

## Оглавление

Реферат .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Введение .....	2
1 Обзор технической литературы .....	3
1.1 Микроконтроллер .....	3
1.2 Отладочная плата Arduino Mega.....	5
1.3 Программируемый радиоприемник .....	8
1.4 Реализация часов .....	34
1.5 Дисплей .....	41
2 Расчетная часть.....	46
2.1 Динамический диапазон.....	46
2.2 Предварительные искажения ФМ-передатчика.....	47
2.3 Расчёт полосы пропускания.....	48
3 Разработка структурной и принципиальной схем устройства .....	50
4 Разработка кода программы .....	51
5 Экспериментальная проверка .....	53
6 Организационно-экономическая часть .....	56
6.1 Организация и планирование работ по теме.....	56
6.2 Расчёт стоимости проведения работ. ....	59
6.3 Полная себестоимость проекта.....	61
7 Заключение .....	63
Список литературы.....	64

## Введение

Несмотря на то, что широковещательное радио постепенно отходит на второй план с развитием сети Интернет и популяризацией новых стандартов передачи информации, приемники радиовещательных диапазонов АМ и ФМ до сих пор являются неотъемлемой частью современных многофункциональных устройств, но также остаются и востребованными самостоятельными устройствами на рынке электроники. Также следует упомянуть о том, что радио, в частности сеть УКВ-ЧМ диапазона, согласно Постановлению Правительства Москвы от 1 декабря 2015 г. N 795-ПП "Об организации оповещения населения города Москвы о чрезвычайных ситуациях", задействуется в случае необходимости оповещения жителей о чрезвычайных ситуациях. Для этих целей заранее зарезервированы четыре станции радиовещания Всероссийской государственной телевизионной и радиовещательной компании: «Маяк», «Радио России», «Орфей», «Юность». Этот факт показывает, что приемник является не просто устройством для развлечения и отслеживания новостей из СМИ, но также и устройством, от которого зависит безопасность жизнедеятельности людей.

Разрабатываемое в работе устройство, обладает функцией приемника с отображением времени, температуры, а также функцией будильника. Наличие сенсорного дисплея, через которое может осуществляться управление, делает его уникальным, так как подобные модификации радиоприемников на момент написания работы отсутствуют в широкой продаже.

В рамках работы, были раскрыты не все функциональные возможности подобранных комплектующих в силу ограниченного времени на выполнение работы. В дальнейшем планируется расширить диапазон принимаемых частот, а также повысить гибкость пользовательских настроек глобальным усовершенствованием программного кода.

# **1 Обзор технической литературы**

В разделе рассмотрены основные характеристики комплектующих, использующихся при разработке макета устройства, проведено сравнение различных вариантов исполнения и сделан обоснованный выбор.

## **1.1 Микроконтроллер**

Семейство Arduino включает в себя широкий ряд различных отладочных плат на базе микроконтроллеров AVR (Advanced Virtual RISC) и ARM (Advanced RISC Machines).

Микроконтроллеры с ядром ARM также являются одним из семейств процессоров на базе архитектуры RISC, разработанным компанией Advanced RISC Machines (ARM).

Существенных различий помимо строения ядер, в микроконтроллерах AVR и ARM нет, и первые и вторые выпускаются с различными разрядностями, поддерживаемыми интерфейсами и имеют архитектуру RISC. RISC – это наиболее востребованная архитектура процессоров, увеличивающая их быстродействие за счет использования упрощенных инструкций для ускорения их декодирования и выполнения.

Используемые в большинстве отладочных плат Arduino микроконтроллеры AVR доступны в трех основных подсемействах:

- TinyAVR – имеют мало памяти, небольшой размер, подходят только для простых приложений;

- MegaAVR – востребованная серия микроконтроллеров, в основном имеющая относительно большое количество памяти (до 256 КБ), большое количество встроенных периферийных устройств и подходят для сложных приложений;

- XmegaAVR – серия, используемая преимущественно в крупных коммерческих проектах для решения сложных задач с помощью программ, которым требуется много памяти и высокая скорость вычислений.

Отладочные платы Arduino просты в использовании и не имеют встроенных дисплеев, кнопок (за исключением кнопки перезагрузки) или датчиков. В таблице 1

приведены основные характеристики плат Arduino, в таблице 2 – характеристики каналов связи платы с компьютером и внешними компонентами.

Таблица 1. Основные характеристики плат Arduino

Название	Процессор	Рабочее/входное напряжение, В	Частота процессора, МГц	Аналоговые выводы (In/Out)	Цифровые выводы (IO/PWM)
Uno	ATmega328	5/7-12	16	6/0	14/06
Due	AT91SAM3X8E	3,3/7-12	84	12/02	54/2
Leonardo	ATmega32u4	5/7-12	16	12/0	20/06
Mega 2560	ATmega2560	5/7-12	16	16/0	54/15
Micro	ATmega32u4	5/7-12	16	12/0	20/07
Mini	ATmega328	5/7-9	16	8/0	14/06
Nano	ATmega168	5/7-9	16	8/0	14/06
	ATmega328	5/7-9	16		
Ethernet	ATmega328	5/7-12	16	6/0	14/04
Esplora	ATmega32u4	5/7-12	16	—	—
Gemma	ATtiny85	3,3/7-16	8	1/0	03/02
Zero	ATSAMD21G18	3,3/7-12	48	06/01	14/10

Таблица 2. Характеристики памяти и интерфейсов отладочных плат Arduino

Название	EEPROM, Кбайт	SRAM, Кбайт	Flash, Кбайт	USB	UART
Uno	1	2	32	Regular	1
Due	—	96	512	2 Micro	4
Leonardo	1	02/05	32	Micro	1
Mega 2560	4	8	256	Regular	4
Micro	1	02/05	32	Micro	1
Mini	1	2	32	—	—
Nano	0,512	1	16	Mini-B	1
	1	2	32		
Ethernet	1	2	32	Regular	—
Esplora	1	02/05	32	Micro	—
Gemma	0,5	0,5	8	Micro	0
Zero	—	—	256	2 Micro	2

Термины, использующиеся в таблице 2:

– Flash-память (flash) – энергонезависимая память, допускающая многократную перезапись своего содержимого;

– Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM) – электрически стираемая перепрограммируемая энергонезависимая память (один из видов flash-памяти);

– Pulse-Width Modulation (PWM) – широтно-импульсная модуляция (ШИМ) – управление средним значением напряжения на нагрузке путём изменения скважности импульсов;

– Static Random Access Memory (SRAM) – статическая память с произвольным доступом, энергозависимый тип памяти;

– Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) – универсальный асинхронный приемопередатчик.

## 1.2 Отладочная плата Arduino Mega

Для реализации проекта была выбрана плата Arduino Mega, спроектированная на базе чипа ATmega1280. На платформе расположены 54 цифровых входов/выходов (из них 54 могут быть задействованы как выходы широтно-импульсной модуляции), 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART и разъем ICSP. Внешний вид платы представлен на рисунке 1.1, а её основные технические характеристики приведены в таблице 3.



Рисунок 1.1 – Внешний вид платы Arduino Mega

Таблица 3. Характеристики платы Arduino Mega ATmega2560

Параметр	Характеристика
Рабочее напряжение	5 В
Рекомендуемое входное напряжение	7-12 В
Предельное входное напряжение	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	54 (14 могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	16
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 мА
Флеш-память	256 Кб из которых 8 Кб используются для загрузчика

Параметр	Характеристика
ОЗУ	8 Кб
EEPROM	4 Кб
Тактовая частота	16 МГц

Питание Arduino Mega может осуществляться через USB шину и напрямую от внешнего источника питания. В качестве внешнего источника питания может быть использован преобразователь напряжения AC/DC, либо аккумуляторная батарея. Подключение происходит через разъем 2,1 мм, расположенным на плате, либо через выводы Vin и GND, подключаемые к плюсу и минусу источника питания соответственно.

Внешнее питание может быть от 6 до 20 В, но рекомендуемое напряжение находится в диапазоне 7-12 В.

На плате расположены выводы питания:

- Vin – задействуется для питания платформы от внешнего источника, если отсутствует питание от разъема USB;

- 5V – используется для питания микроконтроллера, компонентов на плате. Также его можно использовать для питания внешних устройств, подключаемых к Arduino;

- 3.3V – при подаче питания на плату на данном выводе появляется напряжение 3.3 В, которое генерируется встроенным на плату регулятором AMS1117. Максимальное потребление тока 50 мА;

- GND – выводы заземления.

Помимо выводов питания на плате расположены 54 цифровых входов/выходов и 16 аналоговых.

С помощью функций **pinMode()**, **digitalWrite()**, **digitalRead()** каждый из 54 цифровых выводов может быть настроен как вход или выход. Рабочее напряжение на выводах 5 В. Способны пропускать ток 40 мА.

Некоторые выводы имеют дополнительные функции:

(0, 1), (19,18), (17,16) – Rx и Tx могут выступать в качестве последовательной шины для передачи (Tx) и получения (Rx) данных TTL.

2, 3,18,19,20,21 – могут быть использованы для внешних прерываний.

**0-13** – при помощи функции **analogWrite()** могут обеспечить ШИМ с разрешением 8 бит.

**50, 51, 52, 53** - 53 (SS), 51 (MOSI), 50 (MISO), 52 (SCK). Через данные выводы может осуществляться связь SPI.

**A0 ... A15** – аналоговые выводы, каждый из которых имеет разрешение 10 бит.

**20 (SDA) и 21 (SCL)** - Посредством выводов осуществляется связь I<sup>2</sup>C.

**AREF** - Опорное напряжение для аналоговых входов.

**Reset** – используется для перезагрузки микроконтроллера.

### 1.2.1 Программная среда Arduino IDE

Отладочная плата Arduino Mega программируется посредством программного обеспечения Arduino IDE, интерфейс которого приведён на рисунке 1.1.

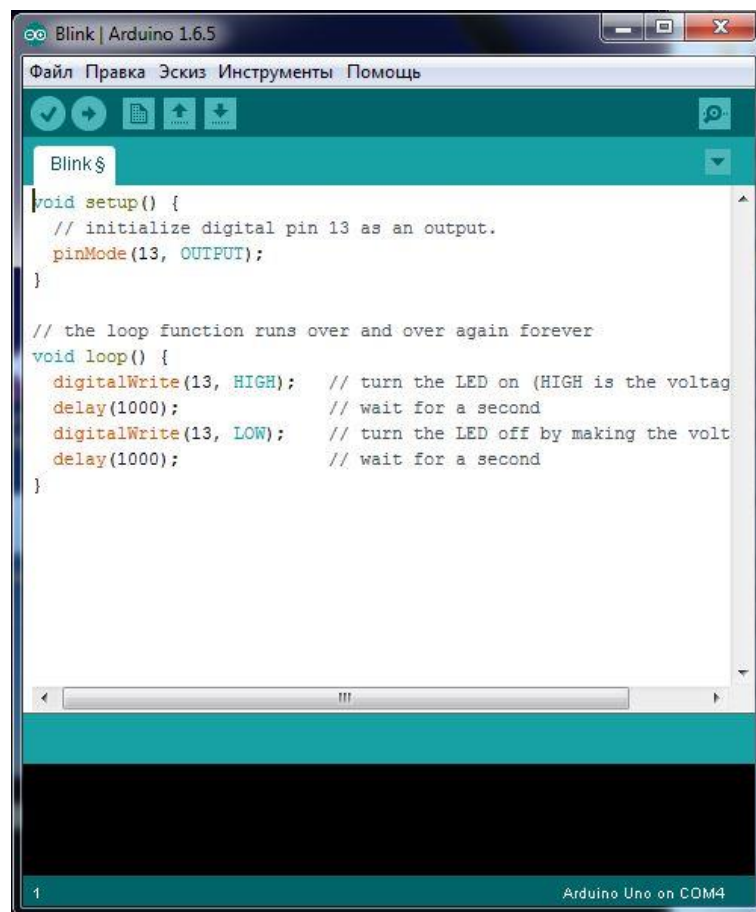


Рисунок 1.2 – Среда разработки Arduino IDE

Для начала работы в настройках выбирается микроконтроллер, затем следует написание программы и добавление библиотек для работы с подключаемыми устройствами, последним этапом является компиляция кода программы и её запись в микроконтроллер.

Программы, также они имеют название «скетчи», они пишутся на C++, с некоторыми дополнениями и функциями для управления вводом/выводом с соответствующих пинов. Эту версию C++ также называют Wiring. Как и в обычном C++ сначала объявляются библиотеки и глобальные переменные, но главной особенностью программ (скетчей) является то, что в них обязательно должны присутствовать две функции: `void setup()` и `void loop()`.

В `void setup()` описываются все первоначальные настройки и переменные, которые появляются при запуске платформы. В `void loop()` пишется сама программа которая будет выполнять задачи, возлагаемые на платформу.

Микроконтроллер ATmega2650 поставляется с записанным загрузчиком, облегчающим запись новых программ без использования внешних программаторов. При компиляции и загрузке скетча сначала текст программы передается компилятору avr-gcc, он в свою очередь переводит код программы в машинные коды пригодные для выполнения ядром микроконтроллера. Затем машинный код комбинируется с кодом из стандартных библиотек Arduino. В конечном результате получается файл в формате Intel HEX, который загружается в память микроконтроллера. Обычно запись кода в микроконтроллер выполняет стандартный UART-загрузчик Arduino.

### 1.3 Программируемый радиоприемник

Существуют следующие виды архитектур программируемого радио:

- Приёмники прямого преобразования;
- Супергетеродинные приёмники;
- Приёмники с низкой ПЧ;
- Приёмники с субдискретизацией.

Приёмником **прямого преобразования** (известным также, как приёмник с нулевой ПЧ) называется гомодинный приёмник, который преобразует ВЧ сигнал непосредственно в модулирующий сигнал, содержащий исходную передаваемую информацию (Рисунок 1.3). При прямом преобразовании ВЧ сигнала в модулирующий сигнал, на выходе смесителя появляется постоянная составляющая. Эту постоянную составляющую (называемую также постоянным смещением) нужно подавить во избежание ухудшения чувствительности демодулятора.



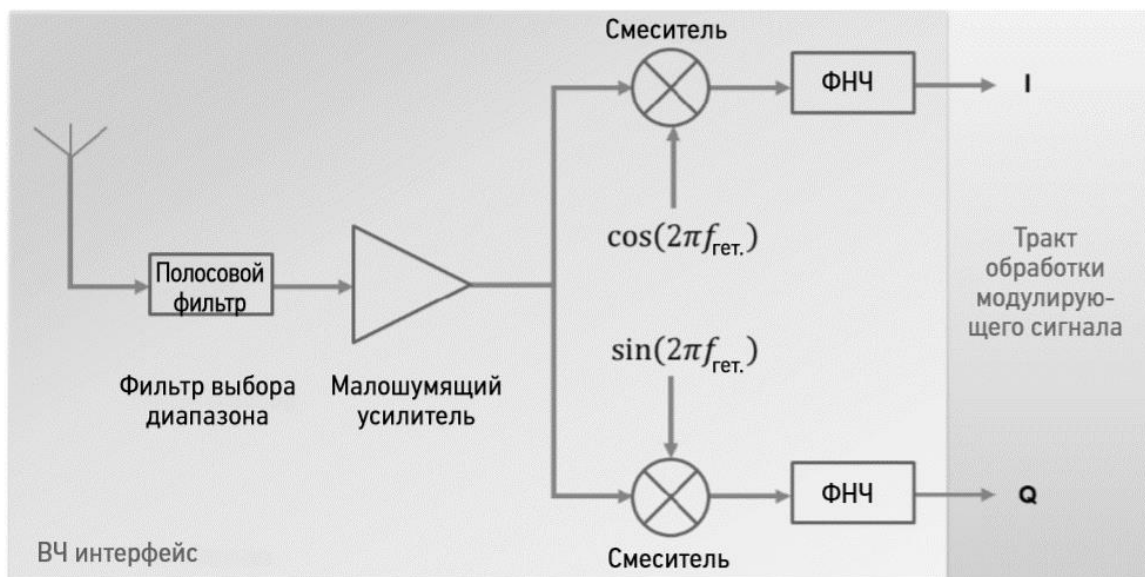


Рисунок 1.3 – Типовая структура гомодинного приёмника прямого преобразования

**Супергетеродинный приёмник** (называемый также приёмником двойного преобразования) состоит из двух смесителей, которые понижают частоту сигнала из ВЧ в ПЧ в первом каскаде и из ВЧ в модулирующий сигнал во втором каскаде (Рисунок 1.4). Для настройки на ВЧ канал и подавления зеркальных составляющих используется несколько фильтров с различными технологиями и характеристиками.

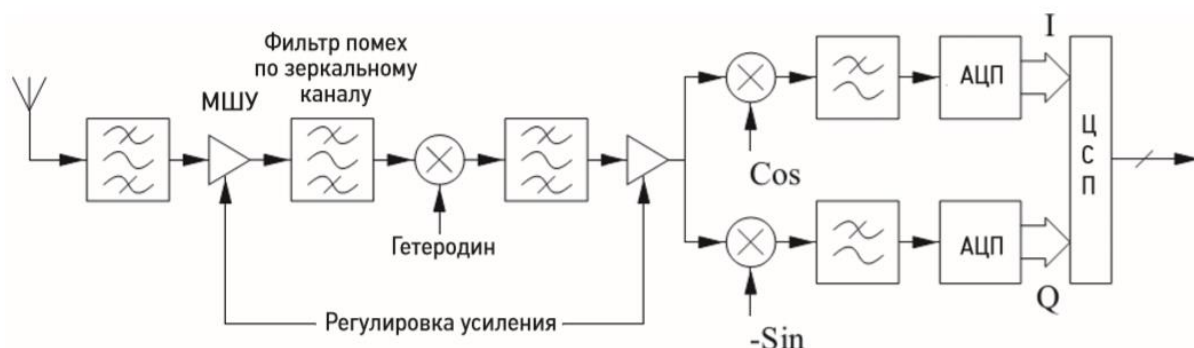


Рисунок 1.4 – Типовая структура супергетеродинного приёмника

Для обеспечения поддержки различных схем модуляции современные разработчики используют в приёмниках архитектуру с низкой ПЧ (Рисунок 1.5). Эта архитектура отличается переносом ВЧ сигналов на очень низкие промежуточные частоты. С помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) с высоким разрешением можно непосредственно преобразовать сигнал ПЧ в модулирующий сигнал, который затем подвергается базовой обработке сигнальным процессором.

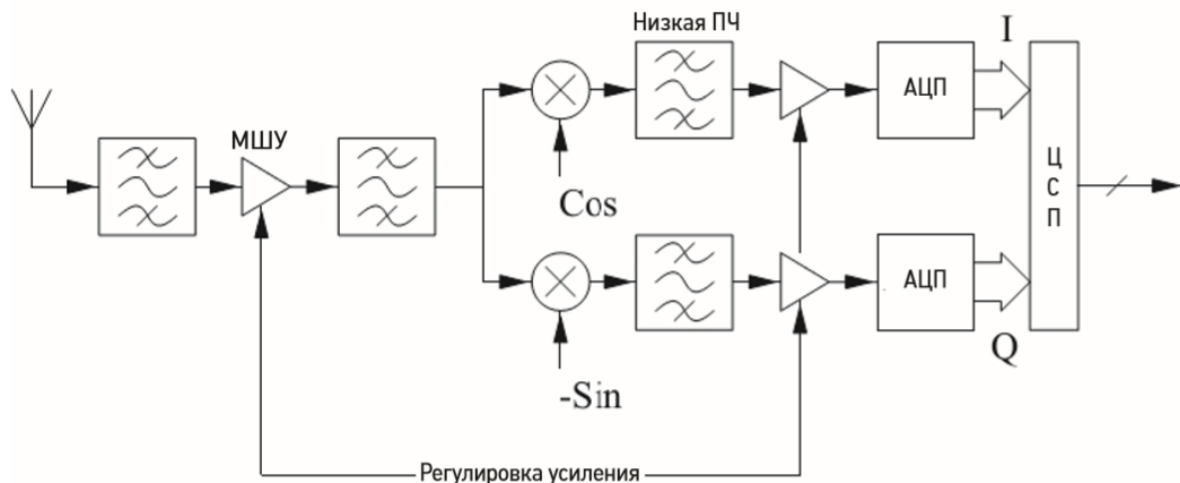


Рисунок 1.5 – Типовая структура приёмника с низкой ПЧ

Приёмник с субдискретизацией (Рисунок 1.6) имеет гомодинную архитектуру, которая выполняет преобразование в ПЧ и затем субдискретизацию, что упрощает применение высокоскоростной цифровой обработки сигнала. В этой архитектуре используются два цифровых смесителя, которые предотвращают возникновение дополнительных шумов и искажений. Преобразование частоты не создаёт постоянной составляющей и шума  $1/f$ . Оцифровка несущей частоты реализуется интегральными схемами структуры КМОП.

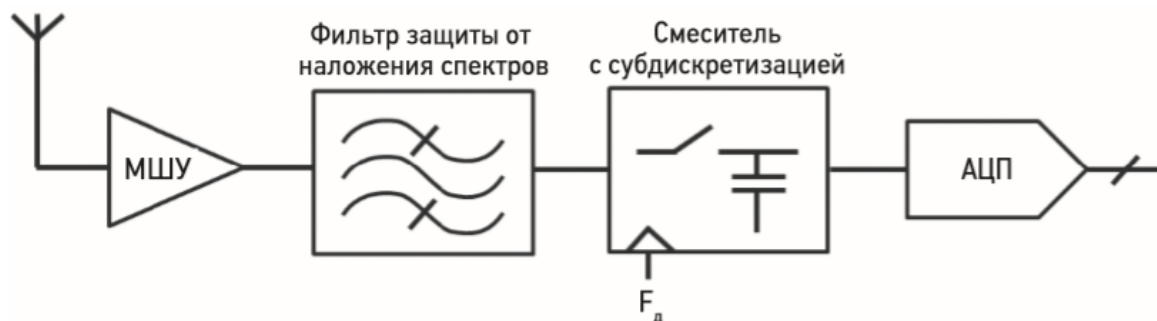


Рисунок 1.6 – Типовая структура приёмника с субдискретизацией

В таблице 4, представлено сравнение самых распространённых архитектур приёмников.

Таблица 4. Сравнительные характеристики архитектур радиоприёмников

Параметр	Гетеродин	Прямого преобразования	Субдискретизация	Низкая ПЧ
Избирательность	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
Аналоговые хар-ки	Высокие	Умеренные	Умеренные	Низкие
Гибкость	Низкая	Низкая	Высокая	Высокая
Реализуемость на КМОП	Низкая	Умеренная	Умеренная	Высокая
Шум	Низкий	Умеренный	Высокий	Низкий
Динамический диапазон	Большой	Большой	Большой	Большой

Для реализации проекта радио с часами и будильника была выбрана архитектура с низкой ПЧ. Далее рассматриваются 6 микросхем радиоприемников, из которых выбиралась микросхема, подходящая для создания макета.

Во всех рассматриваемых приемниках реализована **квадратурная обработка сигналов**.

Обработка в квадратурных каналах – является эффективным способом преобразования сигналов в функциональных узлах радиочастотного (РЧ) блока, т.е. при использовании квадратурных опорных сигналов со сдвигом 90 градусов, что эквивалентно представлению сигнала в комплексной форме. На рисунке 1.2 (слева-направо) приведены 4 основных компонента современной радиостанции:

— Звук в формате «моно» (L+R) – некоторые приемники переходят в этот режим автоматически при ухудшении качества принимаемого сигнала.

— Пилот-тон 19 КГц – используется для декодирования стерео-сигнала, для чего частота пилот-тона умножается на 2, и относительно полученной частоты 38 КГц разделяются стерео-каналы.

— Стереозвук – второй канал (L-R), находящийся на картинке симметрично относительно 38КГц.

— Канал RDS – передается на 3-й гармонике пилот-тона, его частота составляет соответственно  $19 \cdot 3 = 57$  КГц.

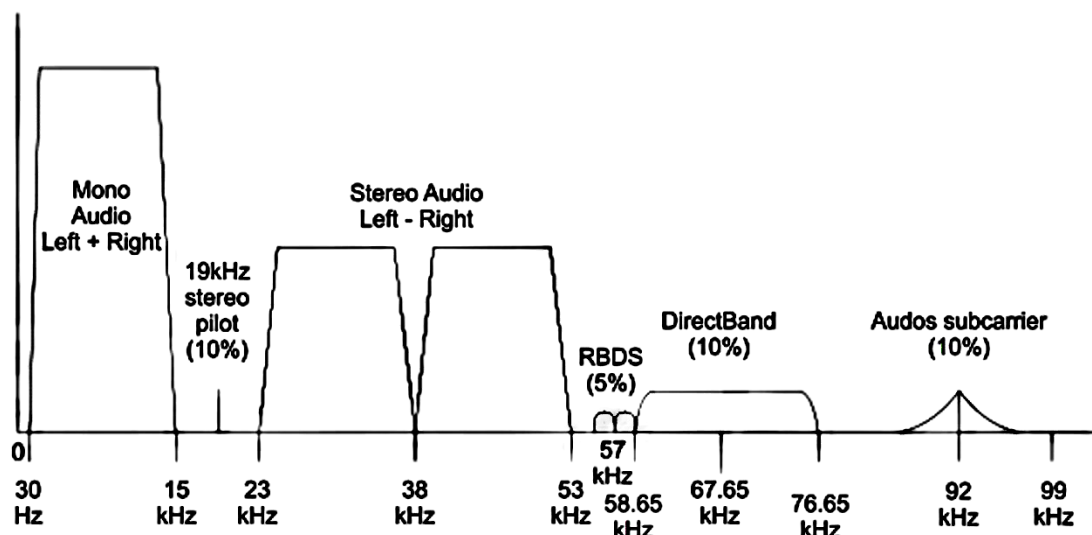


Рисунок 1.7 – Спектр современной радиостанции

### Функциональные блоки, применяемые в радиоприемных устройствах с низкой ПЧ.

Цифровой радиоприёмник можно реализовать разными способами, но некоторые компоненты в нём присутствуют всегда. Приёмник должен выделять полезный ВЧ сигнал в присутствии возможных помех, для чего используются следующие функциональные элементы:

- **Антенна** - интерфейс между каналом связи (свободным пространством) и входными цепями приёмника.
- **Фильтр предварительной селекции** - первый компонент приёмника, который подавляет принимаемые антенной внеполосные сигналы.
- **Малощумящий усилитель (МШУ)** – усиливает сигнал до требуемого уровня, добавляя к нему некоторый минимальный шум.
- **Усилитель мощности сигнала** - повышает уровень мощности сигнала; используется для усиления сигнала до максимального значения, при котором сохраняется линейность на выходе.
- **Смеситель** – понижает частоту ВЧ сигнала до промежуточной частоты (ПЧ), смешивая ВЧ сигнал с сигналом **гетеродина (LO)**. При смешении двух сигналов смеситель генерирует верхнюю и нижнюю боковые полосы (т.е. сумму и разность входных частот).

- **Фильтр ПЧ** – подавляет возникающие в смесителе нежелательные частотные составляющие и сигналы соседних частотных каналов.

После фильтра ПЧ в конструкции приёмника возможны вариации из следующих блоков:

- **Система АПЧ** –представляет собой генератор, управляемый напряжением (ГУН) и частотный дискриминатор, в качестве которого обычно используется фазовый детектор (ФД) и источник опорного сигнала (ОГ – опорный генератор).

- **Стереodeкодер** – ФМ-сигнал на выходе регулируемого усилителя сначала демодулируется в стереоплексированный сигнал (L+R и L-R), а затем разделяется на левый и правый сигналы.

- **Коррекция предискажений** – ослабление высокочастотных составляющих сигнала (обратная коррекция), усиленных на передающей стороне для повышения качества сигнала. Во время передачи ФМ-сигнала, для акцентирования высоких звуковых частот применяется фильтр предварительной коррекции (предварительного усиления). Все ФМ-приемники оснащаются фильтром коррекции предискажений, который ослабляет высокие частоты для восстановления плоской частотной характеристики. В разных регионах используются две постоянные времени – 50 или 75 мкс.

- **2- и 3-проводный интерфейсы** могут быть использованы для считывания и записи управляющих регистров.

- **Декодер RDS и RBDS** – блок цифровой обработки для декодирования, синхронизации, обнаружения и исправление ошибок, в данных принимаемых от радиостанции. Стандарт RDS используется в Европе, RBDS – в США.

- **Стабилизатор** с малым падением напряжения (LDO, low dropout) – стабилизатор напряжения, который позволяет использовать микросхему в портативных устройствах с автономными элементами питания и защищающий схему от «просадок» напряжения, при их разряде.

Основой узла, предназначенного для квадратурной обработки сигналов, является цепь, содержащая два перемножителя сигналов, в синфазном I (In-phase) и квадратурном Q (Quadrature) каналах (рис. 1.8). Подачу сигнала (опорного или же

входного) на квадратурные каналы необходимо производить с помощью фазовращателя на 90 градусов.

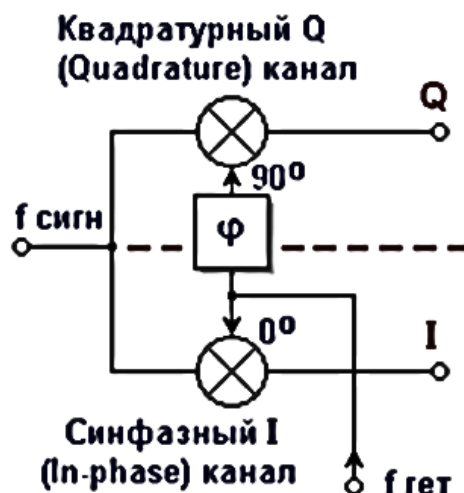


Рисунок 1.8 – Цепь квадратурной обработки сигналов

В зависимости от конкретной топологии, т.е. способа соединения блоков, подачи сигналов, видов сигналов и применения, I/Q цепи могут иметь различные функциональные назначения и названия: Для обработки сигналов с большинством видов фазовой и частотной модуляции в квадратурных каналах приемного тракта необходимо осуществлять фазовый сдвиг на 90 градусов в тракте гетеродина или сигнала (рис. 1.9).

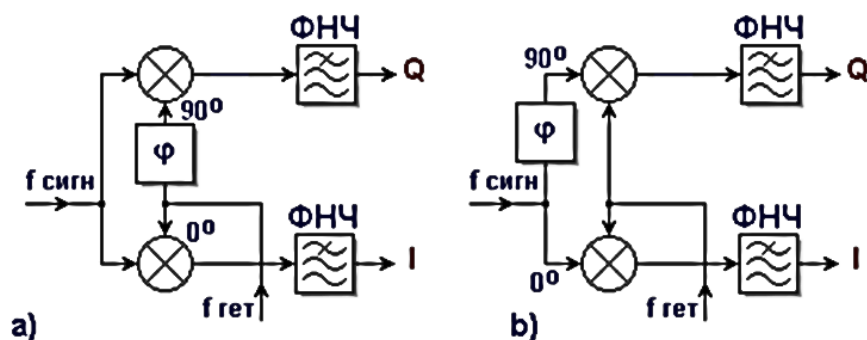


Рисунок 1.9 – Квадратурный сдвиг в тракте гетеродина (а) и сигнала (б)

Поскольку сдвиг по фазе принимаемого РЧ сигнала может привести к его искажению и увеличению уровня шума, желательно формировать сдвиг в тракте сигнала гетеродина, где сигнал имеет постоянные параметры (рис. 1.9а). В любом случае, ошибки в точности сдвига фаз по каналам и несоответствие амплитуд

сигналов I и Q (I/Q Mismatch) нарушает при преобразовании вниз канонический вид принимаемого сигнального созвездия (signal constellation), тем самым, увеличивая коэффициент битовых ошибок. Все элементы схемы в I и Q каналах могут вносить вклад в погрешность амплитуды (коэффициента усиления) и фазы.

Широкое распространение в таких структурах получают устройства активного подавления нежелательных (зеркальных) компонент (Image Rejecting), в частности - смесители с квадратурными каналами. Использование таких смесителей позволяет решить классическую проблему фильтрации - подавление нежелательных компонент без использования на выходах смесителя громоздких фильтров, о чем более подробно будет рассказано далее.

За удобство обработки сигнала приходится платить усложнением аппаратной реализации узлов, так как в РЧ блоке происходит увеличение каналов обработки вдвое – появляются отдельные каналы для I и Q сигналов. Кроме того, эти каналы должны обладать высокой идентичностью амплитудных и фазовых характеристик в диапазоне рабочих частот.

Как правило, для получения опорных сигналов квадратурных каналов в качестве фазовращающего узла используется делитель частоты на два. Этот метод формирования опорных сигналов получил широкое распространение, так как он наиболее прост, работает в широком диапазоне изменения частот.

**Обработка звука.** Мультиплексированный сигнал после ФМ демодуляции состоит из сигнала левого и правого каналов, несущая частота вычисляется следующим образом:

$$m(t) = [L(t) + R(t)] + [L(t) - R(t)] \sin(4\pi f + 2\theta_0) + a \sin(4\pi f + 2\theta_0),$$

где функции  $L(t)$  и  $R(t)$  - звуковые сигналы на левом и правом каналах,

$f = 19$  кГц,

$\theta$  - начальная фаза несущей частоты,

$a$  - величина несущей частоты.

В режиме **стерео** - каналы L и R восстанавливаются и разделяются с помощью демультимплексора. В **монофоническом** режиме обрабатывается суммарный аудиосигнал  $L + R$ .

### 1.3.1 Обзор микросхем программируемых радиоприемников.

**AR1000/AR1010** – микросхема фирмы AIRONA – стерео ФМ-приемник поддерживающий ФМ в диапазоне от 76 до 108 МГц (Европа/США/Япония).

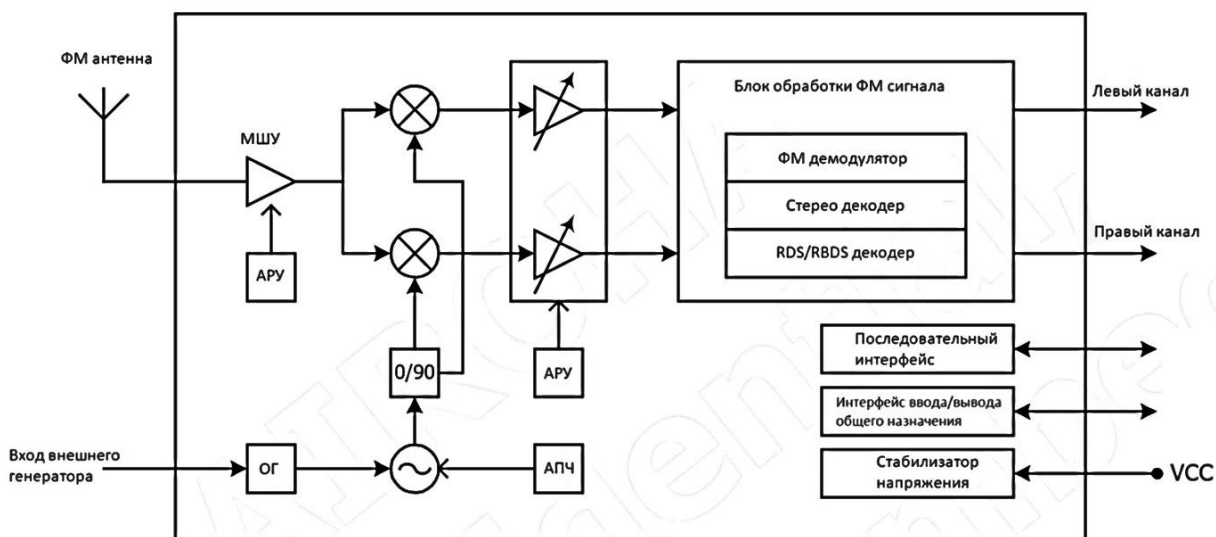


Рисунок 1.10 – структурная схема AR1000

Опорный генератор является встроенным, поэтому для работы радиоприемника потребуется только внешний источник сигнала 32,768 кГц. Переход к ПЧ осуществляется с помощью **квадратурного гетеродина**. Основные функции блока обработки ФМ сигналов это ФМ-демодуляция и стереодекодирование. Декодированные стереосигналы выводятся на контакты LOUT и ROUT. Уровень звука можно отрегулировать либо отключить, посылая соответствующую команду через последовательный интерфейс. Стерео обработка сигнала может быть отключена для вывода моносигнала, в случаях, если принимаемый сигнал - слабый.

**QN8075** – микросхема фирмы Quintic – стереофонический ФМ-приемник, предназначенный для мини-динамиков и MP3-плееров. Он объединяет функции приема FM, автоматический поиск и фильтрацию каналов.



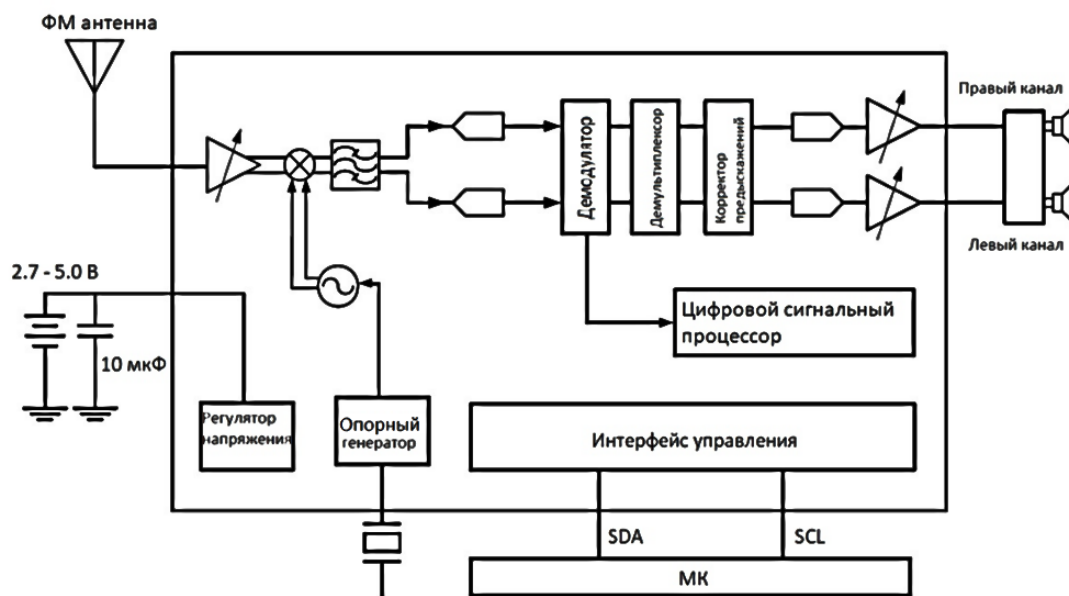


Рисунок 1.11 – структурная схема QN8075

QN8075 имеет интегрированный опорный генератор (для его работы требуется кварц на 32.768 КГц), генератор тонального сигнала 1 КГц.

Полученный радиочастотный сигнал усиливается с помощью МШУ, а затем преобразуется в ПЧ с помощью квадратурного смесителя. Чтобы улучшить подавление зеркального канала, квадратурный смеситель можно запрограммировать на сложение либо вычитание сигналов.

В приемнике реализована **автоматическая регулировка усиления (АРУ)** для оптимизации отношения сигнал/шум, а также для подавления линейных и интерференционных помех. Отфильтрованный сигнал оцифровывается и обрабатывается цифровым ФМ-демодулятором и демультиплексором. Обработка звука выполняется с учетом качества принимаемого сигнала и состояния принимаемого канала. Два аудио ЦАП встроены в микросхему для управления аудиовыходом.

**Показатель уровня принимаемого сигнала, (RSSI)** - устройство измерения уровня принимаемого сигнала, измерение производится по логарифмической в дБм (децибел относительно 1 мВт). Он может быть прочитан из регистров RSSIDB [7: 0]. На рисунке 2.3 показана кривая RSSI по сравнению с различными уровнями

входного сигнала с антенны. Дополнительно RSSI для поиска доступных радиостанций в автоматическом режиме.

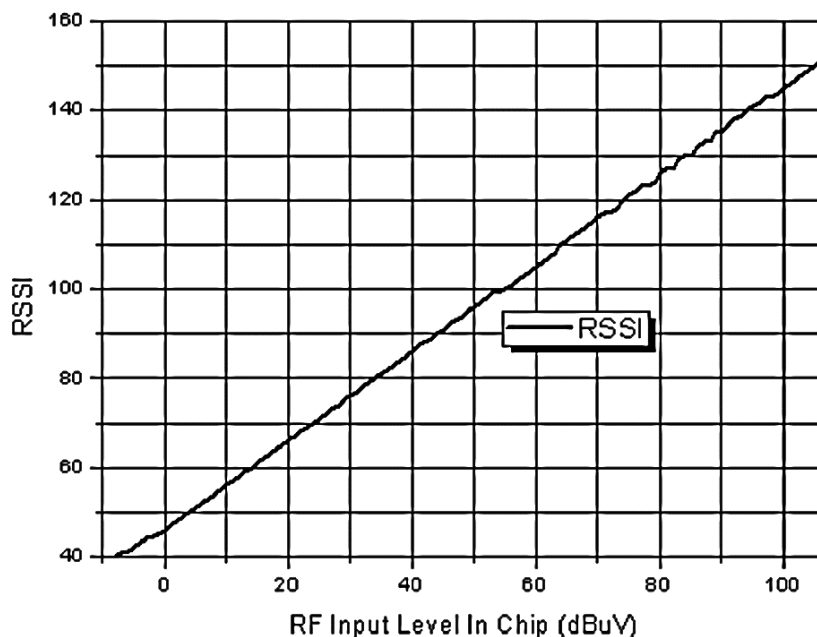


Рисунок 1.12 – Зависимость уровня RSSI от уровня принимаемого сигнала на частоте 88 МГц

В режиме приема ФМ сигналов поддерживается стереофоническое шумоподавление (SNC), управление пороговым уровнем сигнала (HCC) и мягкое отключение звука (SM). Стереофоническое шумоподавление достигается путем постепенного объединения левого и правого сигналов в монофонический сигнал по мере ухудшения качества принимаемого сигнала. SNC, HCC и SM контролируются значением соотношения сигнал/шум (SNR).

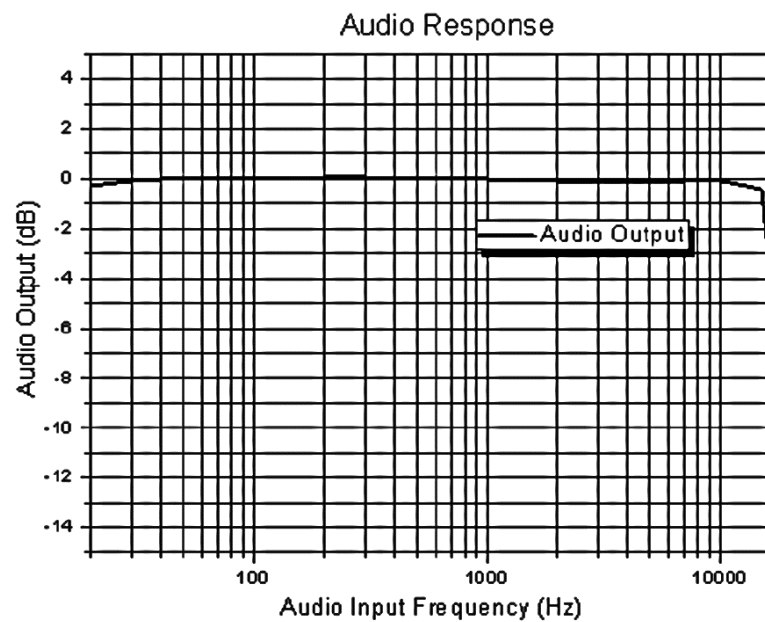


Рисунок 1.13 – Зависимость уровня выходного аудио сигнала от его частоты

В режиме приема QN8075 может **автоматически** настраиваться на станции с хорошим качеством сигнала (рис. 1.12).

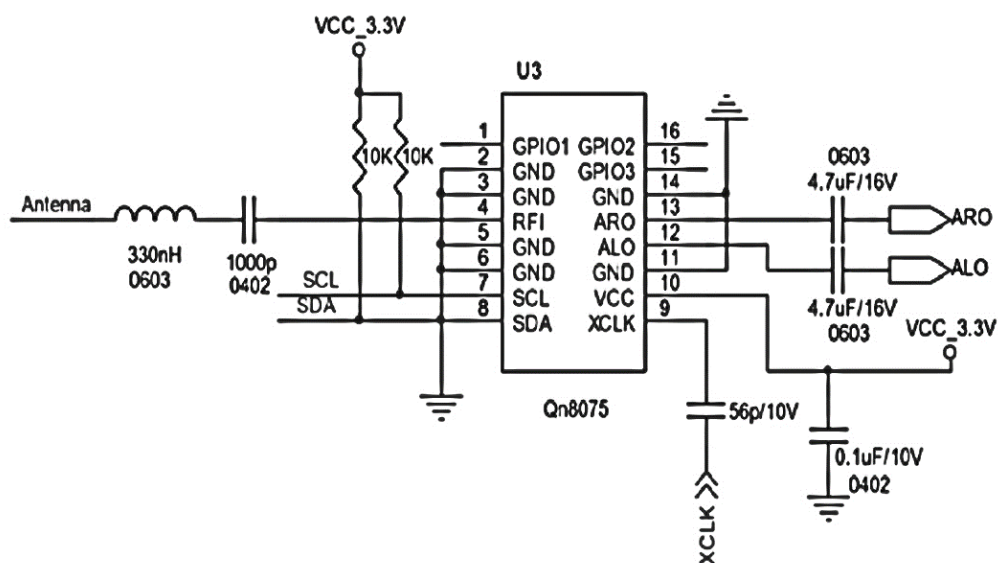


Рисунок 1.14 – Рекомендуемая схема включения QN8075

**RDA5807** – микросхема фирмы RDA Microelectronics, использующая цифровой сигнальный аудио процессор. В микросхеме присутствует МШУ поддерживающий широкополосный диапазон ФМ (от 50 до 115 МГц), ПУ, аналого-цифровые преобразователи с высоким разрешением (АЦП) и высокоточные цифровые аналого-цифровые преобразователи (ЦАП). Для улучшения качества звучания в данной микросхеме вычисляется показатель уровня принимаемого сигнала RSSI.

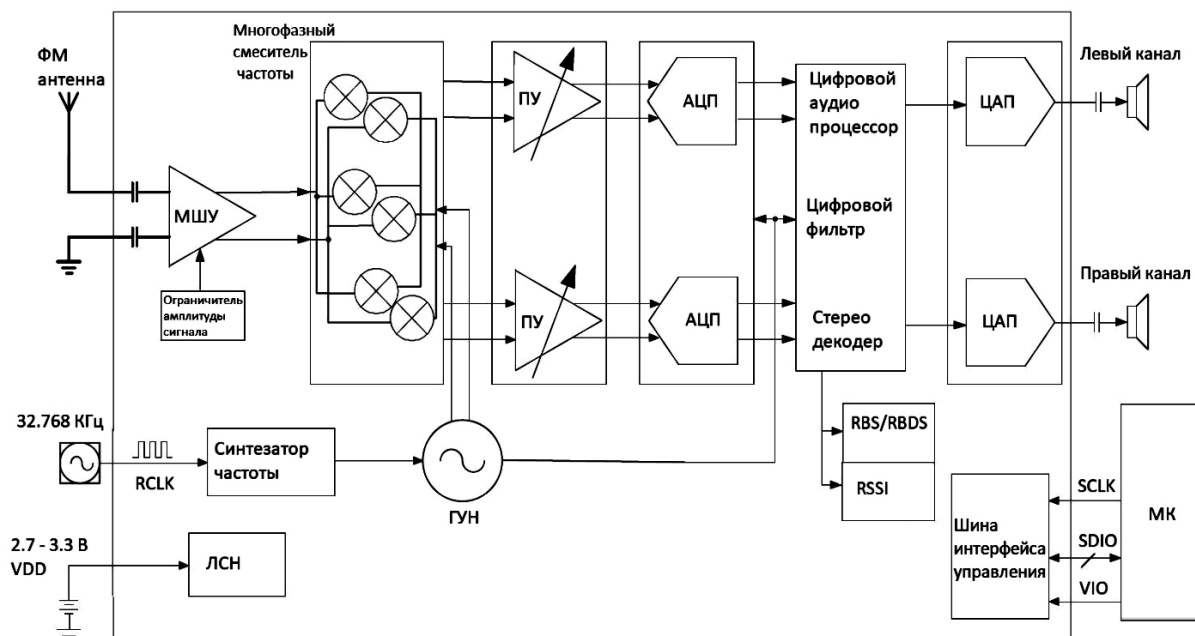


Рисунок 1.15 – Структурная схема RDA5807

**Ограничитель амплитуды сигнала** предотвращает перегрузку и ограничивает количество интермодуляционных составляющих, создаваемых сильными соседними радиостанциями.

**Цифровой аудио процессор** осуществляет выбор принимаемого канала, демодуляцию ФМ сигнала, декодирование сигнала с помощью мультиплексорного стереодекодера и передает выходной сигнал на ЦАП.

**Мультиплексорный стереодекодер** автоматически переключается с стерео- на моно- режим для ограничения уровня выходных шумов.

**ЦАП** преобразует цифровой аудиосигнал в аналоговый и изменяет его громкость. ЦАП имеет низкочастотную характеристику и частота на уровне - 3 дБ составляет около 30 кГц.

**Синтезатор частоты опорного генератора** используется для получения частоты гетеродина, который, в свою очередь, разделяется на многофазный сигнал, а затем используется для понижения частоты информационного сигнала, полученного с входа антенны до низкой промежуточной частоты. Контрольная частота опорного генератора составляет 32,768 кГц, данная частота соответствует частоте внешнего кварцевого генератора, подключаемого к микросхеме

радиоприемника. Частота синтезатора устанавливается в диапазоне от 50 МГц до 115 МГц с помощью отправки на микросхему битов CHAN [9: 0].

**Генератор, управляемый напряжением (ГУН)** - электронный генератор, частота колебаний которого зависит от подаваемого на генератор управляющего напряжения.

**Электропитание** осуществляется за счет одного линейного стабилизатора с низким падением напряжения (LCH), через который подается питание на чип. Диапазон подаваемого внешнего напряжения питания составляет 1,8-3,3 В.

**Сброс** микросхемы RDA5807M происходит при подаче напряжения VIO.

На рисунке 1.15 изображена схема включения RDA5807M, рекомендуемая для низкоомных устройств воспроизведения звуковой частоты (менее 32 Ом).

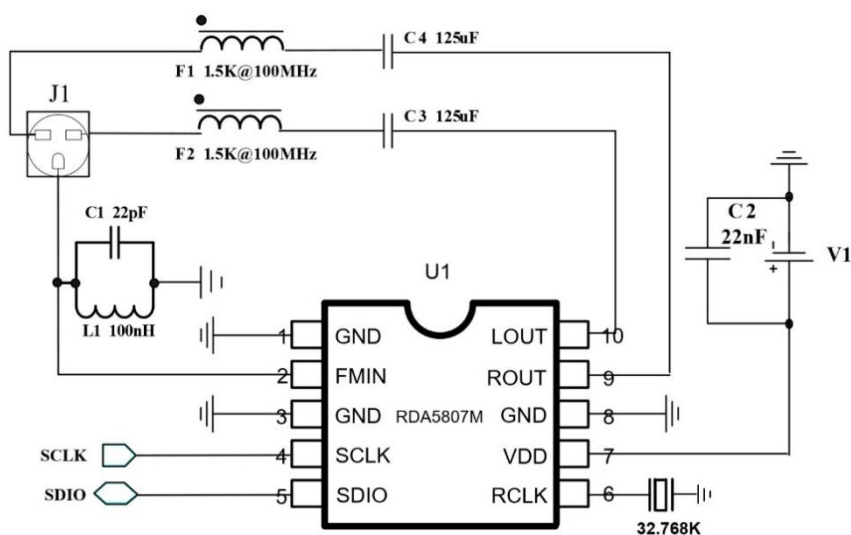


Рисунок 1.16 – Типовая схема включения RDA5807M

**BK1086/88** – микросхема фирмы Beken – использует архитектуру с низким уровнем ПЧ, осуществляет подавление помех по зеркальному каналу и цифровую демодуляцию. BK1086/88 выполняет поиск радиостанций путем сканирования на основе оценки RSSI и оценки качества сигнала, увеличивая тем самым количество принимаемых станций. BK1086/88 принимает сигналы в диапазонах FM/AM/SW/LW.



(L + R) аудио каналов, разности левого и правого (L-R) аудио каналов, несущей частоты 19 кГц и данных (RDS).

BK1086/88 имеет встроенный стереодекодер, который автоматически декодирует мультиплексированный сигнал (MPX). Несущая частота используется в качестве основы для восстановления сигнала (L-R). Разделение левого и правого каналов происходит путем добавления и вычитания (L + R) и (L-R) сигналов соответственно.

Адаптивное подавление шума представляет собой постепенное объединение стереофонических левого и правого аудиоканалов с монофоническим (L + R) аудиосигналом, для поддержания точности воспроизведения звука при различных условиях приема.

BK1086/88 использует **коррекцию предискажений** и обратную коррекцию для улучшения соотношения сигнал-шум за счет снижения влияния высокочастотных помех и шумов.

Сtereo ЦАП управляет аналоговыми аудиосигналами на контактах LOUT и ROUT.

Аудиовыход может быть отключен с помощью команды DMUTE.

Громкость может быть отрегулирована в цифровом формате с помощью команды VOLUME [4: 0].

**Функция мягкого отключения звука** предназначена для ослабления уровня сигнала на звуковых выходах и уменьшения слышимых шумов в условиях слабого приема сигнала.

Дополнительно, для нахождения доступных станций может использоваться АПЧ и/или импульсный детектор.

BK1086/88 имеет три вывода GPIO. Функции контактов GPIO может быть назначены с помощью битов GPIO1 [1: 0], GPIO2 [1: 0], GPIO3 [1: 0], выводы GPIO 2/3 можно использовать в качестве контактов запроса прерывания для поиска/настройки RDS функций или как стерео/моно-индикатор.

BK1086/88 поддерживает широкий диапазон опорных тактовых сигналов, подаваемых на вход RCLK - от 32,768 кГц до 38,4 МГц. Для частот менее 4 МГц тактовый сигнал должен быть множителем 32,768 кГц.





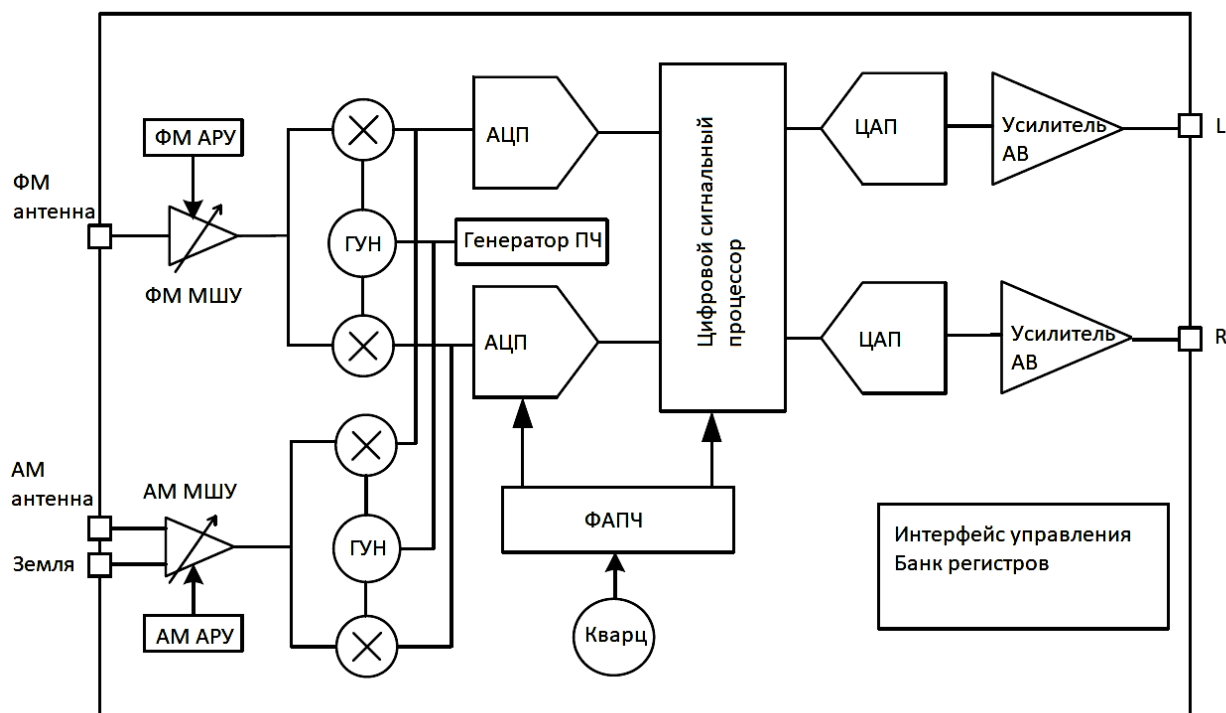


Рисунок 19 – Структурная схема КТ0922М

В КТ0922М есть интегрированный МШУ, АРУ, набор АЦП, аналоговых и цифровых фильтров и встроенный низкошумящий самонастраивающийся ГУН. АМ-приемник имеет много общих цепей с ФМ-приемником. Расстояние между АМ каналами может быть установлено в 1 кГц, 9 кГц либо 10 кГц для соответствия стандартам различных регионов.

АМ приемник в КТ0922М обеспечивает и автоматическую настройку антенны в диапазоне частот от 500 кГц до 1710 кГц.

В КТ0922М есть функция мягкого ослабления звука. В этом режиме громкость звука постепенно уменьшается, когда принимаемый сигнал слаб (т.е. когда показатель уровня принимаемого сигнала находится ниже определенного уровня). Громкость будет восстанавливаться, когда качество сигнала будет достаточно хорошим (т.е. когда показатель уровня принимаемого сигнала находится выше определенного уровня).

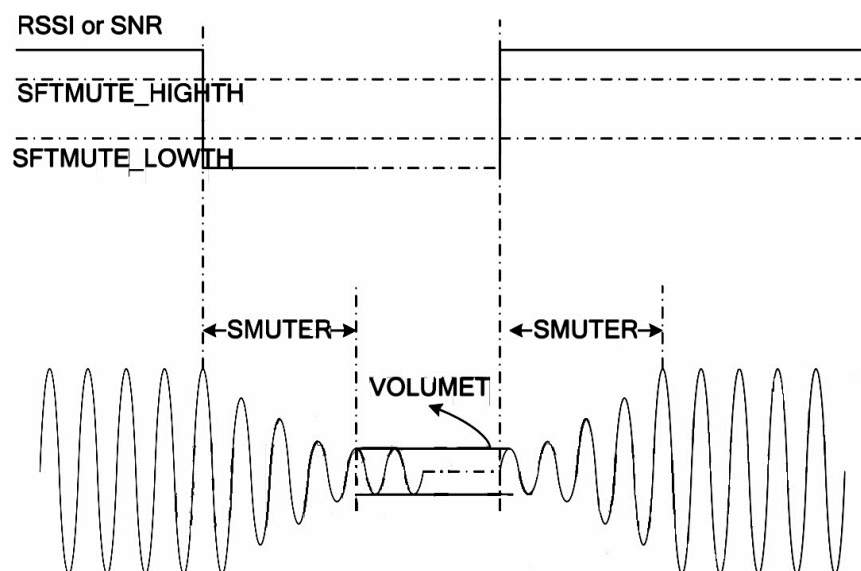


Рисунок 20 – Зависимость громкости в режиме ослабления звука от качества принимаемого сигнала

КТ0922М содержит опорный генератор тактовых импульсов (TCRC), позволяющий подключать к КТ0922М поддерживать различные задающие генераторы от 30 кГц до 40 МГц с шагом 1 Гц и напряжением 3 В.

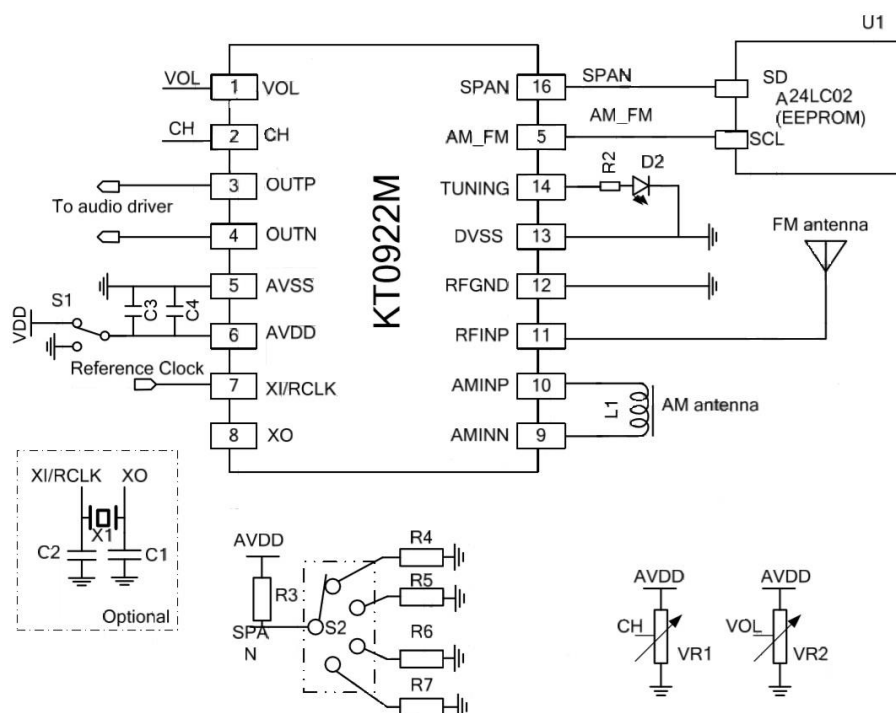


Рисунок 21 – Рекомендуемая принципиальная схема включения микросхемы КТО922М

**Si4735** – КМОП ИМС фирмы Silicon Laboratories – цифровой АМ/ФМ приемник. Si4735 использует цифровую обработку сигнала и включает в себя АРУ, АПЧ, и цифровую настройку в диапазонах АМ/ФМ/КВ/ДВ.

На рисунке 1.21 представлена структурная схема микросхемы Si4735.

Для реализации проекта радио с часами и будильника была выбрана микросхема Si4735 фирмы Silicon Laboratories, использующая архитектуру радиоприемника с низкой промежуточной частотой (далее - ПЧ), что обеспечивает его экономичность для применения в потребительской электронике и высокую помехоустойчивость к межстанционным шумам, а также превосходную эффективность и высокое усиление звука.

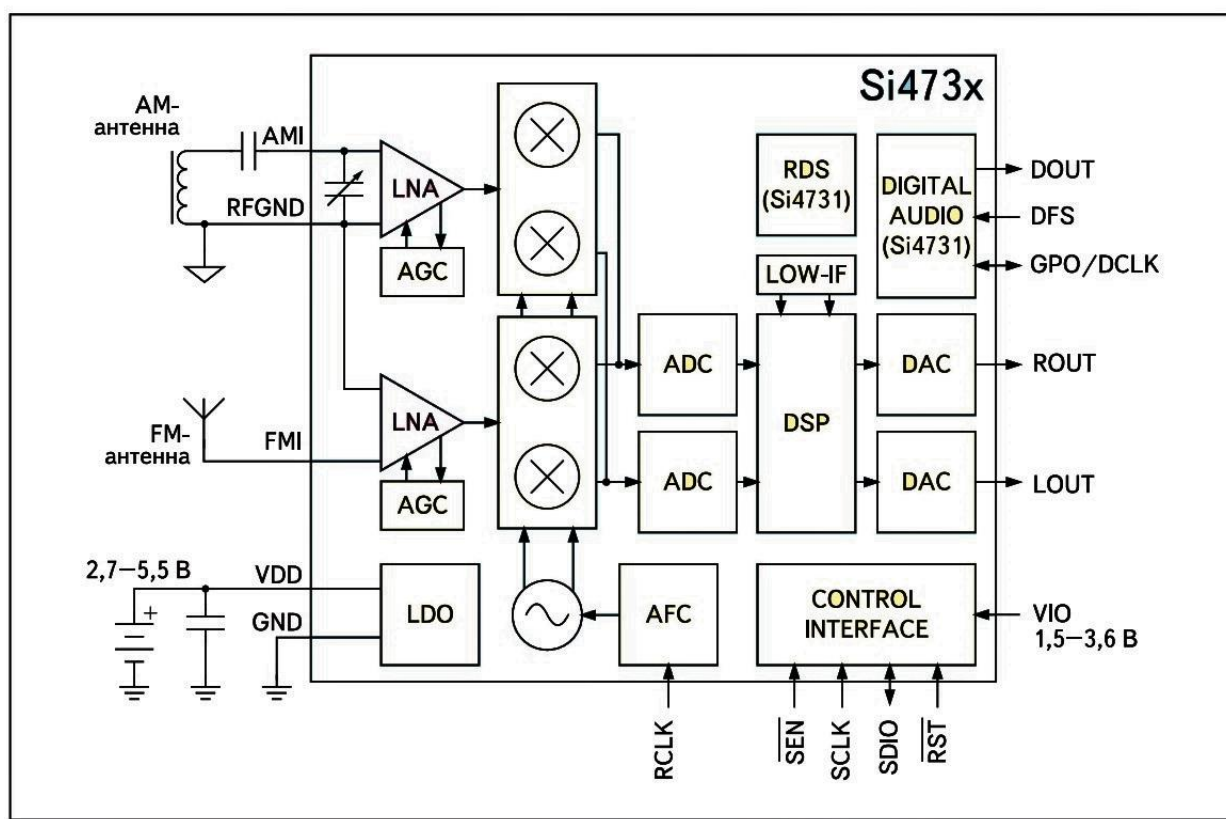


Рисунок 22 – Структурная схема микросхемы Si4735

Обозначения блоков на структурной схеме:

- LNA (Low Noise Amplifier) – малошумящий усилитель;
- AGC (Automatic Gain Control) – автоматическая регулировка усиления;
- AFC (Automatic Frequency Control) – автоматическая регулировка частоты;
- PGA (Programmable Gain Amplifier) – усилитель с программируемым коэффициентом усиления;

- DSP (Digital Signal Processor) – цифровой сигнальный процессор;
- REG (Regulator) – регулятор напряжения;
- ADC (Analog to Digital converter) – аналого-цифровой преобразователь;
- DAC (Digital to Analog Converter) – цифро-аналоговый преобразователь;
- Low-IF (Low Intermediate Frequency) – низкочастотный сигнал промежуточной частоты;
- GPIO (General Purpose Input/Output) – линии ввода/вывода общего назначения;
- RSSI (Received Signal Strength Indicator) – индикатор уровня принимаемого сигнала;
- MPX (Multiplexer) – мультиплексор;
- LDO (Low DropOut) – регулятор с малым падением напряжения.

ИМС Si4735 AM/FM-приемников принимают FM-радиотрансляции в диапазоне частот 76–108 МГц (FM/УКВ) и AM-радиотрансляции на частотах 520–1720 кГц (AM/CB), а также, радиотрансляции в диапазоне 159–279 кГц (LW/ДВ) и 2,3–21,85 МГц (SW/КВ).

ИМС Si4735 дополнительно может принимать и декодировать RDS-сигнал, сопровождающий FM-радиостанции.

ИМС Si4735 имеет дополнительный антенный вход для AM-сигнала. Сигнал с входа поступает на отдельные усилитель и понижающий преобразователь частоты, настроенные на более длинные волны. Сигнал промежуточной частоты на выходе преобразователя, имеющий ту же частоту, что и на выходе ФМ-преобразователя, поступает далее на общие с ФМ-трактом цепи (ADC, DSP, DAC), где обрабатывается по несколько другому программному алгоритму.

Для приема радиотрансляций на средних и длинных волнах можно использовать два типа **антенн**: ферритовую или рамочную.

Для приема коротковолновых радиостанций на Si4735 необходима такая же штыревая антенна, как и для УКВ-диапазона.

В AM/FM-тюнерах Si4735 настройка на радиостанцию может производиться как в режиме автоматического поиска, так и «вручную». Шаг подстройки для AM-, SW- и LW-частот в ручном режиме составляет 1 кГц.

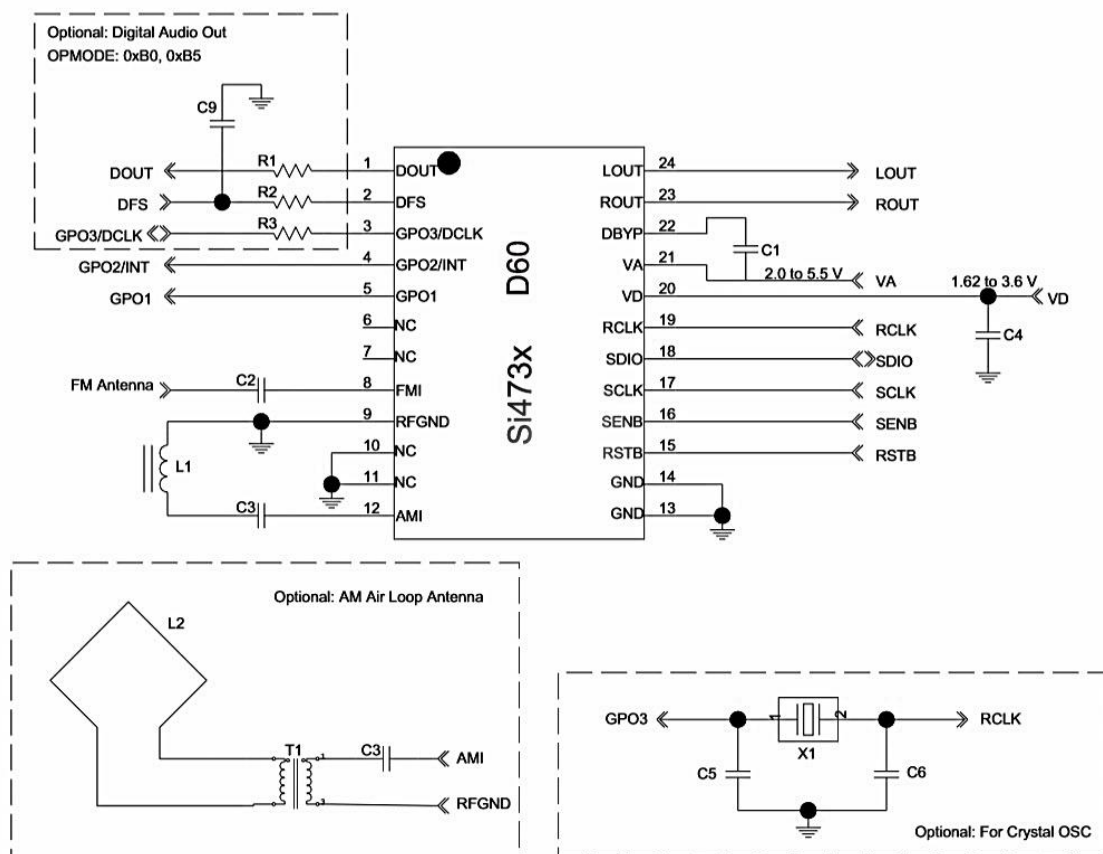


Рисунок 23 – Рекомендуемая принципиальная схема включения микросхемы Si4735

Сравнительные характеристики рассмотренных выше ИМС приведены в таблицах 5 и 6.

Основные характеристики ИМС радиоприемников с низкой ПЧ, приведенных в сравнении.

Таблица 5 – Конструктивные характеристики ИМС

	<b>AR1010</b>	<b>QN8075</b>	<b>RDA5807</b>	<b>BK1086/88</b>	<b>КТ0922М</b>	<b>Si4735</b>
Корпус	QFN-24	SOP-16 и SSOP-16	MSOP-10	QFN-24	SSOP-16	SSOP-24
Технология изготовления	КМОП	КМОП	КМОП	КМОП	КМОП	КМОП
Интерфейс управления	I <sup>2</sup> C и трехпроводный	I <sup>2</sup> C	I <sup>2</sup> C	I <sup>2</sup> C и трехпроводный	I <sup>2</sup> C	I <sup>2</sup> C и трехпроводный
Принимаемые диапазоны	ФМ от 76 до 108 МГц	ФМ от 60 МГц до 108 МГц	ФМ от 50 МГц до 115 МГц	ФМ от 64 до 108 МГц, АМ от 520 до 1710 КГц, КВ от 2,3 до 21,85 МГц (BK1088), ДВ от 153 до 279 КГц (BK1088)	ФМ от 32 до 11 МГц, АМ от 500 кГц до 1710 кГц	ФМ от 64 до 108 МГц, АМ от 520 до 1710 КГц, КВ от 2,3 до 26.1 МГц, ДВ от 153 до 279 КГц
МШУ	+	+	+	+	+	+
АРУ	+	+	+	+	+	+
АПЧ	+	+	+	+	+	+
ЦСП		+	+	+	+	+
АЦП		+	+	+	+	+
ЦАП		+	+	+	+	+
RSSI	-	+	+	+	+	+
RDS/RBDS	+	-	+	+	-	+
Блок коррекции предискажений	50/75 мкс	50/75 мкс	50/75 мкс	50/75 мкс	50/75 мкс	50/75 мкс
Настраиваемый шаг между каналами	-	50, 100, 200 кГц	25, 50, 100, 200 кГц	10, 50, 100, 200 КГц	50, 100, 200 КГц	10 КГц (ФМ) 1 КГц (АМ)

Таблица 6 – Функциональные и параметрические характеристики ИМС

	<b>AR1010</b>	<b>QN8075</b>	<b>RDA5807</b>	<b>BK1086/88</b>	<b>КТ0922М</b>	<b>Si4735</b>
Режим моно/стерео	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Цифровой аудио выход	-	-	-	-	-	+
Аналоговый аудио выход	+	+	+	+	+	+
Автоматический поиск радиостанции		+	+	+	+	+
Регулировка громкости	+	+	+	+	+	+
Плавное отключение звука	+	+	+	+	+	+
Напряжение питания	От 2,7 до 5,5 В	От 2,7 до 5,0 В	От 1,8 до 3,3 В	От 2,4 до 5,5 В	От 2,1 до 3,6 В	От 2,7 до 5,5 В
Уровень логического сигнала	От 1,5 до 3,6 В	От 1,6 до 3,6 В	От 1,6 до 3,6 В	От 1,6 до 3,6 В	От 1,8 до 3,3 В	От 1,62 до 3,6 В
Температура окружающей среды (рабочая)	От – 40 °С до + 85 °С	От - 25 °С до + 85 °С	От – 20 °С до + 75 °С	От - 25 °С до + 85 °С	От – 30 °С до + 70 °С	От - 20 °С до + 85 °С
Ток потребления в рабочем режиме	8,5 мА	12,8 мА	21 мА	27 мА	25 мА	20 мА
Ток потребления в ждущем режиме	10 мкА	58 мкА	5 мкА	10 мкА	15 мкА	15 мкА
Коэффициент нелинейных искажений	0,2 %	0.03%	0,15 – 0,2 %	0,1 %	0,3%	0,1 %
Сигнал/шум	60 дБ	67 дБ	55 дБ	55 дБ	60 дБ	58 дБ
Чувствительность	2 мкВЭМ	1,4 мкВЭМ	1,2 мкВЭМ	1,7 мкВЭМ	1.6 мкВЭМ	2.2 мкВЭМ
<p>Примечания:</p> <p>Коэффициент нелинейных искажений – показатель, характеризующий степень отличия формы сигнала от синусоидальной.</p> <p>Отношение сигнал/шум – безразмерная величина, равная отношению мощности полезного сигнала к мощности шума.</p> <p>Чувствительность приемника – характеризует способность приемника принимать слабые сигналы. Чувствительность приемника определяется как минимальный уровень входного сигнала устройства, необходимый для обеспечения требуемого качества полученной информации.</p>						



### 1.3.2 Применение ИМС Si4735

Для реализации проекта радио с часами и будильника была выбрана микросхема Si4735 фирмы Silicon Laboratories, имеющая самый широкий функционал из рассмотренных в данной работе ИМС радиоприемников. На рисунке 1.23 изображена принципиальная схема, использующаяся в модуле радио, подключаемом к макету.

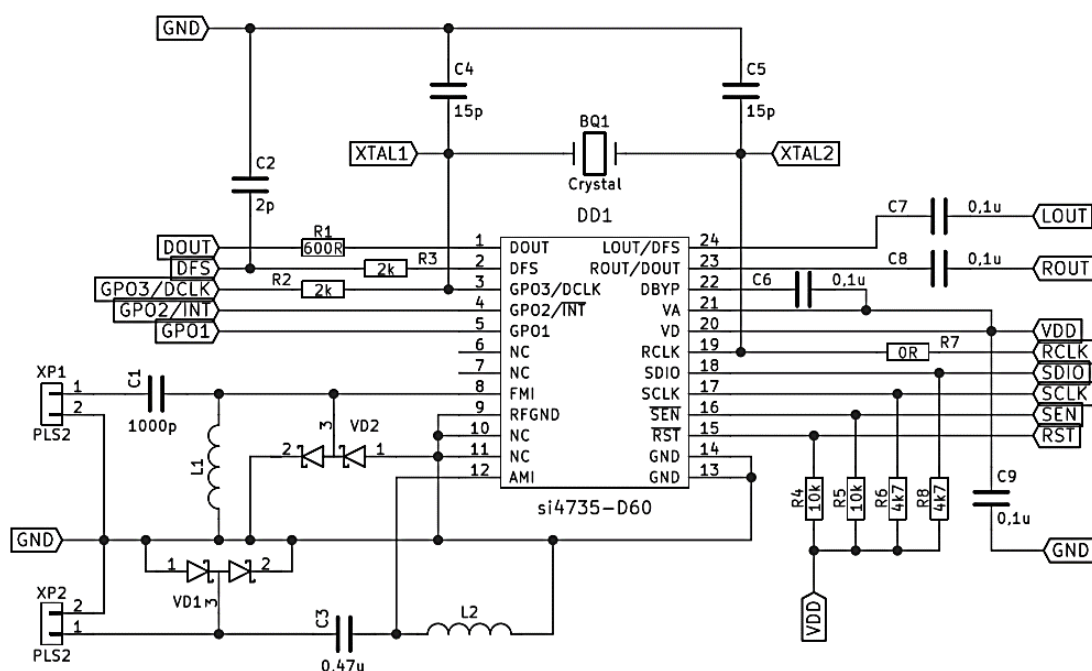


Рисунок 24 – Схема включения ИМС Si4735, использующаяся в макете

На рисунке 1.24 приведено изображение модуля с ИМС Si4735.

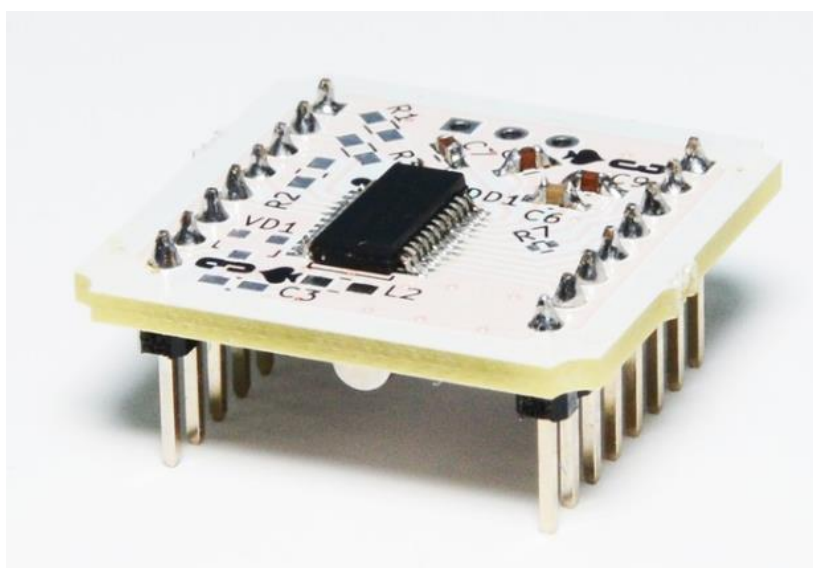


Рисунок 25 – Изображение модуля радио с ИМС Si4735

### 1.3.3 Согласование логических уровней напряжения между ИМС и МК

Так как Arduino Mega работает от напряжения в 5 В, а ИМС Si4735 от 3.3 В, возникает необходимость в их безопасном соединении. Самым простым решением является использование резисторов, но в такой схеме будут возникать задержки. К тому же, логические уровни будут работать только однонаправленно, поэтому, если будет необходимо задать обратное направление, понадобятся лишние провода. Таких проблем можно избежать, используя преобразователь логических уровней.

Для использования в проекте, был выбран 8-ми канальный преобразователь логических уровней TXS0108E, который работает в диапазоне напряжений от 1.8 до 6 В. Выводы В1-В6 предназначены для включения устройств с 5 В логикой, а В1-В6 – с 3.3 В логикой. На питающий вход VCA подается напряжение одного логического уровня, а на VCB – другого. Направление преобразования распознаётся и выполняется автоматически. Обязательным условием работы данного преобразователя является общий отрицательный вывод для всех источников питания, в том числе и отдельных.

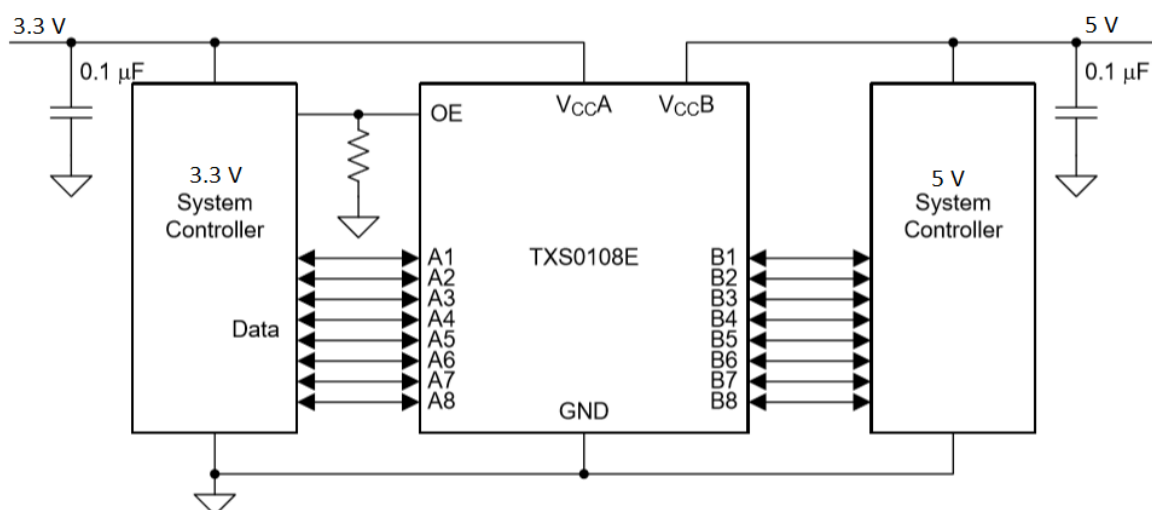


Рисунок 26 – Схема включения TXS0108E используемая в макете

## 1.4 Реализация часов

Часы реального времени (RTC — Real Time Clock) — это микросхема, используемая для учёта хронометрических данных (текущее время, дата, день

недели и др.) и представляющая собой систему из автономного источника питания и учитывающего устройства. Большая часть микроконтроллеров содержат интегрированные часы реального времени, погрешность которых находится в приемлемых пределах. Такая погрешность не составляет проблемы, если периодически синхронизировать часы реального времени микроконтроллера по специальным каналам связи.

В случае автономной работы устройства, конечные пользователи через некоторое время могут столкнуться с существенными расхождениями показаний. Критических отклонений в отображении времени в разрабатываемом устройстве можно избежать, оснастив его высокоточными часами реального времени.

#### **1.4.1 Описание микросхемы часов реального времени (RTC)**

Для разрабатываемого приемника была выбрана микросхема часов реального времени DS3231 фирмы Maxim Integrated Products. DS3231 это недорогая микросхема часов реального времени (real-time clock, RTC) с интерфейсом I2C (который также является двухпроводным интерфейсом, Two-Wire Interface, TWI). Основные возможности микросхемы DS3231:

- Точная система RTC;
- Точность  $\pm 2$  ppm в диапазоне  $0^{\circ}\text{..}+40^{\circ}\text{C}$ ;
- Точность  $\pm 3.5$  ppm в диапазоне  $-40^{\circ}\text{..}+85^{\circ}\text{C}$ ;
- Выход цифрового датчика температуры с точностью  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ;
- Регистр учета старения (Aging Trim);
- Два программируемых по времени дня будильника;
- Последовательный интерфейс I2C, позволяющий подключить микросхему к любому микроконтроллеру. Скорость работы интерфейса до 400 кГц;
- Вход резервного питания для подключения батареи с низким потреблением энергии;
- Работа от уровня напряжения 3.3V;
- Рабочие диапазоны температуры  $0^{\circ}\text{..}+70^{\circ}\text{C}$  для коммерческого и  $-40^{\circ}\text{..}+85^{\circ}\text{C}$  для промышленного исполнения.

Данная микросхема не требует внешнего кварцевого резонатора, но несмотря на это она имеет очень высокую точность часов, благодаря встроенному термокомпенсированному кварцевому генератору (ТСХО) на 32 кГц. Микросхема DS3231 отсчитывает секунды, минуты, часы, день недели, даты месяца, месяцы, годы. Дата по окончании месяца автоматически подстраивается для месяцев, у которых дней меньше 31, включая учет февраля и коррекцию дней для високосного года (до 2100 года). Часы работают либо в 24-часовом, либо в 12-часовом формате с индикатором ~АМ/РМ.

У микросхемы есть вход для подключения батарейки, чтобы поддерживать точный отсчет времени даже при отключении питания и интегрированный в корпус кварцевый резонатор, что улучшает долговременную стабильность точности хода часов. Прецизионный, компенсированный по температуре источник опорного напряжения проверяет состояние линии питания VCC на предмет обнаружения события отказа (отключения) питания VCC. Это событие используется генерации сигнала на выходе сброса и автоматического переключения на резервный источник питания (линия питания от батареи VBAT), когда это необходимо.

Вывод сброса ~RST предоставляет функцию подключения внешней кнопки сброса, и работает как индикатор события отказа питания.

Микросхема предоставляется в 16-выводном корпусе SO.

#### **1.4.2 Структурная схема микросхемы DS3231 и принцип ее работы**

На рисунке показана структурная-схема с основными элементами DS3231, восемь представленных в ней блоков можно сгруппировать в четыре функциональные группы: генератор ТСХО, управление питанием, функция кнопки сброса и RTC.

Структурная схема микросхемы DS3231 представлена на рисунке 1.27.

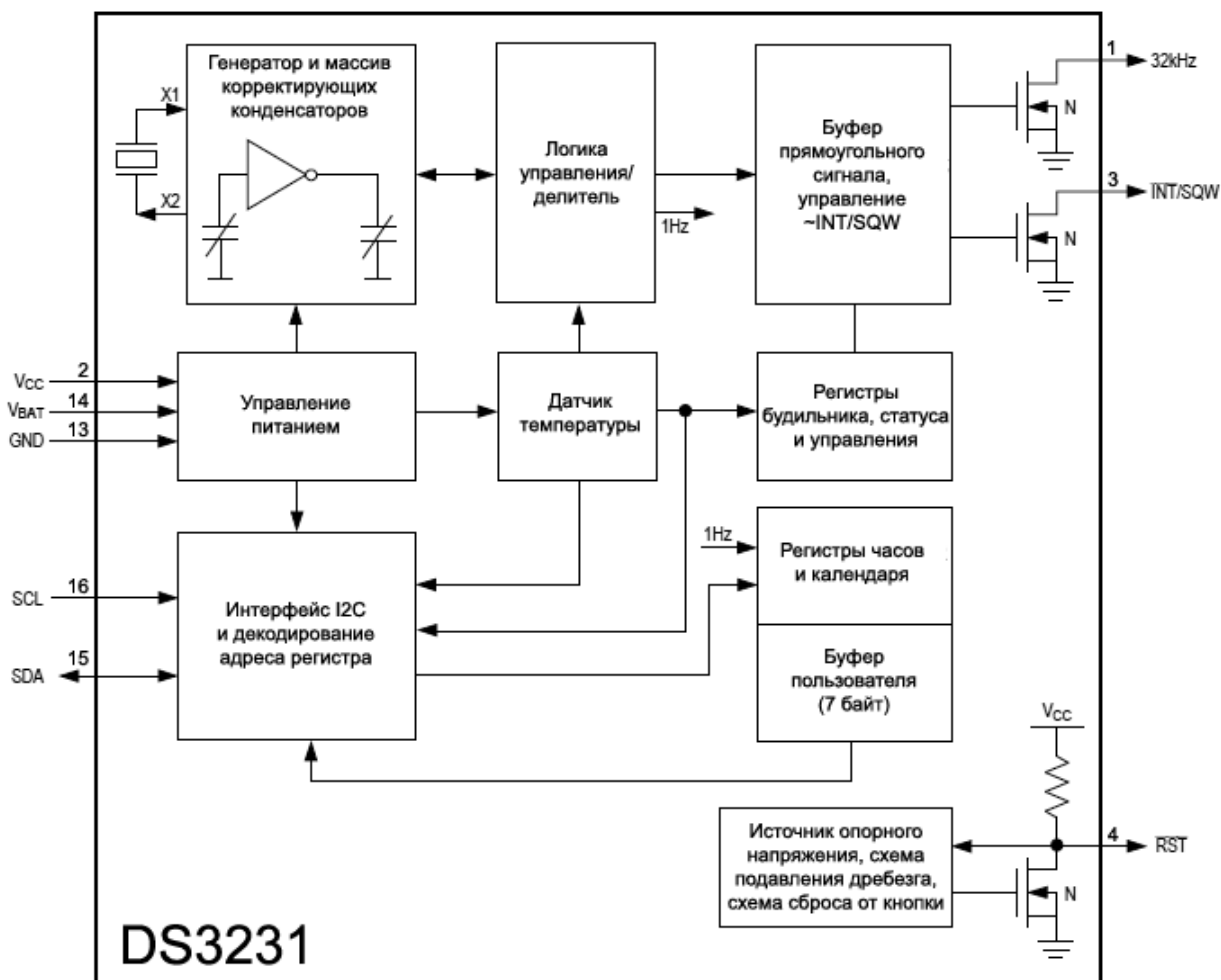


Рисунок 1.27 – Структурная-схема микросхемы DS3231

Датчик температуры, генератор и логика управления формируют схему генератора TCXO на 32 кГц. Контроллер читает выход встроенного в кристалл сенсора температуры, и использует таблицу коррекции для определения требуемой корректирующей емкости, добавляет коррекцию старения регистра AGE, и затем устанавливает регистры выбора емкости. Новые значения, включая изменения в регистре AGE, загружаются, когда происходит изменение температуры, или, когда завершается преобразования оцифровки температуры, инициированное пользователем. Преобразования для оцифровки температуры также происходят по начальному появлению напряжения питания VCC и каждые 64 секунды.

Функция управления питанием представляет собой опорное напряжение, скомпенсированное по температуре и схему компаратора, которая контролирует уровень напряжения линии питания VCC. Когда VCC больше VPF, микросхема

DS3231 питается от  $V_{CC}$ . Когда  $V_{CC}$  меньше  $V_{PF}$ , но больше  $V_{BAT}$ , микросхема все еще питается от  $V_{CC}$ . Если  $V_{CC}$  меньше  $V_{PF}$  и меньше  $V_{BAT}$ , то микросхема получает питание от  $V_{BAT}$ .

Чтобы экономить энергию батареи, когда  $V_{BAT}$  первый раз подается на микросхему, генератор не запускается, пока  $V_{CC}$  не станет больше  $V_{PF}$  или пока через I2C не будет записан допустимый адрес. Время запуска генератора составляет менее 1 секунды. Примерно через 2 секунды после прикладывания  $V_{CC}$ , или после записи допустимого адреса I2C, микросхема производит измерение температуры и применяет к генератору вычисленную по температуре коррекцию. После того, как генератор запустился, он продолжает работу, пока доступен хотя бы один из источников питания ( $V_{CC}$  или  $V_{BAT}$ ), и микросхема продолжает автоматически измерять температуру и корректировать частоту генератора каждые 64 секунды.

Есть несколько режимов работы, которые влияют на потребление тока от  $V_{BAT}$ . Когда микросхема питается от  $V_{BAT}$ , и активен последовательный интерфейс, то активный потребляемый ток равен  $I_{BATA}$ . Когда последовательный интерфейс не активен, ток потребления тратится только на отсчет времени (ток  $I_{BATT}$ ), в этот ток входит потребление блока оцифровки температуры  $I_{BATTC}$ . Ток хранения данных (Data retention current,  $I_{BATTDNR}$ ) это ток, который микросхема потребляет, когда генератор остановлен ( $EOSC=1$ ). Этот режим может использоваться для минимального потребления от батареи, когда поддержание корректного времени и даты не требуется, например, когда система находится на складе и ожидает поставки конечному потребителю.

Микросхема DS3231 может опрашивать кнопку, подключенную между землей и выходом  $\sim RST$ . Когда DS3231 не находится в цикле сброса, она постоянно опрашивает сигнал  $\sim RST$  на появление перепада к логическому нулю.  $\sim RST$  также показывает событие отказа питания. Когда  $V_{CC}$  меньше  $V_{PF}$ , генерируется внутренний сигнал отказа питания, который переводит вывод  $\sim RST$  в логический ноль 0. Когда  $V_{CC}$  возвращается к уровню выше  $V_{PF}$ , вывод  $\sim RST$  продолжает удерживаться в лог. 0 еще на время приблизительно 250 мс ( $t_{REC}$ ), чтобы позволить

стабилизироваться уровню напряжения питания. Выставление сигнала сброса на выходе  $\sim$ RST (независимо от чего он был сформирован - от кнопки или от схем формирования сигнала сброса по событию отказа питания), никак не влияет на внутреннее функционирование DS3231.

Часы реального времени (Real-Time Clock, RTC) с тактированием от TCXO, предоставляют информацию о секундах, минутах, часах, текущем дне недели, дате, месяце и годе. Реализована автоматическая коррекция даты в зависимости от месяца с учетом високосного года.

На рисунке 1.28 представлена принципиальная схема включения микросхемы DS3231 в качестве составной части проекта радиоприемника с часами и будильником.

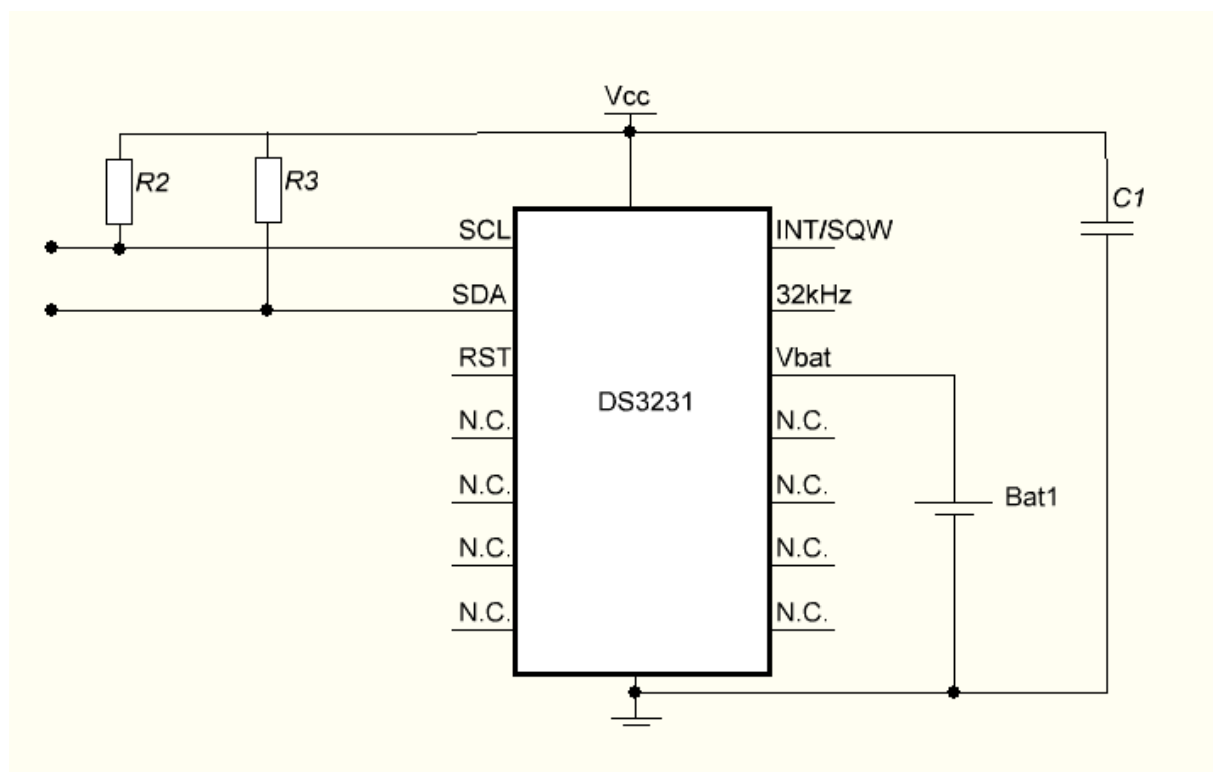


Рисунок 1.28 – Принципиальная схема включения микросхемы DS3231

На рисунке 1.29 изображен модуль часов реального времени, используемый в макете разрабатываемого устройства.



Рисунок 1.29 – Модуль часов реального времени

### 1.4.3 Описание команд и получения температуры

**Карта адресов регистров.** На рис. 1 показана карта распределения адресов регистров хранения времени DS3231. При многобайтном доступе, когда указатель адреса достигает последнего адреса в адресном пространстве регистров (12h), указатель адреса автоматически переустанавливается на адрес 00h. На событии I2C START или при инкрементации указателя при его сбросе в 00h, текущее время передается во второй набор регистров. Информация о времени читается из этого второго набора регистров, в то время как часы продолжают свою работу. Эту устраняет необходимость перечитывать регистры в случае, когда регистры обновились в момент чтения (второй набор регистров обеспечивает атомарность выборки времени).

Таблица 7. Адреса регистров хранения времени.

Адр.	Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0	Функция	Диапазон значений
00h	0	Десятки секунд			Секунды				Секунды	00..59
01h	0	Десятки минут			Минуты				Минуты	00..59
02h	0	12/~24	~АМ/Р М	10 часов	Часы				Часы	1..12+ ~АМ/РМ 00..23
			20 часов							
03h	0	0	0	0	0	Дни			День недели	1..7
04h	0	0	Десятки даты		Дата				Дата месяца	01..31
05h	Век	0	0	10 месяца	Месяц				Месяц/век	01..12 + век



06h	Десятки года				Год				Год	00..99
07h	A1M1	Десятки секунд			Секунды				Секунды будильника 1	00..59
08h	A1M2	Десятки минут			Минуты				Минуты будильника 1	00..59
09h	A1M3	12/~24	AM/PM	10 часов	Часы				Часы будильника 1	1..12+~AM/PM 00..23
			20 часов							
0Ah	A1M4	DY/~D T	10 даты		День				День недели будильника 1	1..7
					Дата				Дата будильника 1	1..31
0Bh	A2M2	Десятки минут			Минуты				Минуты будильника 2	00..59
0Ch	A2M3	12/~24	AM/PM	10 часов	Часы				Часы будильника 2	1..12+~AM/PM 00..23
			20 часов							
0Dh	A2M4	DY/~D T	10 даты		День				День недели будильника 2	1..7
					Дата				Дата будильника 2	1..31
0Eh	~EOS C	BBSQ W	CONV	RS2	RS1	INTC N	A2IE	A1IE	Управление	-
0Fh	OSF	0	0	0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F	Управление/статус	-
10h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	Aging Offset	-
11h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	Старшие биты температуры	-
12h	DATA	DATA	0	0	0	0	0	0	Младшие биты температуры	-

## 1.5 Дисплей

Для отображения информации и реализации управления макетом устройства был выбран ЖКИ монитор QVGA с сенсорным экраном, имеющим диагональ 2,4 дюйма, предназначенный для работы совместно с микроконтроллерами разных типов и процессорными системами (рисунок 1.30). Несмотря на возможность отображения полноцветных фотографий, его основное применение – отображение простой графики и символьных данных с использованием 16 цветов.

Графических возможностей монитора достаточно для создания изображения клавиатуры, работающей благодаря сенсорным поверхностям. Одновременно с обработкой нажатий сенсорный дисплей отображает результаты выполнения команд оператора и/или индицирует значения контролируемых параметров. Применение такого дисплея значительно упрощает устройство ввода-вывода

прибора. ЖКИ индикатор имеет постоянно включенную подсветку. На модуле дисплея есть одна кнопка – сброса. На плате расположен контейнер для SD карты памяти.



Рисунок 1.30.

### 1.5.1 Характеристики дисплея

Таблица 8 – Характеристики дисплея

Напряжение	5 В
Ток	300 мА
Напряжение входных сигналов	5 или 3,3 В
Диагональ	2,4 дюйма
Разрешающая способность	320 X 240 точек
Максимальное количество оттенков	262144
Подсветка	белая
Интерфейс	8080
Максимальный объем microSD карты	32 Гб
Размеры	71 x 52 x 7 мм

ЖКИ индикатор использует 8 контактов модуля для передачи данных и 4 контакта для сигналов управления (рисунок 1.40). Сенсорная часть дисплея использует 4 контакта совместно с ЖКИ. Работа с MicroSD картой также требует 4 контакта.

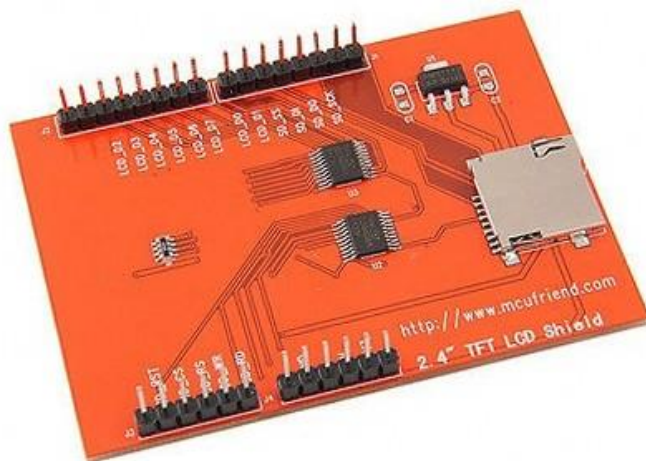


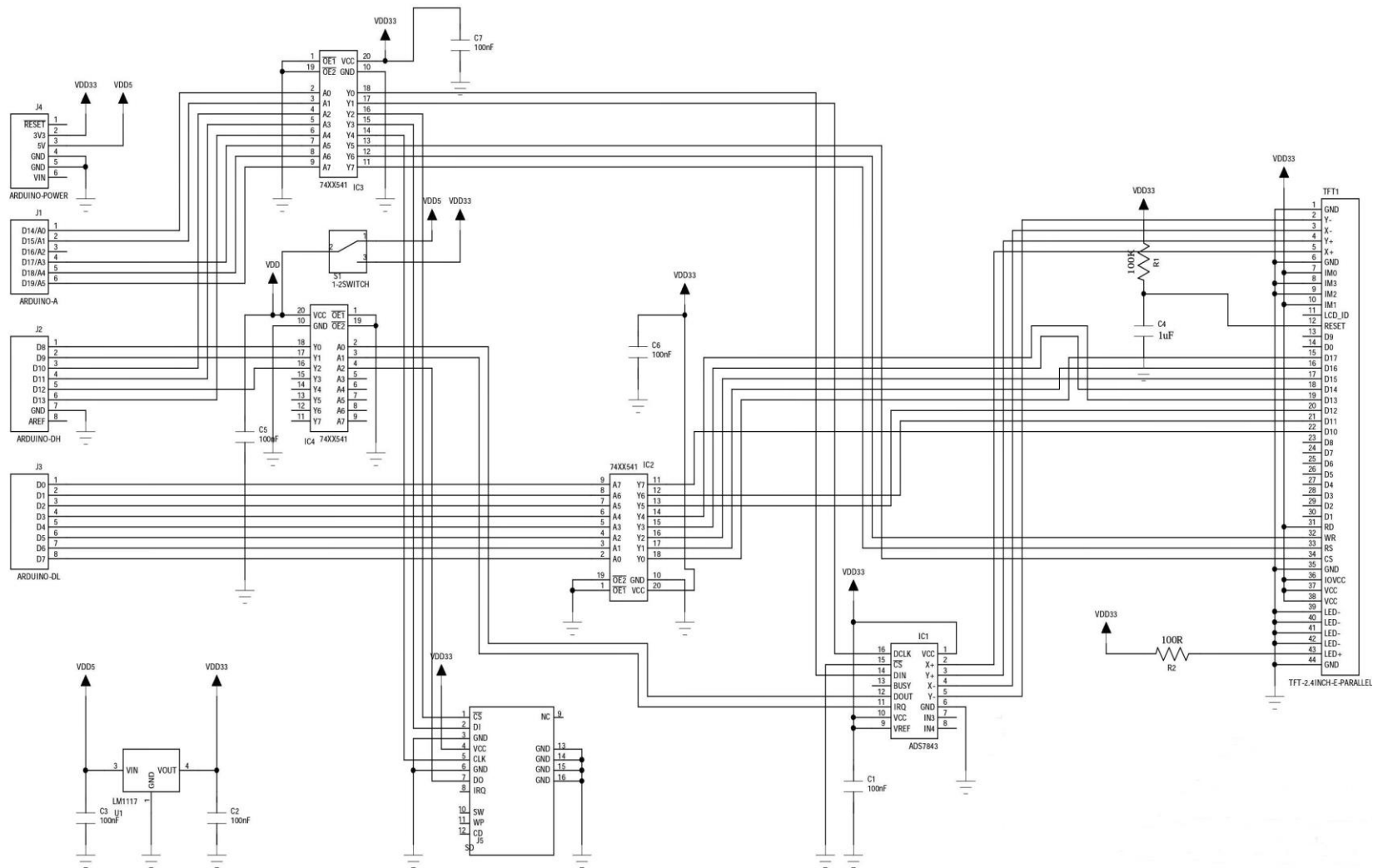
Рисунок 1.40. Контакты индикатора модуля передачи данных

Таблица 9. Обозначения контактов.

Контакт	Назначение
3.3V	Питание
5V	Питание
GND	Земля
J4-1	Кнопка сброса
LCD_RD	Управление ЖКИ, чтение
LCD_WR TOUCH_YP	Управление ЖКИ, запись или получение данных сенсорной поверхности
LCD_RS TOUCH_XM	Управление ЖКИ, команда/данные или получение данных сенсорной поверхности
LCD_CS	Управление ЖКИ, выбор устройства
LCD_RST	Сигнал сброса
LCD_D2	Данные ЖКИ
LCD_D3	Данные ЖКИ
LCD_D4	Данные ЖКИ
LCD_D5	Данные ЖКИ
LCD_D6 / TOUCH_XP	Данные ЖКИ / Данные сенсорной поверхности
LCD_D7 / TOUCH_YM	Данные ЖКИ / Данные сенсорной поверхности
LCD_D0	Данные ЖКИ
LCD_D1	Данные ЖКИ
SD_CS	Выбор устройства (MicroSD)
SD_DI SD	Вход данных (MicroSD)
SD_DO	Выход данных (MicroSD)
SD_SCK	Тактирование данных (MicroSD)

Данный дисплей может устанавливаться в соединители Arduino Mega.

## 1.5.2 Принципиальная схема дисплея



### 1.5.3 Принцип работы дисплея

Питание 5 вольт поступает на цепи схемы и микросхему U1 – стабилизатор напряжения 3,3 вольта. Информационные сигналы проходят через микросхемы 74xx541 – буферы шин данных. IC1 – микросхема ADS7843 – контроллер сенсорных экранов, это 12 битный АЦП с устройством выборки-хранения, синхронным последовательным интерфейсом и низкоомными ключами управления сенсорными контактами.

Основной компонент модуля – TFT1 – совмещенный со специализированным контроллером жидкокристаллический экран.

В данном модуле используется резистивная технология сенсорного экрана. При нажатии на дисплей, модуль передает программе три величины: координаты нажатия (X и Y) и давление Z.

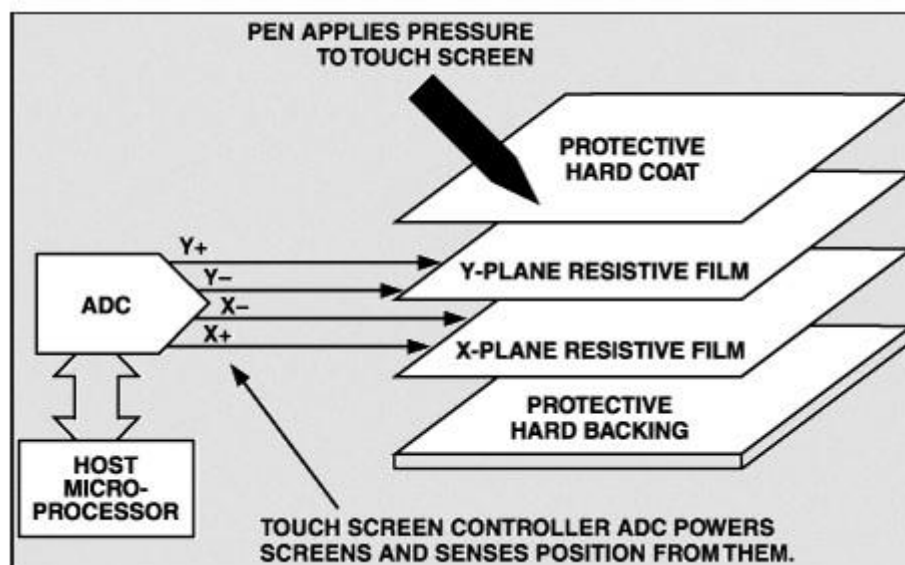


Рисунок 1.41

Поверхность дисплея состоит из двух полимерных слоев (рисунок 1.41), покрытых резистивным материалом, выступающим в качестве электродов. Слои склеиваются по краям. Под управлением программы данные поступают из микросхемы IC1 для обнаружения нажатия. Микроконтроллер прибора получает 10-битное число (0...1023) для каждой оси, эта величина программно масштабируется в соответствии с размерами экрана.

Пять проводов сенсорной поверхности (четыре сигнальных и один общий) подключены через тонкий шлейф к контроллеру ЖКИ.

## 2 Расчетная часть

### 2.1 Динамический диапазон

Управление громкостью звука используется для уменьшения динамического диапазона сигнала. Уменьшение динамического диапазона звука увеличивает громкость за счет уменьшения пиковых амплитуд сигналов и увеличения среднеквадратичного значения сигнала. Другими словами, он усиливает сигналы уровнем ниже порога значения с фиксированным усилением и сжимает сигналы выше порога с отношением порог/(усиление+порог).

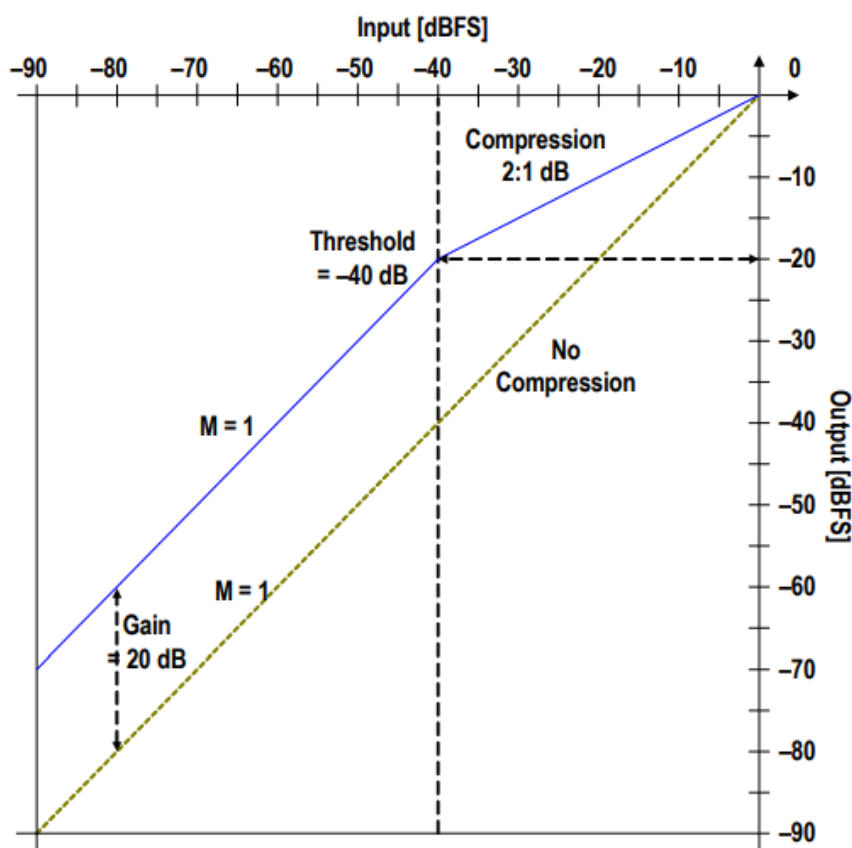


Рисунок 2.1 Пример передаточной функции контроллера звукового динамического диапазона с пороговым значением, установленным на  $-40$  dBFS, и усилением = 20 dB относительно несжатой передаточной функции.

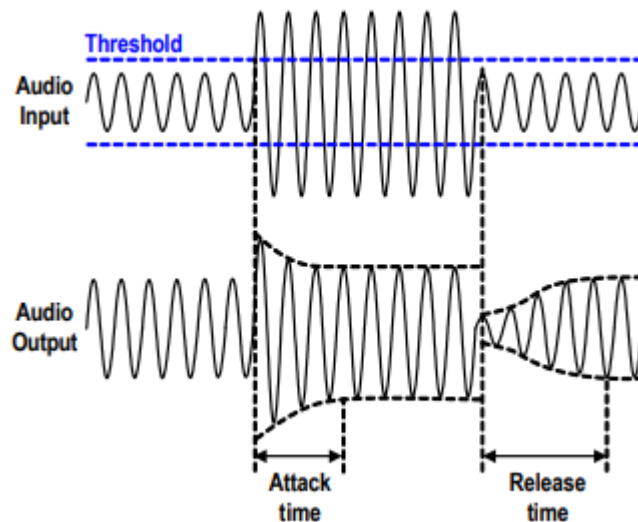


Рисунок 2.2 Временные характеристики контроллера громкости звука.

Скорость сработки компрессора задает скорость, с которой контроллер громкости звука реагирует на изменения уровня входного сигнала, дополнительно устанавливается скорость, с которой контроллер громкости звука возвращается к отсутствию сжатия, когда уровень входного сигнала падает ниже порогового значения. При использовании управления громкостью звука необходимо соблюдать осторожность при настройке устройства таким образом, чтобы сумма порогового значения и усиления была равна нулю или меньше, чтобы не было искажений и интермодуляции сигнала.

## 2.2 Предварительные искажения ФМ-передатчика

Внесение предварительных искажений и коррекция предыскажений - это методы, используемые для улучшения отношения сигнал/шум стереофонического ФМ-вещания за счет снижения влияния высокочастотных шумов. Фильтр предварительных искажений используется в радиопередатчиках, чтобы подчеркнуть высокие звуковые частоты, а фильтр коррекции предыскажений используется приемником, чтобы ослабить высокие частоты и восстановить плоскую частотную характеристику. В зависимости от региона используется постоянная времени 50 или 75 мкс. Частотная характеристика обоих этих фильтров показана на рисунке 2.3. Для фильтра 75 мкс тон 15 кГц усиливается на  $\sim 17$  дБ. Для фильтра 50 мкс тон 15 кГц усиливается на  $\sim 13,5$  дБ. Постоянная времени коррекции предыскажений программируется в значение «выключено», 50 или 75 мкс и устанавливается регистром TX\_PREEMPHASIS. При использовании фильтра коррекции предыскажений необходимо учитывать усиление на высоких частотах, чтобы не было искажений и интермодуляции сигнала.

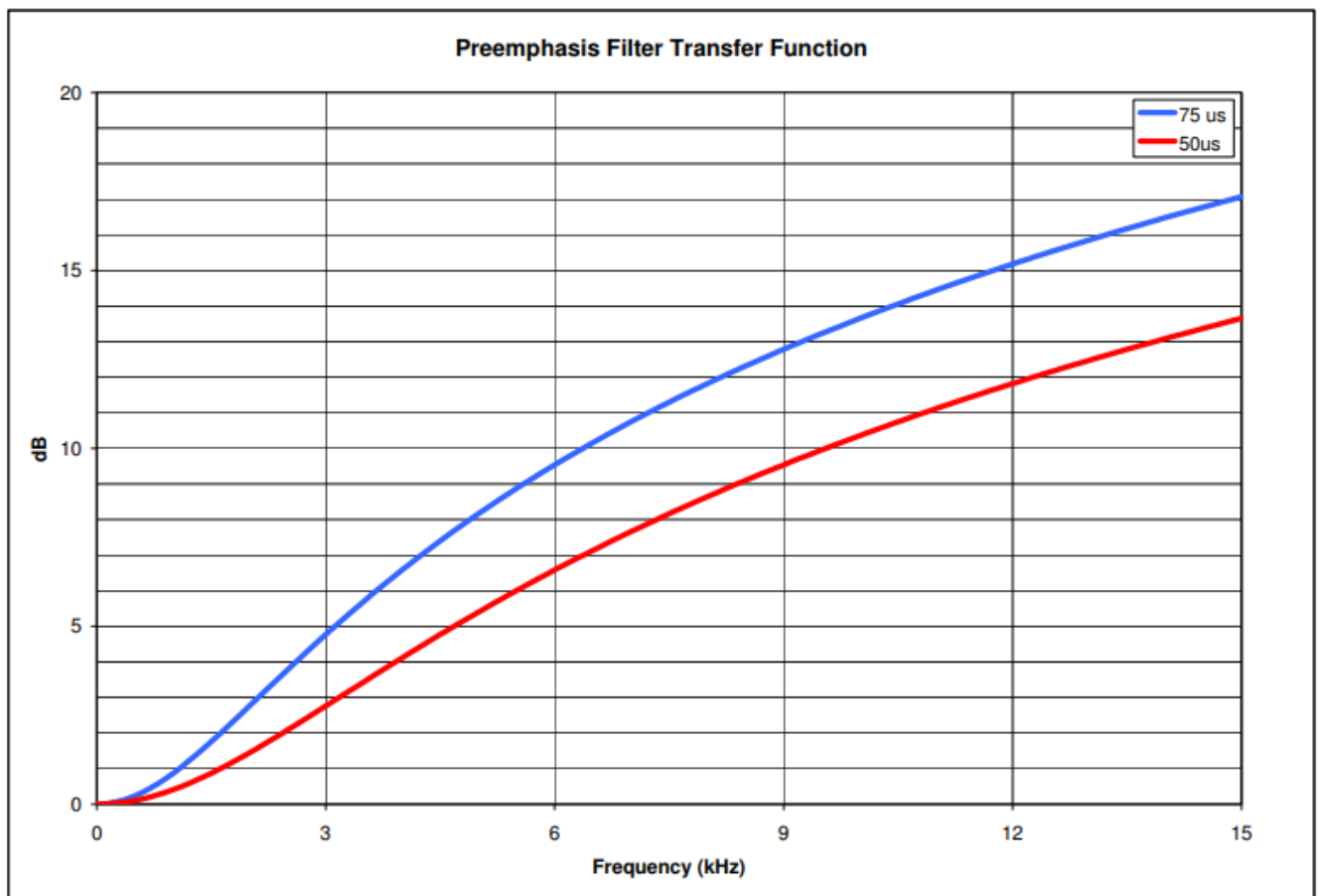


Рисунок 2.3. Фильтр коррекции предискажений

### 2.3 Расчёт полосы пропускания.

Полоса пропускания высокочастотного приёмника определяется реальной шириной спектра принимаемого сигнала и запасом, зависящим от частотной неточности радиолинии и находится по формуле:

$$\Delta F_{pt} = \Delta F_c + \Delta f_{pl}$$

где  $\Delta F_c$  – реальная ширина спектра радиосигнала, который должен быть пропущен ко входу детектора;

$\Delta f_{pl}$  – расхождение между частотой принимаемой станции и частотой настройки приемника, т.е. частотная неточность радиолинии. Она равна

$$\Delta f_{pl} = \sqrt{\Delta f_{np}^2 + \Delta f_{nd}^2},$$

где  $\Delta f_{nd}$  – нестабильность передатчика.

$\Delta f_{np}$  – нестабильность приёмника.

При однополосной модуляции с подавленной несущей спектр сигнала определяется следующим соотношением:



$$\Delta F_c = F_{\text{макс}} - F_{\text{мин}},$$

Диапазон ФМ 64–108 МГц. Отсюда:

$$\Delta F_c = 108 - 64 = 44 \text{ МГц},$$

теперь подставляя значения в формулу  $\Delta F_{pt}$  получим:

$$\Delta f_{pl} = \sqrt{20^2 + 20^2} = 28$$

$$\Delta f_{пр} = \Delta f_{пд} = 20 \text{ Гц}, \Delta f_{пл} \approx 28 \text{ Гц и}$$

$$\Delta F_{pt} = 44000 + 28 = 44028 \text{ Гц}$$

### **3 Разработка структурной и принципиальной схем устройства**

На основе информации, представленной выше, были разработаны структурная и электрическая принципиальная схемы устройства, представленные в приложении 2 и приложении 1 соответственно.

На структурной схеме представлены основные функциональные блоки, необходимые для создания устройства с характеристиками, соответствующими заданию на ВКР: отладочная плата Arduino Mega, блок радиоприемника, антенна, динамик, часы реального времени, дисплей и сенсор. Так же, на структурно схеме обозначен порядок соединения функциональных блоков и направленность информационных шин между ними.

На электрической принципиальной схеме отражено подключение используемых ИМС с поэлементной обвязкой, соответствующей рекомендациям из технической документации на используемые ИМС.

Сигнал с антенны принимается ИМС Si4735, обрабатывается и выводится на динамик, управляющий сигнал приходит на данную ИМС с отладочной платы Arduino Mega. Управляющие сигналы для ИМС Si4735 генерируются Arduino Mega в зависимости от координат срабатки сенсора при нажатии на определенную графическую кнопку. Дополнительно между ИМС радио и отладочной платы включена ИМС TXS0108E для согласования логических уровней напряжения.

ИМС часов реального времени DS3231 соединена с Arduino Mega отдельной шиной, после получения информации о дате/времени, отладочная плата передает сигнал о отображении этих данных на дисплее.

## 4 Разработка кода программы

При разработке программы использовались следующие библиотеки:

- DS3231.h – библиотека, необходимая для работы с модулем часов реального времени
- Adafruit\_GFX.h – библиотека, необходимая для вывода данных на дисплей
- Adafruit\_TFTLCD.h - библиотека, необходимая для вывода данных на дисплей
- TouchScreen.h – библиотека, необходимая для обработки данных с сенсора
- Wire.h – библиотека, необходимая для взаимодействия с I2C / TWI устройствами.
- Si4735.h – библиотека, необходимая для работы с модулем часов реального времени

Предварительно в программе прописаны необходимые библиотеки, присвоены наименования пинам ввода-вывода дисплея, пинам вывода данных сенсора, присваиваются имена битам, обозначающим цвета и координаты отрисовки кнопок. Дополнительно задается шрифт, использующийся для отрисовки названий кнопок, их цвета и сами названия, а так же значение порога чувствительности сенсора.

В цикле настройки осуществляется включение модуля часов реального времени и запуск радио на заданной начальной частоте приема, инициализация дисплея и отрисовка кнопок управления радио по заданными координатам и их наименований заданным шрифтом.

В основном цикле программы происходит получение данных с часов реального времени и их отображение, путем установки курсора в заданную область дисплея в формате «часы : минуты : секунды» и вывод даты «день.месяц.год» и температуры. Затем следует цикл опроса присвоенных кнопкам координат сенсора дисплея на наличие взаимодействия (нажатия) на область какой-либо кнопки. При отсутствии сигналов с сенсора, цикл ожидания возвращается в начало. При наличии нажатия на область кнопки, в зависимости от ее наименования, происходит отправка соответствующей команды в модуль радио.

С помощью кнопок реализованы следующие функции: включение приема АМ сигнала, включение приема ФМ сигнала, включение и выключение режима Mute, увеличение и уменьшение громкости на один шаг, перестройка частоты на один шаг вверх и вниз.

Код программы представлен в приложении 4.

Блок-схема работы программы представлена в приложении 3.

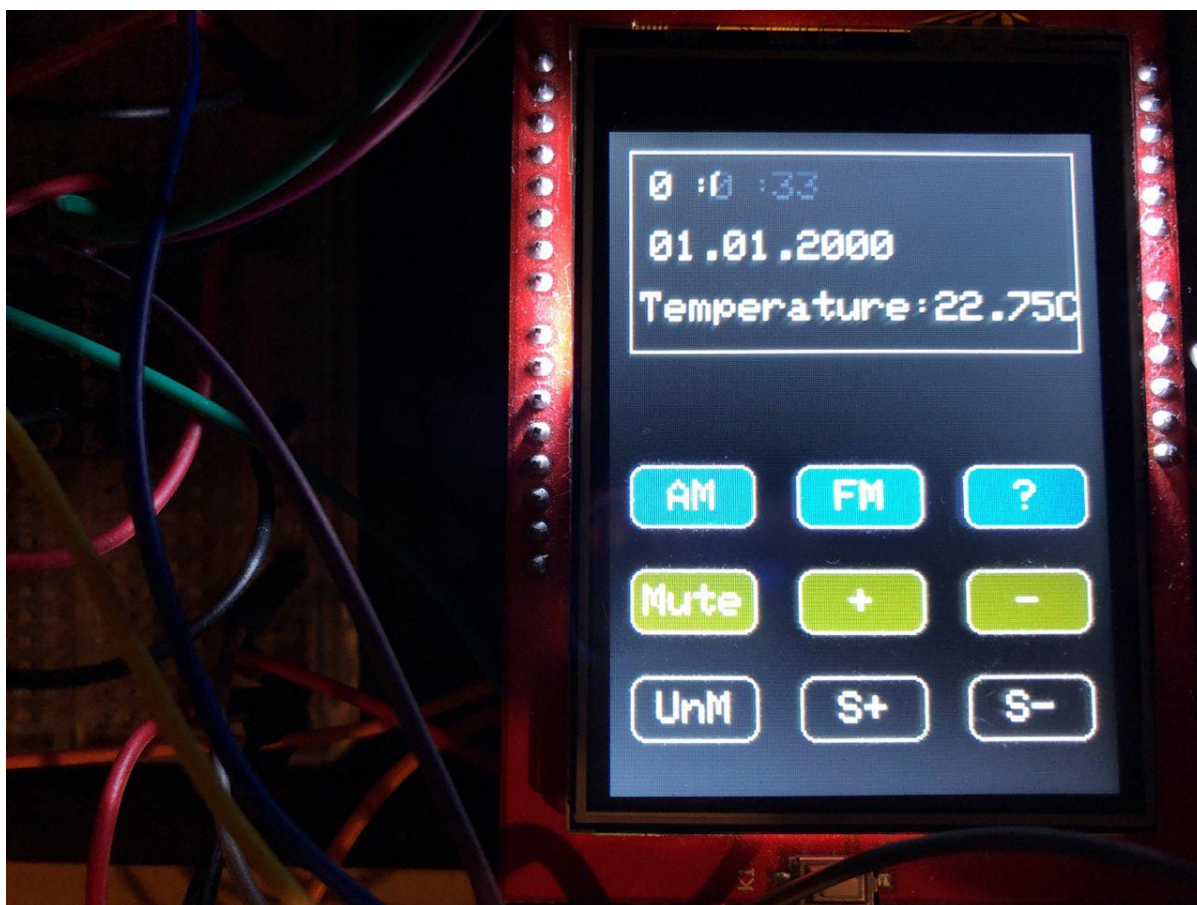


Рисунок 4.1 – Отображение кнопок.

## 5 Экспериментальная проверка

При установке модулей в контакты Arduino Mega перед включением следует проверить отсутствие касания контактами платы разъема USB и при необходимости на плату приклеить изолятор.

За работу всех модулей отвечает программа микроконтроллера. Для этого удобно использовать опубликованные существующие программные решения. За основу берут написанные для Arduino программы и модифицируют их под аппаратные средства разрабатываемого прибора.

При проверке модуля часов реального времени использовалась библиотека DS3231.h и входящий в нее пример управления часами с помощью с последовательного порта.

При проверке модуля радио использовалась библиотека Si4735.h и входящий в нее пример управления радио с помощью с последовательного порта.

При проверке сенсорного дисплея можно получить неожиданные результаты: белый экран, экран с шумом, сенсорные функции не работают или инвертируется позиция по координате Y, инвертируются цвета. Дело в том, что в дисплей различные производители устанавливают различные типы основного контроллера ЖКИ: ST7781, Spfd5408, ILI9341, Sitronix ST7783262K, S6D0154 и другие. В данном проекте используется контроллер ILI9341.

Прежде всего нужно определить какой тип контроллера дисплея применен в модуле. Установить тип можно только программным путем. Для этого используют микроконтроллерный модуль и программу LCD\_ID\_Reader Version 1.2, которая читает идентификатор микросхемы. LCD\_ID\_Reader не требует установки дополнительных библиотек.

**Графический тест** для модуля с контроллером IL9341.

Программа определения типа контроллера ЖКИ – graphicstest. В монитор последовательного порта будет выведен тип контроллера ЖКИ. Необходимо подключить дисплей к Arduino Mega и загрузить библиотеки [adafruit/TFTLCD-Library](https://github.com/adafruit/Adafruit-TFTLCD-Library) и [Adafruit-GFX-Library](https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library).



Рисунок 5.1

После запуска программы `graphicstest` в библиотеке `adafruit/TFTLCD`. На экране должно быть изображение как показано на рисунке 5.1. Если дисплей ничего не отображает или показывает только статическую картинку, то необходимо модифицировать программу `graphicstest`. Модификация программы заключается в жесткой установке типа контроллера дисплея: `uint16_t identifier = 0x9341`.

Результаты работы программных примеров представлены на рисунке 5.2 и 5.3.



Рисунок 5.2 Graphicstest



Рисунок 5.3 Graphicstest



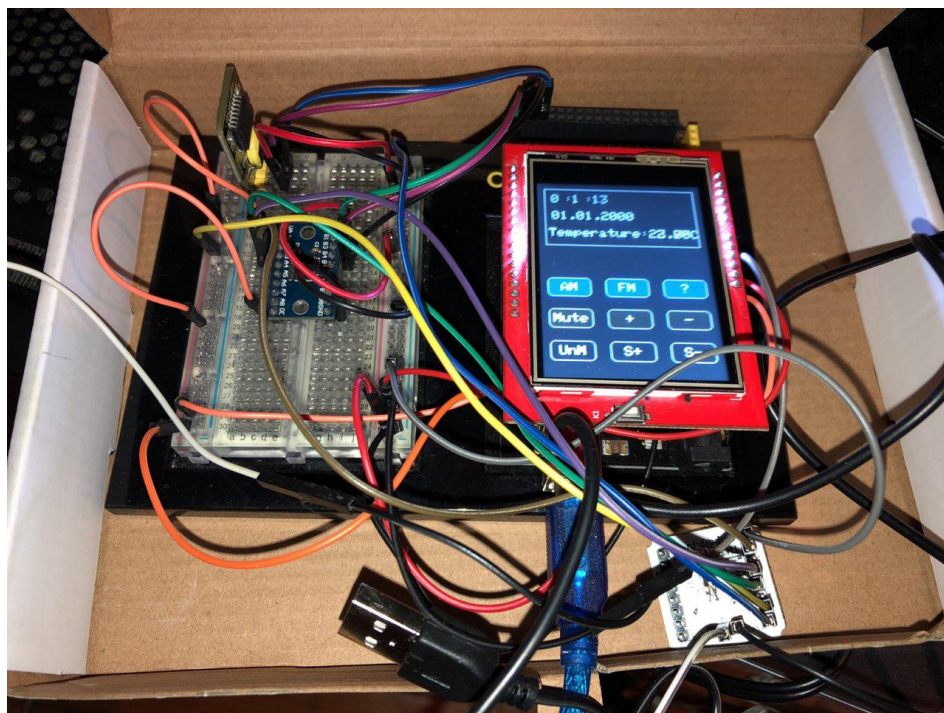


Рисунок 5.4 Собранный макет устройства.

## 6 Организационно-экономическая часть

### 6.1 Организация и планирование работ по теме.

В составе работы задействовано 4 человека:

1) руководитель – отвечает за грамотную постановку задачи, контролирует отдельные этапы работы, вносит необходимые коррективы и оценивает выполненную работу в целом;

2) консультант – отвечает за консультирование в области технической части проекта: предлагает возможные пути решения задач, выбора инструментов разработки, способов разработки;

3) два инженера – реализация всех поставленных задач, в том числе проведение тестирования готового продукта и подготовка проектной документации.

Состав задействованных в работе участников представлен на рисунке 6.1.

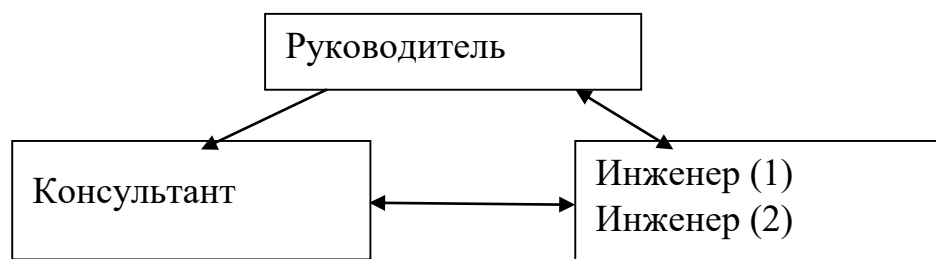


Рисунок 6.1.

#### 6.1.1 Расчёт стоимости проведения работ по теме.

На разработку отводится 58 рабочих дней.

Этапы разработки представлены в таблице 1.

Таблица 1

№	Название этапа	Исполнитель	Грудоемкость, чел/дни	Продолжительность работ, дни
1	Разработка и утверждение технического задания	Руководитель	5	5
2	Технические предложения	Руководитель	5	5
		Консультант	4	
3	Эскизный проект:			18
3.1	Анализ исходных данных и требований	Инженер (1)	5	
		Инженер (2)	5	



№	Название этапа	Исполнитель	Грудоемкость, чел/дни	Продолжительность работ, дни
3.2	Постановка задачи	Консультант	3	
3.3	Разработка общего описания алгоритма функционирования	Руководитель	3	
		Инженер (1)	10	
		Инженер (2)	10	
4	Технический проект:			7
4.1	Выбор компонентной базы	Руководитель	1	
		Инженер (1)	2	
		Инженер (2)	2	
4.2	Разработка принципиальной и структурной схем	Руководитель	2	
		Консультант	2	
		Инженер (1)	5	
		Инженер (2)	5	
5	Рабочий проект:			23
5.1	Создание и отладка программы	Инженер (1)	7	
		Инженер (2)	7	
5.2	Сборка макета и проверка его работы	Инженер (1)	2	
		Инженер (2)	2	
5.3	Корректировка программы и макета по результатам испытаний	Инженер (1)	2	
		Инженер (2)	2	
5.4	Подготовка технической документации на программную и аппаратную части изделия	Консультант	2	
		Инженер (1)	7	
		Инженер (2)	7	
5.5	Сдача готового продукта и внедрение	Руководитель	2	
		Консультант	2	
		Инженер (1)	5	
		Инженер (2)	5	
Итого			121	58

### 6.1.2 График проведения работ

Календарный график исполнения работы представлен на рисунке 6.2. Из графика видно, что общий срок разработки составит 58 дней.

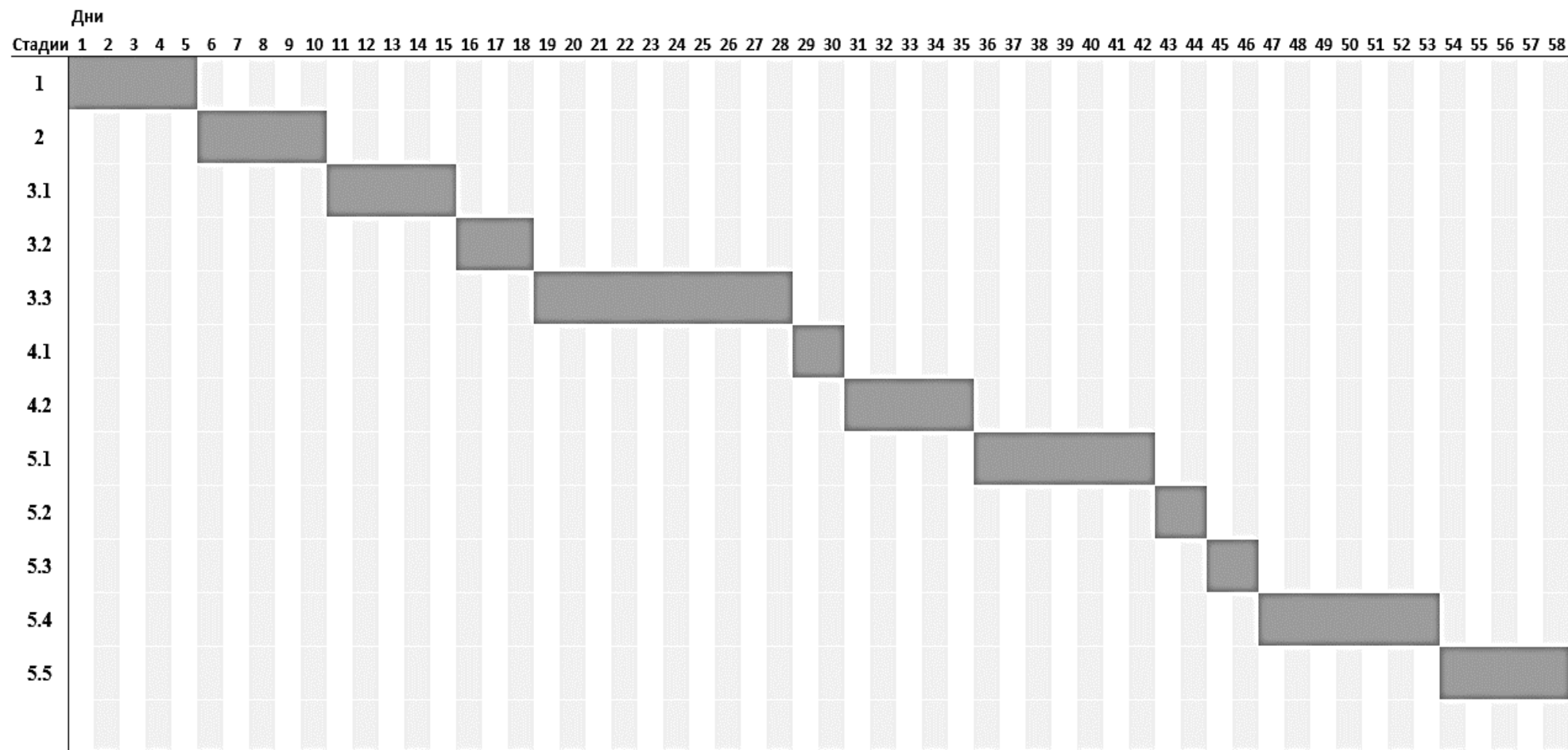


Рисунок 6.2. График проведения работ.

## 6.2 Расчёт стоимости проведения работ.

с е б е с т о и м о с т ь	1 статья «Материалы, покупные изделия и полуфабрикаты + ТЗР (15%) от $\Sigma$ итого по материалам
	2 статья «Специальное оборудование» - затрат нет
	3 статья «Основная заработная плата»
	4 статья «Дополнительная заработная плата» 20-30% от основной заработной платы
	5 статья «Страховые отчисления» - 30% от ФОТ
	6 статья «Командировочные расходы» - затрат нет
	7 статья «Контрагентские услуги» - затрат нет
	8 статья «Накладные расходы» - 150% от основной заработной платы
	9 статья «Прочие расходы»

В выпускной квалификационной работе объем затрат на НИР и ОКР был проведен методом калькулирования.

### 6.2.1 1 статья «Материалы, покупные изделия и полуфабрикаты».

№ пп.	Наименование материалов	Единицы измерения	Количество	Цена за единицу (руб.)	Стоимость (руб.)
1	2	3	4	5	6
1	Бумага А4	пачка	2	175	350
2	Бумага А3	пачка	1	200	200
3	Папка для бумаги А4	шт.	10	20	200
4	Картридж для принтера (черный)	шт.	1	2 500	2 500
5	Ручка (синяя)	шт.	10	15	150
6	Карандаш	шт.	10	7	70
7	Отладочная плата	шт.	1	2 000	2 000
8	Соединительные провода	пачка	1	700	700
<b>Итого материалов</b>					<b>6 170</b>
<b>Транспортно-заготовительные расходы</b>					<b>925</b>
<b>Итого</b>					<b>7 095</b>

### 6.2.2 2 статья «Специальное оборудование»

Расходы на специальное оборудование отсутствуют.

### 6.2.3 3 статья «Основная заработная плата»

Количество рабочих дней в месяце: 22.

Расчет основной заработной платы:

№ пп.	Наименование этапа	Исполнитель (должность)	Мес. оклад (руб.)	Трудоемкость (чел./дни)	Оплата за день (руб.)	Оплата за этап (руб.)
1	2	3	4	5	6	7
1	ТЗ	Руководитель	50000	5	2273	11364
2	ТП	Руководитель	50000	5	2273	11364
		Консультант	30000	4	1364	5455
3	Эскизный проект	Руководитель	50000	3	2273	6818
		Консультант	30000	3	1364	4091
		Инженер (1)	45000	15	2045	30682
		Инженер (2)	45000	15	2045	30682
4	Технический проект	Руководитель	50000	3	2273	6818
		Консультант	30000	2	1364	2727
		Инженер (1)	45000	7	2045	14318
		Инженер (2)	45000	7	2045	14318
5	Рабочий проект	Руководитель	50000	2	2273	4545
		Консультант	30000	4	1364	5455
		Инженер (1)	45000	23	2045	47045
		Инженер (2)	45000	23	2045	47045
Итого						242 727

### 6.2.4 4 статья «Дополнительная заработная плата»

В качестве выплат по статье «Дополнительная заработная плата» будут производиться выплаты за выслугу лет руководителю проекта, а также выплат по неиспользованному отпуску консультанта. Выплаты составляют 20% от основной заработной платы

$$\text{ДЗП} = 242\,727 \times 0,2 = 48\,545 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата научного и производственного персонала составляет по проекту 48 545 руб.

### 6.2.5 5 статья «Страховые отчисления»

Отчисления на социальные нужды составляют 30% от фонда оплаты труда (ФОТ), который состоит из основной и дополнительной заработной платы. Например,  $\text{ФОТ} = \text{ОЗП} + \text{ДЗП} = 242\,727 + 48\,525 = 291\,273 \text{ руб.}$

$$\text{СВ} = \text{ФОТ} \times 30\% = 291\,273 \times 0,3 = 87\,381 \text{ руб.}$$

### 6.2.6 6 статья «Командировочные расходы»

Расходы по данному разделу отсутствуют.

### 6.2.7 7 статья «Контрагентские услуги»

В процессе разработки данного проекта услуги сторонних организаций не использовались.

### 6.2.8 8 статья «Накладные расходы»

Накладные расходы на содержание помещения и оборудованного в нем инвентаря и техники будут рассчитываться в 150 % от основной заработной платы. Например,

$$НР = ОЗП \times 150\% = 242\,727 \times 1,5 = 364\,090 \text{ руб.}$$

### 6.2.9 9 статья «Прочие расходы»

При разработке, отладке и тестировании продукта использовалось два компьютера, за которыми было проведено 58 рабочих дней по 8 часов. Исходя из расчета оплаты 50 рублей за 1 час машинного времени, сумма составит:

$$ПР = 2 \times 58 \times 8 \times 50 = 46\,400 \text{ руб.}$$

## 6.3 Полная себестоимость проекта

№ пп.	Номенклатура статей расходов	Затраты (руб.)
1	2	3
1	Материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)	7 095
2	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	-
3	Основная заработная плата научного и производственного персонала	242 727
4	Дополнительная заработная плата научного и производственного персонала	48 545
5	Страховые взносы в социальные фонды	87 381
6	Расходы на научные и производственные командировки	-
7	Оплата работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями	-
8	Прочие прямые расходы	46 400
9	Накладные расходы	364 090
<b>Итого</b>		<b>796 238</b>

Устройство в дальнейшем должно быть реализовано, соответственно должен быть произведен расчет договорной цены.

$$\text{Цена договорная} = \text{себестоимость} + \text{прибыль} + \text{НДС}$$

Норма прибыли составляет 20% от стоимости разработки при данном крупносерийном производстве. Прибыль будет равна:

$$\Pi = 796\,238 * 20\% = 159\,248 \text{ руб.}$$

Разработка производится для коммерческой организации, соответственно работы будут облагаться налогом на добавленную стоимость (НДС) в размере 18%

$$\text{НДС} = (C + \Pi) \times 18\% = (796\,238 + 159\,248) \times 0,18 = 171\,987 \text{ руб.}$$

Таким образом, договорная цена будет представлять собой:

$$\text{ДЦ} = C + \Pi + \text{НДС} = 796\,238 + 159\,248 + 171\,987 = 1\,127\,434 \text{ руб.}$$

## **7 Заключение**

В выпускной квалификационной работе были рассмотрены архитектуры радиоприёмников, приведены их сравнительные характеристики, рассмотрены достоинства и недостатки.

В основе макета реализуемой модели лежит радиовещательный приёмник на ИМС под управлением МК, с сенсорным дисплеем и часами.

Перед макетированием были рассмотрены варианты ИМС радиоприемников, их характеристики и схемы построения, а также основанные расчёты.

Приведён обзор блоков, необходимых для макетирования модели, как со стороны схемотехники, так и со стороны программирования.

Была разработана структурная и принципиальная схемы проектируемого устройства, составлена блок-схема алгоритма выполнения программы; реализована и отлажена непосредственно сама программа.

В результате проделанной работы был получен и протестирован макет устройства. Рассчитана себестоимость приёмника и затраты на организацию работ по его проектированию с использованием разработанного макета, была представлена пояснительная записка с приложениями к защите.

## Список литературы

1. Гавриленко Т.Ю., Григоренко О.В., Ткаченко Е.К. Корпоративная экономика и финансы. М.: РУСАЙНС, 2016-125с.
2. Григоренко О.В., Садовнича И.О., Мыльникова А. Экономика предприятия и управление организацией М.: РУСАЙНС, 2017-235с.
3. Микросхемы FM и AM приемников, передатчиков и приемопередатчиков фирмы Silicon Labs. Алексей Курилин.
4. С. И. Дингес. Мобильная связь: технология dect / С. И. Дингес М.: Солон-пресс, 2003. 272 с. (Серия «Библиотека инженера»)
5. TXS0108E 8-Bit Bi-directional, Level-Shifting, Voltage Translator for Open-Drain and Push-Pull Applications. Datasheet.
6. Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal DS3231. Datasheet.
7. Library for Silicon Laboratories Si4735 radio receiver chip and an Arduino microcontroller. Copyright 2012, 2013 Michael J. Kennedy. May 13, 2013.
8. Broadcast AM/FM/SW/LW radio receiver Si4730/31/34/35-D60. Datasheet. Copyright © 2013 by Silicon Laboratories.
9. Si47XX programming guide. Copyright © 2014 by Silicon Laboratories.
10. AR1000/AR1010 FM Radio. Airoha. Datasheet. Version 0.80 06-aug-2007.
11. Broadcast AM/FM/SW/LW radio receiver BK1086/88. Datasheet. Copyright©2010 by Beken Corporation.
12. Monolithic Dial-tuned AM/FM Receiver Radio-on-a-Chip™ KT0922M Copyright. Datasheet. 2011, KT Micro, Inc.
13. Single-Chip Low-Power FM Receiver for Portable Devices QN8075. Datasheet. Copyright ©2011 by Quintic Corporation.
14. Single-chip broadcast FM radio tuner RDA5807M. Datasheet. Rev.1.0–May.2011
15. Борис Семенов. Современный тюнер конструируем сами: УКВ стерео и микроконтроллер. 2004, Солон, серия «Библиотека инженера».
16. Анализ и проектирование ВЧ и цифровых систем с помощью Keysight SystemVue, учебное пособие, Москва, 2014.
17. 1. Справочник «Радиоэлектронные системы» – Основы построения и теория. / Под ред. Я.Д. Ширмана (изд. 2-е переработанное и дополненное), М.: «Радиотехника», 2007.
18. 2. Радиотехнические системы. / Под ред. Ю.М. Казаринова, М.: «Высшая школа», 1990. – 496 с.
19. 3. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы, Минск: «Высшая школа», 1988. – 369 с.
20. 4. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. — 4-е изд., перераб, и доп. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.



21. П. Е. Аллен, Д. Р. Холберг, “Проектирование аналоговых КМОП цепей”, второе издание, Oxford University Press, 2002 г.
22. Джеффри А. Велдон, “Высокопроизводительные КМОП передатчики для радиосвязи”, докторская диссертация, Калифорнийский университет Беркли, 2005 г.
23. Р. Свитек, С. Раман, “Постоянные смещения в приёмниках прямого преобразования: измерение характеристик и обсуждение”, IEEE Microwave Magazine, сс. 76-86, сентябрь 2005 г.