

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Политехнический институт

Факультет механико-технологический
Базовая кафедра техники и технологии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, к.т.н.,
доцент

_____ А.В. Прохоров
_____ 2017 г.

Разработка аппаратного комплекса для определения скоростного
потенциала выделенной цифровой абонентской линии

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 090301.2017.454. ПЗ ВКР

Руководитель работы,
ведущий инженер ИРЦ
_____ С.Н. Кононов
_____ 2017 г.

Автор работы -
студент группы ДО-580
_____ В.Д. Поляков
_____ 2017 г.

Нормоконтролер, старший
преподаватель
_____ Д.П. Химичева
_____ 2017 г.

Озерск 2017

АННОТАЦИЯ

Поляков, В.Д. Разработка
аппаратного комплекса для определения
скоростного потенциала выделенной
цифровой абонентской линии. – Озерск:
ЮУрГУ, ДО-580; 2017. – 83 с. 26 илл.,
библиогр. 24 таблицы, список – 40 наим.,
3 прил., презентация на 12 слайдах.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была произведена разработка аппаратного комплекса для определения скоростного потенциала выделенной цифровой абонентской линии.

В выпускной квалификационной работе был произведен обзор технических средств и выбор оптимального варианта исполнения устройства. Разработаны функциональная структура и электрическая принципиальная схема устройства. Разработан алгоритм работы АК и произведена калькуляция затрат на изготовление комплекса.

					090301.2017.454 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	Поляков В.Д.				Разработка аппаратного комплекса для определения скоростного потенциала выделенной цифровой абонентской линии	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	С.Н. Кононов						2	83
<i>Реценз.</i>						ЮУрГУ базовая кафедра техники и технологии		
<i>Н. Контр.</i>	Химичева Д.П.							
<i>Утверд.</i>	Прохоров А.В.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Литературный обзор	
1.1 Выбор концепции устройства.....	7
1.2 Обзор методов измерения скоростного потенциала	7
1.3 Выбор элементов устройства.....	9
1.3.1 Выбор микроконтроллера	9
1.3.2 Выбор синтезатора частоты	15
1.3.2.1 Прямой аналоговый синтез (DAS)	16
1.3.2.2 Косвенный синтез частоты на основе фазовой автоподстройки	17
1.3.2.3 Прямой цифровой синтез (DDS)	18
1.3.3 Выбор ЖК индикатора	22
1.3.4 Выбор источника питания.....	25
3 РАСЧЕТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ	
3.1 Разработка функциональной структуры системы	32
3.2 Разработка принципиальной электрической схемы	37
3.2.1 Разработка генератора частоты	37
3.2.2 Разработка широкополосного вольтметра	42
3.2.3 Разработка последовательного канала приема-передачи	47
3.2.4 Разработка схемы подключения устройств ввода-вывода	
3.2.4.1 Подключение и работа графического дисплея	52
3.2.4.2 Подключение и работа клавиатуры	57
3.2.5 Подключения и работа средств протоколирования	60
3.2.6 Разработка схемы питания устройства	62

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

3.2.7	Разработка схемы коммутатора и гальванической развязки	65
3.2.8	Разработка схемы подключения микроконтроллера	67
3.3	Выбор элементов и расчет номиналов	69
3.4	Алгоритм АК	71
3.5	Технико-экономическая часть	72
3.5.1	Расчет стоимости комплектующих изделий	72
3.5.2	Расчёт заработной платы на изготовление, сборку и наладку системы... ..	75
3.5.3	Расчет общих затрат на систему	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		78
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ		79
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК		80
ПРИЛОЖЕНИЯ		
ПРИЛОЖЕНИЕ А Функциональная схема аппаратной системы.....		84
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Принципиальная схема аппаратной системы		85
ПРИЛОЖЕНИЕ В Алгоритм устройства		86

Предметом выпускной квалификационной работы АК для определения скоростного потенциала выделенной цифровой абонентской линии.

Практическая значимость выпускной квалификационной работы разработка АК для определения скоростного потенциала выделенной цифровой абонентской линии на «ФГУП «ПО Маяк».

Структура выпускной квалификационной работы состоит из введения, трех разделов, заключения и библиографического списка. Раздел 1 посвящен литературному обзору. В литературном обзоре приведены возможные варианты реализации АК, сделан выбор элементной базы проектируемого устройства, описан принцип его действия. Раздел 2 посвящен сравнению отечественных и передовых зарубежных технологий, и решений. Раздел 3 посвящен расчетно-конструкторской части. В расчетно-конструкторской части разработаны функциональная структура и принципиальная схема АК, рассчитаны номиналы элементов, описан алгоритм программы и произведена калькуляция затрат на изготовление комплекса.

Объем выпускной квалификационной работы составляет 83 страниц машинописного текста и содержит 26 иллюстраций, 24 таблицы, библиографический список из 40 наименований и 3 приложений.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 Литературный обзор

1.1 Выбор концепции устройства

Аппаратный комплекс, удовлетворяющий требованиям, описанным во введении, может быть выполнен различными способами и с использованием различных элементов, например:

– использование компьютера с подключенным к нему блоком генератора по интерфейсу RS-232. Достоинства: простота реализации, установка дополнительных функций. Недостатки: устройство в целом будет обладать большими габаритами, существует необходимость использования источника бесперебойного питания на случай сбоя в электросети;

– устройство на микроконтроллере с использованием специализированной микросхемы генератора и индикатора на жидких кристаллах. Достоинства: компактность, мобильность, надежность, современность. Недостатки: относительная сложность изготовления.

Принимая во внимание вышеперечисленные факты, можно заключить, что использование АК на микроконтроллере будет наиболее оптимальным.

1.2 Обзор методов измерения скоростного потенциала

Скоростной потенциал dsl линии (скорость, которую может обеспечить линия при заданных условиях) определяется соотношением сигнал/шум с заданным запасом помехозащищенности [1]. Скоростной потенциал линии определяют двумя способами.

Первый способ – физические измерения. С одного конца в линию подают сигнал генератора с известным уровнем мощности. Прибор на удаленной стороне принимает сигнал генератора и измеряет уровень мощности после прохождения через линию. Разница в уровне мощности между введенным сигналом и принятым сигналом является затуханием. Необходимо учитывать, что кабель из витой пары имеет нелинейное затухание. Высокие частоты ослабляются больше, чем низкие частоты и этот эффект проявляется в большей степени на

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

кабеле и может быть измерен, рассматривается в качестве шума и/или перекрестной помехи.

Нужно обратить внимание на то, что оборудование, используемое для оценки качества абонентской линии, должно иметь способность измерять достаточно низкие значения шумов.

Второй способ – измерения модемом.

MaxRate по сути является скоростным потенциалом выделенной линии в соединении DSLAM-модем. На фазе соединения DSLAM вычисляет максимально возможную скорость соединения, исходя из измеренного текущего значения SNR.

Важно понимать, что максимальная скорость соединения определяется в течение короткого промежутка времени и с помощью передачи маленьких пакетов данных. На этой скорости общается оборудование, а оно обменивается совсем коротенькими сообщениями (команда-ответ). Если понаблюдать линию в течение более продолжительного времени, то можно заметить кратковременные «провалы» максимальной скорости. Тем не менее, даже такие кратковременные «снимки» линии позволяют оценить ее физическое состояние.

1.3 Выбор элементов устройства

Остановимся на выборе основных элементов более подробно.

1.3.1 Выбор микроконтроллера

Микроконтроллеры являются основной частью для большинства современных автономных устройств. В данном проекте микроконтроллер выполняет функции управления, вычисления, измерения.

С помощью микроконтроллера намного легче организовывать различные функциональные узлы, что приводит к минимизации затрат времени и денег. Это объясняется тем, что в нем помимо микропроцессорного блока существуют и ряд периферийных модулей, которые могут заменять дополнительные схемы. В отличие от ряда других функциональных узлов, отказ микроконтроллера приводит к отказу всей системы. Поэтому при разработке устройств, выбору микроконтроллера уделяется особое внимание.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

Требования, предъявляемые к микроконтроллерам в автономных устройствах, несколько отличаются от стандартных требований. Тогда как в стационарных устройствах требования к пониженному энергопотреблению микроконтроллеров не являются определяющими, в автономных устройствах они выходят на передний план.

Концепция разрабатываемой АК подразумевает вариант работы от батареек или аккумуляторов. В данном случае, желательно использовать микроконтроллер с расширенным либо с пониженным диапазоном питания. Микроконтроллеры с расширенным диапазоном питания относительно неприхотливы к напряжению питания и подходят как для устройств с сетевым, так и с автономным питанием. Микроконтроллеры с пониженным диапазоном питания предназначены для изделий с автономным питанием, т. к. их ток потребления в несколько раз меньше тока потребления других микросхем. В то же время следует помнить, что микроконтроллеры с пониженным диапазоном питания обычно имеют меньшую максимальную частоту тактирования.

Для микроконтроллеров, которые питаются от автономного источника напряжения, обязательна функция сброса по снижению напряжения питания. Если напряжение микроконтроллера опускается ниже определенного значения на заданное время, то происходит сброс.

В режиме пониженного энергопотребления микроконтроллер не выполняет часть своих функций, однако потребляет намного меньше тока. Поэтому необходимо учитывать и эту функцию. У каждого типа микроконтроллера существуют свои особенности в построении, которые зачастую существенно отличаются друг от друга. Наиболее распространенными являются восьмиразрядные микроконтроллеры, поэтому при выборе микроконтроллера обратим внимание на средние семейства восьмиразрядных микроконтроллеров ведущих фирм, таких как Microchip (PIC-контроллеры), Motorola и Atmel (AVR).

Микроконтроллеры фирмы Motorola семейства HC08 имеют 2 режима пониженного энергопотребления. В режиме ожидания (Waitmode)

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Основной целью выбора микроконтроллера является нахождение такой микросхемы, которая полностью бы удовлетворяла техническому заданию на устройство, но в тоже время была бы наименее дорогой. Прежде всего, следует определиться какой набор функций должен выполнять микроконтроллер. Как правило, микроконтроллер представляет собой законченную микропроцессорную систему, выполненную на одном кристалле, которая содержит основные функциональные блоки микропроцессорной системы (центральный процессор, постоянное запоминающее устройство, оперативное запоминающее устройство и периферийные устройства для ввода и вывода информации). В настоящее время всеми ведущими компаниями широко используется модульный принцип построения микроконтроллеров. При таком способе построения, у микроконтроллеров одного семейства есть базовый функциональный блок (процессорное ядро), который одинаковый для всех микроконтроллеров семейства, и изменяемый функциональный блок, который отличает микроконтроллеры разных моделей в пределах одного семейства. В изменяемый функциональный блок входят модули различных типов памяти, модули встроенных генераторов синхронизации, модули периферийных устройств и некоторые другие модули.

Как для автономных, так и для стационарных систем, одним из основных критериев выбора микроконтроллера является его производительность, которая напрямую зависит от производительности процессорного ядра. В настоящее время применяются 2 принципа построения ядра: с полной системой команд (CISC) и с сокращенной системой команд (RISC). По первому принципу построены микроконтроллеры таких производителей, как Motorola, Philips, Dallas, часть продукции Atmel. Микроконтроллеры с RISC архитектурой производятся фирмами Microchip, Scenix, Atmel.

Кроме того, у каждого типа микроконтроллера существует свой набор команд: семейство Classic AVR насчитывают 120 команд; система команд микроконтроллеров Motorola семейства HC08 включает 90 инструкций; среднее

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

платы, и что особенно важно для автономных устройств – уменьшает ее размер. В основном, для данных целей применяются последовательные интерфейсы, так как, по сравнению с параллельными, требуется малое число проводов связи или малое число дорожек платы. Интерфейсы можно разделить на периферийные и приборные. Первые являются уже стандартными и общепринятыми интерфейсами, а вторые созданными специально для конкретного случая. Рассмотрим основные периферийные интерфейсы в средних семействах микроконтроллеров фирм Motorola, Atmel, Microchip.

В семействе микроконтроллеров HC08 фирмы Motorola существуют три модуля последовательных интерфейсов: SPI08, SCI08, msCAN08.

Часть микроконтроллеров AVR также поддерживают интерфейс SPI. Кроме того, в их состав входит встроенный универсальный асинхронный приемопередатчик UART.

В состав PIC-контроллеров входят модуль ведущего синхронного последовательного порта (MSSP) и универсальный синхронно-асинхронный приемопередатчик (USART). Модуль MSSP может работать в двух режимах: SPI и Inter-Integrated Circuit (I2C). В режиме SPI микроконтроллер может работать как в качестве ведущего, так и в качестве ведомого устройства. В настоящее время наиболее часто используемыми являются интерфейсы SPI и I2C, поэтому PIC-контроллеры являются наиболее предпочтительными в плане реализации связи с другими устройствами.

Немаловажным фактом нужно считать доступность микроконтроллера, а также наличие программного обеспечения и средств отладки.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что микроконтроллеры фирмы Microchip семейства PIC наиболее предпочтительны. Кроме того для данных микроконтроллеров написан и находится в свободном доступе большой объём программного кода для реализации различных функций.

Для корректного выполнения функций АК и удобства работы необходимо обеспечить ввод информации, цифровую графическую индикацию, измерение на

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

АЦП, управление генератором. Выбор модели микроконтроллер PIC18F4520 является наиболее оптимальным. Он поддерживает все необходимые интерфейсы (SPI, I2C, USART), выпускается в 40 и 44-выводном исполнении (количество портов для ввода/вывода 36), имеет 13-канальный 10-битный АЦП. Может работать на частоте до 25 МГц.

1.3.2 Выбор синтезатора частоты

Под термином «синтезатор частоты» понимают электронное устройство, способное из опорной частоты получать на выходе требуемую частоту или набор частот, согласно управляющим сигналам. Наиболее распространенными являются следующие методы синтеза частот:

– прямой аналоговый синтез (Direct Analog Synthesis, или DAS) на основе структуры смеситель/фильтр/делитель, когда выходная частота получается непосредственно из опорной частоты посредством операций смешения, фильтрации, умножения и деления;

– косвенный (indirect) синтез на основе фазовой подстройки частоты (Phase Locked Loop, или PLL), когда выходная частота получается с помощью дополнительного генератора (чаще Voltage Controlled Oscillator, или VCO), который охвачен петлей фазовой автоподстройки;

– прямой цифровой синтез (Direct Digital Synthesis, или DDS), когда выходной сигнал синтезируется цифровыми методами;

– гибридный синтез, представляющий собой комбинацию нескольких методов, описанных выше [2].

Каждый из этих методов синтеза частот имеет преимущества и недостатки, следовательно, для каждого конкретного приложения нужно делать выбор, основанный на наиболее приемлемой комбинации компромиссов. Основными параметрами, характеризующими качество синтезатора частоты, являются следующие:

– чистота спектра выходного сигнала (уровень побочных компонентов и уровень шума);

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

- диапазон перестройки (полоса частот выходного сигнала);
- скорость перестройки;
- частотное разрешение;
- количество разных генерируемых частот;
- гибкость (возможность осуществления различных видов модуляции);
- неразрывность фазы выходного сигнала при перестройке.

1.3.2.1 Прямой аналоговый синтез (DAS)

Структурная схема прямого аналогового синтезатора показана на рисунке 1.1. Этот метод называют прямым по той причине, что отсутствует процесс коррекции ошибки, следовательно, качество выходного сигнала напрямую связано с качеством опорного сигнала. Фазовый шум этого синтезатора достаточно низкий вследствие прямого синтеза. Перестройка по частоте также может быть очень быстрой. Одной из важных особенностей такого синтезатора на основе смесителя/фильтра является возможность вернуться на любую частоту и продолжать работать в той фазе, как и в том случае, если бы перехода вообще не было. Этот эффект называют «фазовой памятью». Для перестройки по частоте используется переключаемый банк опорных генераторов. Это подходит, например, для радиостанций с небольшим количеством каналов. Но для обеспечения широких возможностей по перестройке частоты требуется очень много опорных генераторов, что является весьма дорогостоящим решением. Используя делители частоты (структура смеситель/фильтр/делитель) можно уменьшить количество необходимых опорных генераторов, хотя и в этом случае возможности по перестройке останутся более чем скромными.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$FOUT = FC - M = (FCLK/N) - M = FCLK - (N/M),$$

где FOUT – выходная частота;

FC – частота сравнения;

N – коэффициент деления опорной частоты;

M – коэффициент деления выходной частоты.

Другими словами, PLL синтезатор умножает опорную частоту в N/M раз. Коэффициенты N и M могут задаваться микроконтроллером, хотя на практике число N при перестройке меняют редко, так как это влечет за собой изменение частоты сравнения (соответственно, и шага сетки) и требует изменения параметров петлевого фильтра.

Фазовый детектор является источником дополнительных фазовых шумов. Попытки получить малый шаг перестройки частоты вынуждают работать на более низкой частоте сравнения, что требует понижения частоты среза петлевого фильтра. А это еще более увеличивает фазовые шумы. Быстрое переключение частоты в этой структуре также обеспечить очень сложно.

Для получения малого шага перестройки по частоте иногда объединяют в одном синтезаторе несколько петель PLL. Однако многопетлевой PLL синтезатор является весьма дорогим и громоздким устройством, что сдерживает его широкое применение.

1.3.2.3 Прямой цифровой синтез (DDS)

Все описанные методы синтеза доступны разработчикам уже десятилетия, но только в последнее время DDS уделяется пристальное внимание. Появление дешевых микросхем полных DDS и удобных средств разработки делает их сегодня привлекательными для разных сфер применения.

DDS уникальны своей цифровой определенностью: генерируемый ими сигнал синтезируется со свойственной цифровым системам точностью.

Частота, амплитуда и фаза сигнала в любой момент времени точно известны и подконтрольны. DDS практически не подвержены температурному дрейфу и старению. Единственным элементом, который обладает свойственными

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

полной мере использованы лишь на максимальной выходной частоте. Гораздо логичнее всегда, независимо от выходной частоты, работать на постоянной частоте дискретизации, близкой к максимальной для используемого ЦАП.

Все недостатки описанной выше структуры могут быть устранены путем замены адресного счетчика ПЗУ накапливающим сумматором. Накапливающий сумматор представляет собой регистр, который в каждом такте работы устройства перезагружается величиной, равной старому содержимому, плюс некоторая постоянная добавка (рисунок 1.4). Как и для счетчика, содержимое регистра линейно увеличивается во времени, только теперь приращение не всегда является единичным, а зависит от величины постоянной добавки. Когда накапливающий сумматор используется для формирования кода фазы, его еще называют аккумулятором фазы.

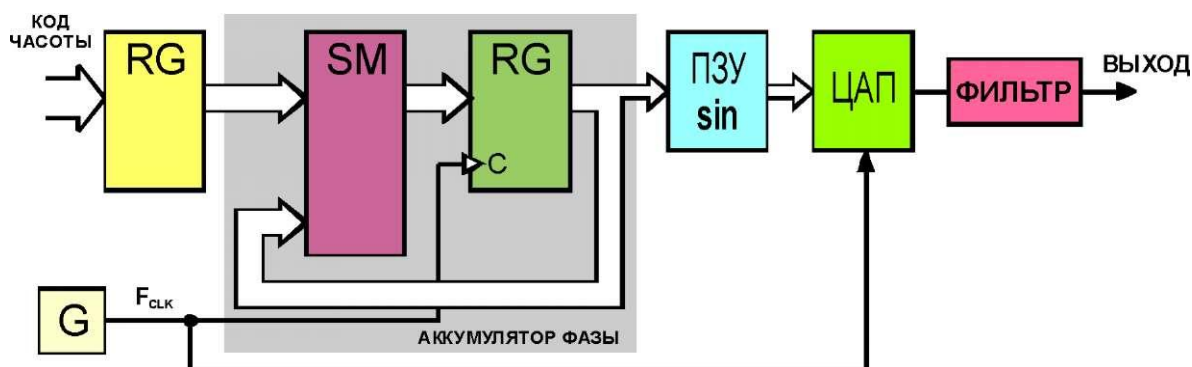


Рисунок 1.4 – DDS на основе накапливающего сумматора

Вышеперечисленные достоинства метода делают его идеальным вариантом для решения поставленной задачи. В настоящее время признанным лидером по производству интегральным микросхем DDS-синтезаторов является фирма Analog Device. Она выпускает целый ряд DDS-синтезаторов для решения широкого круга инженерных задач. Для достижения поставленной цели была выбрана ИМС AD9832. Выбор обусловлен тем, что это одна из самых дешевых микросхем DDS которая удовлетворяет всем требованиям проектируемого устройства (спектр генерируемых частот, точность установки, шаг перестройки, мощность).

1.3.3 Выбор ЖК индикатора

Условно все ЖКИ можно разделить на две категории: символьные или знакосинтезирующие, и графические. Графические индикаторы представляют собой матрицу из m строк и n столбцов, на пересечении которых находятся пиксели. Если на определенный столбец и строку подать электрический сигнал, то пиксель на их пересечении изменит свой цвет. Подавая группу сигналов на столбцы и строки можно формировать по точкам произвольное графическое изображение. Так работает графический ЖКИ. В символьном ЖКИ матрица пикселей разбита на подматрицы, каждая подматрица предназначена для формирования одного символа: цифры, буквы или знака препинания. Как правило, для формирования одного символа используют матрицу из восьми строк и пяти столбцов.

Выбор оптимальной версии ЖКИ зависит от множества определяющих факторов: цвет, тип материала жидкого кристалла, вид подсветки, температурный диапазон, потребляемая мощность, угол обзора.

Для того чтобы сформированное изображение воспринималось глазом человека, его необходимо освещать, в простейшем случае – естественным внешним светом.

Большинство современных LCD работают в одном из трех режимов отображения: в режиме полного отражения, при котором внешний свет отражается от рефлектора, расположенного позади дисплея (рисунок 1.5 а); в режиме полупрозрачности, при котором рефлектор отражает внешний свет, но способен пропускать свет от источника света, расположенного позади него (рисунок 1.5 б); в режиме подсвечивания, при котором рефлектор, отражающий внешний свет, отсутствует и для подсветки изображения используется специальный источник света (рисунок 1.5 в).

						090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			22

Таблица 1.1 – Основные параметры WG160160B-NFA-CP

количество точек в строке	160
количество точек в столбце	160
подсветка	без подсветки
технология	позитивный FSTN
тип поляризатора	отражение 6:00
рабочий диапазон температур	от 0 до 70 °С
кодировка	English/Cyrillic
встроенный контроллер	LC7981
напряжение питания	5В
max потребляемый ток	8,4мА

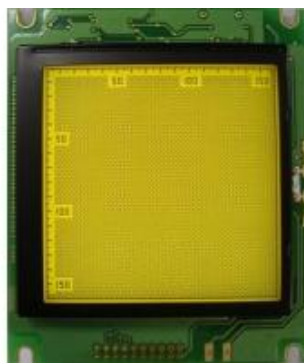


Рисунок 1.7 – Внешний вид WG160160B-NFA-CP

1.3.4 Выбор источника питания

Для питания разрабатываемого устройства необходим источник постоянного тока. Для обеспечения питания автономных устройств лучшим образом подходит аккумуляторная батарея – химический источник тока многоразового действия (в отличие от гальванического элемента, химические реакции, непосредственно превращаемые в электрическую энергию в ней, многократно обратимы).

Аккумулятор, как электрический прибор, характеризуется следующими основными параметрами: типом электрохимической системы, напряжением,

использовать величину потерянной ими за определенное время емкости, выраженную в процентах от значения, полученного сразу после заряда. За промежуток времени, как правило, принимается интервал времени, равный одним суткам и одному месяцу. Так, например, для исправных NiCd аккумуляторов считается допустимым саморазряд до 10 % в течение первых 24 часов после окончания заряда, для NiMH – немного больше, а для Li-ion пренебрежимо мал и оценивается за месяц. Следует отметить, что саморазряд аккумуляторов максимален именно в первые 24 часа после заряда, а затем значительно уменьшается.

Саморазряд аккумуляторов зависит от качества использованных материалов, технологического процесса изготовления, типа и конструкции аккумулятора. Он резко возрастает при повышении окружающей температуры, повреждении внутреннего сепаратора аккумулятора из-за неправильного обслуживания и вследствие процесса старения.

Срок службы (срок эксплуатации) аккумулятора принято оценивать по количеству циклов заряда/разряда, которое аккумулятор выдерживает в процессе эксплуатации без значительного ухудшения своих основных параметров: емкости, саморазряда и внутреннего сопротивления. Срок службы зависит от многих факторов: методов заряда, глубины разряда, процедуры обслуживания или его отсутствия, температуры и электрохимической природы аккумулятора. Кроме того, он определяется временем, прошедшим со дня изготовления, особенно для Li-ion аккумуляторов. Аккумулятор, как правило, считается вышедшим из строя после уменьшения его емкости ниже 80 % от номинального значения.

В подавляющем большинстве устройств, подобных разрабатываемому (кабельные анализаторы и пр.) используются никель-металл-гидридные батареи. Основные параметры представлены в таблице 1.3.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 1.3 – Основные параметры NiMH аккумуляторов

теоретическая энергоёмкость	300 Вт·ч/кг
удельная энергоёмкость	около – 60–72 Вт·ч/кг
удельная энергоплотность	около – 150 Вт·ч/дм ³ .
ЭДС	1,3 В (номинальное напряжение 1,2В)
рабочая температура	-60...+55 °C.(-40... +55)
срок службы	до 500 циклов заряда/разряда

Никель-металл-гидридные аккумуляторы держат напряжение «до последнего», а затем, когда энергия аккумулятора будет исчерпана, напряжение быстро снижается. NiMH аккумуляторы практически избавлены от «эффекта памяти». Это означает, что заряжать не полностью разряженный аккумулятор можно, если он не хранился больше нескольких дней в таком состоянии. Если же аккумулятор был частично разряжен, а затем не использовался в течение длительного времени (более 3 дней), то перед зарядом его необходимо разрядить. Наиболее благоприятный режим работы: Разряд небольшим током, от 0,2 до 0,5 номинальной ёмкости, время заряда – 16 часов (типичная рекомендация производителя).

2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Для сравнения были выбраны анализатор систем передачи и кабелей связи AnCom A-7 производимый фирмой ООО «Аналитик телекомсистемы» (Россия), анализатор телефонных линий ALT-2000 производимый фирмой «ATEN» (Италия), анализатор цифровых абонентских линий ELQ-2 производимый фирмой «Elektronika» (Венгрия), тестер абонентских линий HST-3000 производимый фирмой «JDSU Deutschland GmbH» (Германия) и анализатор параметров кабелей связи RD-6000DSL производимый фирмой «Radiodetection Ltd» (Великобритания). Сравнение и отличительные характеристики приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнительная таблица анализаторов линий xDSL

Параметры и характеристики	AnCom A-7	ALT-2000	ELQ-2	HST-3000	RD-6000DSL
Рефлектометр	Непрерывного действия	+TDR (опция)	+TDR	+TDR(опция)	+TDR
Максимальная дальность действия	50...592000	от 384 до 12288 м	до 10 км $\pm 0,1$ % от диапазона	0...600 м; 30...2500 м; 300...5000 м;	19400 м
Ширина импульса(макс.)	-	от 24 до 3200 нс	от 10 до 5000 нс	16 нс...4,1мкс в зависимости от диапазона измерения	От 2 нс до 33000 нс
Точность определения расстояния	$\pm 5-320$ м в зависимости от диапазона используемых частот -	$\pm 0,9$ м	$\pm 0,4$ % от диапазона	0,5 % от диапазона	0,15 м +0,01 % от показаний
Резистивный мост	-	опция	+(мост/опция)	Метод прямого измерения	+
Определение расстояния до дефекта	-	от 3 Ом до 1 МОм	от 0,1 до 100 МОм	0...20 Мом Сопротивление шлейфа: До 7 кОм	от 0 до 50 Мом от 0 до 45000 м
Емкостной мост	-	+(опция)	+(опция)	+ опция	+
Определение расстояния до обрыва	-	От 1 до 99999 м	до 20000м (измерительная частота 11 Гц)	0...30000 м	от 0 до 50000 м
Анализатор спектра	+	+	+	+(опция)	+
Широкополосный динамический диапазон	80 дБ	-120...+22 дБм	Нет данных	-80...+10 дБм	от -20 до -140 дБм/Гц

Продолжение таблицы 2.1

Параметры и характеристики	AnCom A-7	ALT-2000	ELQ-2	HST-3000	RD-6000DSL
Частотный диапазон	от 4 до 4096 кГц	от 16 Гц до 2 МГц, настройка 1 Гц	от 50 Гц до 2,2 МГц	10 Гц...3,8 МГц	от 10 Гц до 2,2 МГц
Импеданс	75 Ом/100...150 Ом/600 Ом/ 75, 100...150, 600 Ом	93, 100, 110, 120, 135, 150, 200, 300, 600 Ом и >600 кОм	(10 кГц-2,2 МГц) до 400 Ом; (200 Гц-10 кГц) от 300 до 1600 Ом	75 / 100 / 120 / 135 Ом /, 600/900 Ом	100, 120 и 135 Ом
Тестер сопротивления изоляции	-	+	+(опция)	+(опция)	+
Сопротивление изоляции	-	Низковольтная изоляция: 25 кОм-250 МОм; Высоковольтная изоляция: 1 МОм-1000 МОм	от 10 кОм до 10 ГОм	0...999 МОм	от 0,00 Мом до 1 ГОм
Тестовое напряжение	-	15 В / 95 В	100 В	110 В	50В/100В/250В /500В
Мультиметр	+	+(опция)	+(или мост или мультиметр/опции)	+(опция)	+
Постоянное/переменное напряжение	-	+/- 0-140 В	+/- до 200 В	0...280 В	+/+ от 0 до 400 В
Сопротивление шлейфа	30...3000 Ом	10-999 Ом/м	от 1 Ом до 10 кОм	0...999 МОм	от 0 до 10 кОм
Емкость	3...3000 нФ	0,1 нФ-3000 нФ	от 1 нФ до 10 мкФ	0...1,6 мкФ	+
Измеритель уровня шумов и асимметрии	+	+	+	0...90 мА (опция)	+
Собственные шумы кабеля	-103...0, ±[1...2] дБ	+	до -100 дБ	-90...-40 дБм	от 0 до 50 дБmC
Измерение помехи от сети переменного тока	Определяет в кабеле частоту 50Гц и кратные частоты.	+	Определяет в кабеле частоту 50Гц и кратные частоты.	-50...+30 дБм	от 40 до 100 дБmC
Асимметрия жил относительно земли на переменном токе, дБ	+(15...30)±1; +(30...50)±5 дБ	+	от 0 до 40 дБ	28...95 дБ	от 40 до 62 дБ
Затухание рабочее/ перех./ ассим., дБ	+/- (0...30)±0,3; (30...40)±0,6; (40...50)±1,5; (50...80) дБ	+/+/+ ≤ -40 дВ	+/+/+ Затухание несогласованности до 40 дБ	Нет данных	+/+/+ от 0 до 60 дБ
Переходные помехи NEXT/FEXT	(0...30)±0,3; (30...40)±0,6; (40...50)±1,5; (50...80)дБ	+	0 до 80 дБ/ 0 до 90 дБ	0...50 дБ 10...2000 кГц 100/135 Ом	+/- -20дБ - -70 дБ

3 РАСЧЕТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Разработка функциональной структуры системы

Функциональная структура показывает движение информации в системе и помогает выделить основные этапы ее обработки (Приложение А).

Как отмечалось ранее для измерения скоростного потенциала выделенной абонентской линии необходимо с одного конца линии подать сигнал генератора с известным уровнем мощности. Прибор на удаленной стороне принимает сигнал генератора и измеряет уровень мощности после прохождения через линию.

В качестве измерительного сигнала будем использовать сигнал синусоидальной формы на разных частотах. Набор частот выбирается согласно рекомендации МСЭ-Т G.991.2. В рекомендации дается описание способа передачи данных в телекоммуникационных сетях доступа с помощью технологии SHDSL.

Трансиверы SHDSL могут поддерживать выбранные симметричные скорости передачи данных пользователей в диапазоне от 192 кбит/с до 2312 кбит/с при использовании линейного кода амплитудно-импульсной модуляции с решетчатым кодированием (ТСРАМ). Они спроектированы так, чтобы быть спектрально совместимыми с другими технологиями передачи, используемыми в сети доступа, в том числе и с другими технологиями DSL. Трансиверы SHDSL не поддерживают использование технологии аналогового разделения в целях сосуществования с обычными аналоговыми телефонными линиями (POTS) или с сетью ЦСИС [3].

При модуляции типа ТСРАМ к каждому последующим 3-м битам передаваемого цифрового потока ($K=3$) добавляется повышающий достоверность приема 4-й избыточный бит. Количество состояний передаваемого символа, таким образом, составляет $2^4=16$, а способ модуляции называют 16-ТСРАМ.

Образованный при таком объединении символ (3 информационных + один избыточный) передается за один такт. Скорость передачи символов (Symbol Rate,

						090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			32

F_{sym} , ksymbol/s) связана со скоростью потока (Payload Data Rate, R , kbit/s) соотношением $F_{sym}=R/K$, где $K=3$ (Bits per Symbol).

Допустимые скорости передачи по технологии SHDSL (16-TCPAM) указаны в рекомендации. Рекомендация G.991.2. лимитирует параметры выходного сигнала SHDSL-устройства по уровню и спектру:

- уровень выходного сигнала равен +13,5 дБм;
- распределение спектральной плотности мощности сигнала исключает передачу в линию «боковых лепестков», определяемых неинформативными продуктами модуляции;
- в результате ограничения спектра в линию передается только сигнал в основной полосе частот, эффективная ширина которой определяется как:

$$F_{3dB} = R / K / 2. \quad (3.1)$$

Задача определения скоростного потенциала SHDSL-линии ставится как задача определения запаса помехозащищенности заявленной пары на одной из скоростей, выбранных из полного ряда ($R = n \cdot 64 + i \cdot 8$) возможных значений.

Работоспособность SHDSL-оборудования на заявленной паре определяется наихудшим значением частотной характеристики защищенности в эффективной полосе частот от 0 до F_{3dB} . Для измерения частотной характеристики защищенности следует использовать многочастотный сигнал, полоса частот которого соответствует ширине полосы сигнала SHDSL-оборудования на заданной скорости.

Иными словами мы будем генерировать синусоидальный сигнал с частотой от 0 до F_{3dB} с определенным шагом, в зависимости от аппаратуры, которая будет использоваться на линии в дальнейшем.

В качестве предельного значения защищенности следует выбрать значение по Шеннону, соответствующее идеальному устройству передачи данных, осуществляющему модуляцию с кратностью $K=3$:

$$K = \log_2(C/\text{Ш} + 1) \quad (3.2)$$

$$C/\text{Ш} = 2^k - 1 = 7 \quad (3.3)$$

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$C/\text{Ш}, \text{дБ} = 10 \cdot \lg(C/\text{Ш}) = 10 \lg(7) = 8,5 \text{ дБ} \quad (3.4)$$

Итак, при проверке гипотезы о допустимости SHDSL-цифровизации заявленной линии связи на заданной скорости R следует:

- использовать в качестве сигнала, моделирующего загрузку линии, синусоидальный сигнал, частота которого легко регулируется;
- задавать частоты с шагом 1 кГц соответствующие эффективной полосе частот SHDSL-сигнала $0 \dots R/6$, определяемой необходимой скоростью R ;
- при установке уровня сигнала учитывать номинальный выходной уровень SHDSL-оборудования $13,5 \pm 0,5$ дБм, что соответствует $1,5 \pm 0,1$ В на нагрузке 135 Ом (волновое сопротивление физической линии);
- нормировать измеренную частотную характеристику защищенности значением $C/\text{Ш} = 8,5$ дБ, соответствующим кратности модуляции 3 бита на символ;
- считать что скоростной потенциал линии равен заданному значению, если частотная характеристика защищенности удовлетворяет норме в каждой частотной точке диапазона $0 \dots R/6$;
- рассматривать минимальное в диапазоне частот $0 \dots R/6$ значение запаса соответствия частотной характеристики защищенности норме как запас помехозащищенности SHDSL-оборудования на заданной скорости.

Выбор линейки скоростей на которых будет тестироваться линия напрямую влияет на длительность тестирования. Как показывает практика – нецелесообразно тестировать линию на всех скоростях (шаг 8 кбит/с). Достаточно измерять значения помехозащищенности на следующих скоростях:

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Как только измеряемые величины перестают удовлетворять заданным значениям – master устройство передает slave устройству сообщение о завершении измерений и на экраны обоих устройств выводятся соответствующие сообщения.

Предусмотрено протоколирование результатов с целью последующего просмотра и анализа.

Для предотвращения отражения сигналов оба блока должны быть согласованы с линией.

Согласно разработанной функциональной структуре АК должен выполнять следующие функции:

- генерирование измерительных сигналов;
- измерение уровня сигнала и шума;
- выдача результатов измерений и вычислений на отображающее устройство;
- протоколирование результатов;
- согласование с линией.

3.2 Разработка принципиальной электрической схемы

Принципиальная электрическая схема приведена в Приложении Б.

3.2.1 Разработка генератора частоты

Для генерации частоты была выбрана микросхема фирмы Analog Device AD9832, реализующая метод прямого цифрового синтеза. На рисунке 3.1 изображена структура этой микросхемы, взятая из документации производителя.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

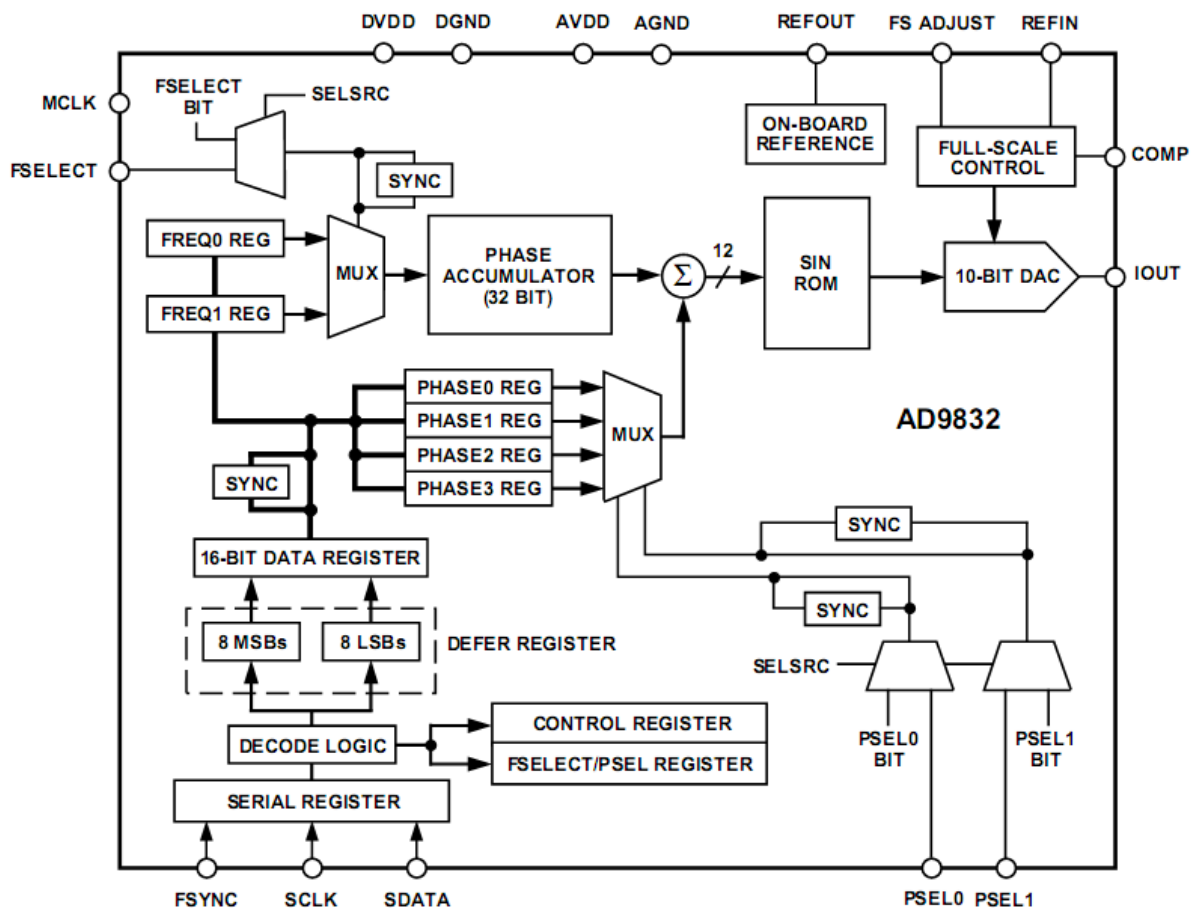


Рисунок 3.1 – Структура AD9832

Данная ИМС выполнена по традиционной для синтезаторов данного типа структуре. Программирование ИМС на желаемый режим работы осуществляется посредством стандартного цифрового последовательного интерфейса I2C. Тактирование работы синтезатора осуществляется посредством сигнала опорной частоты MCLK.

Основным элементом DDS-синтезатора является 32-разрядный регистр, называемый аккумулятором фазы. Содержимое частотных регистров FREQ0 и FREQ1 служит делителем частоты опорного сигнала. Число в аккумуляторе фазы инкрементируется с частотой, равной отношению частоты опорного сигнала $f_{\text{такт}}$ и числа в частотном регистре.

Выводы интегральной микросхемы AD9832 можно разделить на 3 группы:

1. Аналоговые (FS Adjust, REFIN, REFOUT, IOUT, COMP).
2. Цифровые (MCLK, SCLK, SDATA, FSYNC, FSELECT, PSEL0, PSEL1).
3. Выводы питания и заземления (DVDD, DGND, AGND, AVDD).

ЦАП AD9832 может работать от внутреннего источника опорного напряжения, которое подается на вывод REFOUT. Для этого необходимо подключить вывод REFOUT к выводу REFIN. При этом REFOUT подключается на землю через конденсатор 10 нФ. ЦАП работает с источниками опорного напряжения номиналом 1,21 В.

Выходной сигнал формируется на высокоомном выводе IOUT. Между землей и выводом IOUT должен быть подключен нагрузочный резистор.

FS ADJUST (настройка диапазона) – порт подключается к аналоговой земле через резистор R_{set} .

Тактирующие сигналы подаются на порт MCLK от внешнего источника. Частота в DDS синтезаторе может быть установлена не любая, а только с шагом равным $FMCLK/2^{32}$. Теоретический предел генерируемой частоты в DDS равен половине тактовой. На практике на частотах выше 1/4 тактовой начинается резкий спад амплитуды первой гармоники, который в какой-то степени можно скомпенсировать усложнением схемы фильтра. Но настройка генератора сигналов при этом резко усложняется. Максимальная требуемая частота разрабатываемого АК 400 кГц. Шаг перестройки при этом 1 кГц. Исходя из этого ~2 МГц будет оптимальной частотой тактирования. Была выбрана бюджетная микросхема MAX7375 основные параметры которой приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Основные параметры MAX7375

Частота	1,84 МГц
Напряжение питания	2,7–5,5 В
Номинальный потребляемый ток	0,8мА
Выходное напряжение высокого уровня	$U_{пит}-0,4$ В
Выходное напряжение низкого уровня	0,4 В
Точность установки частоты	+/-2 %
Длительность переднего фронта	5 нс
Длительность заднего фронта	2,5 нс

Порты SCLK, SDATA, FSYNC используются для загрузки управляющего 16-битного слова в AD9832. Порт FSYNC устанавливается в нижний уровень на время записи управляющего 16-битного слова. Биты заносятся по каждому последующему заднему фронту тактирующего сигнала порта SCLK. После того как проходит 16-ый задний фронт сигнала SCLK – FSYNC возвращается в высокое состояние.

При записи в регистры частоты/фазы первые 4 бита определяют в какой из двух регистров будет производиться запись, следующие 4 бита содержат адрес и остальные 8 младших битов содержат данные.

SDATA – последовательный порт данных по которому загружается 16-битное слово. Напрямую подключается к последовательному порту микроконтроллера. FSYNC – порт синхронизации данных.

FSELECT – порт выбора частоты. Осуществляет контроль над тем какой из частотных регистров FREQ0 или FREQ1 используется в аккумуляторе фазы. Выбор регистра может быть осуществлен либо по изменению уровня на выводе FSELECT или программно при изменении бита. В последнем случае вывод должен быть подключен к земле.

PSEL0, PSEL1 – выводы, позволяющие переключаться между фазовыми регистрами. Регистры предназначены для изменения значения на входе SIN ROM, содержащей перекодировочную таблицу (Look Up Table). Содержание фазового регистра складывается со значениями на выходе фазового аккумулятора. Как и в случае FSELECT, при выборе фазовых регистров с помощью битов выводы PSEL0, PSEL1 должны быть подключены к земле.

Питание микросхемы внутрисхемно разделено на аналоговую и цифровую часть (2 вывода питания, 2 вывода заземления). Между плюсом и землей каждой части должен быть установлен конденсатор 0,1 мкФ.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 3.3 – Основные параметры AD9832

Разрядность ЦАП	10 бит
Выходной ток ЦАП	4 мА
SNR	50 дБ
Суммарный коэффициент гармонических искажений	-53 дБн
Время пробуждения	1 мс
Внутреннее опорное напряжение	1,2 В +/- 7 %
Минимальное выходное напряжение высокого уровня	min $U_{\text{пит}}$ -0,9 В
Максимальное выходное напряжение низкого уровня	max 0,9 В
Напряжение питания (AVDD, DVDD)	2,97–5,5 В
Максимальное значение потребляемого тока при питании 5 В	24 мА
Потребление в спящем режиме	350 мкА

Для улучшения спектра выходного сигнала и фильтрации высших гармоник к выводу IOUT нужно подключить пассивный LC фильтр с частотой среза 1 МГц.

Разрабатываемый АК должен передавать в линию дифференциальный сигнал. Поскольку микросхема DDS работает с однополярным питанием и выдает несимметричный сигнал необходимо использовать адаптер-усилитель дифференциальной линии, осуществляющий преобразования несимметричного сигнала в дифференциальный.

Для этой цели была выбрана микросхема AD8131. Данная микросхема является дифференциальным передатчиком для передачи высокоскоростных сигналов через провода витой пары. AD8131 может использоваться для передачи как аналоговых так и цифровых сигналов. Как и в обычном операционном усилителе используется высокий коэффициент усиления и обратная связь для установки необходимых уровней напряжения.

Таблица 3.4 – Основные параметры AD8131

Входное сопротивление	1,125 кОм
Входная емкость	1 пФ
Коэффициент ослабления синфазного сигнала	-70 дБ
Скорость нарастания выходного напряжения	2000 В/мкс
Время установления сигнала	14нс
Напряжение смещения	+/-2мВ
Размах выходного напряжения	от -3,6 до +3,6 В
Линейный выходной ток	60 мА
Напряжение питания	от 2,7 до +/-5 В
Максимальная рассеиваемая мощность	250 мВт

Принципиальная электрическая схема генератора представлена на рисунке 3.2. Данное техническое решение является типовым и предусмотрено производителем.

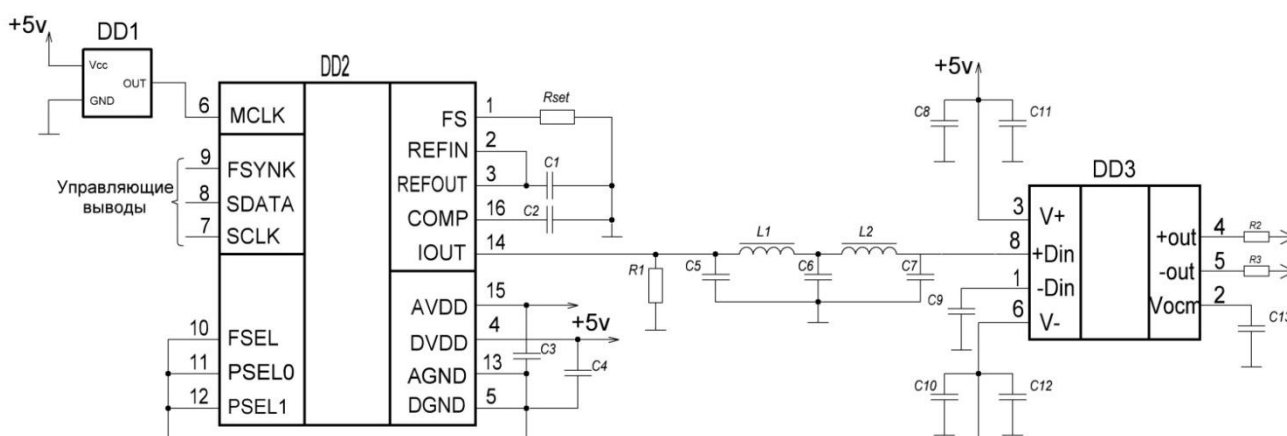


Рисунок 3.2 – Принципиальная электрическая схема генератора

3.2.2 Разработка широкополосного вольтметра

Для измерения уровня сигнала и шума необходимо использовать вольтметр. Для характеристики уровней сигналов принято использовать среднеквадратичные значения (root-mean-square), они наиболее точно описывают энергию сложных или синусоидальных волн.

Для правильной синусоиды величина RMS составляет 0,707 от максимального значения, или максимальное значение равно $\sqrt{2}$, или 1,414 от значения RMS.

Для получения среднеквадратичного уровня все мгновенные значения напряжений для волны сложной формы возводят в квадрат, усредняют полученные значения и извлекают из результата квадратный корень. Для периодического сигнала, чтобы получить среднеквадратичное значения достаточно умножить пиковое напряжение на определенную константу. Среднеквадратичное значение для непериодического сигнала можно измерить с помощью специального измерительного устройства или детектора (счетчики истинного RMS).

Для работы в широкой полосе частот чаще всего применяют ПСКЗ на аналоговых умножителях (квадраторах), использующий следующий алгоритм обработки сигнала:

– Преобразование входного переменного напряжения $V_{in}(t)$ в однополярный управляющий ток $i(t)$ и последующую обработку токового сигнала. При этом исключается большое изменение напряжения в узлах и перезаряд паразитных емкостей, и быстродействие определяется в основном граничной частотой усиления транзисторов.

– Возведение управляющего тока в квадрат $i^2(t)$ и интегрирование его фильтром нижних частот с большой постоянной времени усреднения τ_{AV} для получения среднего значения $Avg(i^2(t))$.

– Сравнение среднего значения $Avg(i^2(t))$ с постоянным сигналом при помощи усилителя ошибки (error amplifier), выходное напряжение которого управляет цепью обратной связи (ОС) и обеспечивает выравнивание среднего значения и постоянного сигнала.

Такой алгоритм реализован в преобразователях на микросхемах AD834, AD8361, AD8362, причем в AD834 и AD8361 усилитель ошибки управляет дополнительным квадратором, вырабатывающим сигнал сравнения, а в AD8362 –

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

усилителем с регулируемым усилением в основном канале, а дополнительный квадратор обеспечивает неизменный сигнал сравнения [5].

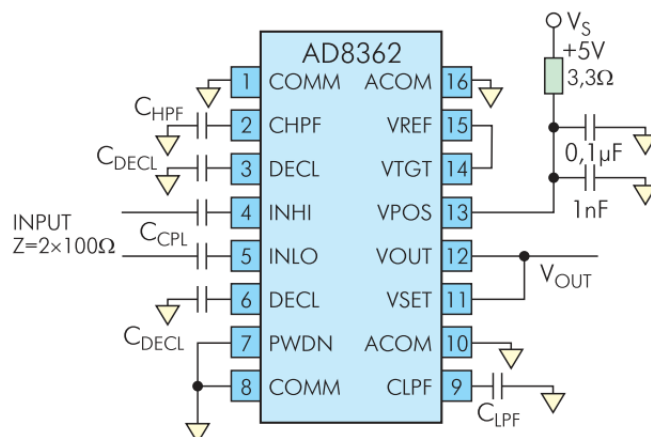


Рисунок 3.3 – Схема включения AD8362 для измерения переменного напряжения

Очевидно, что внутренняя структура AD8362 довольно универсальна и позволяет реализовать различные функции, поэтому рассмотрим только включения ИС для режима измерения переменного напряжения, как показано на рисунке 3.3.

Входы INHI, INLO микросхемы AD8362 имеют постоянное смещение $\approx 3,6$ В относительно вывода ACOM и входное сопротивление ≈ 100 Ом, поэтому их непосредственное соединение с источником сигнала недопустимо и требуется применение разделительных конденсаторов C_{CPL} . Кроме того, рекомендуется подключение конденсаторов C_{DECL} на развязывающие выводы (decoupling terminals) DECL микросхемы.

Параметры ПСКЗ не нормируются изготовителем ИС, а зависят от конкретной реализации ПСКЗ потребителем: топологии и качества печатной платы, выбранных типов и номиналов внешних элементов, согласования с источником входного сигнала и пр. В таблице приведены только основные характеристики микросхемы AD8362, определяющие параметры ПСКЗ.

Таблица 3.5 – Основные характеристики микросхемы AD8362

Функция преобразования	$V_{OUT} = V_{SLP} \text{Log}_{10} \left[\frac{\sqrt{\text{Avg}(v_{IN}^2)}}{V_z} \right]$
Коэффициент преобразования	$V_{SLP} = 50 \text{ мВ/дБ}$, $V_z = 316 \text{ мкВ}$
Возможность обрабатывать сигналы с постоянной составляющей	Нет
Напряжение питания V_s	+ 5 В
Рассеиваемая мощность	121 мВт при $V_s = 5,5 \text{ В}$
Допустимое входное напряжение	от 2,23 мВ _{СКЗ} до 223 мВ _{СКЗ}
Входное сопротивление	100 Ом (200 Ом, дифференциальное)
Рабочая частота	2,7 ГГц
Погрешность преобразования в зависимости от $DR = V_{RMSmax}/V_{RMSmin}$	$\pm 6 \%$ при $DR=1000$

Однако для разрабатываемого устройства применение данной микросхемы в чистом виде недопустимо из-за малого динамического диапазона в 65 дБ. Этот диапазон может быть расширен путем добавления внешнего усилителя (VGA) как предусилителя, регулируемый коэффициент которого управляется непосредственно с вывода VOUT. В качестве такого усилителя может быть использована микросхема AD8330.

За счет диапазона усиления расширяется весь динамический диапазон измерений. Теоретический диапазон при использовании двух микросхем достигает 110 дБ. Но из-за шумов на выходе AD8330 это значение ограничивается 95 дБ. Однако это может быть достигнуто только при фильтрации рабочих частот между микросхемами AD8330 и AD8362 [6].

Схема широкополосного вольтметра с реализованным расширением динамического диапазона типовым способом представлена на рисунке 3.4.

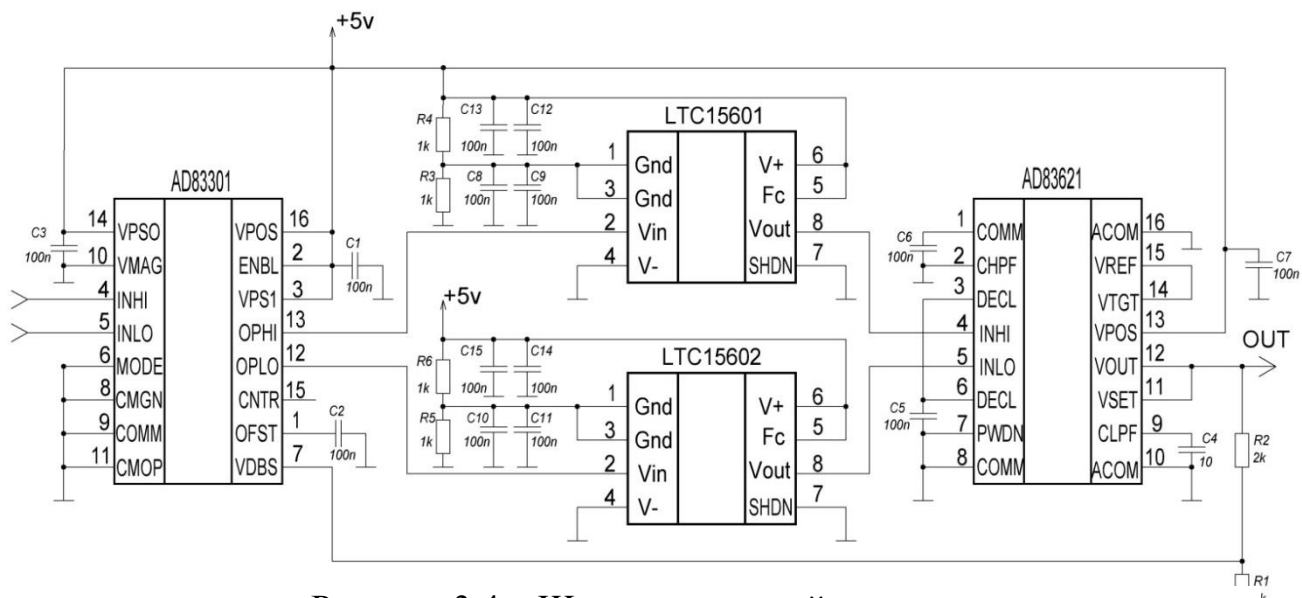


Рисунок 3.4 – Широкополосный вольтметр

В качестве фильтров между AD8330 и AD8362 была выбрана микросхема LTC1560-1 которая представляет собой малозумящий эллиптический фильтр низких частот пятого порядка с частотой среза 450 кГц.

Таблица 3.6 – Основные параметры LTC1560

Частота среза	450 кГц
SNR	75 дБ
неравномерность затухания	+/-0,3 дБ
затухание в полосе задерживания	не менее 60 дБ
максимальная рассеиваемая мощность	300 мВт
напряжение питания	5 В

Для корректного измерения шумов необходима точность измерения до 10^{-4} В. Показание точности будет зависеть в том числе от опорного напряжения АЦП. Встроенный источник опорного напряжения подключается программно, однако его значения (2,048 В) не достаточно для необходимой точности. Поэтому применена микросхема опорного напряжения МАХ6034 с выходным напряжением 4,096 В. Данное техническое решение является типовым и предусмотрено производителем.

3.2.3 Разработка последовательного канала приема-передачи

Между разрабатываемыми устройствами необходимо организовать связь для согласования и синхронной работы. Для связи двух устройств предоставлена лишь тестируемая абонентская линия, единственным решением может быть организация последовательной передачи данных.

В настоящее время широко используются два вида последовательных портов: синхронные и асинхронные последовательные порты.

В микроконтроллере PIC18F4520 есть встроенный Модуль EUSART (Enhanced Universal Synchronous Receiver Transmitter) универсальный синхронный/асинхронный приемопередатчик. Связь между устройствами будет осуществляться в 8-битном режиме с прерываниями от приёмного буфера. На минимальной скорости при тактовой частоте микроконтроллера 20 МГц.

Встроенный модуль EUSART микроконтроллера состоит из нескольких частей: приёмника, передатчика и генератора скорости. Каждый из этих элементов в свою очередь состоит из регистров и рабочей логики. Регистры используются для буферизации принимаемых и передаваемых сообщений, а также настройки скорости передачи и управления логикой модуля. Структурные схемы передатчика и приёмника модуля приведены на рисунках 3.5 и 3.6 соответственно.

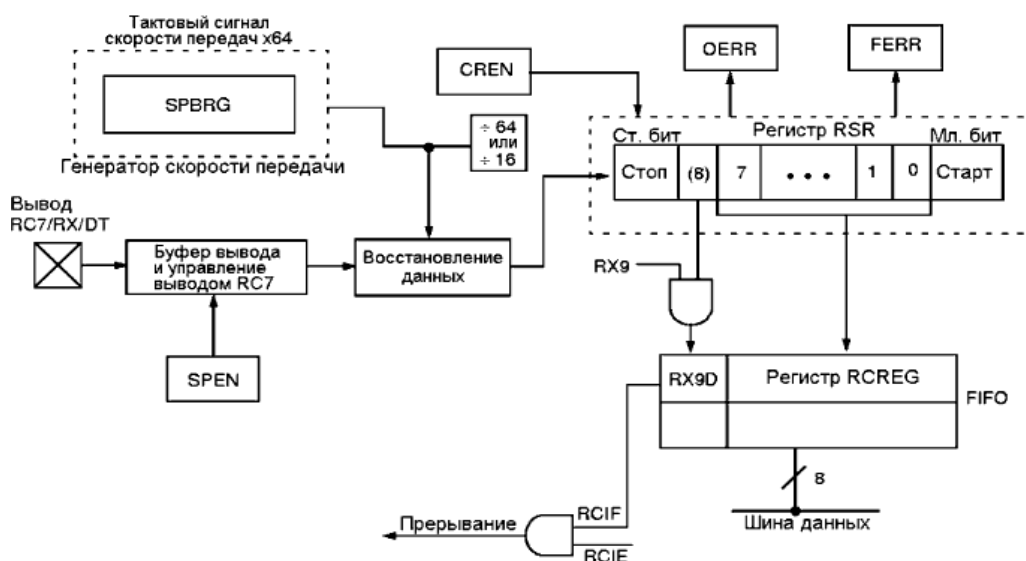


Рисунок 3.5 – Структурная схема приёмника модуля USART

Приёмник содержит следующие регистры:

- RCSTA – регистр управления, содержит биты для настройки работы приёмника и флаги ошибок.
- RCREG – двойной FIFO буфер для принимаемых данных.
- RSR – сдвиговый регистр для приёма данных с линии, программно не доступен.

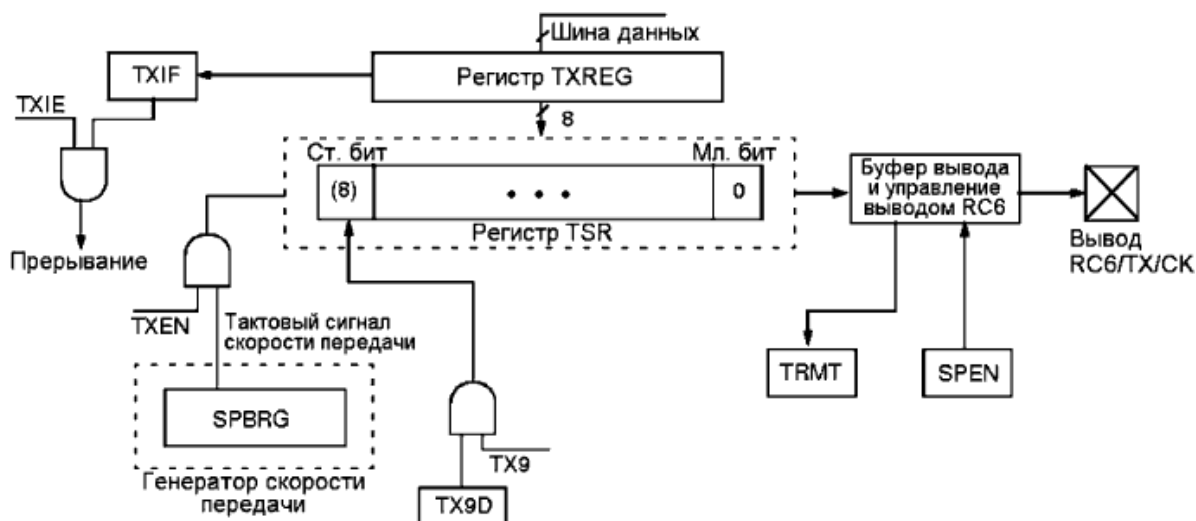


Рисунок 3.6 – Структурная схема передатчика модуля USART

Передатчик содержит следующие регистры:

TXSTA – регистр управления, содержит биты для управления работой передатчика.

TXREG – буфер для передаваемых данных.

TSR – сдвиговый регистр для передачи данных на линию, программно не доступен.

Генератор скорости содержит регистр SPBRG, в который заносится значение периода встроенного генератора обмена, а также с ним связан бит BRGH регистра TXSTA, управляющий скоростным режимом генератора.

Рассмотрим подробнее основные принципы работы с модулем USART.

Перед тем как начать работу с модулем USART в асинхронном последовательном режиме, необходимо выполнить его настройку. Для этого нужно выполнить следующие действия:

– выводы RC6 и RC7 порта PORTC настроить как входы, для этого биты <7> и <6> регистра TRISC устанавливаем в единицу;

– выполнить настройку скорости передачи данных, используя бит BRGH в регистре TXSTA для выбора скоростного режима и регистр SPBRG, в который необходимо поместить значение периода встроенного генератора скорости обмена. Более подробное описание настройки скорости приведено ниже;

– настроить модуль USART на асинхронный режим работы сбросом в ноль бита SYNC в регистре TXSTA;

– включить модуль USART установкой бита SPEN в регистре RCSTA;

– запретить прерывание от передатчика модуля сбросом бита TXIE регистра PIE1;

– отключить 9-битный приём и передачу сбросом в ноль битов RX9 и TX9 в регистрах RCSTA и TXSTA соответственно;

– разрешить передачу и приём установкой битов TXEN и CREN в регистрах TXSTA и RCSTA соответственно;

– разрешить прерывание от приёмника модуля установкой бита RCIE в регистре PIE1.

Модуль USART имеет встроенный генератор скорости обмена в бодах, период которого определяется значением в регистре SPBRG. В асинхронном режиме можно использовать бит выбора скоростного режима BRGH регистра TXSTA, который тоже влияет на скорость обмена.

Генератор скорости обмена может работать в одном из двух режимов: высокоскоростном ($BRGH = 1$) и низкоскоростном ($BRGH = 0$). В зависимости от режима работы значение регистра SPBRG вычисляется по разным формулам. Эти формулы для расчета скорости обмена и значения регистра SPBGRH в асинхронном режиме приведены в таблице 3.7.

Таким образом, чтобы получить скорость, приблизительно равную заданному значению 100 бод, в регистр SPBRG необходимо занести значение 3124, а бит BRGH в регистре TXSTA установить в ноль.

						090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			49

Т. к. для связи в АК используется телефонная линия необходимо применять дифференциальный режим передачи.

Суть его заключается в передаче одного сигнала по двум проводам. Причем по одному проводу (условно А) идет оригинальный сигнал, а по другому (условно В) – его инверсная копия. Другими словами, если на одном проводе «1», то на другом «0» и наоборот. Таким образом, между двумя проводами витой пары всегда есть разность потенциалов: при «1» она положительна, при «0» – отрицательна.

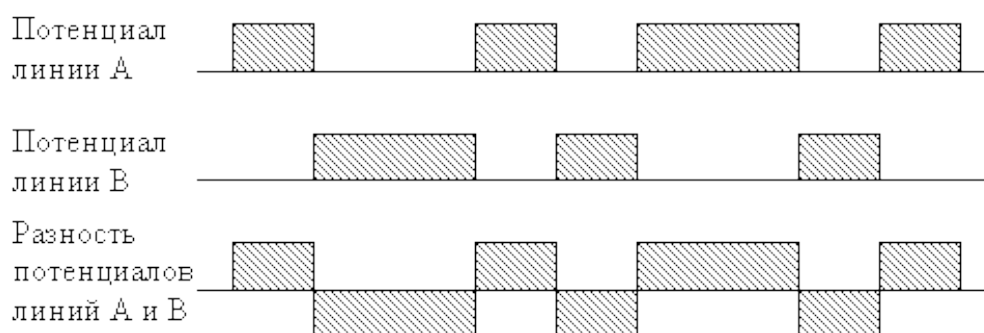


Рисунок 3.7 – Эпюры дифференциальной линии

Именно этой разностью потенциалов и передается сигнал. Дифференциальная линия передачи имеет ряд преимуществ по сравнению с несимметричной.

При передаче данных по витой паре на прохождение сигнала в линии влияет много факторов, например, импульсные помехи и наведенные токи. При дифференциальной передаче те же самые факторы создают помехи на обе линии, так что различий здесь нет, но все синфазные составляющие помех на входе приемника при этом взаимно компенсируются.

При несимметричной передаче перепад напряжения между логической единицей и нулем меньше, чем при дифференциальной (таблица 3.7). Простейшее согласующее устройство уменьшает этот перепад напряжения.

Таблица 3.7 – Напряжения логических уровней

Логический уровень	Несимметричная линия	Дифференциальная линия с использованием земли	Дифференциальная линия ($V_A - V_B$)
0	$U_{\text{вых}} = 0\text{В}$	$U_{\text{вых}}: A = 0\text{ В}; B = 5\text{В}$	$U_{\text{вых}} = 0\text{В} - 5\text{В} = -5\text{В}$
1	$U_{\text{вых}} = 5\text{В}$	$U_{\text{вых}}: A = 5\text{ В}; B = 0\text{В}$	$U_{\text{вых}} = 5\text{В} - 0\text{В} = +5\text{В}$

Для аппаратной реализации дифференциальной передачи необходимо предусмотреть преобразование сигнала с выхода TX (передатчик USART) микроконтроллера в дифференциальный. А также преобразование дифференциального сигнала приходящего из линии в несимметричный для подачи его на вход RX (приемник USART).

Для преобразования сигнала с передатчика можно использовать микросхему AD8131, задействованную в DDS генераторе для тех же целей.

Для преобразования дифференциального сигнала из линии необходим дополнительный преобразователь. На эту роль подойдет самый простой дифференциальный усилитель, например AD8138. Микросхема основана на малошумящем операционном усилителе. Её основные параметры приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Основные параметры AD8138

Динамический диапазон	350 МГц
Напряжение сдвига уровня	+/-1 мВ
Входная ёмкость	1 пФ
Входное сопротивление	6 МОм
Выходной перепад напряжений при несимметричном выходе	7,75 В
Выходной ток	95 мА
Коэффициент усиления	10

3.2.4 Разработка схемы подключения устройств ввода-вывода

3.2.4.1 Подключение и работа графического дисплея

В качестве периферийного устройства, преобразующего результаты обработки цифровых машинных кодов в форму, удобную для восприятия человеком используется графический дисплей фирмы Winstar WG160160B-NFA-CP. Данный дисплей имеет встроенный контроллер LC7981 фирмы Sanyo.

При подключении графического дисплея используется типовая схема (рисунок 3.8).

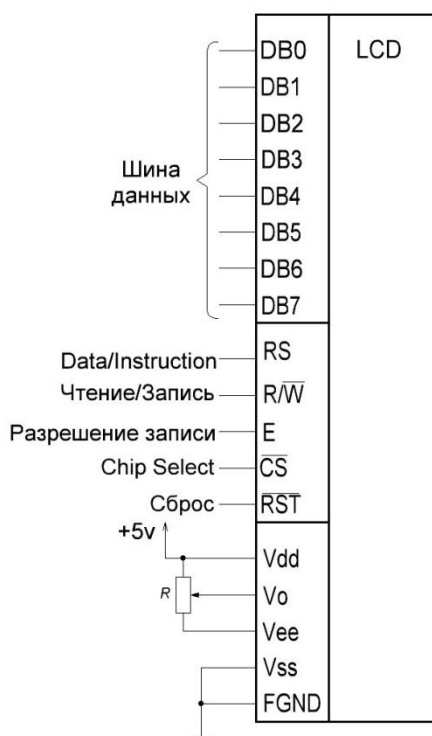


Рисунок 3.8 – Типовая схема включения дисплея

Как видно на рисунке контроллер дисплея имеет 20 выводов. Чтобы передать данные на дисплей нужно вывести их на шину данных (DB0–DB7), подать разрешающий импульс на вход E (разрешающий сигнал) и по спаду импульса данные запишутся в память дисплея. Вход RS служит для указания дисплею что передается данные или команда. Уровень на входе R/W

определяет что мы хотим, прочитать данные с дисплея или записать их туда. RST предназначен для сброса дисплея.

LC7981 содержит 5 типов регистров – регистр команд, регистр входных данных, регистр выходных данных, регистр точек, и регистр управления режимом.

Регистр команд хранит коды команд, таких как начальный адрес, координаты курсора и т. д. Он содержит 4 бита, и 4 младших бита шины данных DB0 до DB3 записываются в него.

Регистр входных данных временно хранит данные до записи их во внешнюю RAM, регистр точек и регистр управления режимом и содержит 8 бит.

Регистр выходных данных временно хранит данные чтения из внешней RAM и тоже состоит из 8 бит. Когда адрес курсора записан в счётчик адреса курсора через регистр входных данных и команда чтения памяти установлена в регистре команд, данные внешней памяти читаются в регистр выходных данных как внутренняя процедура. По следующей команде микропроцессорное устройство считывает данные из выходного регистра, и завершает передачу данных.

Регистр точек хранит информацию о точках, такую как, шаг знаков, количество точек в вертикали знака и т. д. Данные от МПУ записываются в регистр точек через регистр входных данных.

Регистр управления режимом хранит информацию о статусе LCD дисплея, такую как, включен ли дисплей, или курсор и мигает ли он. Этот регистр содержит 6 бит. Данные в него, тоже записываются через регистр входных данных.

Когда флаг готовности установлен в логическую «1», LC7981 выполняет внутренние команды. В это время выполнение других команд не возможно. Флаг готовности попадает на DB7 когда $RS = 1$ и $RW = 1$. Следующая команда может быть записана только когда флаг готовности будет установлен в «0». В случае когда максимальная величина времени цикла чтения или записи превосходит

										Лист
										53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

090301.2017.454 ПЗ

необходимое время для выполнения предшествующих команд, очередная команда может быть выполнена без подтверждения флага готовности.

Счётчик точек генерирует временные интервалы для LCD дисплея в соответствии с содержимым регистра точек.

Счётчик восстановления адреса управляет адресацией внешней памяти RAM, ROM генератора знаков, расширенной ROM и доступен двух типов. Первый – для больших экранов, второй, для малых. В графическом режиме 16-битный выход используется для адресации внешней памяти RAM. В знаковом режиме 4 старших бита игнорируются и заменяются битами счётчика адреса рядов. 4 бита используются как адрес внешней расширенной ROM.

ROM генератор знаков содержит полных 7360 бит и хранит данные на 192 знака. Коды знаков от внешней RAM и коды рядов от счётчика адреса рядов дополняют адресный сигнал, и выход ROM из 5 бит данных точек.

ROM генератор хранит 192 знака, из которых 160 с размерами матрицы 5x7 и 32 знака с матрицей 5x11. Внешняя ROM увеличивает количество знаков до 256 размерами 8x16.

Счётчик адреса курсора 16 битный и может быть предустановлен внешними командами. Когда данные читаются из, или записываются во внешнюю RAM (в том числе и графические и знаковые данные), счётчик сохраняет адрес курсора. Адрес счётчика адреса курсора автоматически увеличивается на единицу при выполнении каждой команды чтения/записи отображаемых данных и подаче бита установка/очистка.

В знаковом режиме курсор может отображаться при подаче соответствующих команд. Курсор генерируется автоматически, когда счётчик адреса курсора и счётчик адреса рядов принимают заданную величину.

Две цепи параллельно – последовательного преобразования совместно преобразуют параллельные данные от внешней RAM, знакового генератора, и внешней ROM в последовательные данные на драйвер LCD экрана.

										Лист
										54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Дисплей управляется записью данных в регистр команд и 13 регистров данных. Регистры команд и данных выбираются с помощью сигнала RS. Сначала записываются 4 бита данных в регистр команд при $RS = 1$, устанавливается код регистра данных. Затем при $RS = 0$, записываются 8 бит данных в регистр данных, после чего исполняется выбранная команда.

Следующая команда не может быть принята, пока не закончится исполнение предыдущей. При этом устанавливается флаг готовности. Запись очередной команды возможна, когда флаг установлен в 0 состояние.

Однако следующая команда может быть исполнена без подтверждения установки флага готовности, когда очередной цикл чтения/записи следует за выполнением такого же цикла чтения/записи. Флаг готовности не изменяет своего состояния при записи команды в регистр команд ($RS = 1$). Поэтому нет необходимости подтверждения готовности после записи данных в регистр команд.

В документации к контроллеру дисплея приведены таблицы с командами с помощью которых можно управлять дисплеем.

Соотношения между LCD панелью дисплея и величинами H_p , H_n , V_p , и N_x представлено на рисунке 3.9.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

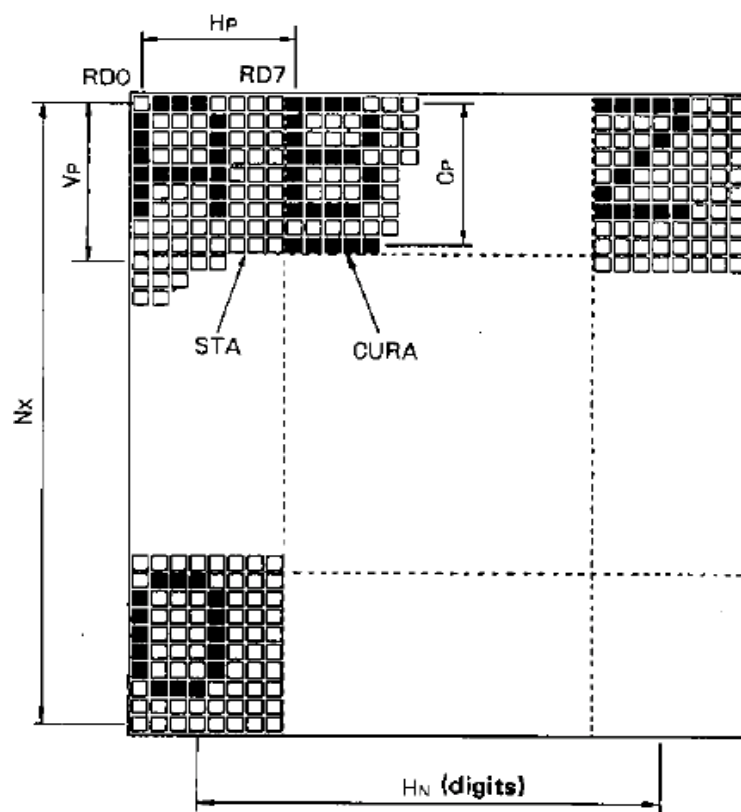


Рисунок 3.9 – Соотношение некоторых параметров дисплея

Таблица 3.9 – Параметры дисплея

Обозначение	Наименование	Содержание	Величина
H_p	Ширина знака	Размер знака по горизонтали	6–8 точек
H_n	Число знаков	Число знаков (цифр) в строке или слов графики в строке	2–256 знаков
V_p	Высота знака	Размер знака по вертикали	1–16 точек
C_p	Позиция курсора	Номер линии отображения курсора	1–16 линий
N_x	Число линий	Число линий на экране дисплея	1–256 линий

При числе точек по вертикали экрана равном – m , и числе точек экрана по горизонтали равном – n :

– $1/m = 1/N_x =$ мощность дисплея;

$$n = H_p \cdot H_n;$$

– $m/V_p =$ число линий дисплея;

$$C_p \leq V_p.$$

3.2.4.2 Подключение и работа клавиатуры

Для внесения данных и управляющих воздействий используется клавиатура. Существует много вариантов подключения кнопок клавиатуры к контроллеру. Все зависит от их количества и функциональных возможностей самого контроллера.

Шесть кнопок является оптимальным количеством для разрабатываемого устройства. 4 кнопки для навигации по строкам и столбцам и 2 кнопки для выбора и отмены (возврата).

Для подключения 6 кнопок будем использовать матричный метод с диодной защитой (рисунок 3.10).

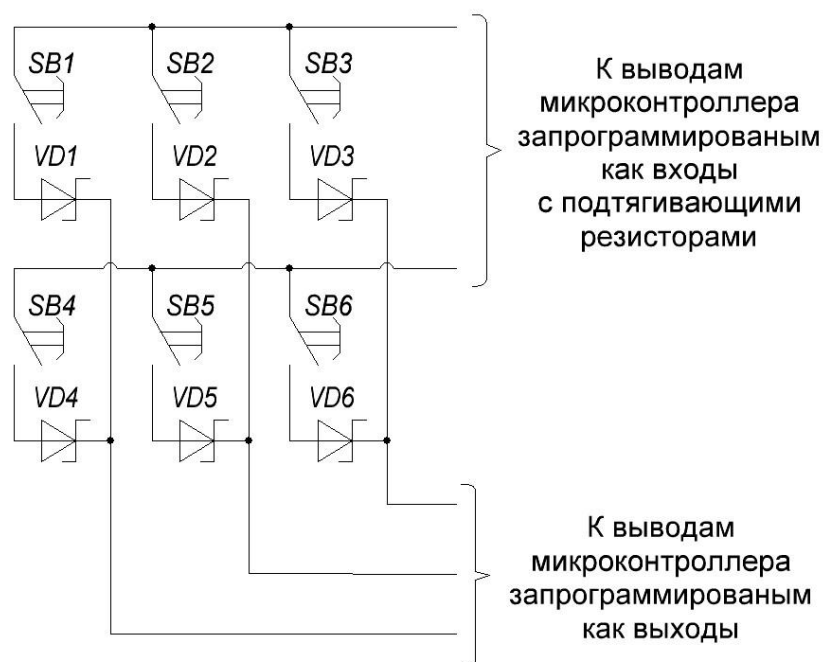


Рисунок 3.10 – Подключение клавиатуры

В начальном состоянии все выходы переключены в единицу (подтянуты к питанию), а все входы подтянуты к питанию через подтягивающие резисторы.

При необходимости узнать состояние кнопок какого-либо столбца, – соответствующий выход (к которому подключен столбец) устанавливается в ноль (то есть подключается к земле), после чего проверяется состояние входов. Если

вход равен нулю, то кнопка в соответствующей этому входу строке проверяемого столбца нажата, если вход равен 1, то кнопка не нажата.

Таким образом, последовательно сканируя состояния кнопок во всех трех столбцах, мы узнаем состояния кнопок всей клавиатуры.

То есть, диоды установлены для развязки, они позволяют игнорировать состояние всех клавиш клавиатуры кроме сканируемых, предотвращая образование КЗ через нажатые клавиши в других столбцах.

Одним из важных физических процессов, которому необходимо уделить внимание при разработке устройств на микроконтроллере, является дребезг контактов. Игнорирование принятия мер по его устранению может привести к некорректному выполнению программы и неправильной работе устройства.

При нажатии кнопки переход из одного состояния в другое происходит не сразу, а с некоторым переходным процессом, в течение которого состояние кнопки хаотично изменяется с одного на другое. Это будет происходить как при нажатии, так и при отпускании кнопки.

Программой отслеживается уровень напряжения на выводе порта, и когда он становится нулевым, запускается определенная подпрограмма. Но при дребезге данная ситуация случается несколько раз за период переключения. Как только напряжение на выводе достигнет нулевого уровня во время первого импульса дребезга, то сразу же запустится подпрограмма обработки. Если длительность выполнения подпрограммы обработки меньше чем длительность процесса дребезга, то она вполне может выполняться повторно и не один раз, пока напряжение не примет однозначного постоянного значения. Причем если значение останется нулевым, то есть кнопка осталась в нажатом состоянии, то подпрограмма будет запускаться по кругу.

Главная неприятность, вызываемая дребезгом контактов – это выполнение подпрограммы обработки не один раз, как требуется, а несколько, случайное количество раз подряд.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

Способы устранениядребезга контактов можно разделить на аппаратные и программные. Аппаратные средства требуют дополнительные элементы, которые в конечном итоге требуют дополнительных затрат и занимают место на печатной плате, что неприемлемо для автономных устройств.

Программное устранение проблемы дребезга контактов сводится к задержке во времени. В программу вводится определенный временной интервал, во время которого микроконтроллер не реагирует на перепады логических уровней. В случае подключения кнопки к порту ввода/вывода алгоритм обработки может выглядеть следующим образом.

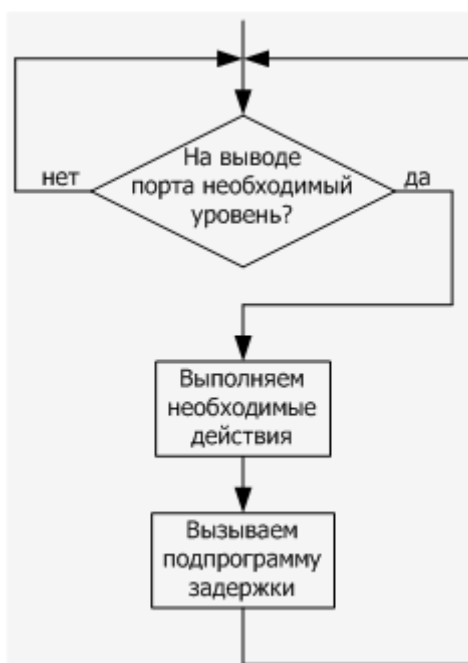


Рисунок 3.11 – Алгоритм отслеживания состояния кнопки

При достижении напряжением на выводе порта необходимого уровня выполняется подпрограмма, а затем идет блок задержки. Цикл задержки можно реализовать на инкрементировании до определенного числа или декрементировании до нуля нескольких регистров.

Время необходимой задержки зависит от длительности процесса дребезга контактов. В среднем процесс дребезга может длиться 0,01–0,3 секунд.

нуждаются в каком-либо усилении с 3,3 до 5 В, так как PIC всё равно понимает 3,3 В как логическую «1».

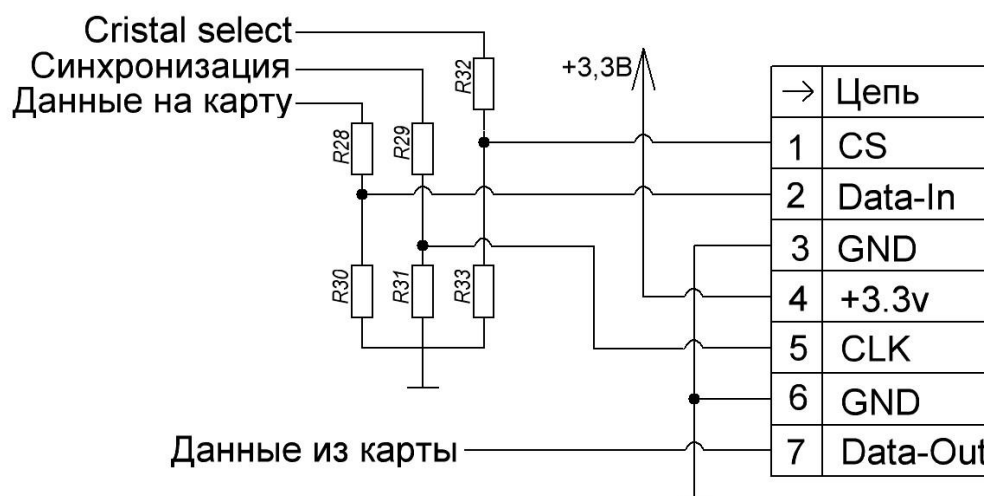


Рисунок 3.12 – Схема подключения MMC карты

SPI – это последовательный синхронный интерфейс, является альтернативным режимом работы с MMC, более простым по сравнению с использованием родного интерфейса.

На рисунке изображен регистр, через который передаётся и принимается каждый байт. Изображён момент, когда уже произошли два тактовых импульса, и биты 7 и 6 выданы на линию OUT. Одновременно принимаются 2 бита (также 7 и 6) нового байта. После 8 тактовых импульсов посылаемый байт окажется полностью «снаружи», а принимаемый байт будет полностью загружен в регистр. PIC, работая как мастер (ведущий), сам генерирует тактовые импульсы, в которых нуждается ведомое устройство, чтобы своевременно сдвигать регистр и таким образом быть в состоянии принимать/передавать правильные биты. В PIC-микроконтроллере таким регистром является регистр SSPBUF, в который и помещается один байт, чтобы он начал его передавать, а новый принимать. Однако нельзя слишком рано считывать SSPBUF (пока данные сдвигаются). Поэтому мы проверяем флаг BF, который установлен во время процесса передачи. MMC-карты могут работать на тактовой частоте до 20 МГц (CLK). Интерфейс SPI PIC-микроконтроллера может настраиваться максимально на 5 МГц.

3.2.6 Разработка схемы питания устройства

В качестве источника питания был выбран источник с выходным напряжением 12 В. Все микросхемы устройства питаются от напряжения 5 В. Поэтому для преобразования и стабилизации напряжения необходимо использовать соответствующий стабилизатор.

Была выбрана микросхема LM2672-5, которая представляет собой высокоэффективный преобразователь напряжения с током нагрузки до одного ампера. Данная микросхема требует минимального количества внешних компонентов.

Типовая схема включения и основные параметры микросхемы представлены ниже.

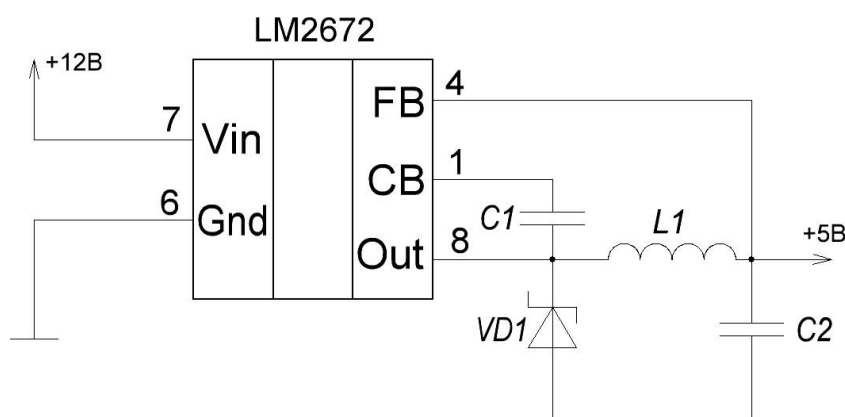


Рисунок 3.13 – Схема подключения LM2672-5

Таблица 3.11 – Основные параметры LM2672-5

Входное напряжение	От 8 до 40 В
Выходное напряжение	5 В
КПД	90 %
Выходной ток утечки	1 мА

Для корректной работы ММС карты памяти необходим источник напряжения 3,3 В. Для этого достаточно применить линейный стабилизатор

LM1117-3,3, не требующих никаких внешних элементов кроме фильтрующего конденсатора на выходе. Параметры линейного стабилизатора представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Основные параметры LM1117-3,3

Входное напряжение	до 20 В
Выходное напряжение	3,3 В
Максимальная погрешность	6 мВ
Максимальный ток	15 мА
КПД	65 %

Для питания некоторых компонентов схемы (дифференциальные усилители) требуется биполярное питание (+/-5 В). Для устройств, работающих от батареи существует несколько способов обеспечения отрицательного напряжения.

Один из них это использование преобразователей с переключаемыми конденсаторами. На рисунке показана упрощенная схема КМОП ИС LT7660 фирмы Texas Instrument с расширенной вторичной частью (обвязкой). Она имеет внутренний генератор и несколько ключей КМОП; для её работы необходимы два внешних конденсатора. Если входная пара ключей замкнута (в проводящем состоянии), С1 заряжается до $U_{вх}$; затем во время второго полупериода С1 отключается от входа и подключается в перевернутом состоянии к выходу. Таким образом, он передает свой заряд на С2 (и нагрузку), обеспечивая на выходе напряжение, равное примерно $-U_{вх}$.

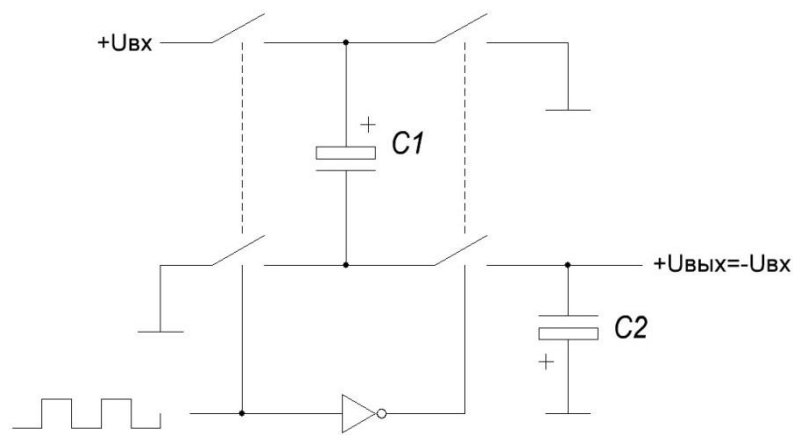


Рисунок 3.14 – Упрощенная схема КМОП ИС LT7660

Такой способ переключения конденсаторов прост и эффективен; для его реализации необходимо всего несколько компонентов (индуктивности не требуются). Однако выход схемы не стабилизирован и существенно падает при больших токах нагрузки. Несмотря на эти недостатки, преобразователь на свободных конденсаторах очень удобен для обеспечения питания дифференциальных усилителей.

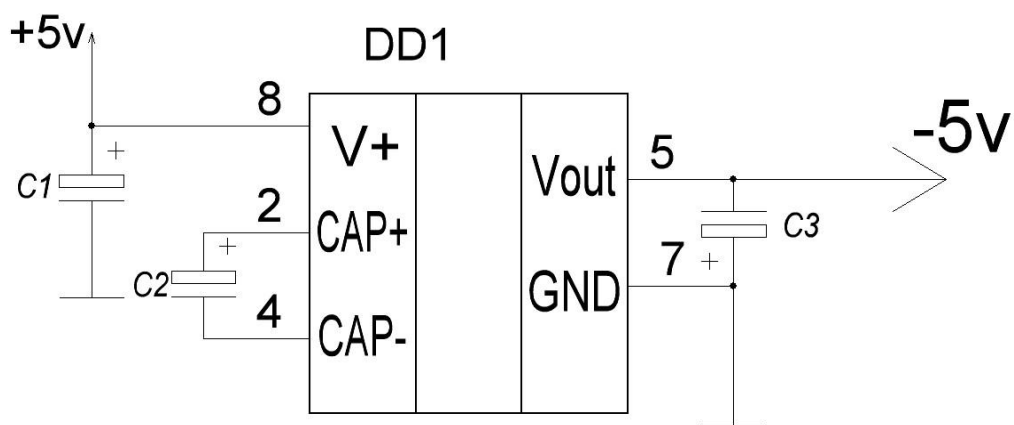


Рисунок 3.15 – Инвертор напряжения на LT7660

Таблица 3.13 – Основные параметры LT7660

Входное напряжение	от 1,5 до 10В
Питающий ток	45 мА
Выходное сопротивление	45 Ом
КПД	98 %

3.2.7 Разработка схемы коммутатора и гальванической развязки

В ходе работы устройства и реализации проверки линии к контроллеру в определенной последовательности необходимо подключать различные блоки (DDS генератор, широкополосный вольтметр, приёмник USART, передатчик USART).

В общей сложности необходимо управлять одновременно четырьмя ключами. Для этих целей можно применить коммутатор, который представляет собой сборку ключей на полевых транзисторах с цифровым управлением. Управление будет осуществляться цифровыми портами контроллера.

Сегодня на рынке представлено большое количество ключей на полевых транзисторах. Микросхема ADG511 с малой рассеиваемой мощностью фирмы Analog Device специально предназначена для устройств с батарейным однополярным питанием. Содержит 4 независимо-управляемых нормально-разомкнутых ключа. Внутренняя структура микросхемы приведена на рисунке 3.16.

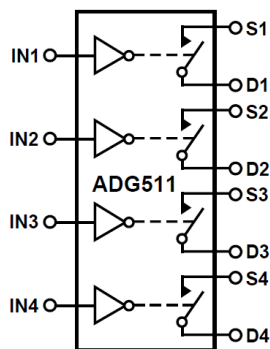


Рисунок 3.16 – Внутренняя структура ADG511

Таблица 3.14 – Основные параметры ADG511

Диапазон коммутируемого напряжения	От 0 В до +5 В
Максимальный коммутируемый ток	200 мА
Время включения ключа	250 нс
Время выключения ключа	50 нс
Напряжение питания	4,5–5 В
Минимальное напряжение логической 1	2,4 В
Максимальное напряжение логического 0	0,8 В

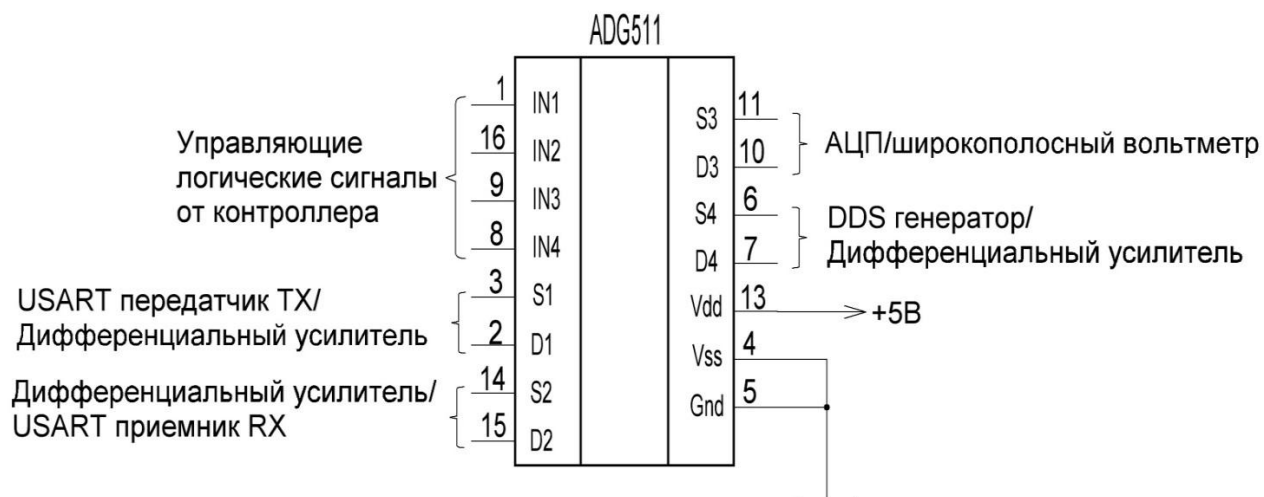


Рисунок 3.17 – Внутренняя структура ADG511

Существует два метода гальванической развязки устройств: трансформаторный и оптронный. В устройствах передачи данных, таких как модемы как правило используются трансформаторы.

В разрабатываемом устройстве применены трансформаторы фирмы UMEC. Это известный производитель магнитоэлектрических компонентов (силовые и согласующие трансформаторы, чип-индуктивности) и преобразователей DC-DC, продукция которого используется в больших количествах в оборудовании связи (dsl модемы).

В линейке трансформаторов этой фирмы есть специальные решения для SHDSL оборудования. Поэтому был выбран специализированный трансформатор UT20345S с коэффициентом трансформации 1:1.

3.2.8 Разработка схемы подключения микроконтроллера

Основные параметры микроконтроллера PIC18F4520 приведены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Основные параметры микроконтроллера PIC18F4520

Ядро	PIC18
F, МГц	от 0 до 40
Память: Flash, КБайт	32
Память: RAM, Байт	1536
Память: EEPROM, Байт	256
I/O, шт	36
Таймеры: 8-бит, шт	1
Таймеры: 16-бит, шт	3
Каналов ШИМ, шт	1
Интерфейсы: UART, шт	1
Интерфейсы: SPI, шт	1
Интерфейсы: I ² S, шт	1
Аналоговые входы: Разрядов АЦП, бит	10
Аналоговые входы: Каналов АЦП, шт	13
Аналоговые входы: Аналоговый компаратор, шт	2
V _{CC} , В	от 2 до 5,5
I _{CC} , мА	25
T _A , °C	от -40 до 125
Корпус	DIP-40

Выбранный микроконтроллер PIC18F4520 имеет 5 портов (A, B, C, D, E), которые будут использоваться для связи с остальными узлами устройства. Описание портов и их использования приведены в таблице 3.16.

3.3 Выбор элементов и расчет номиналов

Описание большинства современных интегральных микросхем содержит типовые схемы включения для реализации различных функций. Это существенно облегчает расчет и подбор элементов.

Для корректной работы клавиатуры необходимо применить диоды Шоттки, приняв во внимание что ток с одной кнопки, через внутренний подтягивающий резистор, около 0,2 мА. Для этого подойдут диоды BAS70-04 SOT23. В качестве кнопок используются нормально-разомкнутые контакты ТС-0402.

При подключении микроконтроллера к питанию необходим устанавливать керамический конденсатор номиналом 100 нФ между V_{ss} и GND как можно ближе к выводам питания – он сгладит краткие импульсные помехи в шине питания вызванные работой цифровых схем. Конденсатор на 47 мкФ в цепи питания сгладит более глубокие броски напряжения.

В качестве источника тактового сигнала используется внутренний генератор с внешним высокочастотным кварцевым резонатором на 20 МГц (НС-49SM). Его работа также требует двух конденсаторов ёмкостью 10 пФ.

В качестве ИОН была выбрана микросхема MAX6034 с выходным напряжением 4,096 В, которая не требует дополнительных элементов.

При подключении дисплея требуется только один внешний элемент – это переменный резистор, который подсоединяется на вход V_0 . С его помощью нужно подобрать значение максимального контраста, но чтобы не было видно знакомест.

Для работы ММС карты необходимо согласовывать логические уровни, которые идут с микроконтроллера. Для этого применяется резистивный делитель, номиналы резисторов которого рассчитываются по формуле:

$$U_{\text{ВЫХ}} = R_2 \cdot \frac{U_{\text{ВХ}}}{R_2 + R_1}, \quad (3.5)$$

где R_1 – сопротивление на верхнем плече делителя;

R_2 – сопротивление на нижнем плече делителя.

										Лист
										69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Поэтому выбираем номиналы: $R_2=3,3 \text{ кОм}$; $R_1=1,8 \text{ кОм}$.

Для работы микросхемы DDS генератора согласно рекомендации производителя нужно установить развязывающие конденсаторы ёмкостью $0,1 \text{ мкФ}$ между положительным питанием и землей обеих линий питания (аналоговой и цифровой части). Вывод опорного напряжения также должен работать через конденсатор емкостью 10 нФ . Отношение между величиной резистора и выходным током определяется формулой:

$$I_{OUT} = 12,5 \cdot V_{REFIN} / R_{SET} \quad (3.6)$$

При $V_{REFIN} = 1,21 \text{ V}$ величину резистора выбирают $R_{SET} = 3,9 \text{ кОм}$.

Внутренний усилитель опорного сигнала подключается при заземлении порта COMP через конденсатор ёмкостью 10 нФ .

На выходе генератора установлен пассивный LC-фильтр нижних частот (рисунок 3.18) частотой среза 1 МГц .

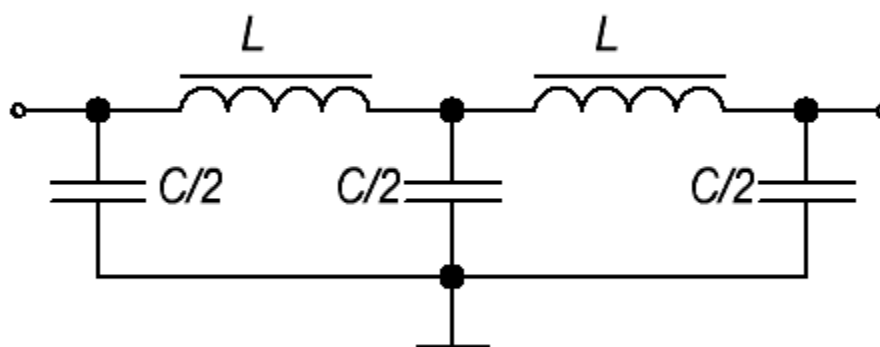


Рисунок 3.18 – Пассивный LC фильтр

Зависимость частоты среза от ёмкости и индуктивности для подобных фильтров следующая:

$$f_c = 0,32 / \sqrt{LC} \quad (3.7)$$

Выбираем следующие номиналы: $L1, L2 = 10 \text{ мкГн}$; $C = 4,7 \text{ мкФ}$.

Дифференциальный усилитель AD8138 работает с типовой схемой обвязки. Необходимо лишь задать коэффициент усиления с помощью резисторов

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

в цепях обратной связи. Для этого в документации на микросхему приведена соответствующая таблица. Из неё следует, что для достижения коэффициента усиления 10 нужны резисторы $R1, R2 = 499 \text{ Ом}$; $R3, R4 = 4,99 \text{ кОм}$ (рисунок 3.19).

В качестве вольтметра используются микросхемы AD8362 и AD8330. Схема их совместного включения для достижения необходимых характеристик предусмотрена производителем поэтому расчетов внешних элементов не требуется.

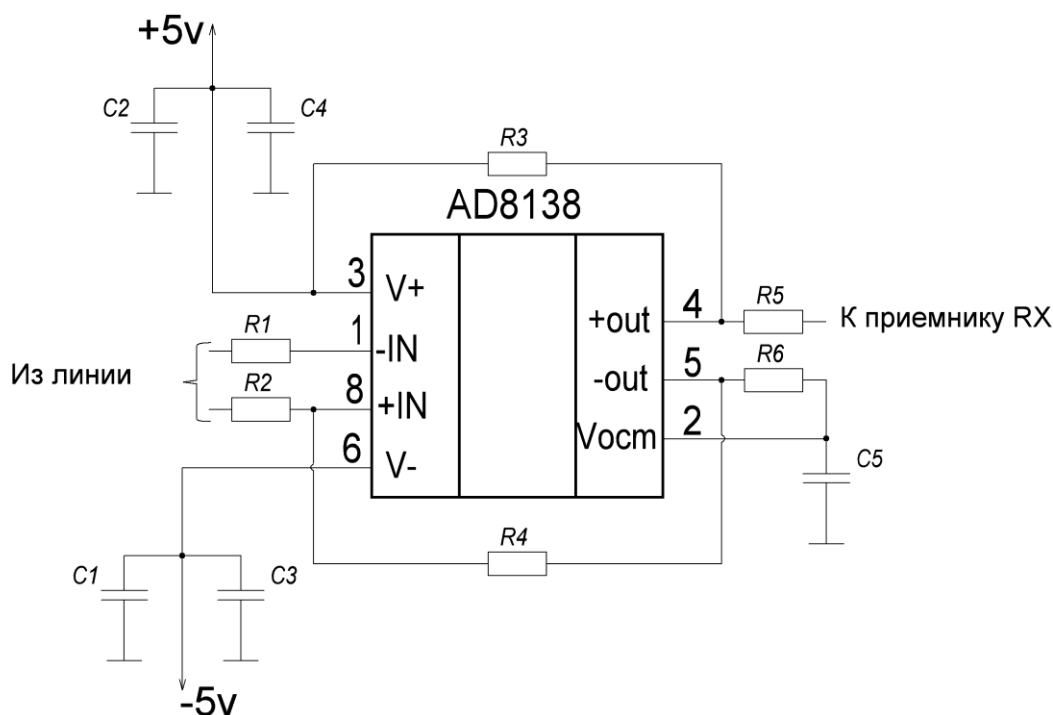


Рисунок 3.19 – Дифференциальный усилитель приемника

3.4 Алгоритм АК

Разработанное устройство на базе микроконтроллера осуществляет генерацию синусоидального сигнала, измерение напряжения, обработку, хранение, передачу данных.

Алгоритм АК представлен в приложении В.

3.5 Техничко-экономическая часть

Задачей технико-экономической части является определение себестоимости разрабатываемого АК. Для нахождения полной себестоимости АК калькулируем каждую статью затрат.

Калькуляция – это сводная таблица затрат определяющая себестоимость единицы продукции. Плановая калькуляция включает затраты предприятия в денежном выражении на производство единицы продукции, рассчитанные по статьям расходов на основе норм использования оборудования, затрат труда, материалов, энергии и проведения режима экономии в расходах на управление и обслуживание производства.

Себестоимость единицы продукции – совокупность затрат на производство и реализацию производственной продукции, выраженная в денежной форме.

Себестоимость системы включает в себя затраты на:

- комплектующие материалы и оборудование;
- заработную плату;
- начисления в фонд заработной платы;
- амортизационные отчисления;
- потребляемую электроэнергию;
- общепроизводственные расходы;
- общехозяйственные расходы.

3.5.1 Расчет стоимости комплектующих изделий

Расчет стоимости покупных изделий и их стоимости с учетом транспортно-заготовительных расходов приведен ниже в таблице 3.16. Расчет выполнен по следующим формулам:

Стоимость комплектующих изделий:

$$C_{ки} = \Sigma (C_{ки i} \cdot K_{ки i}), \quad (3.8)$$

где $C_{ки i}$ – цена i -того изделия;

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$K_{киi}$ – количество единиц i -го изделия;

$C_{ки}$ – стоимость комплектующих.

Стоимость запасных частей (из расчета 5 % от стоимости комплектующих изделий) определяется как:

$$C_{зп} = C_{ки} \cdot 0,05, \quad (3.9)$$

где $C_{зп}$ – стоимость запасных частей.

Транспортно-заготовительные расходы (из расчета 1,02 % от стоимости комплектующих):

$$C_{тр.р} = C_{ки} \cdot 0,0102, \quad (3.10)$$

где $C_{тр.р}$ – сумма транспортно-заготовительных расходов.

Стоимость комплектующих изделий с учетом транспортно-заготовительных работ:

$$C_{\Sigma} = C_{ки} + C_{зп} + C_{тр.р}, \quad (3.11)$$

Расчет стоимости комплектующих изделий с учетом транспортно-заготовительных работ приведен в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Расчёт стоимости покупного оборудования с учётом транспортно-заготовительных расходов

Наименование	Тип	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
1	2	3	4	5
Микросхемы	MAX6034	105	2	210
	PIC18F4520	170	2	340
	LM2672-5	130	2	260
	LM2672-3,3	170	2	340
	ICL7660	90	2	180
	AD9832	190	2	380
	ADG511	110	2	220
	AD8330	180	2	360
	LTC1560	175	4	700

Окончание таблицы 3.17

Наименование	Тип	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Микросхемы	AD8131	200	2	400
	AD8362	190	2	380
	AD8138	170	2	340
	MAX7375	60	2	120
Резисторы	РЕЗ 0,125 Вт 0805 5 % 1,8 кОм	1,5	6	9
	РЕЗ 0,125 Вт 0805 5 % 3,3 кОм	1,5	6	9
	рез. 0603 1 % 499 Ом	1,5	4	6
	рез. 0603 1 % 4,99 кОм	1,5	8	12
	РЕЗ 0,125 Вт 0805 5 % 2 кОм	1,5	4	6
	РЕЗ 0,125 Вт 0805 5 % 10 Ом	2	6	12
	РЕЗ 0,125 Вт 0805 5 % 49,9 Ом	2	4	8
Диоды Шоттки	BAS70-04 SOT23	2	16	32
Кнопки	ТС-0402	2	12	24
Конденсаторы	GRM1535C1H101J	2,5	4	10
	GRM155R61A474K	2,5	6	15
	GRM1535C1H100J	2,5	10	25
	GRM21BR72E103K	4,8	10	48
	GRM2195C1H103J	4,8	14	67,2
	К50-35 имп. 22 мкФ х 25В	4,5	10	45
	К50-35 имп. 47 мкФ х 25В	5,5	4	22
	К10-17Б имп. 4.7мкФ Y5V	4,5	14	63
Индуктивность	ЕС24-100К, 10 мкГн	4	4	16
	ЕС24-101К, 100 мкГн	7	2	14
	ЕС24-101К, 68 мкГн	6	2	2
Кварцевый резонатор	НС-49SM	12	2	24
Графический дисплей	WG160160B	650	2	1300
Трансформатор	UT20345	120	2	240
Подстроечный резистор	PVA3A103	12	2	24
Итого, стоимость покупных изделий				6278,2
Стоимость запасных частей (5% от стоимости комплектующих изделий)				313,9
Транспортно-заготовительные расходы (1,02% от стоимости комплектующих)				64,0
Стоимость комплектующих изделий с учётом запасных частей и транспортно-заготовительных работ				6656,1

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.5.2 Расчёт заработной платы на изготовление, сборку и наладку системы

Расчёт заработной платы отдельного работника производится по формуле:

$$ЗП = T_{ст} \cdot t + Пр + РК, \quad (3.12)$$

где t – продолжительность работ (часов);

$T_{ст}$ – часовая тарифная ставка рабочего (специалиста);

$Пр$ – премия работника;

$РК$ – районный коэффициент.

Премия составляет 30 % от заработной платы по тарифу:

$$П = (T_{ст} \cdot t) \cdot 0,3 \quad (3.13)$$

Районный коэффициент вычисляется по формуле:

$$РК = (T_{ст} \cdot t + П) \cdot 0,3. \quad (3.14)$$

Социальные нужды определяются начислением на фонд оплаты труда (ФОТ) единого социального налога, который составляет 34,2 %.

Среднее количество рабочих часов в месяце на год составляет 158,4 ч, при 36-часовой рабочей неделе. Вычислим тарифные ставки работников занятых в изготовлении АК по формуле:

$$T_{ст} = O/158,4, \quad (3.15)$$

где O – оклад.

Таблица 3.18 – Вычисление тарифных ставок

Работник	Оклад или тарифная ставка, руб.	Тарифная ставка, руб/час
Электромеханик	16494	106,50
Инженер-электроник	18000	113,63

Расчет заработной платы работников, занятых в изготовлении комплекса, приведен в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Заработная плата

Пункт расчета	Монтажные работы	Исследовательские работы
1 Исполнитель	Электромеханик	Инженер-электроник
2 Тарифная ставка, руб/час.	95,90	113,63
3 Продолжительность работ, ч.	36	80
4 Заработная плата по тарифу п.2 * п.3, руб.	3834	9090,40
5 Премия, руб. % от п.4	1150,20 (30 %)	3636,16 (40 %)
6 Районный коэффициент 30 % от суммы пп. 4–5	1496,26	3817,97
7 Суммарный заработок сумма пп.4–6	6479,46	16544,53
8 Итого затрат на заработную плату	23023,99	
9 Отчисления на социальные нужды 34,2 % от п.8	7874,20	

Общие затраты на комплекс складываются из затрат на комплектующие, заработную плату, сборку и наладку комплекса, а также отчислений на социальные нужды и общепроизводственных затрат.

3.5.3 Расчет общих затрат на систему

Общепроизводственные расходы определяются из расчета 58,2 % от фонда оплаты труда персонала, занятого в изготовлении комплекса. Общепроизводственные расходы включают в себя отчисления на охрану труда, содержание и ремонт зданий и оборудования, амортизация основных фондов, перевозки и т. д. Общехозяйственные расходы составляют 18 % от общепроизводственных расходов. В таблице 3.20 приведена калькуляция затрат на изготовление комплекса.

Таблица 3.20 – Калькуляция затрат на изготовление комплекса

Затраты	Сумма, руб.
1 Материалы	6656,1
2 ФОТ	23023,99
3 Начисления на ФОТ, 34,2 % от п.2	7874,20
4 Общепроизводственные расходы, 138,5 % от п.2	31888,22
5 Общепроизводственная себестоимость, сумма пп.1–4	69442,52
6 Общехозяйственные расходы, 150 % от п.4	48151,21
7 Полная себестоимость системы, сумма п.5 и п.6	117593,73

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была произведена разработка аппаратного комплекса для определения скоростного потенциала выделенной цифровой абонентской линии.

В выпускной квалификационной работе был произведен обзор технических средств и выбор оптимального варианта исполнения устройства. Разработаны функциональная структура и электрическая принципиальная схема устройства. Разработан алгоритм работы АК и произведена калькуляция затрат на изготовление комплекса.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АК – аппаратный комплекс.

АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

ВСП – вычислительные сети предприятия.

ЖКИ – жидкокристаллический индикатор.

ИОН – источник опорного напряжения.

МСЭ-Т – Международный союз электросвязи.

ПЗУ – постоянное запоминающее устройство.

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь.

ЦБК – центральный вычислительный комплекс.

DDS – цифровой синтезатор сигналов.

DSL – цифровая абонентская линия.

DSLAM – мультиплексор доступа цифровой абонентской линии xDSL.

MDSL –Medium speed DSL.

ОТПРОМ – Однократно программируемое устройство памяти.

SHDSL – Symmetric High-bit-rate DSL.

SNR – соотношение сигнала к шуму.

SPI – последовательный периферийный интерфейс.

USART – универсальный асинхронный приёмопередатчик.

VCO – генератор, управляемый напряжением.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Парфенов, Ю.А. Последняя миля на медных кабелях / Ю.А. Парфенов, Д.Г. Мирошников. – Москва, 2001.
- 2 Ридико, Л.И. DDS: прямой цифровой синтез частоты / Л.И. Ридико. – М.: Вестник связи, 2008.
- 3 Рекомендация МСЭ-Т G.991.2 Трансиверы высокоскоростных двухпроводных цифровых абонентских линий (SHDSL). – <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=4965&lang=ru>.
- 4 Лепихин, И. Абонентская часть ADSL / И. Лепихин // Компоненты и технологии. – 2004. – № 3. – С. 122–124.
- 5 Дворников, О. Микроэлектронные преобразователи переменного напряжения в постоянное по уровню среднеквадратичного значения / О. Дворников // Компоненты и технологии. – 2005. – № 1.
- 6 Datasheet AD8362. – <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Search-word=Ad8362>.
- 7 Хоровиц, П. Искусство схемотехники. Часть 1 / П. Хоровиц, У. Хилл. – Москва: «МИР», 1993.
- 8 Хоровиц, П. Искусство схемотехники. Часть 3 / П. Хоровиц, У. Хилл. – Москва: «МИР», 1993.
- 9 Титце, У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк. – Москва: «Мир», 1982.
- 10 Шило, В.Л. Популярные цифровые микросхемы / В.Л. Шило. – М.: «Радио и связь», 1988.
- 11 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НК ЭНАС, 2003. – 128 с.
- 12 ГОСТ 12.1.039-83 НР 34-00-039-83. Выпуск 1. Нормы времени на ремонт и техническое обслуживание воздушных и кабельных линий, трансформаторных подстанций и распределительных пунктов напряжением 0,4–20 Кв. – М.: Изд-во стандартов, 1983.

						090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			80

13 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008. – 78 с.

14 СНиП-П-4-79 Естественное и искусственное освещение. – М.: Стройиздат, 1980. – 48 с.

15 ГОСТ 12.2.032-79 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1979.

16 СНиП П-90-81 Производственные здания промышленных предприятий. – М.: Стройиздат, 1982.

17 Средства и системы компьютерной автоматизации. – www.asutp.ru.

18 Методологические основы и математические методы / под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – Т.1. – 712 с.

19 Степанов, А.Н. Информатика. Базовый курс: учебник / А.Н. Степанов. – СПб.: Питер, 2010. – 720 с.

20 Чистов, Д.В. Экономическая информатика / Д.В. Чистов. – М.: Кнорус, 2010. – 289 с.

21 Яшин, В.Н. Информатика. Аппаратные средства персонального компьютера / В.Н. Яшин. – М.: Кнорус, 2010. – 254 с.

22 Ковалев, В.В. Методы оценки инвестиционных проектов / В.В. Ковалев. – Москва: Изд-во «Финансы и статистика», 1999. – 210 с.

23 Гольдштейн, Б.С. Системы коммутации: Учебник для вузов / Б.С. Гольдштейн. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2004. – 314 с.

24 Семенов, Ю.В. Проектирование сетей связи следующего поколения / Ю.В. Семенов. – СПб.: Наука и Техника, 2005. – 240 с.

25 Семейкин, В.Д. Линии связи: Учеб. пособие / В.Д. Семейкин. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2002. – 144 с.

26 Олифер, В.Г. Новые технологии и оборудование IP-сетей / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2000. – 512 с.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

27 Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер. – СПб.: Издательство «Питер», 4-е издание, 2010.

28 Крестьянинов, С.В. Интеллектуальные сети и компьютерная телефония / С.В. Крестьянинов, Е.И. Полканов, М.А. Шнепс-Шнеппе. – М.: Радио и связь, 2001. – 240 с.

29 Назаров, А.Н. Расчет структурно-сетевых параметров сетей АТМ / А.Н. Назаров. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 256 с. – (Сети и сетевые технологии). – Библиогр.: с. 244–254.

30 Крук, Б.И. Телекоммуникационные системы и сети: учеб. пособие: в 3 т. Т.1: Современные технологии / Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов; под ред. В.П. Шувалова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 647 с.

31 Телекоммуникационные системы и сети: учеб. пособие: в 3 т. Т.2: Радиосвязь, радиовещание, телевидение / Б.И. Крук [и др.]; под ред. В.П. Шувалова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 672 с. – (Учебное пособие для высших учебных заведений).

32 Бойко, В.И. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства / В.И. Бойко, А.Н. Гуржий, В.Я. Жуйков, А.А. Зори, В.М. Спивак. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 496 с.

33 Бочаров, Л.Н. Полевые транзисторы / Л.Н. Бочаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984. – 80 с.

34 Булычев, А.Л. Аналоговые интегральные схемы: Справочник / А.Л. Булычев, В.И. Галкин, В.А. Прохоренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Беларусь, 1993. – 382 с.

35 Горюнов, Н.Н. Полупроводниковые приборы. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник / Н.Н. Горюнов, А.В. Баюков, А.Б. Гитцевич, А.А.Зайцев и др.; под ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 744 с.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

36 Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для ВУЗов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: Высш. шк., 2006. – 799 с.

37 Дзюбин, И.И. Запираемые тиристоры и их применение / И.И. Дзюбин. – М.: Энергия, 1976. – 40 с.

38 Диоды: Справочник / О.П. Григорьев, В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев, С.Л. Пожидаев. – М.: Радио и связь, 1990. – 656 с.

39 Майер, Р.В. Практическая электроника: от транзистора до кибернетической системы / Р.В. Майер. – Глазов: изд-во ГГПИ, 2011. – 93 с.

40 Прянишников, В.А. Электроника: полный курс лекций / В.А. Прянишников. – СПб.: Корона принт, 2006. – 416 с.

					090301.2017.454 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

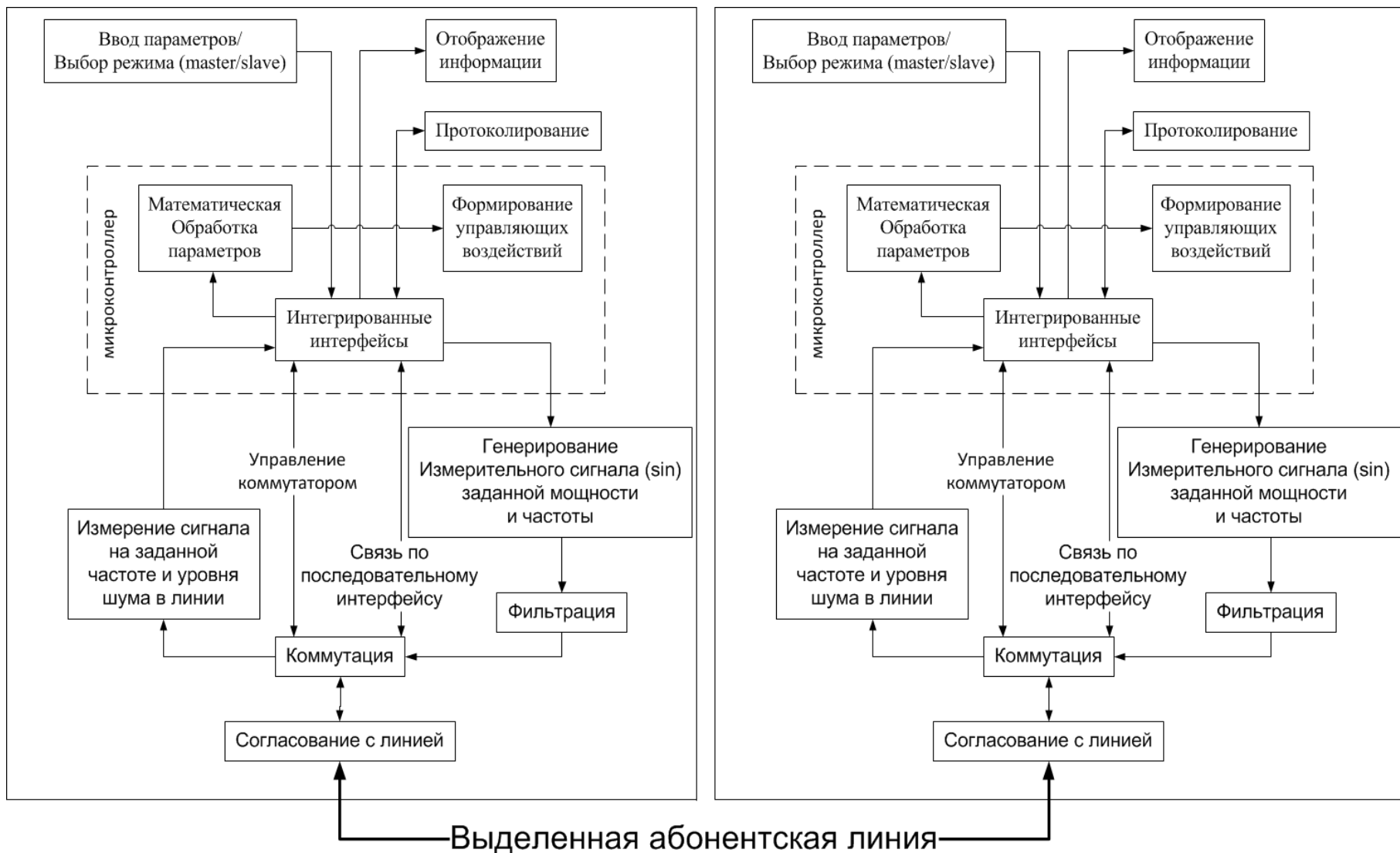


Рисунок А.1 – Функциональная схема аппаратной системы

Изм.	
Лист	
№ докум.	
Подпись	
Дата	

090301.2017.454 ПЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Принципиальная схема аппаратной системы

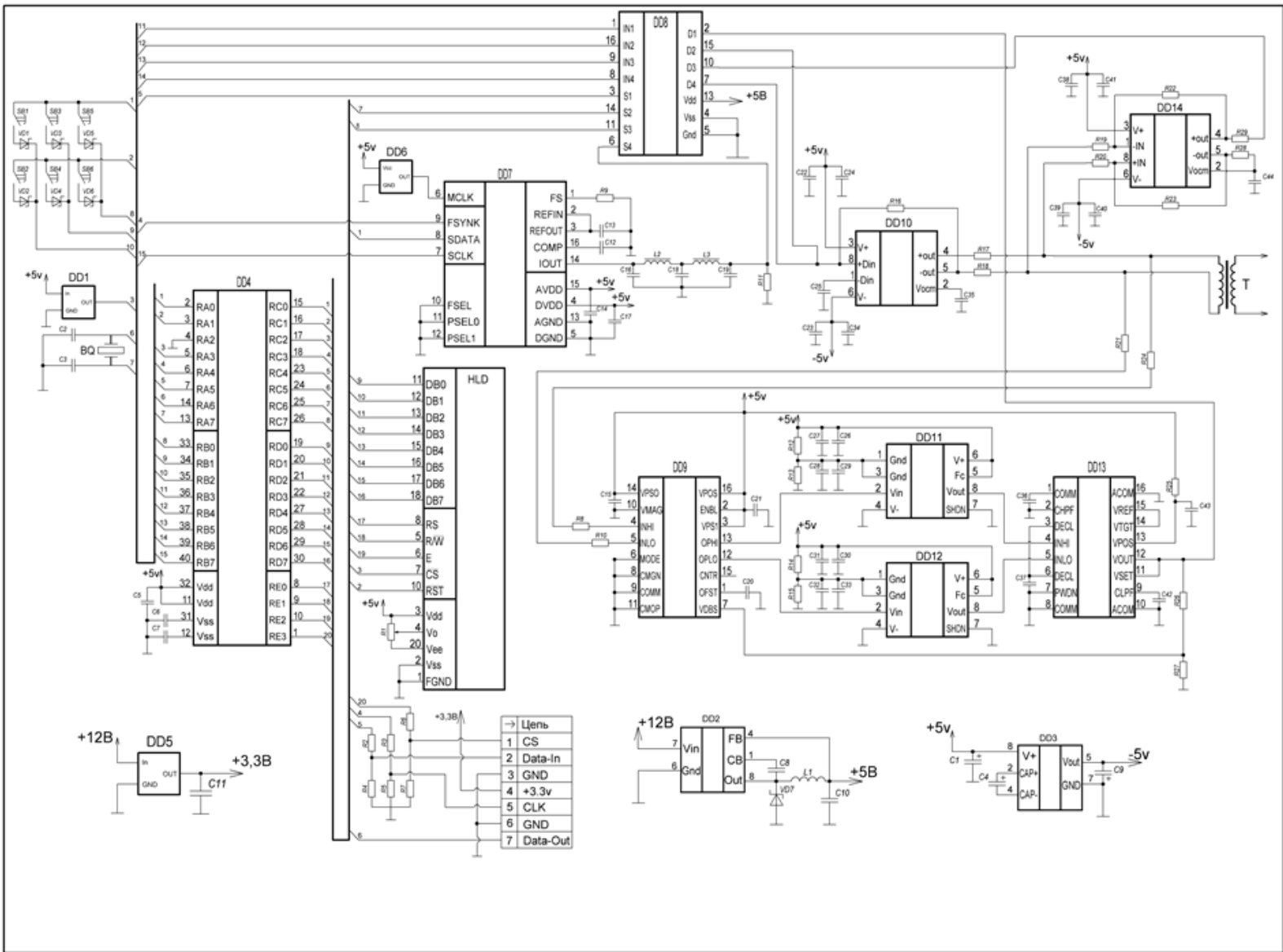


Рисунок Б.1 – Принципиальная схема аппаратной системы

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Алгоритм устройства

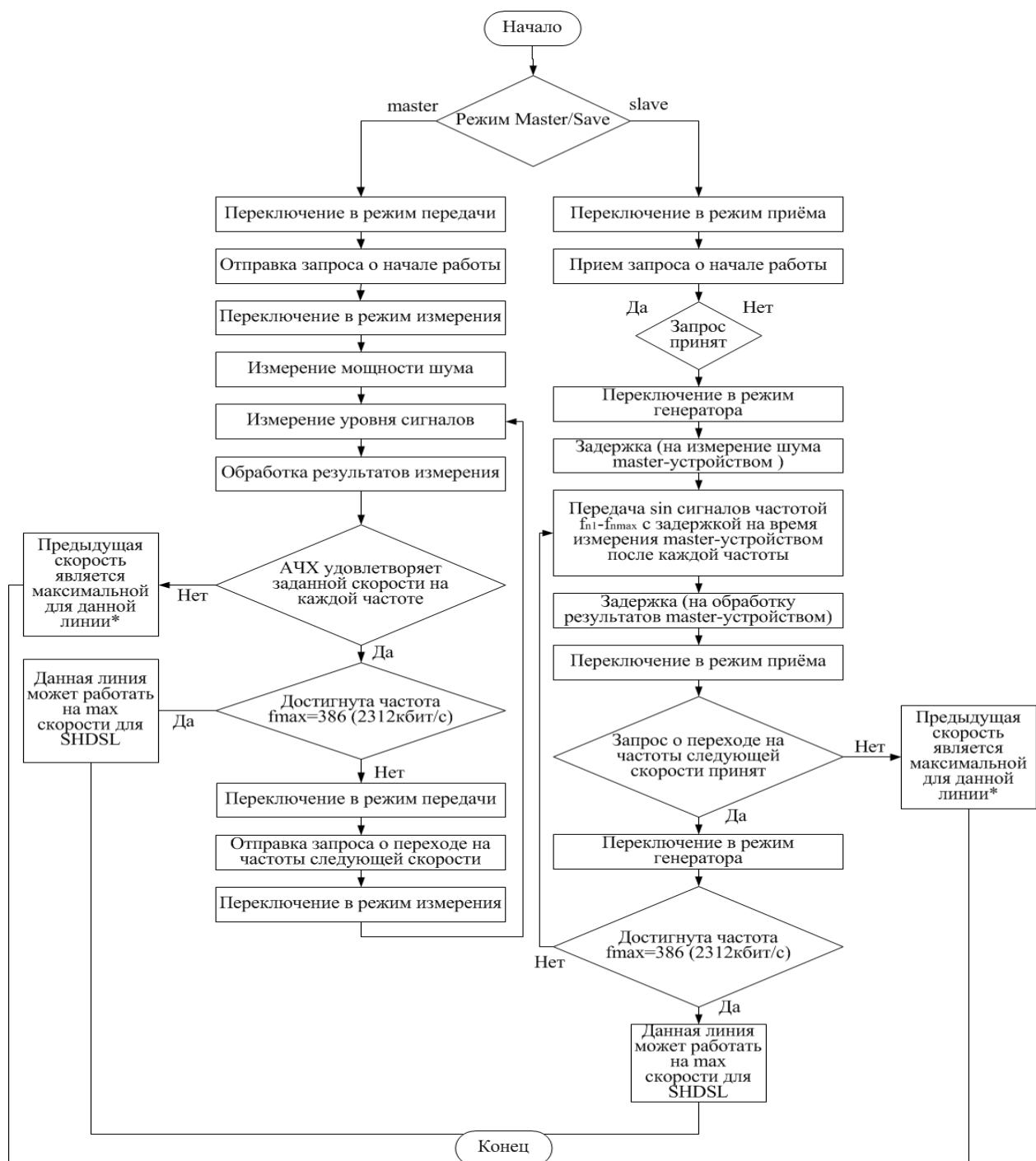


Рисунок В.1 – Алгоритм устройства