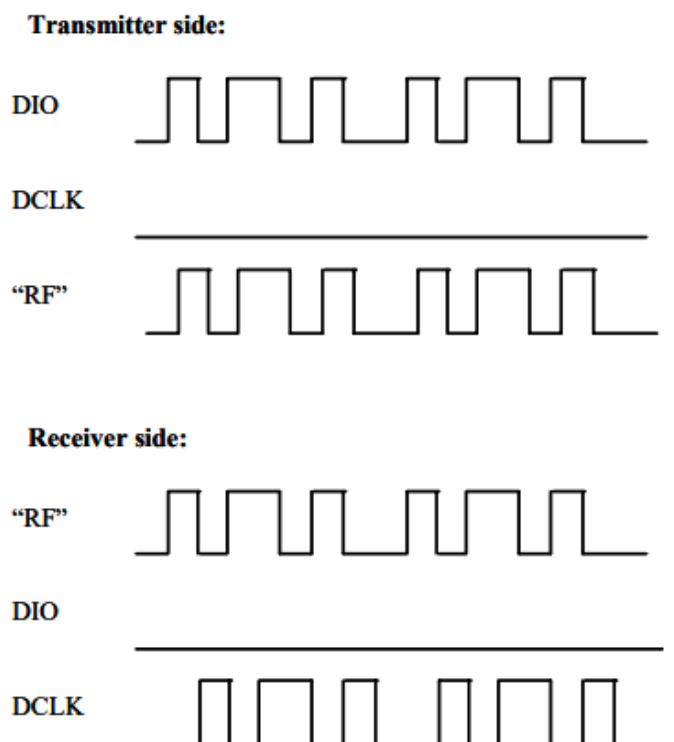


Рисунок 21 – Режим UART

В режиме приёма от микросхемы CC1000 к микроконтроллеру, вывод DIO не используется, «RF» демодулированный сигнал в CC1000, DCLK обеспечивает выход данных.

3.2.2 Описание интерфейса STM – LCD

Интерфейс LTDC (LCD-TFT display controller) позволяет напрямую управлять дисплеем – специальный TFT-контроллер, работающий с TFT-дисплеями, которые обладают RGB-интерфейсом.

Одним из широко распространенных современных дисплейных интерфейсов (для TFT-панелей) является параллельный интерфейс RGB565 [8] (рисунок 22).

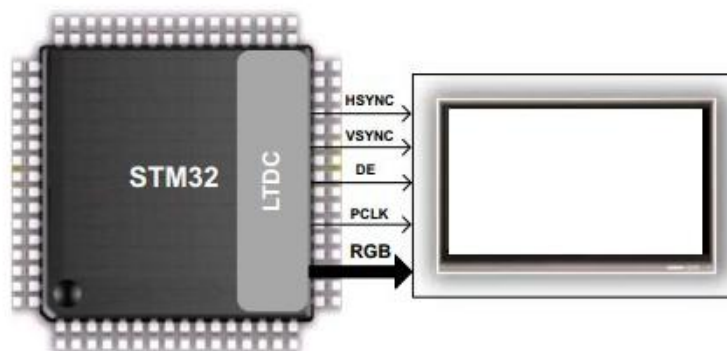


Рисунок 22 – Подключение по интерфейсу Parallel RGB

В отличие от рассмотренных ранее примеров, работа с данным интерфейсом не подразумевает передачу каких-либо команд по шине, а происходит передача только полезных пиксельных данных, что благотворно влияет на скорость передачи информации о значении пикселей на дисплей.

В данном варианте дисплейные модули не содержат графической памяти и внешнего контроллера, что удешевляет их, зато необходима передача кадров с частотой 60 Гц.

Управление дисплеем по данному интерфейсу происходит при помощи следующих сигналов:

- сигнала синхронизации линии изображения HSYNC;
- сигнала синхронизации кадра изображения VSYNC;
- сигнал DE, сообщающий о необходимости захвата полезных данных (значений пикселей);
- данных пикселя RGB (до 16 линий).

В результате был выбран дисплей модели MI0240GT-1 (рисунок 23).



Рисунок 23 – ЖК дисплей MI0240GT-1

Дисплей MI0240GT-1 обладает следующими характеристиками [9]:

- LCD-TFT дисплей;
- параллельный интерфейс RGB;
- размер 42,72 x 59,46 мм;
- область просмотра 39,12 x 51,36 мм;
- тип подсветки LED;
- потребляемая мощность 304 мВт;
- входное напряжение 2,8 В.

3.3 Рекомендации к электрической принципиальной схеме

На основании рекомендации схемы включения разработана электрическая принципиальная схема применения готового трансивера на микросхеме CC1000 на основе технической документации в [4], которая представлена на рисунке 24.

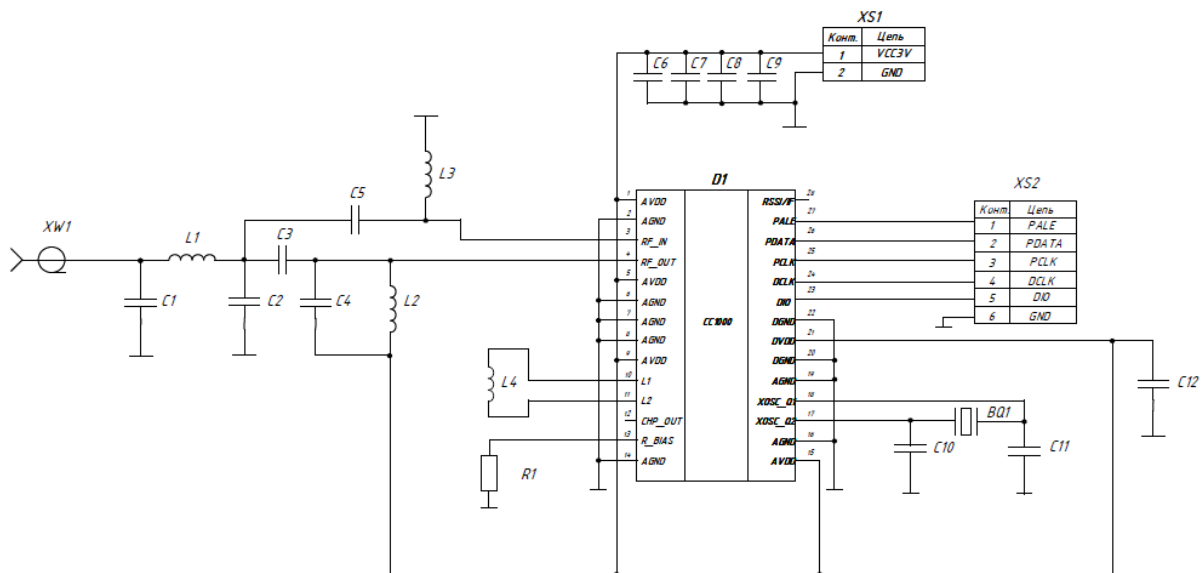


Рисунок 24 – Электрическая принципиальная схема включения CC1000

CC1000 имеет расширенный амплитудный регулируемый кварцевый резонатор. Высокий ток используется для запуска колебаний.

Когда амплитуда нарастает, ток уменьшается, что необходимо для поддержания амплитуды 600 мВ.

Это обеспечивает быстрый запуск, сохраняет текущее потребление. Внешний или внутренний тактовые сигналы могут быть использованы в качестве основной частоты. Внешний тактовый сигнал должен быть подключен к XOSC_Q1, а XOSC_Q2 следует оставить открытым. В XOSC_BYPASS бит в регистре FRONT_END должен быть установлен при использовании внешнего тактового сигнала.

Частота кварцевого резонатора должна быть в диапазоне 3...4, 6...8 или 9...16 МГц. Для организации приема и передачи данных по интерфейсу UART без потерь, выбираем частоту кварцевого резонатора 11,0592 МГц.

Кроме того, требуются конденсаторы C7 и C8 для кварцевого резонатора. Значения конденсатора зависит от суммарной емкости нагрузки. Суммарная емкость C_L рассчитывается по следующей формуле:

$$C_L = \frac{1}{\frac{1}{C_6} + \frac{1}{C_7}} + C_P,$$

где C_P – паразитная емкость, которая составляет 8 пФ.

$$C_L = \frac{1}{\frac{1}{18} + \frac{1}{18}} + 8 = 16 \text{ пФ.}$$

Дополнительный LC-фильтр (рисунок 25) может быть добавлен между антенной. Фильтр позволяет сократить выбросы гармоник и позволяет повысить избирательность приёмника.

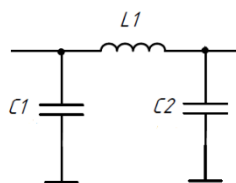


Рисунок 25 – LC-фильтр

ГУН имеет только одну катушку индуктивности (L4). Катушка индуктивности L4 определяет диапазон рабочих частот схемы.

Важно поместить катушку индуктивности, как можно ближе к контактам, так как это уменьшит возникновение паразитной индуктивности. Рекомендуется использовать высокую добротность.

Конденсаторы С6...С9 и С12 используются, как фильтрующие.

Конденсатор С5 и катушка индуктивности L3 образуют цепь согласования.

Значения компонентов электрической принципиальной схемы (рисунок 24) представлены в таблице 3 на основе рекомендаций технической документации.

Таблица 3 – Значения компонентов электрической принципиальной схемы

Поз. обозначение	Наименование	Количество
С1	Конденсатор типоразмер 0603, 10 пФ, 5%,	1
С2	Конденсатор типоразмер 0603, 10 пФ, 5%	1
С3	Конденсатор типоразмер 0603, 4,7 пФ, 5%	1
С4	Конденсатор типоразмер 0603, 10 пФ, 5%	1
С5	Конденсатор типоразмер 0603, 10 пФ, 5%	1
С6	Конденсатор типоразмер 0603, 0,1 пФ, 5%	1
С7	Конденсатор типоразмер 0603, 0,1 пФ, 5%	1
С8	Конденсатор типоразмер 0603, 0,1 пФ, 5%	1
С9	Конденсатор типоразмер 0603, 0,1 пФ, 5%	1
С10	Конденсатор типоразмер 0603, 18 пФ, 5%	1
С11	Конденсатор типоразмер 0603, 18 пФ, 5%	1
С12	Конденсатор типоразмер 0603, 0,1 пФ, 5%	1
L1	Индуктивность 0805 LQN21A, 5.6 нГн, 5%	1
L2	Индуктивность 0805HQ-2N5XKBC, 2.5 нГн 10%	1
L3	Индуктивность 0805CS-680XKBC, 120 нГн 10%	1
L4	Индуктивность KL732ATE4N7C, 4.7 нГн 5%	1
R1	Резистор MF-25 (С2-23), 82 кОм, 1%	1
BQ1	Кварцевый резонатор с частотой 11,0592 МГц	1
XW1	Выход антенны	1
XS1	Разъём питания	1
XS2	Разъём коммуникации	1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе, согласно техническому заданию рассмотрены принципы работы типового анализатора спектра. Исходя из этого составлены требования к разрабатываемому устройству. В результате предложено использовать готовый трансивер CC1000.

Разработана функциональная схема устройства предлагаемого решения, электрическая принципиальная схема включения микросхемы CC1000. Разработка осуществлена на базе современных, специализированной интегральной микросхеме CC1000 и STM-микроконтроллера.

Рассмотрены интерфейсы между интегральной микросхемой CC1000 и микроконтроллером STM32F429ZIT6 и интерфейс между жидкокристаллическим дисплеем модели MI0240GT-1 и STM32F429ZIT6.

Составлены рекомендации по электрической принципиальной схеме включения CC1000.

Следующим этапом разработки анализатора спектра, планируется разработка полной электрической принципиальной схемы на основании разработанного технического облика, изготовление макета, разработка встроенного программного обеспечения и проведение контрольной проверки на соответствии ТЗ.

					ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нелицензируемый диапазон частот для интернет вещей [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/2018/10/31/novyye-diapazonyi-chastot-dlya-interneta-veshhey>
2. DOC. Aglient Application Note 150-15. Основы анализа спектра. Aglient Technologies, 2006.-120 стр.
3. Колосовский, Е.А., Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие для вузов / Е.А. Колосовский – М.: Горячая линия - Телеком, 2007. – 456 с.: ил.
4. CC1000 Single Chip Very Low Power RF Transceiver [Электронный ресурс]: Datasheet/Chipcon Products from Texas Instruments. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1000.pdf>
5. STM32F429 [Электронный ресурс]: Datasheet/ STMicroelectronics. Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00071990.pdf>
6. Радиоэлектронные компоненты фирмы STMicroelectronics – <http://www.st.com/web/en/home.html>
7. Интерфейс UART [Электронный ресурс]. –Электронные данные. – Режим доступа: <http://easyelectronics.ru/avr-uchebnyj-kurs-peredacha-dannyx-cherez-uart.html>
8. Интерфейс RGB [Электронный ресурс]. –Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/ne/2018/1/2-stm32-sovremennyiy-tft-display-variantyi>
9. LCD MODULE SPECIFICATION MODEL: MIO240GT-1 [Электронный ресурс]: Datasheet/MULTI-INFNO TECHNOLOGY CO., LTD.– Электронные данные.– Режим доступа: https://www.promelec.ru/datasheet/e/6/MI240GT-1_Specification.pdf

					ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

10. СТО ЮУрГУ 04–2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Парубочая Т.И., Сырейщикова Н.В., Гузеев В.И., Винокурова Л.В. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

					<i>ЮУрГУ-Д.11.03.02.2019.228.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49