**СОДЕРЖАНИЕ**

Перечень условных обозначений, символов и терминов 3

Введение 4

1. Анализ литературно – патентных исследований 6

1.1 Обзор методов и средств синтеза частот 6

1.2 Анализ патентных исследований 10

2. Общетехническое обоснование разработки устройства 19

2.1 Анализ исходных данных 19

2.2 Формирование основных технических требований

к разрабатываемой конструкции 23

3. Схемотехнический анализ радиоэлектронного средства 27

3.1 Описание принципа работы проектируемого радиоэлектронного  
средства 27

3.2 Анализ схемы электрической принципиальной 30

4. Разработка конструкции проектируемого изделия 33

4.1 Выбор и обоснование элементной базы, конструктивных

элементов, установочных изделий, материалов конструкции и

защитных покрытий, маркировки деталей и сборочных единиц 33

4.2 Выбор типа электрического монтажа, элементов крепления

и фиксации 41

4.3 Выбор способов обеспечения нормального теплового режима

устройства (выбор способа охлаждения на ранней стадии

проектирования; выбор наименее теплостойких элементов, для

которых необходимо проведение теплового расчета) 43

4.4 Выбор и обоснование метода изготовления печатной платы 46

4.5 Выбор конструкторских решений, обеспечивающих удобство

ремонта и эксплуатации устройства 50

4.6 Обеспечение требований стандартизации, унификации  
 и технологичности конструкции устройства 51

Заключение 54

Список использованных источников 55

Приложение А (обязательное) Техническое задание 59

Приложение Б (обязательное) Справка о результатах патентных   
исследований 60

Приложение Б (обязательное) План-конспект дипломного проекта 61

Приложение В (обязательное) Спецификации 65

Приложение Г (обязательное) Перечень элементов 66

**ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ,**

**СИМВОЛОВ И ТЕРМИНОВ**

|  |  |
| --- | --- |
| *CAD* | *– Computer*–*aided design* |
| *DDS* | *– Direct Digital Synthesis* |
| *DVOR* | – Доплеровский всенаправленный радиомаяк ОВЧ-диапазона |
| *PLL* | – *Phase Locked Loop* |
| *VOR* | – Всенаправленный радиомаяк ОВЧ-диапазона |
| ДПП | – Двухсторонняя печатная плата |
| ЖКИ | – Жидкокристаллический индикатор |
| МКЭ | – Метод конечных элементов |
| ПП | – Печатная плата |
| ПУ | – Панель управления |
| ПЦС | – Прямой цифровой синтез |
| РЭС | – Радиоэлектронное средство |
| САПР | – Система автоматизированного проектирования |
| ТЗ | – Техническое задание |
| ФАПЧ | – Фазовой подстройки частоты |
| ЦАП | *–* Цифро-аналоговый преобразователь |
| ЭРЭ | – Электрорадиоэлемент |

**ВВЕДЕНИЕ**

Синтезатор частот обозначают электронное устройство, способное из колебания (чаще синусоидальной формы) опорной частоты получить один или несколько сигналов с другими частотами, отличными от опорной частоты [1].

В настоящее время издано большое число научных трудов, профильных монографий, учебных пособий по частотному синтезу. Известны глубокие работы крупных специалистов и ученых. Однако обзор трудов показывает, что анализ и сравнение новых архитектур синтезаторов частот на основе фазовой подстройки частоты (ФАПЧ) на сегодняшний день оставляет большой простор для исследователя [1].

Разработка и проектирование синтезатора частот является актуальной темой, поскольку практические задачи с применением современных генераторов СВЧ-диапазона требуют постоянного улучшения технических характеристик, расширения функциональных возможностей, снижения габаритов, энергопотребления и конечной стоимости.

Растущая занятость частотного спектра наряду с неизменным спросом на более качественное измерительное оборудование, обладающее меньшим энергопотреблением, требует работы в новых частотных диапазонах и лучшего использования уже имеющихся. Это порождает необходимость в поиске более эффективных способов формирования сигналов заданной частоты. В большинстве случаев эта задача решается при помощи синтезаторов частот. Данные устройства формируют из сигнала фиксированной частоты сигнал на связанной с ней желаемой частоте (и с желаемой фазой) [2].

Составные части процесса проектирования включают в себя стадии разработки, этапы проектирования, проектные процедуры, проектные операции.

Этап проектирования – часть процесса проектирования, связанная с получением описания одного уровня или одного аспекта. Может совпадать или не совпадать со стадиями разработки. Стадии разработки выделяются как части процесса проектирования, объединяющие проектные работы по соображениям рационального планирования и организации работ, заканчивающихся заданным результатом. При разработке технического задания определяется техническая функция и частично функциональная структура системы; на стадиях технического предложения и частично эскизного проекта формируются функциональная структура и принципиальная схема изделия, а также основные технические решения; на стадии технического проекта завершается формирование технических решений; рабочая документация содержит полное описание изделия как физического объекта необходимое для проектирования технологического процесса его   
изготовления и подготовки управляющих программ для обработки деталей на автоматизированном оборудовании; спецификация изделия, а также информация о необходимых ресурсах используются для планирования производства [3].

Целью преддипломной практики является проектирование конструкции синтезатор частоты на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A*.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Анализ литературно - патентных исследований, в которых проводится обзор методов и средств синтеза частот, а также анализ самих патентных исследований.

2. Общетехническое обоснование разработки устройства, в котором будет проведен анализ исходных данных, а также сформированы основные технические требования к разрабатываемому устройству синтезатор частоты на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A*.

3. Схемотехнический анализ радиоэлектронных средств (РЭС), где описывается принцип работы проектируемого устройства и проводится анализ схемы электрической принципиальной.

4. Разработка конструкции проектируемого изделия, которая включает выбор элементной базы, конструктивных элементов, установочных изделий, материалов конструкции, защитных покрытий; выбор типа электрического монтажа, элементов крепления и фиксации; выбор способов обеспечения нормального теплового режима; выбор метода изготовления печатной платы (ПП); выбор конструкторских решений, обеспечивающих удобство ремонта и эксплуатации устройства; обеспечение требований стандартизации, унификации и технологичности конструкции.

.

**1 АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**1.1 Обзор методов и средств синтеза частот**

Главным требованием во всех отраслях промышленности является способность точно формировать колебания различной частоты и формы, легко и быстро изменяя их параметры. Независимо от того, требуется ли источник частоты с быстрой перестройкой, малым фазовым шумом и превосходным свободным от побочных составляющих динамическим диапазоном для широкополосного приемопередатчика, или возбуждающий сигнал со стабильной частотой для промышленной системы управления, возможность быстро, просто и без применения дорогостоящих средств генерировать сигнал с регулируемыми параметрами, поддерживая при этом неразрывность его фазы, является основным критерием проекта, которому удовлетворяет технология прямого цифрового синтеза частот [2].

Термином «синтезатор частоты» обозначают электронное устройство, способное из колебания (чаще синусоидальной формы) опорной частоты получить один или несколько сигналов с другими частотами, отличными от опорной частоты. Осуществлять синтез можно либо некогерентным, либо когерентным методом [1].

Некогерентный метод состоит в том, что несколько колебаний опорных частот от независимых источников, используются для получения большого количества колебаний на выходе синтезатора с частотами, отличными от частот опорных колебаний. Метод получил название «прямой аналоговый синтез частоты» [4].

Когерентный метод предполагает наличие только одного источника опорного колебания, из которого при помощи различных приемов, получают на выходе синтезатора большое количество колебаний с частотами, отличными от частоты опорного колебания. При этом различают [1]:

– косвенный аналоговый синтез на основе ФАПЧ или (*Phase Locked Lo-op* - *PLL*), выходной сигнал получается с помощью генератора, управляемого напряжением, который охвачен петлей фазовой автоподстройки;

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

– гибридный метод, представляющий собой комбинацию методов.

Каждый из этих методов синтеза частот имеет преимущества и недостатки. Поэтому для каждого конкретного приложения нужно делать выбор, основанный на наиболее приемлемой комбинации компромиссов.

К основным параметрам, характеризующим качество выходного сигнала синтезатора частоты, независимо от его принципа действия, относят [5]:

– стабильность частоты;

– чистота спектра (уровень побочных гармоник и уровень шума);

– диапазон перестройки по частоте;

– скорость перестройки по частоте;

– частотное разрешение.

Прямой аналоговый синтез частоты метод является некогерентным. Это означает, что фаза выходного сигнала и фазы колебаний опорных генераторов находятся в случайном, а не в дробно-рациональном соотношении. Структурная схема синтезатора прямого аналогового синтеза показана на рисунке 1.1.

Этот метод называют прямым, поскольку отсутствует процесс коррекции ошибки. В этом случае качество выходного сигнала напрямую связано с качеством опорного сигнала и может быть высоким: уровень фазового шума мал, а скорость перестройки по частоте определяется скоростью срабатывания переключателя и может быть очень большой. Кроме того, поскольку генераторы не выключаются при переходе с одной частоты на другую, то в любой момент можно вернуться на предыдущую частоту и продолжать работу в той же фазе. Этот эффект называют «фазовой памятью» [1].

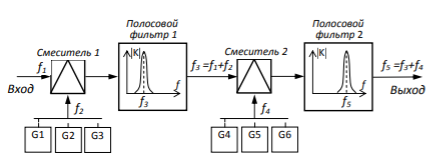


Рисунок 1.1 – Схема прямого аналогового синтезатора структурная

Однако метод приемлем для радиостанций с небольшим количеством каналов. Поэтому для обеспечения широких возможностей по перестройке частоты требуется много опорных генераторов, что является весьма дорогостоящим решением. Важным достоинством некогерентного синтеза является низкая стоимость устройства [6].

Косвенный аналоговый синтез частоты этот метод синтеза относится к когерентным методам и использует принцип сравнения частоты выходного сигнала с сигналом опорного генератора. Источником выходного сигнала служит генератор, управляемый напряжением. Структурная схема такого синтезатора показана на рисунке 1.2. Она представляет собой устройство замкнутого типа с отрицательной обратной связью, в котором непрерывно сравниваются два сигнала с разными частотами [7].

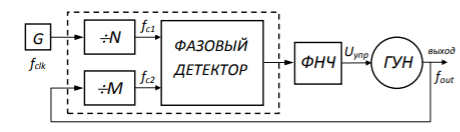


Рисунок 1.2 – Схема косвенного аналогово синтезатора структурная

К недостаткам данного синтезатора следует отнести сравнительно высокий уровень фазовых шумов, источником которых является фазовый детектор, а также невозможность быстрого переключения частоты [7].

Одним из возможных способов практической реализации синтезатора частот является технология прямого цифрового синтеза частот (*DDS*). Этот метод основан на использовании цифровой обработки данных для формирования выходного сигнала с перестраиваемыми частотой и фазой из сигнала фиксированной опорной частоты. В архитектуре *DDS* опорная частота подвергается делению на масштабирующий коэффициент. Стабильность обычно достигается применением фазовой автоподстройки частоты или *DDS* с использованием опорного генератора с кварцевой стабилизацией. Синтез частот обеспечивает намного более высокую точность и стабильность, чем традиционные электронные генераторы с перестройкой изменением индуктивности или ёмкости [7].

Синтезатор *DDS* преобразует последовательность импульсов тактового сигнала в аналоговое колебание, как правило, синусоидальной, треугольной или прямоугольной формы. Как показано на рисунке 1.3, основными составными частями синтезатора являются [3]:

– фазовый аккумулятор, формирующий число, соответствующее фазовому углу выходного колебания;

– преобразователь фазы в цифровой код, формирующий мгновенное значение цифрового кода амплитуды, соответствующее фазовому углу;

– цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), который преобразовывает этот цифровой код в соответствующий дискретный уровень аналогового сигнала.

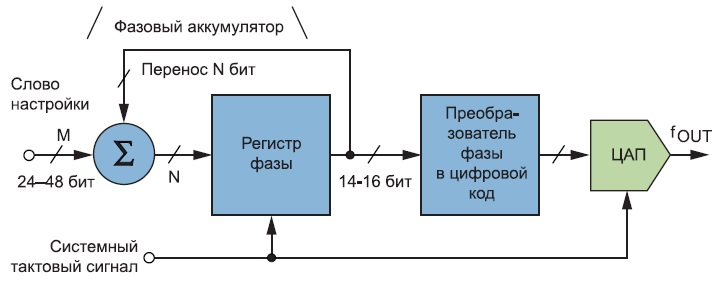


Рисунок 1.3 – Схема системы *DDFS* функциональная

Цифровые синтезаторы также обеспечивают довольно малый уровень фазовых шумов. Однако основным достоинством цифрового синтезатора является исключительно высокое разрешение по частоте (ниже 1 Гц), определяемое длиной фазового аккумулятора [8].

Главные недостатки – ограниченный частотный диапазон и большие искажения сигнала. В то время как нижняя граница рабочего диапазона частот цифрового синтезатора находится близко к нулю герц, его верхняя граница не может превышать половины тактовой частоты [8].

Другая серьезная проблема – высокое содержание нежелательных спектральных составляющих из-за ошибок преобразования в ЦАП. С этой точки зрения цифровой синтезатор ведёт себя как частотный смеситель, генерирующий побочные составляющие на комбинационных частотах. В то время как частотное местоположение этих составляющих можно легко вычислить, их амплитуда гораздо менее предсказуема. Как правило, искажения более низкого порядка имеют наиболее высокую амплитуду. Тем не менее, искажения высокого порядка также приходится учитывать при разработке архитектуры конкретного синтезатора [9].

Синтезатор частоты на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* изображен на рисунке 1.4. Основа устройства – микроконтроллер *PIC*18*F*252-*I/SP*, который управляет прибором. Тактовая частота микроконтроллера стабилизирована кварцевым резонатором. Вся информация выводится на   
жидкокристаллический индикатор [10].



Рисунок 1.4 – Синтезатор частот в пластиковом корпусе

Детальный принцип работы будет рассмотрен в главе 3.1.

**1.2 Анализ патентных исследований**

Патентные исследования – это инструмент анализа, который позволяет решать технические, конъюнктурные и правовые задачи, связанные с разработкой и продвижением на рынок продукции, которая содержит научно-технические достижения [11].

Патентные исследования – исследования технического уровня объектов хозяйственной деятельности, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности (эффективности использования по назначению), которые базируются на патентной и прочих видах информации. Сегодня проведение патентных исследований выстраивается с опорой на анализ рынка продукции, которая является объектом патентных исследований [11].

Патентный поиск – это [12]:

– часть патентных исследований, которая должна проводиться на самых ранних этапах создания инновационных решений, перед регистрацией изобретения или полезной модели;

– процедура отбора информации, которая позволяет получить информацию, имеющую ключевое значение при принятии решений предприятием;

– выборка по фондам патентной документации для оценки охраноспособности изобретения, полезной модели, промышленного образца, а также для определения уровня техники – совокупности технических сведений, имеющих отношение к данному решению.

Такой поиск может производиться по нескольким различным признакам: конструкция, функции устройства, способ, вещество, элементы, параметры, свойства и явления [12].

Патентный поиск проводится в следующих целях [11]:

– проверка новизны технического решения;

–формирование базы знаний по той сфере деятельности, в которой производится выпуск продукции;

– выявление перспективных направлений для научно-исследовательской деятельности и динамики патентования в данной области, прогнозирование развития науки и техники;

– проверка возможности нарушения чужих авторских прав на схожее техническое решение.

При принятии решения о необходимости проведения патентного поиска следует учитывать тот факт, что сведения, содержащиеся в патентных документах, примерно на 80% являются уникальными и не дублируются в иных источниках.

В результате патентного поиска, исходя из понятий и задач патентного исследования, были выявлены схожие по функциональным особенностям изделия, началом действия патентов не более 15 лет:

1 Синтезатор частот. Изобретение относится к области автоматики и измерительной техники и может использоваться для формирования сетки стабильных частот [13].

Синтезатор частот, содержащий последовательно соединенные первый мультиплексор, накапливающий сумматор, блок памяти, цифроаналоговый преобразователь и фильтр нижних частот, отличающийся тем, что содержит второй мультиплексор, информационными входами соединенный соответственно с выходами старших разрядов накапливающего сумматора, а выходом - с управляющим входом первого мультиплексора [13].

Ближайшим к предлагаемому устройству является синтезатор частот, содержащий мультиплексор, накапливающий сумматор, блок памяти, цифроаналоговый преобразователь, фильтр нижних частот, элемент ИЛИ. Данный синтезатор имеет простое схемное решение и обладает хорошим   
быстродействием и точностью средней выходной частоты, однако имеет паразитную фазовую модуляцию за счет того, что моменты прихода необходимых для его работы импульсов коррекции отстают от требуемых значений на величину задержки в элементе ИЛИ, которая, кроме того, зависит от температуры, режима работы элемента и других параметров [13].

Задачей изобретения является повышение качественных характеристик выходной частоты при сохранении быстродействия и простоты схемотехнической реализации. Технический результат заключается в том, что коррекция кода в накапливающем сумматоре производится синхронно с приходом импульса опорного генератора [13].

На рисунке 1.5 приведена структурная электрическая схема предлагаемого устройства.

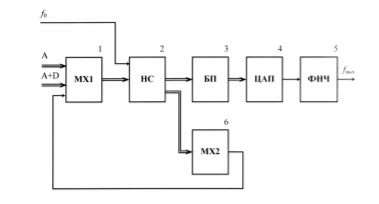


Рисунок 1.5 – Схема электрическая структурная

Решение, представленное в данном изобретении, имеет один недостаток – малая точность частоты выходного сигнала. В дипломном проекте эта проблема решена, путем проектирования делителя частоты, который обеспечивает высокую точность сигнала на выходе.

Известны синтезаторы частот, в которых для повышения точности используется десятичный сумматор, образованный за счет последовательного соединения двоичных сумматоров, а также другие схемные решения. Данные синтезаторы не обеспечивают достаточного быстродействия, а также обладают большой схемотехнической сложностью [13].

2 *N*-частотный генератор гармонических и импульсных сигналов. Изобретение относится к области радиотехники, а более точно к приборам для генерирования гармонических и импульсных сигналов широкого спектра частот и может быть использовано в экспериментальной медицине для проведения опытов по антипаразитарной, антибактериальной и антивирусной терапии различных биологических объектов: растений, животных и людей [14].

Техническим результатом является расширение функциональных возможностей путём обеспечения работы в широком диапазоне частот при различных уровнях напряжения и временных интервалах воздействия гармонических и/или импульсных сигналов [14].

Дополнительным техническим результатом является обеспечение визуального контроля программирования и контроля за процессом работы. Достигается это тем, что *N*-частотный генератор гармонических и импульсных сигналов содержит стабилизированный источник питания, к выходам которого подключены центральный процессор, снабженный клавиатурой, индикатор, синтезатор частот, усилитель гармонических сигналов, усилитель импульсных сигналов, управляемый коммутатор и выходной блок преобразования уровней напряжения, кроме того, стабилизированный источник питания содержит четыре выходных номинала напряжения, центральный процессор выполнен в виде микроконтроллера типа *PIC* 18*F*2520, синтезатор частот - типа *AD*9834, усилитель импульсных сигналов - типа *CD*40106, а усилитель гармонических сигналов - типа *ОР*37 [14].

На чертеже представлена функциональная схема предложенного устройства (рисунок 1.6) [14].

Однако известное устройство имеет ограниченные функциональные возможности, так как рассчитано на работу в сравнительно узком диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц, в отличие синтезатора, проектируемого в дипломном проекте, т.к. его диапазон -1 Гц до 250 МГц.

Кроме того, в известном устройстве отсутствует индикатор режимов, что усложняет эксплуатацию устройства и не позволяет визуально осуществлять контроль за выбранным режимом работы, такой недостаток решен, так как в синтезаторе частоты на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* можно осуществлять контроль за режимом с помощью жидкокристаллического индикатора.

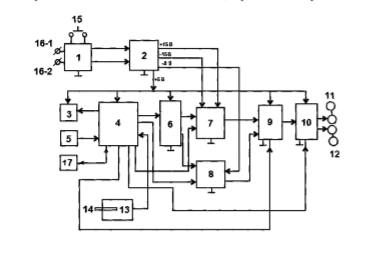


Рисунок 1.6 – Схема функциональная

3 Синтезатор частот с широкополосной модуляцией. Изобретение относится к синтезатору частот с широкополосной модуляцией в радиопередающих устройствах [15].

Технический результат – достижение линеаризации передаточной функции генератора, управляемого напряжением при формировании широкополосных сигналов и устранение влияния входного сопротивления аналого-цифрового преобразователя на токи утечки в цепи управления в системе импульсно-фазовой автоподстройки частоты. Для этого в указанном синтезаторе предусмотрены: опорный генератор, делитель с фиксированным коэффициентом деления, частотно-фазовый детектор, фильтр нижних частот, коммутатор, делитель с переменным коэффициентом деления, блок управления, цифроаналоговый преобразователь (рисунок 1.7)[15].

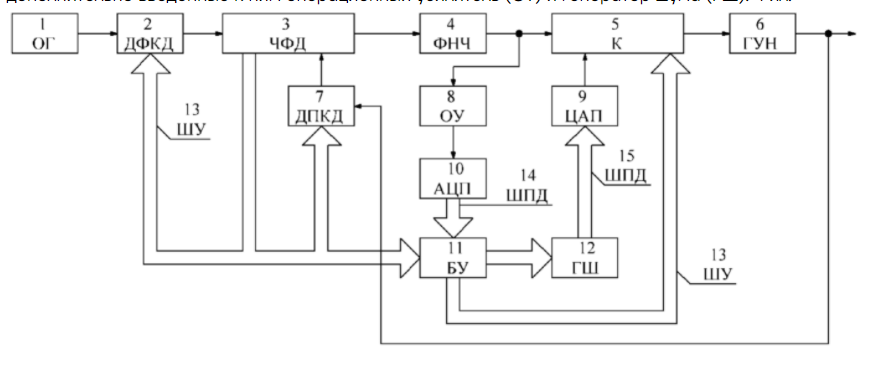


Рисунок 1.7 – Схема функциональная

В таком синтезаторе на первый вход частотно-фазового детектора подается сигнал опорного генератора после деления его частоты в делителе с фиксированным коэффициентом деления, а на второй вход частотно-фазового детектора – сигнал с генератора, управляемого напряжением после деления его частоты в делителе с переменным коэффициентом деления [15].

Таким образом, в синтезаторе частот, построенном на основе системы импульсно-фазовой автоподстройки частоты, возможно осуществление частотной или фазовой модуляции, но с рядом ограничений, связанных с конечным быстродействием синтезатора и с вносимыми системой импульсно-фазовой автоподстройки частоты искажениями [15].

Данное устройство практически ничем не отличается от проектируемого, кроме того, что здесь присутствует генератор низких частот и коммутатор. Выработанный сигнал рассогласования на выходе частотно-фазового детектора через фильтр нижних частот управляет частотой сигнала генератора таким образом, что она после устранения рассогласования принимает значение, точно равное частоте сигнала опорного генератора, поделенной на коэффициент деления.

4 Способ формирования микроволновых сигналов с малым шагом сетки частот. Изобретение относится к области радиотехники и может быть использовано при организации систем связи с увеличенным количеством каналов, а также в измерительной технике, где требуется перестройка частоты с малым шагом [16].

В основу изобретения поставлена задача получения микроволновых колебаний с малым шагом сетки частот, низким уровнем фазовых шумов и малым временем перестройки частоты [16].

Для этого частоту опорного генератора, задающую частоту сравнения в фазовом детекторе синтезатора косвенного типа, выбирают в полосе ультракоротких волн. При этом частоту высокостабильного опорного генератора предварительно сдвигают на некоторую небольшую величину, задающую малый шаг сетки частот. Для чего сигнал опорного генератора подают на радиочастотный вход квадратурного модулятора, модулируемого низкочастотными квадратурными сигналами одинаковой частоты и амплитуды, но со сдвигом фаз 90°. Тогда частота сравнения отлична от частоты опорного генератора на значение частоты этих низкочастотных сигналов [16].

Такой способ позволяет формировать микроволновые колебания с шагом в единицы килогерц, при этом не повышая времени перестройки синтезатора, не повышая уровня фазовых шумов и сохраняя стабильность частоты синтезатора, определяемую стабильностью частоты опорного генератора,   
которая, достигает 10-7-10-8 [16].

Однако такой способ формирования микроволновых сигналов обладает существенным недостатком, заключающимся в том, что шаг сетки выходных частот микроволнового генератора определяется частотой сравнения в фазовом детекторе. В свою очередь уменьшение частоты опорного генератора приводит к увеличению фазовых шумов микроволнового сигнала в *N* раз, а также приводит к увеличению времени перестройки синтезатора в целом, поскольку для подавления продуктов сравнения требуется фильтр нижних частот с большей постоянной времени [16].

Самым главным отличием данного изобретения является –формирование микроволновых частот. Методы преобразований частот достаточно похожи, однако в данном устройстве процесс намного сложнее, и имеет ряд ограничений.

5 Способ формирования когерентных модулированных сигналов и устройство для его осуществления. Изобретение относится к области радиотехники и может быть использовано в радиосвязи и радионавигации [17].

Наиболее эффективно предлагаемое изобретение может быть использовано в системе *DVOR* (Доплеровский всенаправленный радиомаяк ОВЧ-диапазона), для формирования когерентных модулированных сигналов, обеспечивающих измерение азимутального угла воздушного судна, оснащенного бортовым оборудованием системы *VOR* (Всенаправленный радиомаяк ОВЧ-диапазона) [17].

Для формирования когерентных сигналов в навигационных системах зачастую применяются фазофильтровый, фазокомпенсационный метод и метод умножения частоты. Недостатком фазофильтрового метода является нестабильность фазовой характеристики выходного сигнала и узкий диапазон рабочей частоты [17].

Фазокомпенсационному методу присуще подавление несущей, а также верхней или нижней боковой частоты, связанное с тем, что для формирования сигнала таким способом, необходимо применение высокочастотных широкополосных фазовращателей [17].

Вышеперечисленные методы также не позволяют изменять параметры сигнала без аппаратного вмешательства [17].

Задача изобретения – разработка формирователя когерентных модулированных сигналов, который позволяет без аппаратного вмешательства регулировать начальную фазу, частоту, амплитуду и форму модулированного сигнала, для того чтобы адаптировать радиотехническую систему к различным условиям эксплуатации [17].

Технический результат состоит в расширении функциональных возможностей и в том, что применяемые прямые цифровые синтезаторы частоты (*DDS*) и программируемая логическая интегральная схема позволяют синтезировать когерентные модулированные сигналы со свойственной цифровым системам точностью вплоть до начальной фазы (рисунок 1.8) [17].

От всех присущих данным методам недостатков свободна структура, построенная на основе прямого цифрового синтеза частоты (*DDS*). *DDS* микросхемы 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 [17].

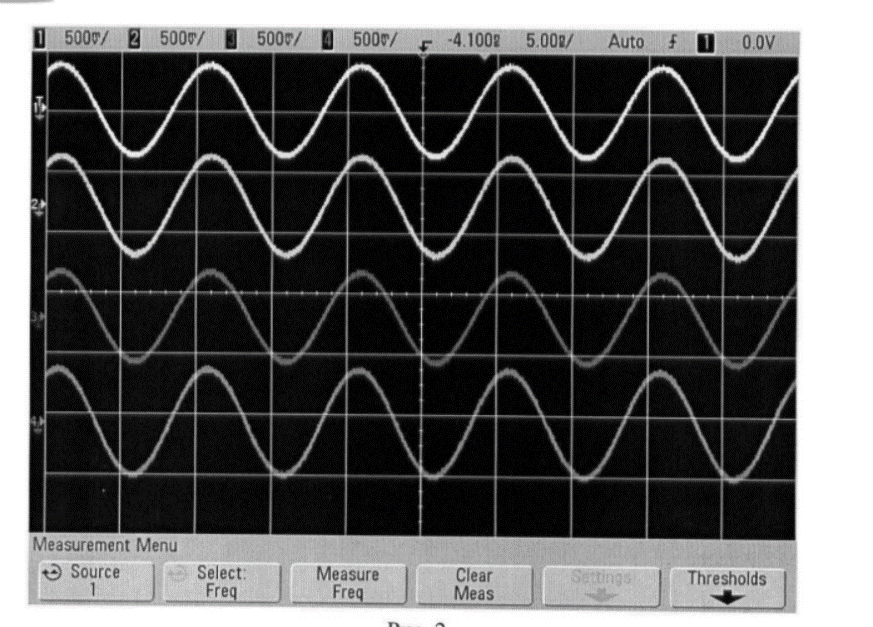


Рисунок 1.8 – Синтезированные когерентные сигналы

Недостатком устройства является нестабильность параметров, которая в свою очередь приводит к нестабильности параметров выходного сигнала формирователя, чего нет в проектируемом устройстве. Недостатками формирователя, построенного по принципу умножения частоты, являются высокие фазовые шумы и сложность обеспечения на высоких частотах подавления гармонических составляющих, что серьезно усложняет схему формирователя сигнала.

6 Устройства и способы подстройки частоты в синтезаторе частот с множеством выходов. Настоящее изобретение, относится к области связи и к методам создания и управления точными источниками частоты в сотовых  
телефонах или других устройствах связи [18].

Современные устройства связи, осуществляющие связь по проводам или беспроводным способом, обычно нуждаются в, по меньшей мере, одном тактовом генераторе, работающем на сравнительно стабильной опорной частоте.

Каждый блок связи нуждается в, по меньшей мере, одной тактовой частоте для тактовой синхронизации или групповых трактов, или цифровых сигнальных процессоров, или для применения в качестве гетеродинов в радиосхемах. Точные рабочие частоты могут изменяться, и требования к точности также могут изменяться для разных функций [18].

Принципы, приведенные в настоящей заявке, обеспечивают способы и схемы синтеза, по меньшей мере, двух сигналов, синфазных с сигналом опорной частоты. В нескольких вариантах осуществления способ содержит этап генерации первого и второго выходных сигналов, синфазных с опорным тактовым сигналом, с помощью первой и второй схем цепи фазовой синхронизации. В ответ на обнаруженную погрешность частоты в первом выходном сигнале первый выходной сигнал корректируется подстройкой коэффициента деления частоты в первой схеме цепи фазовой синхронизации. Второй выходной сигнал корректируется отдельно от коррекции первого выходного сигнала подстройкой коэффициента деления частоты во второй схеме цепи фазовой синхронизации с использованием параметра подстройки, вычисленного по обнаруженной погрешности частоты [18].

Схема синтезатора частот в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения содержит первую и вторую схемы цепи фазовой синхронизации, выполненные с возможностью генерации первого и второго выходных сигналов [18].

В данном устройстве осуществление схемы частотной коррекции может быть дополнительно выполнена с возможностью вычисления параметра подстройки на основе обнаруженной погрешности частоты и коррекции опорной тактовой частоты, и коррекции второго выходного сигнала подстройкой второго коэффициента деления частоты во второй схеме цепи фазовой синхронизации с использованием параметра подстройки. Данный способ не используется в проектированном устройстве, однако при дальнейшем развитии проекта эти идеи можно использовать, так как в синтезаторе частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* есть построечный конденсатор, который так же может выполнять функции подстройки.

Справка об исследовании патентной и научно-технической литературы представлена в приложении Б1.

**2 ОБЩЕТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВА**

**2.1 Анализ исходных данных**

В дипломном проекте рассматривается проект синтезатора частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A*. Устройство предназначено для получения требуемой частоты в диапазоне от 1 Гц до 250 МГц.

Схема электрическая принципиальная предоставлена в журнале «Радио» и приведена в графических материалах. Подробный схемотехнический анализ схемы будет рассмотрен в пунктах 3.1 и 3.2.

Общий потребляемый ток составляет не менее 0,150 А при напряжениях источника питания 9 В и питании на микроконтроллере 5,5 В. Частота передачи составляет 1 Гц – 250 МГц. Максимальная тактовая частота микроконтроллера – 40 МГц.

При проектировании будут использоваться следующие нормативные источники:

1 СТП 01-2017 «Стандарт предприятия. Дипломные проекты (работы). Общие требования». Настоящий стандарт устанавливает общие требования к организации дипломного проектирования, построению, содержанию, оформлению и порядку защиты дипломных проектов (работ) в БГУИР.

2 Общие технические условия (требования) устанавливает ГОСТ 14087-88 «Электроприборы бытовые. Общие технические требования». Настоящий стандарт распространяется на нагревательные, механические и комбинированные электроприборы, питающиеся от сети переменного и постоянного тока, изготовляемые для нужд народного хозяйства и экспорта. Все требования стандарта являются обязательными. [19].

3 Устойчивость к климатическим воздействиям данного устройства определяется по ГОСТ 15150–69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды». Устойчивость к климатическим воздействиям для устройства: УХЛ 4.2. Это означает, что эксплуатация устройства будет производиться в лабораторных, капитальных жилых и других подобного типа помещениях. Изделие должно сохранять свои параметры в пределах норм, установленных техническими заданиями, стандартами или техническими условиями в течение сроков службы и сроков сохраняемости, указанных в технических заданиях, стандартах или технических условиях,   
после и в процессе воздействия климатических факторов, значения которых установлены настоящим стандартом.

Данные о температурных режимах и относительной влажности представлены в таблице 2.1 [20].

Таблица 2.1– Нормальные значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации устройства

|  |  |
| --- | --- |
| Климатические факторы внешней среды | Значения |
| Верхнее рабочее значение температуры воздуха при эксплуатации, °С | +35 |
| Нижнее рабочее значение температуры воздуха при эксплуатации, °С | +10 |
| Верхнее предельное рабочее значение температуры воздуха при эксплуатации, °С | +40 |
| Нижнее предельное рабочее значение температуры воздуха при эксплуатации, °С | +1 |
| Величина изменения температуры воздуха за 8 ч, °С | 40 |
| Верхнее значение относительной влажности при 25 °С, % | 80 |
| Среднегодовое значение относительной влажности при 25 °С, % | 60 |
| Рабочее значение атмосферного давления, кПа | 86,6 |

За нормальные значения факторов внешней среды при испытаниях устройства (нормальные климатические условия испытаний) принимаются:

− температура +25 ± 10 °С;

− относительная влажность воздуха 45…80 %;

− атмосферное давление 84…106,7 кПа.

Так как синтезатор частот предназначен для работы в нормальных условиях, в качестве номинальных значений климатических факторов принимаем нормальные значения климатических факторов, указанные выше.

За эффективную температуру окружающей среды принимается максимальное значение температуры.

За эффективные значения сочетания влажности и температуры при расчетах параметров устройства, изменение которых вызывается сравнительно длительными процессами, принимаются среднемесячные значения сочетаний влажности и температуры в наиболее теплый и влажный.

За эффективное значение давления воздуха принимается среднеезначение давления.

Синтезатор частот преобразует различные частоты в частоты необходимого диапазона, значит может считаться аппаратурой радиоэлектронной бытовой, относящимся к группе 1. ГОСТ 11478-88 [21] определяет параметры для синтезатора частот.

Значения влияющих величин, характеризующих климатические воздействия и электропитание средств измерений в нормальных условиях применения, и допускаемые отклонения от них должны соответствовать указанным в таблице 2.2.

Таблица 2.2− Нормальные условия применения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Влияющая величина | Нормальное значение (нормальная область значений) | Допускаемое отклонение от нормального значения при испытаниях |
| Температура окружающего воздуха, °С | +15 – 30 | ±0,1; ±0,2; ±0,5; ±1; ±2; ±5; +10 и -5; ±10 |
| Относительная влажность воздуха, % | 45 – 75 | − |
| Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.) | 86 –106 (650 – 800) | − |
| Частота питающей сети, Гц | 50 | ±1 % |
|  | Свыше 50 | ±2 % |

К разрабатываемой конструкции предъявляются следующие конструкторские требования:

− габаритные размеры, не более 190×130×60 мм;

− коэффициент заполнения по объёму, не менее Kз = 0,5;

− масса изделия, не более 0,6 кг;

− годовая программа выпуска, не менее 1000 шт.

Специальными техническими требованиями является осуществление проектирования с учетом следующих ГОСТов:

1 ГОСТ Р МЭК 335-1-94 «Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Общие требования и методы испытаний». Настоящий стандарт устанавливает основные виды опасности приборов, с которыми люди сталкиваются внутри и вне дома [22].

2 ГОСТ 29254-91 «Совместимость технических средств электромагнитная. Аппаратура измерения, контроля и управления технологическими процессами. Технические требования и методы испытаний на   
помехоустойчивость». Стандарт устанавливает технические требования и методы испытаний изделий на устойчивость к воздействию электромагнитных помех [23].

3 ГОСТ 21317-87 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы испытаний на надежность». Стандарт устанавливает единый методологический подход к испытаниям на надежность и регламентирует методы и порядок проведения испытаний на надежность при разработке и производстве аппаратуры, состав показателей надежности, принципы классификации отказов, правила оценки результатов испытаний, а также требования к документации, необходимой при испытаниях [24].

4 ГОСТ 28002-88 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Общие требования по защите от электростатических разрядов и методы испытаний». Стандарт устанавливает требования к восприимчивости аппаратурой электростатических разрядов от накапливаемых на поверхности тела человека [25].

5 ГОСТ 11478-88 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Нормы и методы испытаний на воздействие внешних механических и климатических факторов» [21].

6 ГОСТ Р 51317.6.1-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Требования и методы испытаний». Указанные требования устойчивости к помехам представляют собой основные требования электромагнитной совместимости [27].

Требования к надёжности устанавливает ГОСТ 27.003−90 [28].

Требования к надежности разрабатываемого устройства − совокупность количественных и качественных требований к следующим показателям:

− безотказность;

− долговечность;

− ремонтопригодность.

В качестве показателя безотказности устанавливают среднюю наработку на отказ *Т0* или вероятность безотказной работы за время *Р(tp)*. В качестве показателя долговечности устанавливают средний срок службы *Тсл*, средний ресурс *Тр* или гамма-процентный ресурс *Тγ*. В качестве показателя ремонтопригодности устанавливают среднее время восстановления *Тв*.

Под вероятностью безотказной работы *P*(*tр*), за время *tр* понимается вероятность того, что элемент или РЭC будут выполнять заданные функции и сохранять параметры в установленных пределах в течении заданного промежутка времени и при определённых условиях эксплуатации.

Под наработкой на отказ (средней наработкой на отказ) *T*0 понимается среднее время безотказной работы РЭС между двумя соседними отказами.

Под гамма–процентной наработкой до отказа *Tγ* понимают наработку, в течение которой отказ в изделии не возникает с вероятностью *γ*.

Под средним временем безотказной работы (средняя наработка до отказа) *Тср* понимается математическое ожидание времени безотказной работы РЭС до первого отказа.

**2.2 Формирование основных технических требований**

**к разрабатываемой конструкции**

Требования, которым должна отвечать конструкция РЭС, определяются ее назначением, областью применения, условиями эксплуатации, типом производства и представляются в техническом задании, которое является исходным документом для конструирования РЭС [22].

Устройство синтезатора частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* разрабатывают на основании дипломного проектирования. В качестве источников разработки используются схемы уже готовых устройств данного типа.

К техническим требованиям разрабатываемой конструкции относятся:

– состав устройства;

– требования к конструкции;

– требования к электрическим параметрам;

– требования к технологичности;

– требования к надежности;

– ориентировочная программа выпуска;

– требования безопасности;

– эстетические и эргономические требования;

– условия эксплуатации;

– требования к маркировке и упаковке;

– требования к техническому обслуживанию и ремонту.

Основными электрическими параметрами разрабатываемого устройства являются: напряжение – 230 В ± 10%, частота – от 1 Гц до 250 МГц и сила  
 тока – 15 мА.

Синтезатор частот должен отвечать требованиям надежности по ГОСТу 21317-87 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы испытаний на надежность». Средняя наработка на отказ должна составлять не менее 1000 ч. Средний срок службы должен быть не менее 8 лет. Испытания на срок службы не проводится. Время восстановления после ремонта должно быть не более 1ч. Устройство должно быть восстанавливаемое и обслуживаемое.

Конструкция устройства должна быть разработана с учетом требований к производственной, монтажной и эксплуатационной технологичности. Масса изделия составляет не более 0,6 кг. Габаритные размеры составляют не более 190×130×60 мм.

Устройство синтеза частот предназначено для эксплуатации в лабораторных, капитальных жилых и других подобного типа помещениях. ГОСТ 15150–69 устанавливает нормы по климатическому исполнению и категории. Для устройства плавного пуска УХЛ 4.2 – эксплуатация в помещениях (объемах) с искусственно регулируемыми климатическими условиями [20].

В зависимости от условий эксплуатации определяют группу жесткости, которая предъявляет соответствующие требования к конструкции печатной платы, к материалу основания и необходимости применения дополнительной защиты от внешних воздействий (климатических, механических) [19].

Устройство синтезатор частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* по своему назначению относится к классу наземных РЭС, входит в группу бытовых устройств. В таблице 2.3 приведены обобщенные значения механических воздействующих факторов в зависимости от класса РЭС.

Таблица 2.3– Обобщенные значения механических воздействующих факторов в зависимости от класса РЭС

|  |  |
| --- | --- |
| Воздействующий фактор | Класс РЭС |
| Наземное |
| Вибрация:  Частота, Гц  Ускорение, *g* | 10…70  1…4 |
| Одиночные удары:  Ускорение, *g*  Длительность, мс | 50…1000  0,5…10 |
| Акустические шумы:  Уровень, дБ  Частота, Гц | 82…125  50…1000 |

Устройство испытывает влияние различных дестабилизирующих факторов в процессе эксплуатации. РЭС является бытовым и не предполагает его перемещение во время использования, но может, поэтому устройство не будет подвергаться достаточно значимым колебаниям.

Устройство синтеза частот не подвержено частым ударным нагрузкам, однако существует вероятность падения.

Устройство синтеза частот не будет подвержено прямому воздействию солнечного излучения. Однако само помещение может находиться под постоянным воздействием высоких температур. Поэтому устройство может подвергаться дополнительным температурным нагрузкам, которые могут привести к расширению, размягчению, деформации печатной платы (ПП), уменьшению электропроводности, высыханию и растрескиванию защитных покрытий.

Эксплуатацию устройства следует производить строго в соответствии с требованиями, изложенными в инструкции по эксплуатации.

Общие требования безопасности, меры и класс защиты от поражения электрическим током в соответствии с требованиями:

– ГОСТ 11487–88 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Нормы и методы испытаний на воздействие внешних механических и климатических факторов» [21];

– ГОСТ 12.2.007.0 –75 «Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» [29];

– ГОСТ 22782.0 – 81 «Электрооборудование взрывозащищенное. Общие технические требования и методы испытаний» [30];

– ГОСТ Р 51515-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоустойчивость радиовещательных приемников, телевизоров и другой бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Требования и методы испытаний. [31].

Габаритные, установочные и присоединительные размеры должны обеспечивать возможность встраивания синтезатора частот в радиоизмерительном комплексе и устойчивость на месте эксплуатации. Совместимость технических средств должна соответствовать ГОСТу 29254 –91. Устройство должно быть упаковано в индивидуальную тару, обеспечивающую его сохранность при транспортировании и хранении.

Устройство маркируется в соответствии с ГОСТ 27570.0–87 «Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Общие требования и методы испытаний» [32]. В качестве маркировки должны быть нанесены:

– наименование изготовителя или товарный знак;

– наименование модели или типа;

– условное обозначение степени защиты от влаги, если требуется.

Устройство синтезатора частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* должно отвечать общим требованиям эстетики по ГОСТ 12.2.049–80 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования». Эргономические   
требования к производственному оборудованию должны устанавливаться к тем его элементам, которые сопряжены с человеком при выполнении им трудовых действий в процессе эксплуатации, монтажа, ремонта, транспортирования и хранения производственного оборудования [33].

Устройство должно подвергаться приемосдаточным, периодическим, типовым испытаниям и испытаниям на надежность, а также приемочным испытаниям по ГОСТу 15.009–91 «Система разработки и постановки продукции на производство. Непродовольственные товары народного потребления» [34] и квалификационным испытаниям, при этом обязательными являются:

– внешний осмотр;

– испытание электрической прочности изоляции прибора без увлажнения по ГОСТу 27570.0 – 87 «Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Общие требования и методы испытаний» [32];

– испытание на функционирование.

Непродовольственные товары народного потребления, подлежащие разработке и постановке на производство, должны удовлетворять запросам населения с учетом возрастных, социальных и национальных групп потребителей, направлений развития ассортимента и моды, а также отвечать требованиям, обеспечивающим безопасность для жизни и здоровья населения и охрану окружающей среды.

Если перед началом испытаний устройство находились в климатических условиях, отличающихся от нормальных условий применения, испытания должны начинаться с выдержки их в нормальных условиях в течение 24 ч.

Выполнение всех выше приведенных требований позволит создать продукт высокого качества, способный конкурировать на рынке.

Техническое задание для синтезатора частоты на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* приведено в приложении А.

**3 СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАДИОЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА**

**3.1 Описание принципа работы проектируемого радиоэлектронного средства**

Схема электрическая принципиальная устройства синтезатор частоты на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A*, взятая из журнала «Радио», приведена в графических материалах к дипломному проекту.

Синтезатор частоты имеет следующие основные функции [10]:

– синтезатор частоты *VHF*1 (выход *OUT*1) с функцией *sweep*;

– синтезатор частоты *VHF*2 (выход *OUT*2) с дополнительным выходным делителем частоты на 10, 100, 1000 или 10000 (выход *TTL*/*D*).

Кроме того, прибор обладает дополнительными функциями [10]:

– тестовый режим;

– генератор одиночного импульса (таймер);

– два генератора пакета импульсов;

– генератор широтно-импульсная модуляции;

– генератор псевдослучайных чисел.

Схема электрическая принципиальная, представленная в журнале, показана на рисунке 3.1.

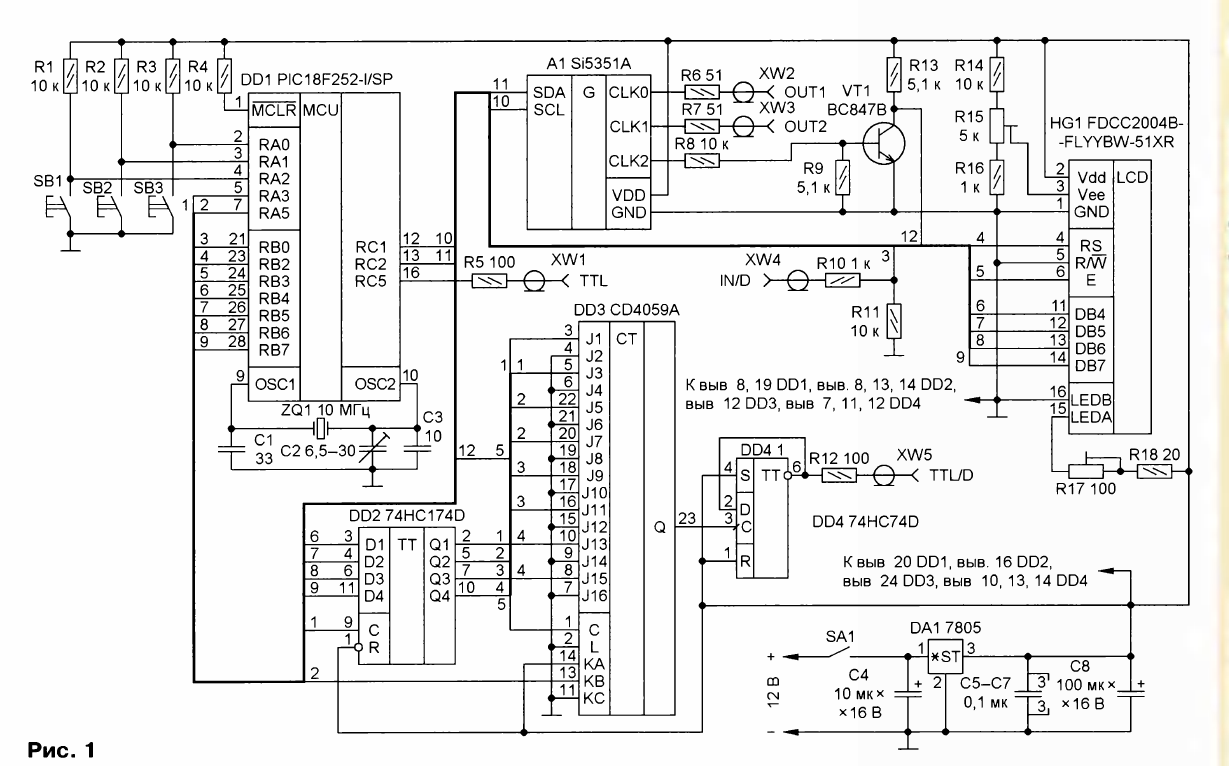


Рисунок 3.1 – Схема электрическая принципиальная

Информация выводится на четырёхстрочный жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) с 20 знакоместами. Индикация ЖКИ – англоязычная. При отключении прибора все установки сохраняются в энергонезависимой памяти. Синтезатор частоты имеет четыре выхода (*TTL*, *TTL*/*D*, *OUT*1 и *OUT*2) [10].

Основа устройства – микроконтроллер *PIC*18*F*252-*I*/*SP* (*DD*1), который управляет прибором. Программа для него написана на ассемблере в среде *MPLAB IDE* *v*.7.5. Тактовая частота микроконтроллера стабилизирована кварцевым резонатором *ZQ*1. Точное значение частоты тактового генератора регулируют подстроечным конденсатором *C*2 [10].

Микросхема *Si*5351*А* – это программируемый по интерфейсу I2C тактовый генератор, идеально подходящий для замены кварцевых резонаторов, кварцевых генераторов, *VCXO*, систем *PLL* и буферов. Она состоит из четырёх основных включённых друг за другом каскадов: входного блока, двух блоков синтеза и выходного блока. К входному блоку подключают внешний кварцевый резонатор или подают внешний тактовый сигнал. Первый каскад блока синтеза умножает входную частоту для получения высокой промежуточной частоты (600…900 МГц), а второй каскад синтеза использует дробные делители с высоким разрешением для генерации требуемых выходных частот. Дополнительное целочисленное деление получается на блоке выхода для получения низких выходных частот [10].

Матричные коммутаторы на каждом каскаде синтеза дают значительную гибкость при маршрутизации любых входов на любые выходы. К входам для кварцевого резонатора (*XA*, *XB*) модуля *Si*5351*А* подключают стандартные кварцевые резонаторы фиксированной частоты со срезом типа *AT* для запуска внутреннего генератора. Выход этого генератора используется как образцовая частота для работающих независимо друг от друга систем, в результате генерируются асинхронные по отношению друг к другу тактовые частоты. Выходной сигнал генератора будет работать на частоте используемого кварцевого резонатора 25 МГц или 27 МГц [10].

Есть возможность программно подстраивать внутренние конденсаторы нагрузки, чтобы устранить необходимость в дополнительных внешних компонентах, подключаемых к кварцевому резонатору модуля *Si*5351*А*. Опции настройки позволяют выбрать конденсаторы ёмкостью 0, 6, 8 или 10 пФ. Кварцевые резонаторы, требующие конденсаторов другой ёмкости, подключают с дополнительными внешними конденсаторами [10].

Микросхема *Si*5351*А* имеет два генератора с *PLL* – *PLLA* и *PLLB* c целочисленным или дробным коэффициентом деления, три мультиплексированных делителя частоты *MS*0, *MS*1 и *MS*2 c целочисленным или дробным  
коэффициентом деления от 6 до 1800 и три делителя *R*0, *R*1 и *R*2 c целочисленным коэффициентом деления, равным 1, 2, 4, 8, …, 128 [10].

При частоте *PLL*, равной 600 МГц, получаем минимальную частоту на выходе около 2,6 кГц. Для получения хорошего выходного сигнала используются для выходов *CLK*0 – *CLK*2 делители частоты *MS*0, *MS*1 и *MS*2 c целочисленным коэффициентом деления, тогда для *PLLA* и *PLLB* используется дробный коэффициент. *PLLA* используем для выхода *CLK*0, а *PLLB* – для выходов *CLK*1 и *CLK*2 [10].

На частотах 150…250 МГц используется делитель с коэффициентом деления *К* = 4. Этот диапазон частот определяет микроконтроллер и по интерфейсу *I*2*S* производит необходимые установки [10].

В диапазоне частот от 10 до 300 кГц используются дополнительные делители *R*0, *R*1 и *R*2, которые находятся внутри синтезатора частоты. Для установки параметров микросхемы *Si*5351*А* необходимо произвести установки 187 регистров, большинство из которых участвуют в установке частоты и тока выходов. Поэтому микроконтроллер производит расчёт и загрузку в модуль *Si*5351*А* по интерфейсу *I*2*S* всех необходимых параметров [10].

Триггер-защёлка 74*HC*174*D* (*DD*2) запоминает установленный коэффициент деления на входе программируемого делителя частоты. На входы *D*1– *D*4 триггера-защёлки от микроконтроллера поступает сигнал в параллельном коде. Далее микроконтроллер подаёт импульс на вход *C*. По фронту этого импульса происходит запись информации в триггер-защёлку, и на его выходах появляется код, соответствующий входному коду [10].

Работу делителя частоты иллюстрирует осциллограмма (рисунок 3.2). На канал *А* подан сигнал с выхода *OUT*2 синтезатора частоты *А*1. Канал *В* подключён к выходу программируемого делителя частоты *DD*3. Канал *C* подключён к выходу делителя *DD*4. Канал *D* подключён к входу *KB* *DD*3. Когда на входе *KB* появляется высокий уровень, происходит перезапись коэффициента деления с выходов триггера *DD*2 во внутренние регистры программируемого делителя *DD*3 за три такта входного сигнала [10].

Далее происходит деление входного сигнала. Как только число импульсов на входе делителя приравняется установленному коэффициенту деления, на выходе делителя частоты появится высокий уровень, по длительности равный периоду входного сигнала. Далее процесс деления входного сигнала повторяется. Запись в триггер *DD*2 происходит по фронту импульса на входе *C*, который поступает от микроконтроллера с вывода *RA*3. Но предварительно микроконтроллер устанавливает выбранный коэффициент деления на входах *D*1– *D*4 триггера *DD*2 [10].

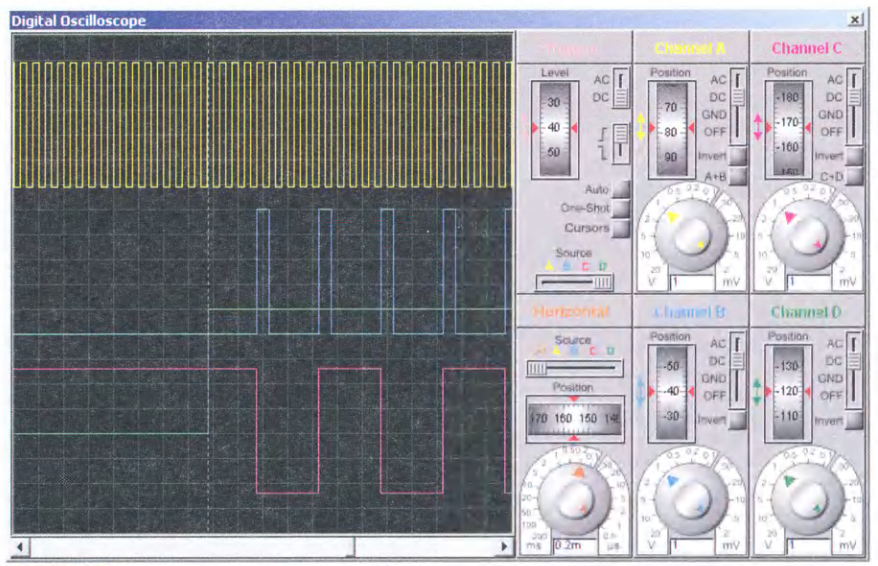


Рисунок 3.2 – Осциллограмма работы делителя частоты

Высокий уровень на входе *D*1 соответствует коэффициенту деления 5, высокий уровень на входе *D*2 – коэффициенту деления 50, высокий уровень на входе *D*3 – коэффициенту деления 500, высокий уровень на входе *D*4 – коэффициенту деления 5000 [10].

Прибор имеет три кнопки управления [10]:

– включение и выключение режима синтезатора – *START* (*SB*1);

– выбор параметра – *RANGE* (*SB*3);

– установка значения параметра – *SET* (*SB*2).

**3.2 Анализ схемы электронной принципиальной**

Прибор собран на микроконтроллере *PIC*18*F*252-*I*/*SP* и модуле синтезатора частоты *Si*5351*A*.

Микроконтроллер *PIC*18*F*252-*I*/*SP –* это высокопроизводительный усовершенствованный флэш-микроконтроллер, который имеет удобную среду разработки для компилятора *C*, 256 байт *EEPROM*, самопрограммирование, 2 функции захвата/сравнения, 5 каналов 10-битного аналого-цифрового преобразователя, синхронный последовательный порт может быть сконфигурирован как 3-проводной последовательный периферийный интерфейс или 2-проводная шина *Inter-Integrated Circuit* и адресный универсальный асинхронный приемник-передатчик. Все эти функции делают его идеальным для производственного оборудования, сбора данных, кондиционирования питания и мониторинга окружающей среды [35].

Синтезатор частоты на микросхеме *Si*5351*A* (*А*1) – это модуль, в котором применены стабилизатор напряжения 3,3В, преобразователь уровня интерфейса *I*2*C* и генератор, стабилизированный кварцевым резонатором [10].

Базируясь на архитектуре *PLL*/*VCXO* + *high resolution MultiSynth fractional divider*, *Si*5351 может генерировать любую частоту до 200 МГц на каждом из выходов с нулевым отклонением от заданного значения. Для удовлетворения различным требованиям приложений *Si*5351 выпускается в 3 версиях. *Si*5351*A* генерирует до 8 не зависящих друг от друга тактовых сигнала, используя внутренний генератор, что позволяет заменить несколько кварцев или кварцевых генераторов [36].

Стабилизатор напряжения питания +5В собран на микросхеме 7805 (*DA*1). Стабилизаторы постоянного выходного напряжения серии *L*78 полезны в широком спектре приложений в электронной промышленности. Трехконтактные положительные линейные регуляторы напряжения могут устранить проблемы, связанные с одноточечным регулированием, путем обеспечения местного регулирования на плате. ИС регулятора *ST* может выдавать до 1,5 А при фиксированном выходном напряжении, которое может находиться в диапазоне от 5 В до 24 В. Регулятор напряжения обеспечивает защиту безопасной зоны с добавлением внутреннего теплового отключения и ограничения тока [37].

Конденсаторы *C*4 – *C*8 – блокировочные по цепи питания. Вся информация выводится на ЖКИ *FDCC*2004*B*-*FLYYBW*-51*XR* (рисунок 3.3). Передача информации от микроконтроллера осуществляется тетрадами. Подстроечным резистором *R*17 регулируют яркость подсветки ЖКИ. Подстроечным резистором *R*15 регулируют контрастность индикатора [10].

Подстроечный резистор *SH-*655*MCL* – переменный резистор, пассивный электронный компонент, предназначенный для точной настройки заданных параметров.

Резисторы *R*1 – *R*3 поддерживают высокий уровень на входах микроконтроллера, резистор *R*4 – токоограничивающий. Кнопками *SB*1– *SB*3 происходит управление работой прибора [10].

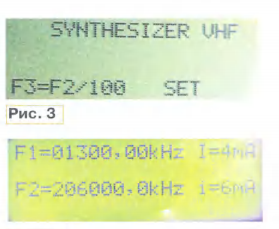


Рисунок 3.3 – ЖКИ с различными видами информациии

На микросхеме *CD*4059*A* (*DD*3) собран программируемый делитель частоты. Входы программируемого делителя коммутированы так, чтобы получить четыре коэффициента деления – 5, 50, 500, 5000. Выход программируемого делителя частоты подключён к входу *C* (вывод 3) *D*-триггера на одной половине микросхемы 74*HC*74*D* (*DD*4), включённого по схеме делителя на два. Вторая часть этой микросхемы не используется. С выхода *D*-триггера через резистор *R*12 сигнал с коэффициентом деления 10, 100, 1000, 10000 поступает на выходной разъём *XW*5 [10].

На резисторах *R*8, *R*9, *R*13 и транзисторе *VT*1 собран преобразователь уровня для согласования выхода синтезатора частоты и входа программируемого делителя [10].

Основная область применения биполярных транзисторов – усиление слабого сигнала за счет дополнительного источника питания.

Подробные характеристики описаны в главе 4.1.

**4 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРОЕКТИРУЕМОГО  
ИЗДЕЛИЯ**

**4.1 Выбор и обоснование элементной базы, конструктивных**

**элементов, установочных изделий, материалов конструкции   
и защитных покрытий, маркировки деталей и сборочных единиц**

Выбор элементной базы проводится согласно схеме электрической принципиальной. Используемая элементная база представлена в перечне элементов, представленном в приложении Д.

Для правильного выбора типа элементов необходимо на основании требований к установке в части климатических, механических и других воздействий проанализировать условия работы каждого элемента и определить эксплуатационные факторы: интервал рабочих температур, относительную влажность окружающей среды, атмосферное давление, механические нагрузки и др.

Критерием отбора электрорадиоэлементов (ЭРЭ) является соответствие технических и эксплуатационных характеристик ЭРЭ заданным условиям работы и эксплуатации [37].

Выбор элементной базы по вышеназванным критериям позволяет обеспечить надежную работу изделия [37].

Дополнительными критериями при выборе ЭРЭ являются:

– унификация;

– масса и габариты;

– наименьшая стоимость;

– надежность.

С учетом всех выше перечисленных параметров был осуществлен выбор элементной базы для синтезатора частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A*.

Основные технические параметры выключателя клавишного приведены в таблице 3.1 [38].

Таблица3.1 – Технические параметры выключателя клавишного

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Рабочее напряжение, В | 250 |
| Максимально допустимый ток, А | 16 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 11,0×19,5×10,0 |
| Масса, г | 0,025 |

Делитель частоты – электронное устройство, уменьшающее частоту подаваемых на него периодичных колебаний. Основные технические параметры делителя частоты приведены в таблице 3.2 [39].

Таблица3.2 – Технические параметры делителя частоты

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Корпус | *SO-16* |
| Максимальное рабочее напряжение, В | 12 |
| Рабочая температура, *˚С* | –55 … +125 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 10,6×15,6×2,35 |
| Масса, г | 1,24 |

ЖК-индикатор означает жидкокристаллический экран. Данная технология получила такое название благодаря применению уникального вещества, которое всегда находится в жидком состоянии и обладает оптическими свойствами, присущими кристаллам. Основные технические параметры ЖКИ приведены в таблице 3.3 [40].

Таблица3.3 – Технические параметры ЖКИ

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Рабочее напряжение, В | 5 |
| Рабочая температура, *˚С* | – 20 … +85 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 42×24,3×7 |
| Масса, г | 75 |

Основные технические параметры тактовой кнопки приведены в таблице 3.4 [41].

Таблица3.4 – Технические параметры тактовой кнопки

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Рабочее напряжение, В | 3,5 |
| Рабочий ток, А | 0,05 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 6,0×6,0×7,0 |
| Масса, г | 5 |

Конденсаторы керамические *SMD* 0805 – постоянные конденсаторы, использующие керамический материал в качестве диэлектрика. Основные технические параметры конденсаторов приведены в таблице 3.5 [42].

Таблица3.5 – Технические параметры конденсаторов керамических

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Рабочее напряжение, В | 50 |
| Номинальная емкость | 33 пФ (для *C*1), 10 пФ (для *C*3),  0,1 мкФ (для *C*5 – *C*7) |
| Допуск, % | 5 (для *C*1 и *C*3), 10 (для *C*5 – *C*7) |
| Рабочая температура, *˚С* | –55 … +125 |
| Тип диэлектрика | *X*7*R* |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 2,0×1,25×1,0 |
| Масса, г | 0,0055 |

Конденсаторы алюминиевые электролитические – разновидность конденсаторов, в которых диэлектриком между обкладками является плёнка оксида металла, где анод выполнен из металла, а катод представляет собой твёрдый, жидкий или гелевый электролит. Основные технические параметры электролитических конденсаторов приведены в таблице 3.6 [43].

Таблица3.6 – Технические параметры конденсаторов электролитических

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Рабочее напряжение, В | 16 |
| Номинальная емкость, мкФ | 10 |
| Допуск, % | 20 |
| Рабочая температура, *˚С* | –40 … +105 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 6,3×7,8×5,4 |
| Масса, г | 0,295 |

Конденсаторы подстроечные – это миниатюрные конденсаторы переменной ёмкости. Подстроечные конденсаторы рассчитаны для установки непосредственно на печатную плату и служат для точной подстройки узлов схемы непосредственно после сборки и в процессе эксплуатации. Они не предназначены для интенсивного использования. Основные технические параметры подстроечных конденсаторов приведены в таблице 3.7 [44].

Таблица3.7 – Технические параметры конденсаторов подстроечных

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Рабочее напряжение, В | 100 |
| Номинальная емкость, пФ | 6,5 – 30 |
| Допуск, % | 20 |
| Рабочая температура, *˚С* | –25 … +85 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 3,2×4,5×1,45 |
| Масса, г | 0,05 |

Микроконтроллере *PIC*18*F*252 это высокопроизводительный усовершенствованный флэш-микроконтроллер, который идеально подходит для производственного оборудования, сбора данных, кондиционирования питания и мониторинга окружающей среды. Основные технические параметры микроконтроллера *PIC*18*F*252 приведены в таблицах 3.8 [45].

Таблица3.8 – Технические параметры микроконтроллера *PIC*18*F*252

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Корпус | *Sois–28* |
| Максимальный выходной ток, А | 0,5 |
| Выходное напряжение, В | 4,2 |
| Рабочее напряжение, В | 2 – 5,5 |
| Рабочая температура, *˚С* | –40 … +85 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 7,49×17,90×2,65 |
| Масса, г | 1,7 |

Высокочастотные разъемы предназначены для соединения коаксиального кабеля в электронных цепях передачи сигнала высокой частоты с согласованием. Обеспечивают надежное соединение. Основные технические параметры коаксиального разъема приведены в таблице 3.9 [46].

Таблица3.9 – Технические параметры разъема

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Импедакс, А | 50 |
| Максимальная частота, ГГц | 4 |
| Рабочая температура, *˚С* | –65… +165 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 17,0×17,0×25,5 |
| Масса, г | 3,4 |

Основные технические параметры штыревого разъема *AMPMODU* приведены в таблице 3.10 [47].

Таблица3.10 – Технические параметры разъема

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Номинальный ток, А | 3 |
| Предельное напряжение, В | 20 |
| Сопротивление контактов, мОм | 20 |
| Рабочая температура, *˚С* | –55… +105 |
| Размер шага, мм | 2,54 |
| Масса, г | 0,2 |

Резисторы *SMD* 0805 для поверхностного монтажа– резисторы постоянные непроволочные общего применения, предназначены для работы в электрических цепях постоянного, переменного токов и в импульсном режиме. Основные технические параметры резисторов приведены в таблице 3.11 [48].

Таблица3.11 – Технические параметры резисторов 0805

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Корпус | 0805 |
| Номинальная мощность, Вт | 0,125 |
| Номинальное сопротивление | 10 кОм (для *R*1– *R*4, *R*11*, R*14),  100 Ом (для *R*5, *R*12),  56 Ом (для *R*6, *R*7),  5,1 кОм (для *R*9, *R*13),  1 кОм (для *R*10, *R*16), 20 Ом (для *R*18) |
| Допуск, % | 1 – 5 |
| Рабочая температура, *˚С* | –55 … +125 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 2×1,25×0,5 |
| Масса, г | 0,01 |

Резистор подстроечный *SH-*655*MCL* – переменный резистор, пассивный электронный компонент, предназначенный для точной настройки заданных параметров. Основные технические параметры подстроечного резистора приведены в таблице 3.12 [49].

Таблица3.12– Технические параметры подстроечного резистора

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Корпус | *SH-*655*MCL* |
| Номинальная мощность, мВт | 100 |
| Номинальное сопротивление | 100 Ом для *R*17, 5 кОм для *R*15 |
| Допуск, % | 20 |
| Рабочая температура, *˚С* | –25 … +85 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 5,1×6,4×7,5 |
| Масса, г | 0,37 |

Резонатор кварцевый *HC-*49*SM –*10MГ*ц* – это радиоэлемент, который способен совершать колебания с максимальной амплитудой, то есть резонировать, при воздействии внешней силы определенной частоты и формы. Основные технические параметры приведены в таблице 3.13 [50].

Таблица3.13 – Технические параметры кварцевого резонатора

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Корпус | *HC-*49*SM* |
| Рабочая температура, *˚С* | –60 … +85 |
| Диапазон частот, МГц | 2000 – 35000 |
| Динамическое сопротивление, Ом | 25 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 12,0×4,7×5,0 |
| Масса, г | 0,001 |

Микросхема *Si*5351*А* – это программируемый по интерфейсу *I*2*C* тактовый генератор, идеально подходящий для замены кварцевых резонаторов, кварцевых генераторов, *VCXO*, систем *PLL* и буферов. Основные технические параметры микросхемы приведены в таблице 3.14 [51].

Таблица3.14 – Технические параметры микросхемы

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Мощность рассеивания, Вт | 0,25 |
| Выходное сопротивление, Ом | 50 |
| Напряжение питания, В | 3,3 – 5 |
| Рабочая температура, *˚С* | – 40 … +85 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 4,9×3,0×1,10 |
| Масса, г | 0,18 |

Устройства, которые входят в схему блока питания, и поддерживают стабильное выходное напряжение, называются стабилизаторами напряжения. Эти устройства рассчитаны на фиксированные значения напряжения выхода: 5, 9 или 12 вольт. Основные технические параметры стабилизатора приведены в таблице 3.15 [52].

Таблица3.15 – Технические параметры стабилизатора напряжения

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Корпус | *SOT-*89 |
| Выходное напряжение, В | 5 |
| Максимально допустимый ток, А | 0,1 |
| Рабочая температура, *˚С* | –40 … +125 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 3,97×4,25×1,6 |
| Масса, г | 0,1 |

Биполярный транзистор *BC*847*B-TP* – полупроводниковый прибор, основной функцией которого является увеличение мощности входного электрического сигнала. Основные технические параметры транзистора приведены в таблице 3.16 [53].

Таблица3.16 – Технические параметры биполярного транзистора

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Корпус | *SOT-23* |
| Мощность рассеивания, Вт | 0,25 |
| Максимально допустимый ток, А | 0,1 |
| Рабочая температура, *˚С* | –55 … +150 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 3,25×2,65×1,12 |
| Масса, г | 0,05 |

*D*-триггером называется триггер с одним информационным входом, работающий так, что сигнал на выходе после переключения равен сигналу на входе *D* до переключения. Основное назначение – задержка сигнала, поданного на вход *D*. Основные технические параметры D–триггера приведены в таблице 3.17 [54].

Таблица3.17 – Технические параметры *D*–триггера

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Корпус | *SO-14* |
| Максимальное напряжение, В | 5 |
| Максимально допустимый ток, А | 5,2 |
| Рабочая температура, *˚С* | –40 … +125 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 6×8,6×1,12 |
| Масса, г | 0,25 |

Основные технические параметры двойного *D*-триггера приведены в таблице 3.18 [55].

Таблица3.18 – Технические параметры триггера

|  |  |
| --- | --- |
| Технические параметры | Значения параметров |
| Корпус | *TSSOP* |
| Максимальное напряжение питания, В | 5 |
| Выходной ток, мА | 25 |
| Рабочая температура, *˚С* | –40 … +125 |
| Габаритные параметры, д×ш×в, мм | 9,075×19,03×1,75 |
| Масса, г | 0,35 |

Материал печатной платы должен иметь высокие электроизоляционные свойства, малые диэлектрические потери, обладать высокой химической стойкостью к действию химических растворов, используемых при изготовлении печатных плат, допускать штамповку, выдерживать кратковременные воздействия температуры до 240 ˚С в процессе пайки на плате ЭРЭ, иметь высокую влагостойкость, быть недорогим [56].

Таким образом, в качестве материла ПП в соответствии с ГОСТ 10316–78 целесообразно использовать стеклотекстолит СФ2–35–1,5 [57].

Выбор материалов для конструкций и деталей РЭС является сложной задачей из–за многовариантности, так как изделие РЭС можно создавать либо из различных материалов, либо из их сложных совокупностей [58].

Правильный выбор материала может быть сделан на основе анализа функционального назначения детали, условий ее эксплуатации и технологических показателей с учетом следующих факторов:

– материал является основой конструкции, т.е. определяет способность детали выполнять рабочие функции в изделии и противостоять воздействию дестабилизирующих климатических и механических факторов;

– материал влияет на габариты и массу прибора;

– материал определяет эксплуатационные характеристики детали, ее надёжность и долговечность.

В качестве материала конструкции синтезатора частоты на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* целесообразно использовать пластик *Kradex* *Z* –33.

В качестве защитного покрытия ПП используется лак УР–231,02,4 ТУ6–21–14–60. В качестве защитного покрытия изделия применяется светло-серая эмаль ПФ 115 ТУ 2312–002–54505268–201. Покрытие печатных проводников, контактных площадок и металлизированных отверстий сплавом бессвинцовым *Stannol Kristall* 511 *ISO* 9453:2014.

Маркировка печатной платы синтезатора частоты на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* осуществляется белой краской МКЭБ по СТБ 992 – 95 и путем травления 3.0 – ПРЗ по СТБ 992 – 95.

**4.2 Выбор типа электрического монтажа, элементов крепления**

**и фиксации**

Печатная плата является основным элементом электронного устройства, выполняя функции несущей конструкции и коммутационного устройства.  
ПП – это изделие, состоящее из плоского изолированного основания с отверстиями, пазами, вырезами и системой токопроводящих полосок металла, которые используют для коммутации изделия и функциональных узлов в соответствии с схемой электрической принципиальной [59].

В дипломном проектировании необходимо использовать двустороннюю печатную плату. ПП синтезатора частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* на обеих сторонах располагаются элементы проводящего рисунка и все требуемые соединения в соответствии со схемой электрической принципиальной.

Чертеж ПП синтезатора частот приведен в графических материалах курсовой работы.

Электрическая связь между сторонами осуществляется с помощью металлизированных отверстий. Для получения высоких производственных и эксплуатационных характеристик электрический монтаж должен обеспечить [59]:

– минимальное искажение и задержку полезных сигналов;

– высокую надёжность;

– допустимый уровень помех;

– минимальные габариты и вес.

Важнейшим элементом электрического монтажа являются соединения, которые должны удовлетворять ряду требований. Наиболее важные из которых являются минимальное переходное сопротивление контактной пары и достаточная механическая прочность [59].

В дипломном проектировании используются как элементы поверхностного монтажа, так и элементы сквозного монтажа. В качестве типа монтажа используется смешанно-разнесенный монтаж. Компоненты, устанавливаемые в отверстия, располагаются на одной стороне платы, а *SMD* – другой. На рисунке 4.1 представлен вид сбоку печатной синтезатора частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A*.

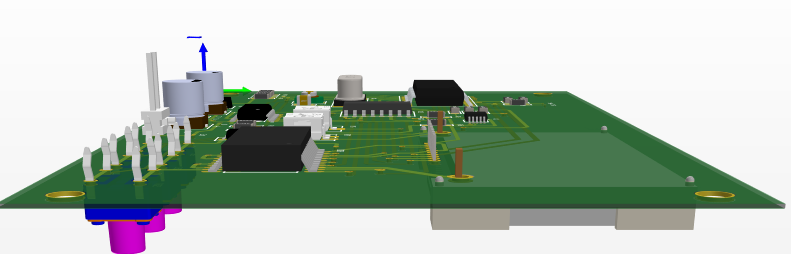


Рисунок 4.1 – Печатная плата устройства, вид сбоку

Реализация такого вида монтажа предполагает следующую последовательность операций: на поверхность платы наносится дозатором клей, на который устанавливаются SMD-компоненты, клей полимеризуется в печи, после чего производится установка компонентов в отверстия, промывка модуля и выполняются операции контроля (рисунок 4.2) [60].

Возможен альтернативный вариант, при котором сборку начинают с установки компонентов в отверстия платы, после чего размещают поверхностно-монтируемые компоненты [60].

Компоненты для поверхностного монтажа при повышенной плотности их размещения целесообразно монтировать в первую очередь, что требует минимального количества переворотов платы в процессе изготовления изделия. [60].

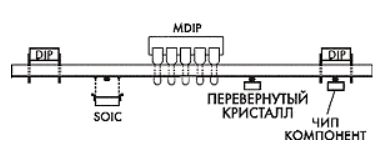


Рисунок 4.2 – Смешанно-разнесенный монтаж

Крепление и фиксация ПП в устройстве осуществляется при помощи четырех крепежных отверстий с использованием винтов М3×8.

**4.3 Выбор способов обеспечения нормального теплового режима устройства (выбор способа охлаждения на ранней стадии  
проектирования; выбор наименее теплостойких элементов,   
для которых необходимо проведение теплового расчета)**

Выбор способа охлаждения РЭС на ранней стадии конструирования дает возможность оценить вероятность обеспечения, указанного в ТЗ теплового режима при выбранном способе охлаждения, а также те усилия, которые нужно затратить при разработке будущей конструкции РЭС с учетом обеспечения теплового режима.

Для выбора способа охлаждения на ранней стадии проектирования была использована методика, изложенная в [37].

Для выбора способа охлаждения требуются следующие исходные данные:

– суммарная рассеиваемая в блоке мощность *Р* – 300 мВт;

– диапазон изменения температуры окружающей среды *Tc min*… *Tc max*– в соответствии с УХЛ 4.2 [20] – 1 °C и 40 °C;

– допустимые температуры элементов *Ti* – 423 К;

– коэффициент заполнения устройства по объему *КЗ* – в соответствии с ТЗ – 0,5;

– габаритные горизонтальные и вертикальные размеры корпуса устройства *L1*, *L2* и *L3* – 0,17, 0,12 и 0,05 м соответственно.

Коэффициент заполнения устройства по объему характеризует степень полезного использования объема и является одним из главных показателей качества конструкции.

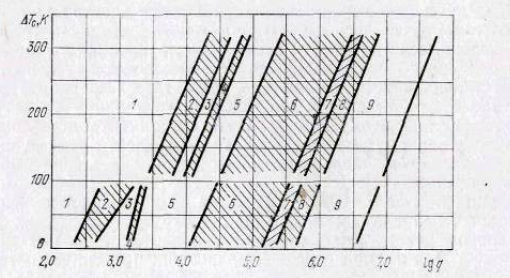
Выбор способа охлаждения можно осуществить с помощью графиков, характеризующих области целесообразного применения различных способов охлаждения (рисунок 4.3). Эти графики построены по результатам обработки статистических данных для реальных конструкций, тепловых расчетов и данных испытания макетов [61].

Рисунок 4.3 – Области целесообразного применения различных   
способов охлаждения

Для удобства пользования графиками необходимо из перечисленных выше исходных данных получить ряд комплексных показателей.

Размеры корпуса и коэффициент заполнения используются для определения условной величины поверхности теплообмена:

(5.1)

За основной показатель, определяющий область применения целесообразного способа охлаждения, принимается величина плотности теплового потока, проходящего через поверхность теплообмена:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5.2) |

где *Kp* – коэффициент, учитывающий давление воздуха (при атмосферном давлении *Kp* = 1).

Вторым определяющим показателем может служить минимально допустимый перегрев элементов РЭС:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5.3) |

где *Ti min*– допустимая температура корпуса наименее теплостойкого элемента, т. е. элемента, для которого допустимая температура имеет минимальное значение;

*Tc*– температура окружающей среды.

Для естественного охлаждения *Tc* = *Tc max*, т. е. она соответствует максимальной температуре окружающей среды, заданной в ТЗ.

Значение *Tс min* = 110 К и *lg q* = 0,73.

Исходя из графиков, представленных на рисунке 3.3, и расчетов получаем рекомендацию к использованию естественного воздушного охлаждения.

Для определения наименее теплостойких элементов, для которых необходимо проведение теплового расчета, была использована методика, изложенная в методическом пособии «Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры» Роткопа, Л. [61].

Средний перегрев воздуха в блоке:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5.4) |

где *TB* – средняя температура в блоке.

## Мощность, рассеиваемая элементом, . Площадь поверхности усройства, омываемая воздухом, . Определяем удельную мощность элемента:

(5.5)

## Рассчитываем перегрев поверхности элемента:

(5.6)

где *ϑз* – перегрев нагретой зоны;

– удельная мощность нагретой зоны.

Тогда:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5.7) |

Дальнейшему расчету подлежат те элементы, для которых выполняется условие:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5.8) |

Таким образом, выполнив сравнение максимальных температур элементов с температурой 316,36 К можно сделать вывод, что подробный тепловой расчет наименее теплостойких элементов не требуется.

Был проведен выбор способа охлаждения на ранней стадии проектирования. Результатом, которого является проектирование герметичного корпуса с естественным воздушным охлаждением. Было установлено, что в проведении теплового расчета для наименее теплостойких элементов нет необходимости.

**4.4 Выбор и обоснование метода изготовления печатной платы**

Для межконтактных соединений в конструкциях РЭС на первом иерархическом уровне применяется в основном печатный монтаж (с помощью печатных плат). Применение печатных плат создает предпосылки для механизации и автоматизации процессов сборки РЭС, повышает их надежность, обеспечивает повторяемость параметров монтажа (емкость, индуктивность) от образца к образцу [37].

Печатная плата – это один или более слоев диэлектрика, на котором сформирована хотя бы одна токопроводящая цепь. Предназначена печатная плата для соединения отдельных электронных элементов или узлов в единое действующее устройство [37].

Печатные платы имеют основные технические требования в соответствии с ГОСТ 23752–79 [63]. Элементами печатных плат являются диэлектрическое основание, металлическое покрытие в виде рисунка печатных проводников и контактных площадок, монтажные и фиксирующие отверстия. ГОСТ 23752–79 определяет требования к конструкции и внешнему виду ПП, к устойчивости при климатических и механических воздействиях и т. д.

Основные технические требования к печатным платам:

1 Габаритные размеры печатной платы не должны превышать установленных значений. Толщина печатной платы выбирается из следующего ряда значений: 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм.

2 Плотность монтажа определяется шириной проводников и расстоянием между ними. В соответствии с ГОСТ 23751–86 для печатных плат установлено пять классов точности монтажа [62].

3 Трассировку рисунка схемы проводят по координатной сетке с шагом 2,5; 1,25; 0,625 мм. Минимальные диаметры отверстий, располагаемых в узлах координатной сетки, зависят от максимального диаметра вывода навесного элемента, наличия металлизации и толщины платы.

4 Плотность тока в печатных проводниках наружных слоев плат не должна превышать 20 А/мм².

5 Сопротивление изоляции зависит от материала диэлектрического основания и характера электрических цепей, для стеклотекстолита оно должно быть не менее 104 МОм.

6 Плотность сцепления печатных проводников с основанием должна составлять не менее 15 МПа.

7 Допустимый уровень рабочего напряжения зависит от расстояния между проводниками: для 2 – 4 классов *Uраб* − до 50 В, для 1 класса *Uраб* − до 100 В.

8 Контактные площадки должны смачиваться припоем за 3 – 5 секунд и выдерживать не менее трех перепаек.

В соответствии с ГОСТ 10317–79 рекомендуется использовать платы прямоугольной формы, размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными 2,5; 5 или 10 при длине соответственно до 110 [63]. Данные ограничения обусловлены в основном возможностями технологического оборудования по изготовлению ПП. При необходимости возможно отклонение габаритов, соотношения сторон и формы ПП от рекомендуемых.

ГОСТ 23751–86 устанавливает основные конструктивные параметры ПП (размеры печатных проводников, зазоров, контактных площадок, отверстий и т. п.), электрические параметры и т.д. [62].

При выборе толщины печатных плат учитывают метод изготовления и предъявляемые к ним механические требования.

В зависимости от сложности схемы, реализуемой на ПП, и руководствуясь экономическими критериями, выбирают тип ПП.

По конструктивному исполнению печатные платы подразделяют на односторонние, двусторонние и многослойные. В зависимости от жесткости материала основания, определяемой его характеристиками и толщиной   
основания, различают гибкие (толщина до 0,5 мм) и жесткие (толщина свыше 0,5 мм) печатные платы. При рассмотрении конструкций односторонних и двусторонних ПП, полученных нанесением проводящего рисунка с одной или двух сторон, следует обратить внимание на то, что необходимые электрические соединения в них выполняются с помощью либо металлизированных отверстий, либо контактных площадок [59].

В дипломном проектировании для синтезатора частоты на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* выбрана двусторонняя ПП.

Учитывая все вышеизложенные факторы, а также пользуясь информацией о допустимых значениях воздействующих факторов по группам жёсткости и условия эксплуатации в соответствии с ГОСТ 15150–69 было принято, что печатная плата имеет 1 группу жёсткости.

Класс точности определяет минимальные значения основных размеров конструктивных элементов (ширина проводника, расстояния между центрами двух проводников (контактных площадок), ширина гарантийного пояска металлизации контактной площадки и др.). ГОСТ 23751–86 определяет 5 классов точности [62].

В дипломном проектировании разрабатывается ПП 3 класса точности. Для ПП 3 класса точности необходимо использовать высококачественные материалы, более точный инструмент и оборудование.

Печатные платы 3 класса наиболее распространенные, поскольку обеспечивают достаточно высокую плотность трассировки и монтажа, и для их производства требуется рядовое, хотя и специализированное, оборудование.

Для изготовления двусторонней ПП с металлизацией отверстий применяют комбинированные негативный и позитивный методы, сочетающие в себе принципы химических и электрохимических методов.

При негативном методе экспонирование рисунка печатного монтажа осуществляется с фотонегатива, травление медной фольги с пробельных мест производится до металлизации отверстий. После травления рисунка нужно не только сверлить отверстия, но и их металлизировать. Для этого необходимо принимать меры по созданию проводящею подслоя в отверстиях [64].

Поэтому перед сверлением плату [64]:

– покрывают защитной «лаковой рубашкой»;

– сверлят через нее отверстия;

– химически металлизируют всю заготовку.

Лаковую рубашку наносят так, чтобы она легко отслаивалась. После ее удаления химически осажденный металл остается только в отверстиях.

Недостатки негативного метода [64]:

1 При металлизации отверстий открытые участки диэлектрического основания насыщаются химическими растворами, что в свою очередь, повышает их проводимость. Надежность изоляции, реализуемая этим методом – низкая.

2 Для гальванической металлизации отверстий возникают большие затруднения для организации электрического контакта стенок отверстий с катодом гальванической ванны. Это обуславливает наличие заметного количества непрокрытых или плохо прокрытых отверстий.

3 При отделении лаковой рубашки возможно частичное разрушение проводящего подслоя в отверстиях. Условия для электрохимической металлизации нарушаются. В связи с этим негативный метод уступил в распространении позитивному.

Позитивный метод предусматривает экспонирование с фотопозитива. Операция травления осуществляется после металлизации отверстий, а для соединения металлизируемых отверстий с катодом используется еще не вытравленная фольга, изначально присутствующая на поверхности заготовки [64].

Преимущества позитивного метода [64]:

– возможность воспроизведения всех типов печатных элементов с высокой степенью разрешения;

– защищенность фольгой изоляции от технологических растворов – хорошая надежность изоляции;

– хорошая прочность сцепления (адгезия) металлических элементов платы с диэлектрическим основанием.

Недостатки позитивного метода [64]:

– относительно большая глубина травления (фольга + металлизация затяжки) создает боковое подтравливание, что существенно ограничивает разрешающую способность процесса;

– травление рисунка по металлорезисту ограничивает свободу выбора травящих растворов;

– после травления рисунка схемы, металлорезист или осветляют   
для улучшения паяемости, или удаляют и, после нанесения паяльной маски, осаждают финишные покрытия под пайку. Оба варианта требуют дополнительных капитальных затрат и прямых расходов.

Единственным преимуществом негативного метода на ранних стадиях развития производства печатных плат с металлизированными отверстиями являлась возможность сверления отверстий по сформированному рисунку печатной платы, когда контактные площадки можно было использовать как мишень для ручного сверления отверстия [64].

Приняв во внимание все выше перечисленное, был сделан вывод, что

в дипломном проектировании в качестве метода ПП будет комбинированный позитивный метод.

**4.5 Выбор конструкторских решений, обеспечивающих удобство**

**ремонта и эксплуатации устройства**

Цель процесса конструирования – спроектировать малогабаритную, высокоэффективную и надежную аппаратуру, производство и эксплуатация которой потребует ограниченного расхода трудовых, энергетических и материальных ресурсов [58].

Эффективность и качество конструкций РЭС характеризуется системой показателей. Важнейшим из них является технологичность, под которой понимается совокупность свойств конструкции изделия, обеспечивающая оптимизацию затрат при производстве, эксплуатации, ремонте с учётом заданных показателей качества [58].

Технологичность конструкции изделия – это совокупность ее свойств, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте [33].

Вид технологичности определяется признаками, характеризующими область проявления технологичности конструкции изделия [34].

Различают технологичность конструкции:

– производственную;

– эксплуатационную;

– ремонтную.

Производственная технологичность определяет объём работ по технологической подготовке производства, сложность изготовления, удобство монтажа вне предприятия – изготовителя.

Эксплуатационная технологичность определяет объём работ при подготовке изделия к работе, техническому ремонту и утилизации [54].

Эксплуатационная технологичность конструкции изделия выражается в сокращении затрат времени и средств на техническое обслуживание и ре­монт изделия [34].

Ремонтная технологичность характеризует свойства изделия при проведении всех видов ремонта, кроме текущего.

С учетом всех выше приведенных показателей, обеспечивающих удобство ремонта и эксплуатации, был спроектирован корпус для синтезатора частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A*.

Корпус устройства представляет собой прямоугольный параллелепипед со скругленными кромками. На лицевой панели в левой части располагается ЖКИ и кнопки управления, которые необходимы для генерации различных режимов, отображающихся на индикаторе.

Разъем для подключения к сети питания расположен на задней панели синтезатора частот. На верхней части корпуса располагаются отверстия для 5 коаксиальных разъемов, а в левой части – для кнопки включения и выключения устройства. Для удобства эксплуатации внизу двух частей корпуса имеются четыре силиконовые ножки.

Таким образом, удобство эксплуатации разрабатываемого изделия достигается его небольшими габаритными размерами и отсутствием выступающих частей корпуса.

Крепления двух частей корпуса осуществляется при помощи четырех саморезов. Осуществление ремонта изделия должно осуществляться максимально просто, при этом процедура разборки не должна занимать длительное время. В связи с этим, требовалось максимально сократить число крепежных элементов, при этом сохраняя жесткость конструкции и надежность сборки. Доступ к печатной плате изделия достигается отвинчиванием саморезов и снятием части корпуса. Поэтому в случае ремонта процедура разборки не должна занимать длительное время, что обеспечивает удобство ремонта.

**4.6 Обеспечение требований стандартизации, унификации  
и технологичности конструкции устройства**

Стандартизация направлена на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области посредством установления положений для всеобщего и многократного применения в отношении реально существующих или потенциальных задач [65].

Современная стандартизация базируется на следующих принципах [65]:

1 Системность определяет стандарт как элемент системы и обеспечивает создание систем стандартов, взаимосвязанных между собой сущностью конкретных объектов стандартизации. Предполагает обеспечение взаимной согласованности, непротиворечивости, унификации и исключение дублирования требований стандартов.

2 Повторяемость означает определение круга объектов, к которым применимы вещи, процессы, отношения, обладающие одним общим свойством – повторяемостью во времени или в пространстве.

3 Вариантность означает создание рационального многообразия стандартных элементов, входящих в стандартизируемый объект.

4 Взаимозаменяемость предусматривает возможность сборки или замены одинаковых деталей, изготовленных в разное время и в различных   
местах.

Унификация – выбор оптимального количества размеров и видов изделий, услуг и процессов, предназначенных для удовлетворения основных потребностей. Обычно направлена на сокращение многообразия [65].

Унификация – это распространенный и эффективный метод устранения излишнего многообразия посредством сокращения перечня допустимых элементов и решений, приведения их к однотипности. Унификация является разновидностью систематизации, которая преследует цель распределения предметов в определенном порядке и последовательности, образующей четкую систему, удобную для пользования [65].

Унификация в процессе конструирования изделия – это многократное применение в конструкции одних и тех же деталей, узлов, форм поверхностей.

Унификация позволяет повысить серийность операций и выпуска изделий и удешевить производство. С другой стороны, унификация зачастую ведет к увеличению габаритов, массы, снижению КПД и т.п. вследствие не всегда оптимальных значений используемых параметров и изделий [65].

Применение принципов стандартизации и унификации ЭРЭ при конструировании изделия позволяет получить следующие преимущества [65]:

– значительно уменьшить сроки и стоимость проектирования;

– сократить на предприятии изготовителе номенклатуру применяемых деталей и сборочных единиц;

– увеличить масштабы производства;

– улучшить эксплуатационную и производственную технологичность.

Обеспечение технологичности конструкции изделия – функция подготовки производства, предусматривающая взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат и сокращение времени на производство, в том числе и монтаж вне предприятия-изготовителя, техническое обслуживание и ремонт изделия [65].

Изделие должно соответствовать ГОСТу 14.201-83 «Обеспечение технологичности конструкции изделий» [66].

Сведения об уровне технологичности конструкции используются в процессе оптимизации конструктивных решений на стадии разработки конструкторской документации, при принятии решения о производстве изделия, анализе технологической подготовки производства, разработке мероприятий по повышению уровня технологичности конструкции изделия и эффективности его производства и эксплуатации [65].

Отработка конструкции на технологичность производится на всех стадиях разработки конструкции, при технологическом оснащении производства и изготовлении изделия [65].

Схема электрическая имеет высокий уровень технологичности, если [65]:

– схема содержит максимальное количество унифицированных узлов и ЭРЭ серийно выпускаемых;

– основание платы изготавливается по типовому технологическому процессу, освоенному в производстве;

– требования к конструкции обеспечиваются имеющимся оборудованием;

– монтажно-сборочные работы могут быть обеспечены автоматизированным оборудованием.

Синтезатор частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* имеет высокий уровень унификации и технологичности, который достигается отсутствием в электрической схеме практически отсутствуют элементы не серийного производства.

Единственной изготавливаемой деталью является печатная плата, которая также имеет высокий уровень технологичности, так как является двусторонней, а это достаточно дешевый и простой в производстве тип печатных плат. А за счет использования максимально возможного количества элементов поверхностного монтажа – количество отверстий сведено к минимуму, что сводит к минимуму ресурсо- и энерго- затраты при производстве.

Корпуса изделия можно отнести к деталям с хорошей технологичностью, так как сборка изделия требует минимальное количество соединений при помощи стандартных крепежных элементов.

Таким образом, можно сделать вывод, что проектируемый синтезатор частот на микроконтроллере *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A* обладает высоким показателем технологичности и удовлетворяет требованиям стандартизации и унификации.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выполнения преддипломной практики проведен анализ литературно *–* патентных исследований и обзор методов и средств синтеза частот большой мощности; проведено общетехническое обоснование разработки устройства, которое включает в себя анализ исходных данных, формирование основных технических требований к разрабатываемой конструкции, схемотехнический анализ проектируемого средства.

Составлен план проспект пояснительной записки и графической части дипломного проекта.

Схема электрическая структурная оформлена с применением пакета прикладного программного обеспечения *AutoCAD*.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

[1]*.* Метод прямого цифрового синтеза в генераторах сигналов специальной формы SFG-2110 И АКИП-3410/3 [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: https://kpfu.ru/staff\_files/F233095282/30.08.15\_Tjurin\_\_Metod\_pryamogo\_cifrovogo\_sinteza....pdf.

[2] Простое и эффективное формирование сигналов при помощи синтезаторов прямого цифрового синтеза частот[Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: https://wireless-e.ru/components/dds/.

[3] Алексеев В.Ф. Электронный ресурс по учебной дисциплине «Проектирование электронных модулей, устройств и систем». Комплекс для студентов специальности 1–39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» / В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун // ЭРУД БГУИР [Электронный ресурс] / БГУИР. – Минск, 2016.

[4] ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЧАСТОТНЫХ СИНТЕЗАТОРОВ [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https:// 123-253-1-SM.pdf.

[5] *DDS*: прямой цифровой синтез частоты[Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://ra3ggi.qrz.ru/UZLY/dds.htm>.

[6] Синтезаторы частоты[Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/3214927/.

[7] *DDS*: прямой цифровой синтез частоты[Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://www.leoniv.diod.club/articles/pdf/dds.pdf>.

[8] Принцип работы синтезатора частоты [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https://asb-club.ru/info/princip-raboty-sintezatora-chastoty/.

[9] Частотный Синтез: Текущие Решения и Новые Тенденции [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: https://prist.ru/library/stati/chastotnyy\_sintez\_tekushchie\_resheniya\_i\_novye\_tendencii/.

[10] Турчанинов В. Синтезатор частоты на *PIC*18*F*252 и модуле *Si*5351*A*.//Радио. – 2021. – №5. – С. 22-28.

[11]Патентные исследования: виды, порядок и стоимость проведения [Электронный ресурс]: – 2022. – Режим доступа: https://patentural.ru/zhurnal/patentnii-issledovania/

[12] Что такое патентный поиск и как он проводится, обзор популярных патентных реестров [Электронный ресурс]: –2022. – Режим доступа: https://ezybrand.ru/blog/patentnyj-poisk-vidy-zadachi-rezultat/.

[13] № *BY*20030500Республика Беларусь Синтезатор частот/ Дерюшев А. А. [Электронный ресурс]; – 2021 – Режим доступа https://bypatents.com/2-8521-sintezator-chastot.html..

[14] Пат. *RU*200802349, Российская Федерация. *N*-частотный генератор гармонических и импульсных сигнало*в* / Подкопаев А.Ф., Дернов Е. А. [Электронный ресурс]; – 2022 – Режим доступа:https://www.eapo.org/ru/publications/bulletin/ea200906/012697.html.

[15] Пат. *RU* 02713569 C1Российская Федерация. Синтезатор частот с широкополосной модуляцией / Тихомиров Н. М. и другие. [Электронный ресурс]; – 2022 – Режим доступа: https://patentrt.ru/intellectual\_properties/602167?locale=ru .

[16] Пат. *RU*2594336 Российская Федерация. Способ формирования микроволновых сигналов с малым шагом сетки частот. / Широков И. Б., Белоконь Д.С. [Электронный ресурс]; – 2022 – Режим доступа: https://www.freepatent.ru/patents/2594336.

[17] Пат. *RU* 2485669 С2 Российская Федерация. Способ формирования когерентных модулированных сигналов и устройство для его осуществления / Меджидов М. М., Гасан Ф.[Электронный ресурс]; – 2022 – Режим доступа:

https://findpatent.ru/patent/248/2485669.html

[18] Пат. № 0002476990Швеция/Устройства и способы подстройки частоты в синтезаторе частот с множеством выходов / НИЛЬССОН М., КЛЕММЕР Н., ПЕТТИ Д. С., УППАТХИЛ С.[Электронный ресурс];– 2022– Режим доступа: https://edrid.ru/rid/216.012.2cc7.html.

[19] ГОСТ 14087–88. Электроприборы бытовые. Общие технические требования. – Введ. 1991–01–10. – М.: Изд–во стандартов, 1988. – 9 с.

[20] ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Введ. 1971–01–01. – М.: Изд–во стандартов, 1969. – 58 с.

[21] ГОСТ 11487–88 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Нормы и методы испытаний на воздействие внешних механических и климатических факторов». – Введ.– 1989–07–01– М.: Изд–во стандартов, 1988. – 40 с.

[22] ГОСТ Р МЭК 335-1-94 «Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Общие требования и методы испытаний» – Введ.– 1995–01–01– М.: Изд–во стандартов, 2008. – 55 с

[23] ГОСТ 29254-91 «Совместимость технических средств электромагнитная. Аппаратура измерения, контроля и управления технологическими процессами. Технические требования и методы испытаний на помехоустойчивость» Введ.– 1993–01–01– М.: Изд–во стандартов, 1992. – 57 с

[24] ГОСТ 21317-87 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы испытаний на надежность». Введ.– 1989–01–01– М.: Изд–во стандартов, 1990. – 74 с

[25] ГОСТ 28002–88. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Общие требования по защите от электростатических разрядов и методы испытаний. – Введ. 1991–01–01. – М.: Изд–во стандартов, 1989.- 42 с.

[27] ГОСТ Р 51317.6.1-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Требования и методы испытаний». . – Введ. 2002–01–01. – М.: Изд–во стандартов, 2000 - 48 с.

[28] ГОСТ 27.003–90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – Введ. 1990–29–12. – М.: Изд–во стандартов, 1991. – 19 с.

[29] ГОСТ 12.2.007.0–75. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – Введ. 1978–01–01. – М.: Изд–во стандартов, 1975. – 11 с.

[30] ГОСТ 22782.0 – 81. Электрооборудование взрывозащищенное. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 1982–07–01. – М.: Изд–во стандартов, 1982.

[31] ГОСТ Р 51515-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоустойчивость радиовещательных приемников, телевизоров и другой бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Требования и методы   
испытаний. [Электронный ресурс]; – 2022 – Режим доступа: <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/143F.html>

[32] ГОСТ 27570.0–87. Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Общие требования и методы испытаний. – Введ. 1988–01–07. – М.: Изд–во стандартов, 1987. – 88 с.

[33] ГОСТ 12.2.049–80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – Введ. 1982–01–01. – М.: Изд–во стандартов, 2001. – 88 с.

[34] ГОСТ 15.009–91. Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Непродовольственные товары народного потребления. Введ. 1991–07–01. – М.: Изд–во стандартов, 1991. – 6 с.

[35] Datasheet Microchip PIC18F252-I/SO .[Электронный ресурс]; – 2022 – Режим доступа: https://www.rlocman.ru/datasheet/data.html?di=43355&/  
PIC18F252-I

[36] Si5351: программируемый генератор на любую частоту .[Электронный ресурс]; – 2022 – Режим доступа: http://microsin.net/adminstuff/hardware/si5351-i2c-programmable-any-frequency-cmos-clock-generator-vcxo.html

[37] Конструирование и технология электронных систем: пособие к кур-совому проектированию для студентов специальности «Электронно–оптические системы и технологии» / А. А. Костюкевич [и др.]. – М. : БГУИР, 2011. – 119 с.

[38] Запчасти для домашней бытовой техники //Выключатели, переключатели, кнопки [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: http://washngo.narod.ru/wg-1-1.html

[39] Chipdip // Программируемый делитель частоты [Электронный ресурс] – 2017. – Режим доступа: https://www.chipdip.by/product/cd4060bm

[40] Chipdip // ЖК матрица [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://www.chipdip.by/catalog-show/graphic-lcd-modules.

[41] Chipdip // Кнопка тактовая [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://www.chipdip.by/product/kls7-ts6601-7.0-180-tc-0104.

[42] Digi–Key Electronics // Ceramic Capacitors [Электронный ресурс] – 2017. – Режим доступа: https://www.digikey.com/en/products/detail/murata-electronics/GRM188R61E106KA73D/9867922.

[43] Farnell // Aluminium Electrolytic Capacitors [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://www.newark.com/multicomp-pro/mcksk100m470g17s/cap-47-f-100v-20/dp/94Y5998?ost=mcksk100m470g17s.

[44] Chipdip // SMD конденсатор подстроечный [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа https://www.chipdip.by/product/tzc3p300a110.

[45] Chipdip // Тактовый генератор [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://www.chipdip.by/product/si5351a-b-gtr

[46] Chipdip // Разъем РЧ / Коаксиальный [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа https: https://www.chipdip.ru/product/24-bnc-50-2-20-133-ne

[47] Radiotech // Соединители штыревые [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: http://www.rct.ru/catalog/box-header-connector/pls-1s.html.

[48] Digi–Key Electronics // Chip Resistor [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://www.digikey.com/en/products/detail/bourns-inc/CR0805-FX-3300ELF/3925395.

[49] Digi–Key Electronics // Trimmer Potentiometers [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/en/products/detail/bourns-inc/PVZ2A332C04B00/2603833>.

[50] Планат//Кварцевый резонатор *HC-*49*SM* [Электронный ресурс] – 2021. – Режим доступа: https://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=36378063.

[51] Chipdip // Тактовый генератор [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://www.chipdip.by/product/si5351a-b-gtr

[52] Chipdip // Стабилизатор напряжения +5В [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://www.chipdip.by/product/l7805ab-d-2t.

[53] TME // Транзисторы биполярные [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://www.tme.eu/by/ru/details/bc33725ta/tranzistory-npn-tht/on-semiconductor/.

[54] Chipdip // Двойной Триггер D-типа [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://www.chipdip.by/product/74hc74d

[55] Chipdip // Микросхема [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://www.chipdip.by/product/74hc174d

[56] электротехнические материалы. Диэлектрики [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/  
data/4637/EHlektrotekhnicheskie\_materialy\_Diehlektriki.pdf;jsessionid=B6E70A46454B344ABCBD62CF0A61B917?sequence=1

[57] ГОСТ 10316–78. Гетинакс и стеклотекстолит фольгированные. Технические условия. Введ. 1979–01–01. – М.: Изд–во стандартов, 2005. –47 с.

[58] Радиоэлектронная аппаратура и основы ее конструкторского проектирования : учебно–методическое пособие для студентов спец. «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» и «Проектирование и производство РЭС» / Н. И. Каленкович [и др.]. – М. : БГУИР, 2008. – 200 с.

[59] Пирогова, Е.В. Проектирование и технология печатных плат: учебник / Е.В. Пирогова. – М.: Изд–во ФОРУМ, 2005. – 560 с.

[60] Монтаж электронных модулей. Варианты реализации [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01\_05/stat\_80.htm.

[61] Роткоп, Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры/ Л. Роткоп. – М. : Сов. радио, 1976.–232с.

[62] ГОСТ 23751–86. Платы печатные. Основные параметры конструкции. Введ. 1989–01–04. – М.: Изд–во стандартов, 1986. –7 с.

[63] ГОСТ 10317–79. Платы печатные. Основные размеры. Введ. 1980–01–01. – М.: Изд–во стандартов, 1985. –3 с.

[64] Комбинированные методы изготовления печатных плат [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://pcbdesigner.ru/sposobi-izgotovleniya-pechatnih-plat/kombinirovannye-metody-izgotovleniya-pechatnyh-plat.html

[65] Понятие унификации и стандартизации [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: https://intellect.icu/standartizatsiya-i-unifikatsiya-trebovaniya-k-ikh-urovnyu-dostoinstva-i-nedostatki-pokazateli-506

[66] ГОСТу 14.201-83 «Обеспечение технологичности конструкции изделий». Введ. 1984–01–01. – М.: Изд–во стандартов, 2009. –11 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**(обязательное)**

Техническое задание

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

**(обязательное)**

Справка о литературно-патентном поиске

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**

**(обязательное)**

План-проспект дипломного проекта

**Пояснительная записка**

Таблица 1 – План проспект для пояснительной записки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование**  **этапа** | **Срок**  **выполнения** | **Краткое содержание**  **этапа** |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 Введение | 06.05.2022 | Во «Введении» должны быть изложены основные задачи, которые следует решать в процессе дипломного проектирования, а также должно быть приведена актуальность выбранной темы. |
| 2 Анализ литературно-патентных исследований | 18.03.2022 | Данный раздел должен содержать литературный обзор по методикам синтеза частот анализ приведенных методик  Данный раздел должен содержать сравнительный анализ имеющихся патентов и разрабатываемого устройства. |
| 3 Общетехническое обоснование разработки устройства | 18.03.2022 | В данном разделе должен присутствовать анализ исходных данных, сформировано техническое задание к разрабатываемому устройству. |
| 4 Схемотехнический анализ синтезатора частоты. | 18.03.2022 | В данном разделе должны быть описаны принцип работы устройства и схема электрическая принципиальная. |
| 5 Разработка конструкции проектируемого изделия | 30.04.2022. | Раздел «Разработка конструкции проектируемого изделия» включает:  – выбор и обоснование элементной базы, конструктивных элементов, установочных изделий, материалов конструкции и защитных покрытий, маркировки деталей и сборочных единиц;  – выбор типа электрического монтажа, элементов крепления и фиксации;  – выбор способов обеспечения нормального теплового режима;  – выбор метода изготовления печатной платы;  – выбор конструкторских решений, обеспечивающих удобство ремонта и эксплуатации устройства;  – обеспечение требований стандартизации, унификации и технологичности конструкции. |

Продолжение таблицы 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 |
| 6 Расчет параметров проектируемого изделия | 06.05.2022 | Раздел «Расчет параметров проектируемого изделия» содержит следующие виды расчетов:  – теплового режима;  – на механические воздействия;  – конструктивно-технологических параметров ПП;  – электромагнитной совместимости;  – надежности. |
| 7 Современные системы компьютерного анализа и моделирования схем проектируемого устройства | 06.05.2022 | Данный раздел описывает методику построения трехмерной модели и моделирования. Необходимо провести моделирование физических процессов, а также анализ полученных данных, а также необходимо обосновать пакеты прикладного программного обеспечения |
| 8 Экономическая часть. | 30.04.2022 | Данный раздел должен содержать расчет экономического эффекта от применения разрабатываемой конструкции, а также затрат на изготовление синтезатора частоты |
| 9 Заключение | 15.05.2022 | «Заключение» должно содержать выводы и анализ полученных результатов по всем разделам проекта и разработки устройства. |

**Графический материал**

Таблица 2 – План – проспект для графических материалов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование этапа** | **Срок**  **выполнения** | **Краткое содержание этапа** |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 Схема электрическая принципиальная  (0,5 листа А1) | 18.03.2022 | На данном чертеже должна быть приведена схема электрическая принципиальная разрабатываемого устройства, а также перечень элементов |
| 2 Схема электрическая принципиальная (0,5 листа А1) | 18.03.2022 | Чертеж, который определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. |
| 3 Сборочный чертеж  (1 лист А1) | 30.04.2022 | На данном чертеже должна быть приведена полная конструкция разработанного синтезатора частоты, а также спецификация |
| 4 Чертеж нестандартной детали  (1 лист А1) | 06.05.2022 | Чертеж печатной платы должен содержать все сведения, необходимые для ее изготовления и контроля: размеры, предельные отклонения, шероховатость поверхностей печатной платы и всех ее элементов (отверстий, проводников), а также размеры расстояний между ними; необходимые технические требования; сведения о материале. |

Продолжение таблицы 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 |
| 5 Чертежи сборочных едениц  (1 лист А1) | 18.03.2022 | Сборочный чертеж печатной платы при минимальном количестве изображений должен давать полное представление о расположении и выполнении всех печатных и навесных элементов и деталей, а также составляется спецификация |
| 5 Плакаты, отображающие результаты дипломного проектирования  (2 листа А1) | 06.05.2022 | Анализ и и нтерпретация данных результатов моделирования физических процессов программными средствами *COMSOL* *Multiphysics,* *SolidWorks.* |