**АННОТАЦИЯ**

Ключевые слова: генератор; система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ); генератор, управляемый напряжением (ГУН); СВЧ-диапазон; экранирование; влагозащита; упаковка; конструкция; технология; качество; надежность.

В дипломном проекте разработана конструкция генератора с ФАПЧ для диапазонов ОВЧ-УВЧ. Прибор заключен в литой герметизированный корпус, в котором содержится гальваническая батарея. Проведен патентный поиск, проведены расчеты: механической прочности платы с элементами при ударе, эффективности экранирования, упаковочной тары, влагозащиты. Рассчитана надежность, проведена оценка технологичности и качества, приняты меры по обеспечению безопасности жизнедеятельности; сделаны технико-экономические расчеты и найдена себестоимость.

**ВВЕДЕНИЕ**

Дипломный проект посвящен разработке конструкции генератора с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ) для диапазонов ОВЧ-УВЧ (100…2500МГц).

Устройство построено на основе генератора образцовой частоты и управляемого напряжением генератора, частота которого посредством делителя частоты автоматически подстраивается фазовым детектором. Его можно рекомендовать для многих применений, когда есть необходимость в стабильном генераторе или гетеродине для популярных радиолюбительских диапазонов. Стабильность частоты фактически определяется стабильностью кварцевого резонатора.

При изготовлении и настройке радиоаппаратуры диапазона ОВЧ-УВЧ (30...3000 МГц) необходимым узлом является генератор. Он может выполнять функции гетеродина для трансвертера или конвертера, а также использоваться как контрольный генератор или маячок для проверки и настройки радиоприемника или антенно-фидерного тракта. При построении таких приборов раньше, как правило, использовались задающие генераторы с кварцевой стабилизацией, работающие на относительно низкой частоте (десятки мегагерц), и несколько каскадов умножителей частоты. Такая конструкция сложна в изготовлении и настройке.

Сейчас для этих целей все чаще применяют генераторы с системой ФАПЧ. Для реализации такой конструкции применяют специализированные микросхемы синтезаторов частоты, которые управляются от микроконтроллеров (РIС-контроллеров). Стабильность частоты в этом случае определяется стабильностью частоты опорного генератора. Такое построение позволяет получить практически любое значение частоты, но реализация такого генератора доступна не всегда, так как необходимо программирование РIС-контроллеров, в частности, из-за относительно высокой цены программаторов.

Но генератор с системой ФАПЧ можно сделать и по более простой схеме, с использованием более дешевой и простой элементной базы, упрощающей процесс изготовления и настройки.

Исходя из этого, можно сказать, что тема проекта не только актуальна технически, но и целесообразна с экономической точки зрения, т.к. себестоимость прибора сравнительно невелика и может быть снижена за счет различных комплектов поставки.

**1. ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК**

При разработке конструкции обязательно должна учитываться патентность – свойство технических разработок находиться под охраной международного авторского права, если они обладают новизной, полезностью и юридически соответственно оформлены. Патентность имеет две стороны – патентоспособность и патентную чистоту.

Процесс конструирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) тесно связан с изобретательством и изучением патентной информации. В настоящее время нельзя вести разработку и модернизацию РЭА без предварительного изучения и отбора патентных материалов. Тщательно проведенное патентно-информационное исследование предотвращает дублирование творческой работы и напрасную трату усилий на поиск решений, разработанных ранее. Кроме того, патентно-информационное исследование имеет целью охрану государственных и авторских интересов в области научно-технического творчества, извлечение преимуществ, вытекающих из недостатков патентной защиты. Может оказаться, что в результате исследования будет показана нецелесообразность проведения разработки, поскольку уже имеется требуемое решение, зафиксированное в иностранном или отечественном патенте.

Изобретением признается отличающееся существенной новизной решение технической задачи, дающее положительный эффект. Существенная новизна означает неизвестность во всех странах. Положительный эффект может означать не только сегодняшнюю, но и перспективную полезность.

Новизну предложения опровергают следующие источники: авторские свидетельства и поданные ранее заявки, печатные публикации (включая отчеты НИР и ОКР), применение (в любой стране), защита диссертации, доклад, демонстрация на выставке. Но если разглашены только результаты решения, но не само решение технической задачи, если образец изготовлен и испытан, но не внедрен, это не опровергает новизны.

Патентом и авторским свидетельством называют документ, который служит для оформления права на изобретение.

В отличие от авторского свидетельства, при получении патента автор должен вносить значительную разовую и ежегодную пошлины Выдача патента означает, что на территории этой страны в течение срока действия патента никто без разрешения владельца патента не имеет права использовать запатентованное изобретение.

Патентные права переступаются частично, на определенных условиях. Такая переуступка называется лицензией (разрешением) на использования изобретения.

Авторское свидетельство – это документ, которым удостоверяется факт признания указанного лица в качестве автора изобретения.

Действие патента ограничено по сроку. Закон каждой страны предусматривает предельный срок (для Российской Федерации этот срок составляет 20 лет), по истечении которого патент теряет силу.

Ограничения прав патентовладельца по территории и по срокам являются важными условиями при установлении патентной чистоты. Патентная чистота есть юридическое свойство объекта, заключающееся в том, что он не подпадает под патенты, действующие в определенной стране. Наряду с этим существует понятие патентоспособность – возможность технического решения быть запатентованным в качестве изобретения в определенных странах, т.е. наличие существенной новизны (мировой или локальной) и полезности.

Объект может быть патенточистым, но не патентоспособным, когда его особенности давно описаны в технической литературе, открыто применялись или в свое время были защищены патентами, уже потерявшими действие. Объект может быть патентоспособным, но не патенточистым, если часть его особенностей попадает под действие чьих-то патентов, а другие особенности обладают существенной новизной.

Информацию о патентах и авторских изобретениях на этапе проведения патентно-информационного исследования разработчики получают из патентной литературы. Существует ошибочное мнение, что в патентной литературе умышленно не излагаются важные особенности, необходимые для внедрения изобретения, или даже вносятся искажения, чтобы ввести в заблуждение конкурентов. В действительности патентные законы большинства стран содержат категорические требования, чтобы описание изобретения позволяло среднему специалисту в данной отрасли внедрить изобретение, не прибегая к дальнейшему творчеству. Патент, в описании которого допущены ошибки и искажения или сущность изобретения не полностью раскрыта, может быть аннулирован. Благодаря таким требованиям патентная литература отличается лаконичностью и ясностью языка. Патентная информация является единственным источником, в котором содержатся сведения и о тех новшествах, которые еще не внедрены.

Основными целями патентных исследований на стадии дипломного проекта являются:

* получение информации об уровне развития данной отрасли;
* ознакомление с выявленными в процессе патентного поиска рефератами технических решений, защищенными охранными документами (патентами, свидетельствами), и в случае необходимости, полными описаниями к патентам, свидетельствам;
* оценка актуальности разработок, проводимых при дипломном проектировании, по сравнению с выявленными в процессе патентного поиска наиболее совершенным отечественным разработкам;
* определение путей решения собственной поставленной задачи;

Так как целью данного дипломного проекта, исходя из технического задания (ТЗ), не является схемотехническая разработка генератора, было предложено производить патентно-информационное исследование в области технологий, которые могли быть использованы при конструировании и изготовлении данного устройства.

Были проведены патентные исследования по РФ. Поиск проводился с 1994 года по 2004 год, что явилось достаточным для нахождения новейших разработок в области техники и технологии.

Поиск производился по базе рефератов и патентов на изобретения Роспатента в сети Интернет (http://www.fips.ru/).

В результате анализа были рассмотрены патенты на следующие темы: способ изготовления двусторонних печатных плат и установки ЭРЭ, способы металлизации отверстий, а технология конструирования элементов корпуса, влагозащита.

Результаты проделанной работы представлены в Приложении 1.

**2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ ПРОЕКТА**

Базовой статьей при разработке данного проекта была принята [8].

В качестве технической литературы были выбраны журналы “Радио” и «РадиоМир» за 2000-2004гг. При просмотре данной литературы не было найдено описаний разработок аналогичных устройств.

Параметрический поиск в сети Интернет принес необходимый результат: была найдена перспективная разработка фирмы «ЭЛПА» генератор ГК 122-УН-ПВ.

В настоящий момент данная фирма заканчивает разработку генераторов с ФАПЧ нового поколения на частоты 150…1500 МГц, но эти устройства простроены на другом схемотехническом уровне, с использованием узлов функциональной электроники, таких как фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ).

В генераторах ГК 122-УН-ПВ используются резонаторы и фильтры на основе ПАВ, имеется основной выход и вход напряжения управления для фазовой автоподстройки частоты при помощи внешнего опорного генератора. Диапазон перестройки частоты напряжением управления обеспечивает установки номинальной частоты генератора в интервале рабочих температур и воздействия дестабилизирующих факторов (старение резонаторов, транзисторов и т.д.).

Генераторы имеют основной выход, мощность которого регулируется напряжением Ерег, и выход для ФАПЧ, обладает низким уровнем фазовых шумов. Данные генераторы используется в радиолокации, радионавигации и системах связи.

Основное преимущество применение высокочастотных генераторов в системах с сеткой частот, работающих от одного опорного генератора, позволяет увеличить быстродействие системы на два порядка. Низкий уровень фазовых шумов позволяет улучшить точностные характеристики не менее чем на 20 дБ. Кратковременная, долговременная и температурная нестабильности определяются опорным генератором.

Необходимо отметить, что данное устройство только находится в стадии разработки. Функционально, оно, несомненно, богаче разрабатываемого в дипломном проекте генератора, но питание, в отличие от последнего – внешнее, и ФАПЧ данного генератора осуществляется извне данного устройства. Исходя из описанных функций этого устройства его нельзя назвать прямым аналогом, хотя его новизна подтверждает актуальность данной дипломной разработки.

Дипломный проект посвящен разработке генератора с ФАПЧ для диапазона 1290 МГц, при разработке была использована простая, а значит не дорогая схемотехника, были обеспечены электромагнитное экранирование, влагозащита и наименьшие массогабаритные параметры.

**3. АНАЛИЗ ТЗ И РАЗРАБОТКА ТТТ К КОНСТРУКЦИИ**

С учетом особенностей работы электрической принципиальной схемы прибора генератора с ФАПЧ и исходных данных технического задания (ТЗ), разделим тактико-технические требования (ТТТ) к конструкции на общие и специальные.

**3.1 Общие требования**

Разрабатываемое устройство относится к профессиональной аппаратуре, IV группа, носимая РЭА. Поэтому механические, климатические воздействия, условия эксплуатации определяются по ГОСТ 16962.1-89. Предполагается, что изделие может использовать радиолюбитель.

**Эксплуатационные требования**

Данная группа требований определяется условиями экспуатации и зависит от механических, климатических и прочих воздействующих факторов, величина которых определяется конкретными величинами, указанными в ГОСТах для носителей, в которые предполагается установка разрабатываемой РЭС.

Разрабатываемое устройство по условиям эксплуатации относится к группе радиотехнических средств, специального назначения, носимых на теле человека, его одежде, в том числе и на открытом воздухе. Таким образом, при разработке устройства необходимо учесть воздествие на него климатических и механических воздействий (температуры, влажности, давления, пыли, ударов, падений, ветра и др.) для наземной носимой аппаратуры, работающей на открытом воздухе вне помещения.

Требования к разрабатываемой аппаратуре относительно климатических воздействий приведены в таблице 3.1.1

Таблица 3.1.1 - Требования к разрабатываемой аппаратуре относительно климатических воздействий

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Требования к аппаратуре | Воздействующие факторы | | Значения для данной группы аппаратуры |
| Характер | Ед. изм. |
| Влагоустойчивость | Повышенная относительная влажность до… | % | 98 |
| Температура до… | ºC | 40 |
| Холодоустойчивость | Пониженная рабочая температура до… | ºC | -50 |
| Высотность | Пониженное атмосферное давление до… | мм. рт.ст. | 460 |
| Температура до… | ºC | 20±10 |
| Теплоустойчивость | Повышенная рабочая температура до… | ºC | +50 |
| Повышенная предельная аппаратура до… | ºC | +65 |
| Водозащищенность | Слой воды толщиной до… | мм | 500 |
| Брызгозащищенность | Водяные брызги интенсивностью до… | мм/мин | 5 |
| Пылезащищенность | Воздушный поток с пылью скоростью до… | м/с | 10-15 |

Данный вид РЭА рассчитан на индивидуальную длительную переноску ее людьми и транспортирование ее всеми видами транспорта. Требования к разрабатываемой аппаратуре относительно механических воздействий приведены в таблице 3.1.2.

Таблица 3.1.2 - Требования к разрабатываемой аппаратуре относительно механических воздействий

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Требования к аппаратуре | Воздействующие факторы | | Значения для данной группы аппаратуры |
| Характер | Ед. изм. |
| Виброустойчивость и вибропрочность | Вибрация с частотой, создающей ускорение, соответственно | Гц; g | 2-80;  6-3 |
| Прочность при падении | Свободное падение на грунт с высоты | мм | 500 |
| Ударная прочность | Ускорение, создаваемое при ударе | g | 100-200 |
| Ветроустойчивость | Ветер со скоростью | м/с | 30 |
| Транспортирование | Транспортирование на автомашине со скоростью | км/час | 20-60 |

Кроме того, аппаратура данной группы характеризуется:

* продолжительностью эксплуатации и длительным временем автономной работы;
* высокой ремонтопригодностью;
* повышенным эстетическим значением внешнего вида, удобств и безопасностью при эксплуатации;
* малые габариты и масса.

Удобство и безопасность эксплуатации и ремонта:

При ремонте необходимо ограничить возможность ошибок персонала. Необходимо обеспечить однозначность варианта сборки, которая исключит неправильное соединение частей изделия.

Большое значение имеет полнота ремонтной и эксплутационной документации. Ремонт следует производить только в специально оборудованных мастерских, квалифицированным персоналом. Прибор должен иметь инструкцию по настройке и инструкцию по эксплуатации.

**КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

К этой группе относятся требования по максимальной стандартизации и унификации используемых ЭРЭ, материалов, установочных изделий и сборочных единиц.

Производство данных приборов можно считать мелкосерийным (10000 шт./год), необходимо обеспечить его технологичность, поэтому корпус рационально изготавливать литьем под давлением. При конструировании корпуса необходимо учитывать ряд особенностей:

1) корпус должен быть простой;

2) толщина стенок должна быть примерно одинаковой;

3) углы следует скруглять;

4) должны предусматриваться технологические уклоны и конусность;

5) допуски должны назначаться с учетом усадки.

Необходимо также обеспечить жесткость и прочность конструкции. Нужно стремиться к уменьшению массы и габаритов конструкции.

Одним из важных требований является обеспечение нормального теплового режима.

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Необходимо стремиться максимально снизить производственные затраты с целью снижения стоимости. Для этого следует стремиться использовать современную элементную базу, технологические процессы и автоматизацию производства.

Экономические требования направлены на снижение стоимости изделия при условии обеспечения заданной в ТЗ надёжности с учетом заданной программы выпуска.

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Так как проектируемое устройство относится к носимой аппаратуре специального назначения, предназначенное для работы на открытом воздухе, то необходимо обеспечить механическую жесткость и прочность конструкции.

Прибор требует настройки и управления человеком, поэтому необходимо учесть эргономические требования и требования технической эстетики.

Необходимо обеспечить максимальную автономность устройства и минимизировать массогабаритные показатели.

**4. НАЗНАЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА ЕГО ДЕЙСТВИЯ**

Генератор с системой ФАПЧ, можно использовать как радиомаячок или измерительный генератор в диапазоне частот от 100 до 2500 МГц. При упрощении схемы такой генератор можно использовать как гетеродин. Ведь нестабильность его частоты в основном определяется соответствующим параметром кварцевого резонатора ZQ1.

Система фазовой автоподстройки частоты, как следует из её названия, является системой автоматического регулирования (следящей системой), частота настройки которой определяется частотой управляющего сигнала, а сигналом рассогласования является разность фаз управляющего сигнала и сигнала обратной связи. В связи с тем, что настройка осуществляется по разности фаз, система является астатической по отношению к частоте: в установившемся режиме частота настройки точно равна частоте управляющего сигнала. При определённых условиях система ФАПЧ может быть астатической и по фазе [9].

Наряду с основным свойством автоподстройки, система ФАПЧ обладает свойством фильтрации и ведёт себя, независимо от функционального назначения, как следящий фильтр. Система ФАПЧ является системой с многофункциональными возможностями и используется для частотной модуляции и демодуляции, частотной фильтрации (в том числе, фильтрации модулирующей функции частоты), умножения и преобразования частоты, выделения опорного колебания для когерентного детектирования и др.

В обобщённом виде любая система автоматического регулирования, независимо от её назначения, содержит измерительное устройство с вычитателем на входе и объект регулирования, выход которого подключен к вычитателю. В вычитателе сравниваются управляющая величина и управляемая (с выхода объекта регулирования), являющаяся величиной обратной связи.

Несмотря на то, что управляющей величиной в системе ФАПЧ является частота, в фазовом детекторе (ФД) сравниваются не частоты, а фазы напряжений на его входе.

В данном случае принцип работы разрабатываемого устройства можно представить в следующем виде (АН468.757.001Э1).

На транзисторе VТ2 собран генератор, управляемый напряжением (ГУН), на транзисторе VТ1 - выходной каскад с регулируемой выходной мощностью. На микросхеме DD2 собран делитель частоты. Остальные узлы собраны на одной микросхеме DD1, которая содержит четыре логических элемента "исключающее ИЛИ" с инверсией. Генератор образцовой частоты с кварцевой стабилизацией собран на логическом элементе DD1.1, на элементе DD1.2 собран усилитель выходного сигнала делителя частоты, а фазовый детектор (ФД) собран на элементе DD1.3. Питается устройство от аккумуляторной батарей 7.2 В или сетевого блока питания с напряжением 7...15 В.

Питающее напряжение (5 В) всех узлов устройства стабилизировано интегральным стабилизатором напряжения на DА1.

Работает устройство следующим образом. Сигнал ГУН поступает на делитель частоты, а с его выхода после усиления - на ФД. Микросхема DD2 делит частоту ГУН на N, поэтому на один из входов ФД поступает сигнал с частотой *f1* = *fгун*/N. На второй вход поступает сигнал генератора образцовой частоты *fог*. Выходное напряжение ФД через пропорционально интегрирующий фильтр (ПИФ) R5R7С8, конденсатор С11 и резистор R10 поступает на варикап ГУН VD1 и подстраивает его. Система ФАПЧ работает таким образом, что частота *f1* подстраивается под *fог* и они становятся равными. Таким образом, частота ГУН будет равна *fгун* = N х *fог*. В данной конструкции использован делитель частоты с N = 129; *fог* = 10.0 МГц, а частота ГУН будет равна *f гун* = 129 х 10 = 1290 МГц.

Таким образом, выходную частоту генератора можно изменять за счет изменения коэффициента деления N или частоты образцового генератора (кварцевого резонатора). Регулировка уровня выходного сигнала осуществляется в пределах от -15 до +5 дБ/мВт за счет изменения тока транзистора VT1 с помощью переменного резистора R16.

**5. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ**

Поверочный расчет схемы электрической принципиальной АН468.757.001Э3 заключается в определении параметров пропорционально-интегрирующего фильтра (ПИФ) представленного на рис. 5.1.

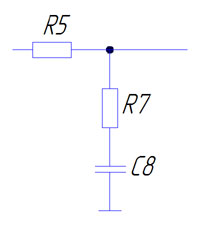


Рис. 5.1 - Пропорционально интегрирующий фильтр

Применение фильтра в цепи ФАПЧ изменяет динамические свойства системы. Полином системы (многочлен в знаменателе передаточных функций) определяет порядок, вид аппроксимации и частотный диапазон фильтрации, а член или многочлен в числителе определяет вид фильтрации (нижних, верхних частот или полосовой фильтрации) и коэффициент передачи.

 В разрабатываемом генераторе с ФАПЧ используется один ПИФ-фильтр 1-го порядка, показанный на рис. 5.1 (необходимо отметить, что общепринятое название “фильтр” в данном случае является условным; правильнее было бы считать его цепью частотной коррекции).

Пропорционально-интегрирующий фильтр может быть охарактеризован передаточной функцией (5.1):

KФ(p) = Uвых/Uвх = (1 + Ф1)/(1 + Ф), (5.1)

где RоC8 – “физическая” постоянная времени цепи ПИФ;

Ф1 = 2RоC8 – условная постоянная времени;

Rо= R7 + R5;

Если учесть, что KФ = 1, т. е. Uвых = Uвх, в цепи генератора, то получим выражение (5.2) для определение номиналов элементов:

1 = 1+2 (R7+R5)C8/1+(R7+R5)C8.(5.2)

R7 = 200 Ом;

R5 = 10 кОм;

C8 = 30 пФ;

;



1 = 1.

Таким образом, видно, что элементы принципиальной схемы выбраны правильно и расчетное значение передаточной функции соответствует теоретическому, обусловленному функциональным назначением ПИФ в схеме устройства.

**6. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ**

Генератор с ФАПЧ реализован в виде одного функционального узла на печатном монтаже с использованием как поверхностно-монтируемых элементов, так и элементов со штыревыми выводами. Выбор активных элементов производится на основании типов указанных в электрической принципиальной схеме.

Пассивные элементы выбираются с учетом номиналов, указанных в схеме, условий эксплуатации, стандартизации, нормализации, экономической целесообразности, минимизации габаритов, предпочтение отдается элементам поверхностного монтажа (SMD).

Выбор элементов производился по современным отечественным справочникам и каталогам: Платан, Симметрон, Вест-Эл, Компэл и др.

Необходимо учесть, что принципиальная схема была доработана мной с целью обеспечения максимальной автономности и коммутации разрабатываемого устройства.

Так, в качестве ВЧ-гнезда XW1, я применил устанавливаемое на печатную плату штыревое гнездо фирмы АМР 966475 50 Ом.

Трехпозиционный движковый переключатель Switronic-SK-23D06, установленный на плате, одновременно с включением устройства, управляет режимами его питания – через штыревую клемму 301-02-113 коммутируется аккумуляторная батарея – а через штыревое гнездо 3,5 мм подключается внешний блок питания.

В устройстве можно применить детали: транзисторы – КТ3132-А, транзисторы с нормированным уровнем шума на частоте 2-6 ГГц для применения в СВЧ малошумящих усилителях в диапазоне частот 1-7.2 ГГц.

Микросхема делителя частоты Motorolla MC120LVAD поверхностно-монтируемая, о чем свидетельствует суффикс D, ее можно применить и другого производителя, при этом она должна работать на требуемой частоте и иметь необходимый коэффициент деления.

Микросхема DD1 – Motorolla MC74H86D, поверхностно-монтируемая.

Микросхема DА1 – 78L05, КР1158ЕН5А или аналогичная с корпусом ТО-92, напряжение стабилизации 5 В.

Варикап КВ132, штыревой монтаж.

Переменный резистор R16 – Murata-SMD-PVG3A-10 кОм, мощность рассеяния 0,25Вт

Постоянные резисторы R1-R15– той же фирмы, серия RK73, мощность 0,125 Вт, в соответствии с принципиальной схемой, типоразмер 0805.

Подстроечный конденсатор С3 – Murata-SMD-TZVY2R200-4,5...20 пФ, напряжение питания 6,3 В.

Полярный конденсатор С10 – той же фирмы, 47 мкФ, 6 В, типоразмер В.

Индуктивность L1 – Murata-LQP18M, экранирована, работает в заданном диапазоне частот.

Остальные конденсаторы – той же фирмы, серия GRM, 6,3 В, в соответствии с принципиальной схемой, типоразмер 0805.

Батарея GB1, аккумуляторная, GP Batteries, 1700мАч, 7,2 В.

Все элементы имеют рабочую температуру в пределах заданной ТЗ.

Все элементы размещены на печатной плате из двусторонне фольги-рованного стеклотекстолита СФ-2-35-1,5.

Сторона под деталями оставлена металлизированной и используется в качестве заземляющего провода. Она соединена с заземляющим проводом на другой стороне. Лицевая сторона платы в местах, свободных от ЭРЭ и проводников так же металлизирована заземляющим проводом. Таким образом можно избавится от ряда паразитных наводок на ВЧ-тракт.

**7. ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТОРСКОГО РЕШЕНИЯ**

Генератор в большой степени отвечает предъявленным к нему требованиям технического задания и разработанным ТТТ. Расхождения наблюдаются в требованиях полной унификации и стандартизации используемой элементной базы и несущих конструкций.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Для коммутации с внешними приборами и устройствами использовались широко распространенные в настоящее время разъемы.

Устройство выполнено на одной двухсторонней печатной плате с использованием технологии поверхностного монтажа, что позволило снизить массогабаритные и экономические характеристики изделия. Для изготовления печатных плат данного устройства выбран двухсторонний фольгированный диэлектрик, выпускаемый в виде листов СФ2-35-1,5 ГОСТ 10316-78.

Метод изготовления печатных плат - комбинированный.

Сущность комбинированного метода заключается в получении ПП из фольгированного диэлектрика с металлизацией отверстий. Достоинством этого метода является возможность получения печатных плат с более насыщенным монтажом, повышенной точностью и надежностью.

Поверхностно-монтируемые изделия (ПМИ) установлены с одной стороны платы в соответствии с РД107.460000.019-90. Стандарт разработан с учетом обеспечения возможности механизации и автоматизации технологических процессов сборки изделия. Печатная плата со стороны установки ПМИ должна быть покрыта защитной маской, кроме мест пайки.

Центры отверстий и контактных площадок должны располагаться в узлах координатной сетки. По краям печатной платы и вокруг монтажных отверстий необходимо оставлять свободные зоны, в которых не должно быть проводников и элементов. Контактные площадки рекомендуется применять прямоугольной формы. Ширина печатного проводника должна быть не более 0,4 мм; расстояние между двумя соседними проводниками не менее 0,3 мм.

Для пайки ЭРЭ выбран мягкий припой ПОС-61 – припой оловянно-свинцовый, содержит 61 % олова, 39% – свинца, температура пайки около 200 º С.

При разработке данного устройства приняты меры для уменьшения паразитных связей и наводок.

Блок является безопасной конструкцией при эксплуатации и ремонте. Малые напряжения питания исключают поражения электрическим током.

#### **РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ**

Из-за своей высокой сложности ремонт должен производится только в специализированных мастерских при снятии крышки, хорошо обученным персоналом и при наличии специализированного оборудования.

Быстрота разборки и сборки обеспечивается использованием винтов в качестве закрепляющих элементов. Доступ к элементам схем, требующим замены в процессе эксплуатации, осуществляется при снятии крышки с корпуса. Так как в в устройстве используется печатный монтаж ЭРЭ, то для их замены необходимо демонтировать плату и отпаять нуждающийся в замене элемент. Печатная плата генератора закреплена в корпусе 4 винтами М2.

#### **7.1 Требования к корпусу и к компоновке**

Устройство обладает хорошей компоновкой, так как внутреннее пространство использовано максимально.

Генератор собран на одной печатной плате, и скоммутирован с батареей питания посредством клемм объемного монтажа.

Плата с ЭРЭ установлена в алюминиевый корпус, выполняющий роль электромагнитного экрана. Прибор предназначен для изготовления в мелкосерийном производстве. Это позволяет выбрать метод литья под давлением при изготовлении корпуса.

Литье под давлением относится к прогрессивным методам формообразования деталей и может быть использовано при мелкосерийном производстве, соответствующем заданной в ТЗ программе выпуска приборов штук в год.



Литье под давлением обеспечивает требуемую шероховатость поверхности Ra3,2…6,3. Корпус является несущей конструкцией и электромагнитным экраном, защищает плату с элементами от влаги и пыли. В качестве материала корпуса выбран литейный алюминиевый сплав АЛ9. Форма блока в виде параллелепипеда с осуществлением литейных скруглений по углам выбрана для обеспечения удобства им безопасности при эксплуатации и транспортировке.

Разъемы установлены на плате и выведены через отверстия в корпусе наружу. Герметизация осуществлена при помощи резиновых уплотнительных прокладок. Крышка крепится к основанию с помощью 6 винтов М2 с потайной головкой. В корпусе предусмотрены шесть приливов для их установки. Корпус покрыт анодно-окисным покрытием м хромированием Ан. Окс. Хр., применяемым для защиты от коррозии и обеспечивающим хорошую электропроводность. Это покрытие является хорошей основой для нанесения лакокрасочного покрытия ПФ-115.

Благодаря конструкции корпуса и использованных при его конструировании материалов были обеспечены необходимые в данных условиях эксплуатации жесткость и прочность прибора.

**7.2 Требования технической эстетике и эргономики**

Удаление пыли с внешней поверхности блока удобно, а удаление ее с внутренней стороны не требуется, т.к. корпус герметизирован и защищен от попадания пыли.

На лицевой панели устройства расположены слева направо: гнездо для подключения внешнего блока питания, трехпозиционный движковый переключатель, управляющий включением и режимом питания прибора, высокочастотный разъем для внешней коммутации устройства.

**8. КОНСТРУКТОРСКИЕ РАСЧЕТЫ**

генератор фазовая частота

Неотъемлемой частью разработки любого устройства являются конструкторские расчеты, от которых зависит выбор технологий, конструкторских решений и условия эксплуатации приборов. В данном проекте было проведено несколько конструкторских расчетов.

**8.1 Расчет прочности конструкции**

Цель расчета: определить собственную частоту, прогиб и прочность при воздействии на плату с ЭРЭ ударной нагрузки. Сравнить полученные результаты с допустимыми значениями и сделать вывод о правильности конструкторского решения – о выборе материала и размеров платы, о способе крепления платы на объекте установки, о выборе типов ЭРЭ, установленных на плате.

Большинство элементов конструкций РЭС могут быть представлены пластинами или балками. К пластинам можно отнести стенки кожухов или корпусов блоков, шасси, печатные платы т.е. такие элементы у которых размеры длины и ширины одного порядка, а размер толщины значительно меньше. К балкам можно отнести элементы каркаса стоек, блоков, рамки кассет и др. т.е. такие элементы конструкций у которых два размера поперечного сечения много меньше протяженности этого элемента

Исходные данные для расчета элементов типа "плата".

- геометрические размеры платы;



Материал платы СФ2-35-1,5;

– масса платы;



– модуль упругости материала платы;



- плотность материала платы;



- перегрузка при ударе;



- длительность ударного импульса.



Расчет проводится по методике. От реальной конструкции платы с ЭРЭ был произведен переход к расчетной модели – в виде пластины прямоугольной формы с определенным способом закрепления.

1) Определим амплитуду ускорения при ударе

(8.1.1)



где - ускорение свободного падения



- перегрузка при ударе



2) Находим величину скорости в начальный момент удара

(8.1.2)



- длительность ударного импульса, .



3) Находим частоту свободных колебаний (первой гармоники)



, (8.1.3)



где - частотная постоянная;



- толщина платы, ;



- большая сторона платы, ;



- коэффициент, учитывающий материал платы;



- коэффициент, учитывающий массу платы и массу установленных на ней элементов.



Здесь , (8.1.4)



где – модуль упругости материала платы;



– модуль упругости стали;



- плотность стали;



- плотность материала платы.



, (8.1.5)



где - масса элементов и масса платы, .



Определим частотную постоянную

, (8.1.6)



где - коэффициент, зависящий от краевых условий закрепления пластины (см. табл.2)



Данная плата закреплена по варианту 1 по таблице 8.1.1.

(8.1.7)



(8.1.8)



- цилиндрическая жесткость платы на изгиб,



где , (8.1.9)



где - коэффициент Пуассона. Для большинства материалов его величину можно принять равной 0,3.



Таблица 8.1.1 - Варианты закрепления плат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Схема закрепления | Формула для расчета |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 |  |  |
| 5 |  |  |
| 6 |  |  |

(8.1.10)



4) Определим жесткость платы

(8.1.11)



5) Находим статический прогиб платы

(8.1.12)



6) Максимальный прогиб платы при ударе

(8.1.13)



7) Находим полную динамическую деформацию платы

(8.1.14)



8) Эквивалентная сила удара

(8.1.15)



9) Определим расчетный коэффициент запаса

(8.1.16)



где - запас прочности;



- степень ответственности детали;



- однородность механических свойств материала.



В расчете



10) Находим допустимое напряжение в материале платы

(8.1.17)



где - предельное допустимое напряжение в материале платы.



11) Определим изгибающий момент, действующий на плату

(8.1.19)



12) Определим момент инерции сечения платы

(8.1.20)



13) Момент сопротивления изгибу пластины

(8.1.21)



14) Находим напряжение, возникающее в материале платы

(8.1.22)



Сравнивая расчетное значение в материале платы с допустимым значением для данного материала (стеклотекстолита фольгированного) видим, что



,следовательно, данная конструкция способна выдержать действующую ударную нагрузку.



**8.2 Расчет эффективности экранирования**

Целью расчета эффективности экранирования является исследование процесса экранирования электромагнитных полей на сверхвысоких частотах и определение затухания экранирования.

Действие электромагнитных экранов можно представить как многократное отражение электромагнитных волн от поверхности экрана и затухание высокочастотной энергии в металлической толще экрана.

Затухание энергии в экране (экранирование поглощения) Ап обусловлено тепловыми потерями на вихревые токи в металле экрана. Чем выше частота и толще экран, тем больше поглощение энергии в экране и больше величина экранного затухания за счет поглощения (больше эффект экранирования).

Отражение энергии (экранирование отражения) связано с несоответствием волновых характеристик металла, из которого изготовлен экран и диэлектрика (воздуха), окружающего экран. Чем больше различие между волновым сопротивлением диэлектрика и металла, тем сильнее эффект экранирования отражения.

Проектируемый генератор может работать в диапазоне от 100 до 2500 МГц и относится к СВЧ устройствам. Прибор заключен в корпус выполненный литьем под давлением из алюминиевого сплава АЛ9 и крышки изготовленной по аналогичной технологии, соединенных между собой винтами. Размеры корпуса с крышкой (100×50×25) мм. Корпус является несущей конструкцией, защитой прибора от влаги и пыли, а также выполняет функцию электромагнитного экрана и отводит излишки тепла.

В состав генератора входит одна катушки индуктивности, причем она имеет собственный экран и поэтому не может служить источником помех.

Разрабатываемый прибор можно отнести к приемникам помех, т.е. к устройствам, изменяющим свои параметры под действием внешних электромагнитных полей. Следовательно, генератор должен быть защищен от внешних источников помех. Источник помех может воздействовать на устройство по электромагнитному полю и гальваническим путем – по корпусу, по печатным проводникам, по системе заземления, по общим шинам, по проводам и кабелям. К источникам помех можно отнести системы радиовещания и телевидения, мобильной связи и др.

На диапазон СВЧ распространяется волновой режим экранирования, охватывая область дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн. В волновом режиме следует исходить из волн высшего порядка двух типов: поперечно-магнитной TM (волна H), характеризующей экранирование магнитного поля, и поперечно-электрической TE (волна E), характеризующей экранирование электрического поля.

Особенностью волнового режима является колебательный волновой характер изменения затухания экранирования электрической и магнитной волны с ростом частоты.

Для оценки эффективности экранирования, которое вносит металлический экран, следует пользоваться формулой (8.1.1).

(8.1.1)



где экранное затухание поглощения, ;



экранное затухание отражения, ;



коэффициент вихревых токов;



круговая частота, ;



абсолютная магнитная проницаемость среды или материала экрана;



относительная магнитная проницаемость материала экрана;



магнитная постоянная свободного пространства;



электрическая проводимость материала экрана, ;



толщина экрана, равная глубине проникновения поля в толщину экрана, ;



волновое сопротивление среды, ;



волновое сопротивление материала экрана, .



Исходные данные:



Материал корпуса – алюминиевый сплав АЛ9;

Размеры корпуса с крышкой: (100×50×25) мм.

1) Находим значения коэффициента вихревых токов и глубины проникновения высокочастотного поля в толщину экрана (табл. 1.2 [ 6 ]):

мм-1;



2) Находим значение волнового сопротивления алюминия

(табл. 1.3 [6]):



3) Находим значения волновых сопротивлений диэлектрика в электрическом и магнитном полях (табл. 1.8 [ 6 ]):



4) Определяем затухание экранирования электрического поля в волновой зоне:



5) Определяем затухание экранирования магнитного поля в волновой зоне:



Затухание в 1 непер соответствует уменьшению мощности в 7,4 раза, а тока или напряжения в 2,718 раза. Расчет эффективности экранирования показал, что выбранный материал экрана, которым является корпус прибора, обладает хорошим экранирующим эффектом.

**8.3 Расчет влагозащиты**

Уплотнительные прокладки используют для обеспечения герметичности в разъемных конструкциях. В качестве уплотняющего элемента применяют упругие материалы. Наиболее часто в качестве такого материала используют резину. Резина обладает большой упругостью и достаточно надежно обеспечивает уплотнение соединяемых частей конструкции. Хорошие уплотняющие свойства резины наблюдаются только при относительно малых деформациях, в пределах тридцати процентов. При больших деформациях наблюдается быстрое старение резины. Резина трескается, теряет упругие свойства и происходит нарушение герметичности соединяемого стыка. Необходимо помнить, что резина практически несжимаемый материал, поэтому если в резине возникнут напряжения выше допустимых, то наблюдается быстрое старение резины и как следствие потеря упругих свойств. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании уплотнительных канавок, в которые укладывается уплотнительный резиновый шнур. Пример конструкции уплотнительной канавки представлен на рис. 8.3.1. – показана крышка с выступом, который входит в уплотнительную канавку и препятствует боковому смещению крышки относительно корпуса блока. При такой конструкции крепежные винты несут только осевую нагрузку и не испытывают нагрузки на срез.

Резины выпускаются в виде пластин толщиной от 0,5 мм до 60 мм. В интервале толщин от 0,5 до 2,0 мм с шагом 0,5. В интервале от 2,0 до 20,0 мм с шагом 1 мм, от 20,0 до 60,0 мм с шагом 10 мм.

Но механически вырезать прокладку из листа резины можно только в условиях единичного или мелкосерийного производства. В условиях серийного производства такая операция будет экономически не выгодна. В этом случае уплотнительные прокладки получают путем вулканизации сырой резины в пресс-формах. Параметры и марки резин, из которых получают детали путем вулканизации приведены в табл. 8.3.1.

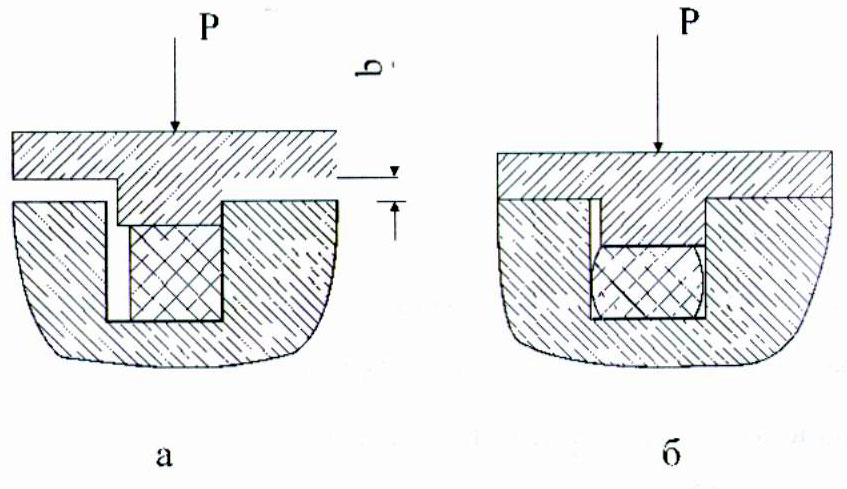


Рис 8.3.1 - Уплотнение с крышкой имеющей выступ, который входит в уплотнительную канавку

Таблица 8.3.1 - Параметры и марки резиновых смесей

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка резины | Условия работы | Рабочая среда | Диапазон температур, 0С | Предел прочности при растяжении, кгс/см2 | Твердость по Шору |
| 200а | Тяжелые условия сжатия | Вода, воздух | -45…+80 | 200 | 50…65 |
| 16р8 | -45…+80 | 200 | 50…65 |
| К-4355 | -45…+80 | 200 | 50…60 |
| 1626 | Значите-льное сжатие | Вода, воздух, бензин, масло | -45…+80 | 100 | 45…60 |
| 2671 | Вода, воздух | -45…+80 | 50 | 50…65 |
| 4591 | Вода, воздух, бензин, масло | -35…+80 | 130 | 60…75 |

Исходные данные:

Блок имеет литой корпус с крышкой. Между корпусом и крышкой необходимо проложить резиновую уплотнительную прокладку. Определить необходимое количество крепежных болтов (винтов) и их размер.

В качестве уплотнительного материала прокладки использовать вулканизированную резину 2671 (Табл. 8.3.1). Деталь АН305.324.001 упрощенно можно представить как прокладку прямоугольного сечения 0,5x0,7 мм.

Последовательность расчета

Допустимое сжатие резины без остаточных деформаций не должно превышать 30% т.е. относительное сжатие

*ε = h1-h2/h1 ≤ 30%,*(8.3.1)

где h1 и h2 – высота прокладки до и после сжатия.

*ε = 0,7-0,5/0,7= 0,29 ≤ 0,3,*

Из таблицы 8.3.1 находят твердость резины А по шкале Шора. По известной величине твердости из графика рис. 8.3.2 находят модуль сдвига, G. Предположим, что для выбранной марки резины твердость по Шору А, равна 50. При этом модуль сдвига G=8,2 кг/см2. Соотношение между модулем упругости и модулем сдвига составляет *Е=ЗG,* для нашего случая *Е=24,6* кг/см2.

Далее определяют условный модуль упругости с учетом трения резины с металлической поверхностью.

*Еу=Е(1+Фα),*

где: *Е -* модуль упругости;

α = 2*μ,*

*μ* = 0,6...0,8 – коэффициент трения скольжения в стыке металл-резина;

*Ф -* коэффициент формы.

Для прямоугольного сечения шнура коэффициент формы *Ф=a/2h*,

где *а* – ширина шнура, а *h* – его высота.

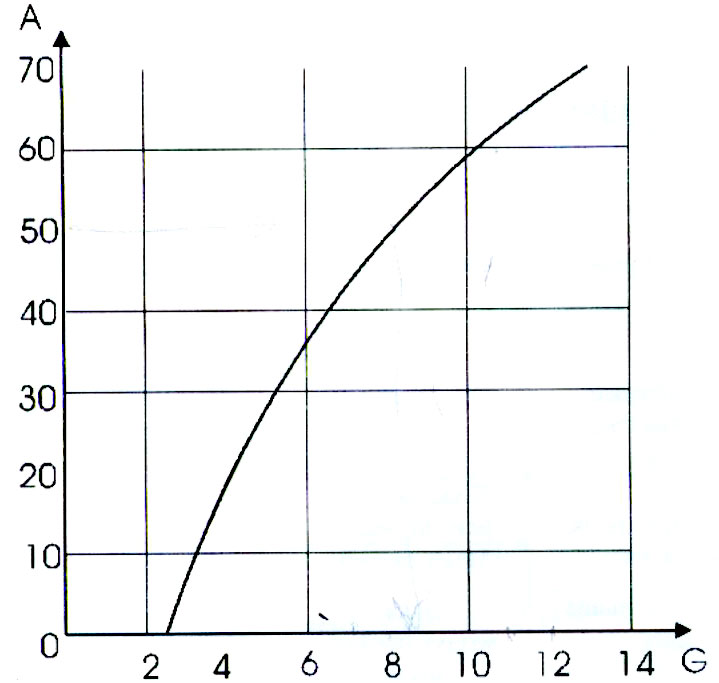


Рис 8.3.2 - График зависимости модуля сдвига от твердости резины

*Ф*=1/1,4=0,71;

*Еу*=24,6(1+1,2х0,71) = 45,6 кг/см2;

Напряжение в резине σ=ε*Еу*.

σ = 0,29х45,6=13,22 кг/см2;

Находят силу сжатия *Р=σS, где S* – площадь соприкосновения резины с корпусом.

Р= 13,22х3,25 = 42,97 кг,

Из конструктивных соображений определяют необходимое количество крепежных винтов. Зная силу сжатия и число винтов определяют усилие, приходящееся на один винт. *Р=F/n,* где *п* количество винтов.

Определяют внутренний диаметр винта:

, мм



где σв предел прочности материала винта на растяжение.

В нашем случае можно принять σв = 42, для стали А12.

мм.



По полученному значению внутреннего диаметра резьбы, выбираем ближайшее большее из стандартного ряда винтов и выбираем соответствующий тип винта. При завинчивании болта за счет трения возникает скручивающий момент, с учетом которого дополнительно проверяем наружный диаметр винта:

мм.



Исходя из полученного значения видим, что наиболее близким из стандартного ряда является винт М2.

**8.4 Расчет упаковочной тары**

1. При транспортировании на РЭС могут воздействовать удары, линейные ускорения, вибрационные нагрузки. Данные механические воздействия могут серьезно воздействовать на полупроводниковые компоненты устройства. Упаковочная тара должна гарантировать сохранность РЭС при её транспортировке любыми транспортными средствами. Контейнер для транспортировки изготовляют из недорогих материалов. В качестве таких материалов используют металл, слоистое стекловолокно и дерево. Между жесткой оболочкой тары и поверхностью РЭС прокладывают упругие амортизационные прокладки, которые гасят вибрационные и ударные нагрузки при транспортировке.

Механические свойства упаковочных материалов характеризуются соотношением между приложенной к поверхности материала нагрузкой и деформацией материала, вызываемой этой нагрузкой

,(8.4.1)



называемой статической жесткостью.

Амортизирующие прокладки могут быть упругие и неупругие. Первые полностью восстанавливают свою толщину после снятия приложенной нагрузки. В неупругих прокладках наблюдается остаточная деформация, поэтому они называются прокладками разового пользования. Характеристики некоторых упругих упаковочных материалов представлены в таблице 8.4.1.

Таблица 8.4.1 - Характеристики упругих упаковочных материалов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Материал | Плотность  , г/см3 | Предельное допустимое давление  , Н/см2 | Коэффициент демпфирования |
| Пенопласт полиуретановый (поролон) | 0,03…0,07 | 0,8…1,0 | 0,10 |
| Резина губчатая | 0.127 | 3 | 0,12 |

Исходные данные для расчета:

– масса устройства, кг;



– площадь опорной поверхности блока, см2;



– наибольшая перегрузка допустимая на РЭС.



1) Определение восстанавливающей силы после удара, которая вызовет в прокладке механическое напряжение:

, Н/см2, (8.4.2)



где – наибольшая перегрузка, допустимая на РЭС.



2) Нахождение потенциальной энергии поднятого на высоту блока РЭС, которая приводит к максимально допустимой деформации прокладки:



, Дж.(8.4.3)



Полагая, что потенциальная энергия полностью переходит в энергию деформации прокладки, можно записать

, Дж.(8.4.4)



где – объем прокладки, см3; – энергия, запасенная в единице объема прокладки при минимальной упругой деформации, Дж/см3.



3) Нахождение расчетной толщины прокладки:

, см.(8.4.5)



С учетом выражения (8.4.2) и обозначая, толщина прокладки будет равна:



, см.(8.4.6)



Для приближенного расчета удобно использовать выражение:

, см.(8.4.7)



На рисунке 8.4.2 представлены зависимости для поролона и губчатой резины.



Расчет прокладки.

Исходные данные для расчета:

, кг;



, см2;



.



1) Определим предельно допустимое напряжение в прокладке, которое возникнет после удара:

,



Н/см2.



2) Найдем расчетную толщину прокладки:

,



Рис. 8.4.1 - Зависимость для поролона и губчатой резины: 1 – поролон, плотность г/см3; 2 – губчатая резина, плотность г/см3



По рисунку 8.4.2 определим для поролона с Н/см2, , тогда:



,



Примем высоту падения за один метр, тогда:

см.



Согласно проведенному расчету для транспортирования генератор необходимо поместить в упаковочную тару с амортизирующей прокладкой из поролона толщиной не менее 0,6 см.

**9. Техническое описание конструкции**

Устройство генератор с ФАПЧ для диапазона ОВЧ-УВЧ, разрабатываемое в данном дипломном проекте, относится к классу наземной носимой аппаратуры, которая предназначена для работы на теле человека как в зданиях и сооружениях, так и на открытом воздухе. Масса данного устройства составляет менее 0,2 кг.

Диапазон рабочих частот, МГц ……….. 100–2500;

Напряжение питания, В………………… 5 (7–15);

Диапазон перестройки частоты…………15…25%

Масса, кг…………………………………. менее 0,2;

Габаритные размеры, мм……………….. 106х50х25.

Схема структурная электрическая АН468.757.001Э1.

Схема принципиальная электрическая АН468.757.001Э3.

Сборочный чертеж блока АН468.757.001.

Схема электрическая принципиальная с перечнем элементов генератора – АН468.757.001Э3 и АН468.757.001ПЭ.

Генератор состоит из одной малогабаритной (45х40 мм) печатной двусторонней платы АН741.100.001 с ЭРЭ АН468.757.002, помещенную в блок размерами 100×50×25 мм. Плата через демпфирующие прокладки АН305.323.002 привинчивается 4 винтами М2 к отверстиям в приливах корпуса. На лицевую панель блока выведены установленные на плате трехпозиционный переключатель, управляющий режимами питания прибора и его включением, гнездо для подключения внешнего блока питания, высокочастотное гнездо, для снятия выходного сигнала. Эти коммутационные изделия герметизируются уплотнителем АН305.321.001 и уплотнительными прокладками АН305.322.001 и АН302.323.001, соответственно. Блок состоит из литого алюминиевого корпуса АН8.020.001, к которому при помощи 6 винтов М2 с потайной головкой, через уплотнитель АН305.324.001, прикручивается крышка АН301.250.001, состоящая из крышки-основания АН301.250.002, и крышки батарейного отсека АН8.054.001. Крышка АН8.054.001 вдвигается в крышку-основание АН301.250.002, причем данное соединение герметизируется уплотнительной прокладкой АН305.322.002.

В корпус на резиновую прокладку так же помещается аккумуляторная батарея GP 7,2 В высокой емкости. С батареей соединяется специальная коммутационная клемма АН7.752.001, полученная доработкой стандартного изделия BS-EC. Клемма крепится направляющей АН8.208.001, входящей в специально предусмотренные пазы корпуса. Батарея подпружинивается пружиной АН8.387.001. Высокочастотное гнездо LEMO FFA соединяется с XW1, установленным на плате, посредством коаксиального кабеля RG178B/U 50Ом диаметром 2,6 мм и углового штекера AMP 829951.

Все ЭРЭ являются покупными изделиями. Они выполнены в корпусах для поверхностного монтажа (кроме разъемов, стабилизатора напряжения и варикапа) и установлены на плату в соответствии РД107.46000.019-90.

Прибор требует настройки. После настройки прибор закрывают крышкой. Головки винтов ставятся на краску (стопорятся, для предотвращения самопроизвольного отвинчивания).

Устройство не рекомендуется разбирать самостоятельно. Ремонт разрешается производить только в специализированных мастерских. Следует избегать попадания прямых солнечных лучей на блок. Не следует располагать изделие вблизи от источников теплового излучения. При соблюдении всех вышеперечисленных требований устройство безопасно в эксплуатации.

**10. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ**

Критерием надежности называется признак, по которому оценивается надежность различных изделий.

К числу наиболее широко применяемых критериев надежности относятся:

- вероятность безотказной работы в течение определенного времени ;



- средняя наработка до первого отказа ;



- наработка на отказ ;



- частота отказов ;



- интенсивность отказов ;



- параметр потока отказов ;



- функция готовности ;



- коэффициент готовности .



Наиболее полно надежность изделий характеризуется частотой отказов . Это объясняется тем, что частота отказов является плотностью распределения, а поэтому несет в себе всю информацию о случайном явлении – времени безотказной работы.



Средняя наработка до первого отказа является достаточно наглядной характеристикой надежности.



Интенсивность отказов – наиболее удобная характеристика надежности простейших элементов, так как она позволяет более просто вычислять количественные характеристики надежности сложной системы.



Наиболее целесообразным критерием надежности сложной системы является вероятность безотказной работы . Это объясняется следующими особенностями вероятности безотказной работы:



- она входит в качестве сомножителя в другие, более общие характеристики системы, например в эффективность и стоимость;

- характеризует изменение надежности во времени;

- может быть получена сравнительно просто расчетным путем в процессе проектирования системы и оценена в процессе ее испытания.

Если отказ технического устройства наступает при отказе одного из элементов, то такое устройство имеет основное соединение элементов. При расчете надежности таких устройств предполагают, что отказ элемента является событием случайным и независимым.

Тогда вероятность безотказной работы изделия в течение времени равна произведению вероятностей безотказной работы ее элементов в течение того же времени. Вероятность безотказной работы элементов в течение времени можно выразить через интенсивность отказов.



На практике наиболее часто интенсивность отказов изделий является величиной постоянной. При этом время возникновения отказов обычно подчинено экспоненциальному закону распределения, т.е. для нормального периода работы аппаратуры справедливо условие .



В этом случае выражения для количественных характеристик примут вид:

1) Вероятность безотказной работы системы в течение времени t:

(10.1)



где - суммарная интенсивность отказов; (10.2)



- интенсивность отказа го элемента (таблица 10.1);



- число элементов схемы;



2) Частота отказов системы:

(10.3)



3) Средняя наработка системы до первого отказа:

(10.4)



4) Если все элементы данного типа одинаково надежны, интенсивность отказов системы будет:

(10.5)



где - число элементов го типа;



- число типов элементов.



Таблица 10.1 - Значения интенсивностей отказов элементов схемы разрабатываемого устройства

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  элементов | Тип элементов | Кол-во эл-в , | Интенс.  отказов , | Интенсивность отказов системы |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Микро-  схемы | 78L05  MC74  MC120 | 1  1  1 | 0,04  0,64  0,64 | 0,04  0,64  0,64 |
| Конден-  саторы | Murata 0805  Murata B  TZVY2R200 | 16  1  1 | 0,06  0,1  0,155 | 0,96  0,1  0,155 |
| Резис-  торы | Koa 0805  Murata PVG3A | 15  1 | 0,04  0,155 | 0,6  0,155 |
| Транзис-  торы | КТ3132-А | 2 | 0,5 | 1 |
| Варикап | КВ132 | 1 | 0,2 | 0,2 |
| Катушки  инд-ти | Murata 0603 | 1 | 0,01 | 0,01 |
| Кварцевй резонатор | Geyer KX-9A 10МГц | 1 | 0,35 | 0,35 |
| Переключатель | Switronic SK-23D06 | 1 | 0.7 | 0,7 |
| Разъемы | Гнездо питания  Клеммник  ВЧ-гнездо | 1  1  1 | 0,09  0.09  0,01 | 0,09  0,09  0,01 |
| Провода соединительные | | 2 | 0,015 | 0,03 |
| Пайка | | 134 | 0,004 | 0,536 |
| Итого | | 181 |  | 6,306 |

*шт.*



5) Суммарная интенсивность отказов находится по формуле:



6) Рассчитаем среднее время наработки до первого отказа.



7) Построим график вероятности безотказной работы.



8) Определим вероятность безотказной работы от времени наработки до первого отказа.

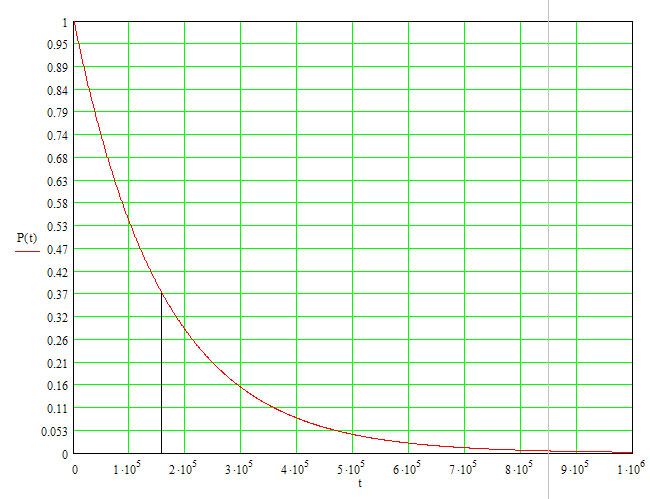


Рис. 10.1 - Зависимость вероятности безотказной работы от времени

Расчет показал, что (час) существенно больше заданного в техническом задании (час). Таким образом, можно говорить о долговременной работе генератора без отказов, что снижает необходимость профилактических ремонтов. Большое значение говорит также о снижении стоимости обслуживания и ремонта блока, что очень важно для носимой РЭА.



**11. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ ИЗДЕЛИЯ**

Генератор с ФАПЧ (Блок)

Провода, разъемы,

кабели

Комплект

крепежных

деталей и уплотнителей

Плата с ЭРЭ

Крышка

Батарея с элементами ее крепления

Корпус, с уплотнительной прокладкой

Плата

п

ечатная

ЭРЭ

Уплотните-льная прокладка

Крышка

Крышка-основание

Рис. 11.1 - Схема сборочного процесса устройства

На рисунке 11.1 представлен общий сборочный процесс устройства.

Генератор АН468.757.001 представляет собой устройство, выполненнное на одной плате с использованием технологии поверхностного монтажа. ЭРЭ установлены с одной стороны платы в соответствии с РД107.460000.019-90. Данный стандарт разработан с учетом обеспечения возможности максимальной механизации и автоматизации технологических процессов сборки изделия.

Плата с ЭРЭ установлена в металлический корпус, выполняющий роль электромагнитного экрана. Прибор предназначен для изготовления в мелкосерийном производстве. Это позволяет выбрать метод литья под давлением при изготовлении корпуса АН8.020.001. В качестве материала корпуса выбран литейный алюминиевый сплав АЛ9. Детали, получаемые литьем под давлением, имеют усадку, что необходимо учитывать при их конструировании. Очень важно, чтобы усадка была одинаковой по объему всей детали. В противном случае происходит коробление детали, что приводит к браку изделия. Избежать неравномерностей усадки можно, для этого необходимо соответствующим образом выбрать конфигурацию детали: толщина стенок должна быть примерно одинаковой, не должно быть острых углов и резких переходов от одной плоскости к другой. Алюминиевые сплавы имеют минимальную усадку при литье под давлением.

Крышка АН301.250.001 крепится к основанию с помощью 6 винтов М2. Для осуществления герметизации между основанием и крышкой, а также в местах установки ВЧ – разъема, гнезда питания проложены уплотнительная резинка. В корпусе предусмотрены шесть приливов для установки винтов. Корпус является несущей конструкцией и экраном, а также защищает платы с элементами от влаги и пыли.

**12. РАСЧЁТ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ**

В соответствии с ГОСТ 18831-73 «Технологичность конструкции. Термины и определения».

Технологичностью конструкции аппаратуры называется совокупность свойств конструкции, проявляющихся в возможности оптимальных затрат труда, материалов, времени при технической подготовке производства, изготовления, эксплуатации и ремонте, по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения. Эта совокупность свойств должна быть обеспечена при установленных значениях показателей качества и принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонта.

Условия изготовления или ремонта изделия определяются специализацией и организацией производства, применяемыми технологическими процессами и годовой программой выпуска.

Различается качественная и количественная оценка технологичности.

Качественная оценка определяет целесообразность количественной оценки. Качественная оценка проводится обобщенно, на основании опыта специалистами – экспертами.

Количественная оценка технологичности выражается показателем, численное значение которого характеризует степень удовлетворения требованиям технологичности конструкции.

Целью такой оценки является обеспечение эффективной отработки аппаратуры на технологичность при снижении затрат времени и средств на ее разработку, технологическую подготовку производства, изготовление, эксплуатацию и ремонт.

Номенклатура основных показателей приведена в ОСТ 4Г0.091.219-76. Она может дополняться с внедрением новых конструктивных решений и прогрессивных технологических процессов.

Все показатели технологичности конструкции делятся на: конструкторские и технологические.

Для того чтобы можно было оценить технологичность конструкции, все исходные данные должны представлять соответственно конструкторы и технологи.

Расчет всех показателей производится технологом.

Количественный анализ конструкции изделия на технологичность проводится в два этапа:

1. Количественный анализ ранее разработанных базовых конструкций (изделий – аналогов) с целью установки базовых показателей и уровня технологичности для сопоставления и оценки уровня технологичности вновь разрабатываемых изделий;

2. Количественный анализ новой конструкции по стадиям проектирования с установлением их уровня технологичности.

Для оценки технологичности конструкции аппаратуры используют:

- относительные частные показатели;



- комплексный показатель, рассчитываемый по средневзвешенному значению относительных частных показателей с учетом весовых коэффициентов , т.е. влияющих по-разному на трудоемкость изготовления изделия.



Значения относительных частных показателей находятся в пределах . Чем больше , тем более высока технологичность.



Выражения для расчета может быть двух видов:



1. , когда , что соответствует увеличению технологичности конструкции;



2. , если , технологичность конструкции снижается.



Коэффициент зависит от порядкового номера основных показателей технологичности (эта последовательность устанавливается экспертно) и рассчитывается по формуле



,



где - порядковый номер показателя в ранжированной последовательности.



Нормативный показатель технологичности для разрабатываемой (или модернизируемой) конструкции устанавливается путем корректировки показателей изделий-аналогов с учетом изменения технического уровня изделия и условий его производства.

В таблице 12.1 указаны частные показатели технологичности для электронных блоков; весовые коэффициенты для программы выпуска 10000 шт./год, т.е. для мелкосерийного производства.



Таблица 12.1 - Частные показатели технологичности для электронных блоков

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Порядок | Показатель технологичности |  |
| 1 | Коэффициент использования МС и МСБ в блоке | 1,0 |
| 2 | Коэффициент автоматизации и механизации монтажа изделия | 1,0 |
| 3 | Коэффициент механизации и автоматизации подготовки ЭРЭ к монтажу | 0,75 |
|  | Коэффициент механизации и автоматизации операций контроля и настройки электрических параметров | 0,5 |
| 5 | Коэффициент повторяемости ЭРЭ | 0,31 |
| 6 | Коэффициент применяемости ЭРЭ | 0,187 |
| 7 | Коэффициент прогрессивности формообразования деталей | 0,11 |

1) Коэффициент использования МС и МСБ в блоке



где - общее число МС в изделии;



- общее число ЭРЭ в изделии.



2) Коэффициент автоматизации и механизации монтажа изделия



где - число монтажных соединений, которые осуществляют механизированным или автоматизированным способом, т.е. имеются механизмы, оборудование, оснастка для выполнения монтажных соединений;



- общее число монтажных соединений.



3) Коэффициент механизации и автоматизации подготовки ЭРЭ к монтажу



где - число ЭРЭ, подготовка которых к монтажу может осуществляться механизированным или автоматизированным способом и ЭРЭ, не требующие специальной подготовки к монтажу;



- общее число ЭРЭ в изделии.



4) Коэффициент механизаций и автоматизаций операций контроля и настройки электрических параметров



где - число операций контроля и настройки, которые могут осуществляться механизированным и автоматизированным способом;



- общее число операций контроля и настройки.



5) Коэффициент повторяемости ЭРЭ



где - общее число типоразмеров ЭРЭ в изделии;



- общее число ЭРЭ в изделии.



6) Коэффициент применяемости ЭРЭ



где - число типоразмеров оригинальных ЭРЭ в изделии;



- общее число типоразмеров ЭРЭ в изделии.



К оригинальным относятся детали, узлы, ЭРЭ, разработанные и изготовленные самим предприятием – разработчиком и в порядке кооперирования – другими предприятиями.

7) Коэффициент прогрессивности формообразования деталей



где - число деталей, заготовки которых или сами детали получают прогрессивными способами формообразования (штамповкой, прессованием, литьем под давлением, в кокиль, по выплавляемым моделям, изготовленные порошковой металлургией, пайкой, сваркой, склеиванием, из профилированного материала).



Комплексный коэффициент технологичности:



где - по таблице 12.1 частных показателей технологичности;



- по таблице 12.1 частных показателей технологичности;



- ранжированное место в таблице;



- общее число относительных частных показателей в таблице;



- комплексный нормативный показатель технологичности [ 10 ].



Относительный показатель технологичности:



Расчет показал, что технологичность разрабатываемой конструкции ниже нормативного показателя.

Это объясняется в основном недостаточным числом МС, которые используются в схеме принципиальной электрической, использованием широкой номенклатуры ЭРЭ, а так же большого количества немеханизированных и неавтоматизированных операций изготовления деталей и настройки прибора.

**13. МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ ПРИБОРА**

Настройку прибора начинают с проверки режимов узлов по постоянному току. Напряжение на выходах элементов DD1.1, DD1.2 должно быть равно половине напряжения питания (около 2,5 В). Подбором резистора R9 устанавливают на коллекторе транзистора VT1 напряжение 2,2...2,7 В (движок переменного резистора R16 в левом по схеме положении). Затем надо проверить работоспособность ГУН и установить диапазон перестройки по частоте. Для этого в точку соединения резисторов R7, R10 подают постоянное напряжение 2,5 В и подбором индуктивности катушки L1 устанавливают планируемую частоту (в данном случае 1290 МГц), при этом диапазон перестройки должен составлять 15...25 % от частоты. Далее проверяют работоспособность делителя частоты. На его выходе (вывод 4) частота должна быть в 129 раз меньше частоты ГУН. Внешнее напряжение с резистора R7 отключают и проверяют работоспособность ФАПЧ. Подбором емкости конденсатора С8 добиваются устойчивой работы системы и подавление в спектре сигнала составляющих с частотой образцового генератора. Конденсатор С11 может и не понадобиться.

Затем при работающей ФАПЧ точно устанавливают выходную частоту подбором емкости конденсаторов С2, С4 и, более точно, подстроечным конденсатором СЗ. В заключение проверяют напряжение на конденсаторе С8, оно должно быть около половины напряжения питания.

По такой схеме можно собрать генераторы и на более высокие или низкие частоты, например, гетеродин с частотой 404 МГц - для трансвертера 28/432 МГц или 116 МГц для трансвертера 28/144 МГц. Буферный усилитель на транзисторе VТ1 при этом можно исключить; индуктивность катушки L1 и емкость конденсатора С17 надо увеличить, а варикап применить с большей емкостью. Для этого можно изменить и коэффициент деления микросхемы DD2 (см. таблицу 13.1) или применить микросхему делителя частоты с другим коэффициентом деления, а также применить соответствующий кварцевый резонатор.

Таблица 13.1 - Коэффициенты деления микросхемы DD1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Логический уровень на вывод 3 | Логический уровень на вывод 6 | Коэффициент деления |
| 1 | 1 | 64 |
| 1 | 0 | 65 |
| 0 | 1 | 128 |
| 0 | 0 | 129 |

Например, если в наличии не окажется кварцевого резонатора на частоту 10,0 МГц, то можно использовать резонатор на 10,125 МГц, установить в микросхеме DD2 коэффициент деления 128 и тогда можно получить выходную частоту 1296 МГц.

**14. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗДЕЛИЯ**

Технологическая характеристика изделия является частью общей технико-экономической характеристики, составляемой на каждое разрабатываемое изделие в соответствии с ОСТ 4.000.021-80

Технологическая характеристика отражает:

* составные части изделия (табл. 14.1);
* новые комплектующие изделия - элементную базу (табл. 14.2);
* виды материалов и покрытий, применяемых в изделии (табл. 14.3, П2.4);
* технологическое оборудование, контрольно-измерительную аппаратуру и специальную оснастку (табл. 14.1).

Таблица 14.1 - Составные части изделия

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Количество составных частей, шт. | | | | | |
| Всего по изделию | покупных | собственного изготовления | | | |
| стандартных | унифицированных | заимствованных | оригинальных |
| Устройства  Электрорадиоте-хнические (ячейки, узлы, электронные модули) | 1/1  1/1 |  |  |  |  | 1/1  1/1 |
| Несущие конструкции | 3/3 |  |  |  |  | 3/3 |
| Электрорадиоэле-менты  Электровакуумные  Полупроводниковые  Интегральные микросхемы  Конденсаторы  Резисторы  Моточные изделия (катушки индуктивности.)  Коммутационные (разъемы, реле, переключатели, гнезда)  Детали  Пластмассовые  а) из реактопластов  б) из термопластов  в) слоистые  Печатные платы  а) односторонние  б) двусторонние | 45/45  2/3  3/3  3/18  2/16  1/1  4/4  1/1  1/1 | 45/45  2/3  3/3  3/18  2/16  1/1  4/4 |  |  |  | 1/1  1/1 |

Примечание: Количество составных частей изделия записывается дробью: в числителе – количество составных типоразмеров (наименований), в знаменателе – количество составных частей с учетом применяемости.

Таблица 14.2 - Новые комплектующие изделия

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Обозначение | Количество | Поставщик |
| MC120LVAD | DD1 | 1 | Motorolla |
| MC74Н86D | DD2 | 1 | Motorolla |
| SMD-компоненты | VTX, RXХ,CXХ, L1, ZQ1 | 37 | Murata, Koa |
| Аккумуляторная батарея | GB1 | 1 | GP  Batteries |

Таблица 14.3 - Материалы, применяемые в изделии

| Материал | Количество | | Масса | Расход |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| марка | сортамент | детали, кг | материала |
| Черные металлы |  |  |  |  |
| Цветные металлы | АЛ9 | сплав | 0,1 |  |
| Драгоценные металлы |  |  |  |  |
| Пластмассы | СФ2-35-1,5 | Лист |  |  |
| Материалы электроизоляционные |  |  |  |  |
| Кабельные изделия | RG178B/U | кабель |  |  |
| Кабели радиочастотные |  |  |  |  |
| Лаки и краски | ПФ-115  УР-231  ЭП-572 | жидкость |  |  |
| Клеи, герметики, компаунды | ПУ-А2 | жидкость |  |  |
| Вспомогательные материалы |  |  |  |  |

Таблица 14.4 - Покрытия, применяемые в изделии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Обозначение (шифр) | Максимальные габаритные размеры изделия, мм |
| Металлические и неметаллические (органические) | Х  Н | 100х50х25  23х10х0,3 |
| Лакокрасочные | ПФ-115  ЭП-572 | 100х50х25  40х45 |
| Полимеры | Ан.окс | 100х50х25 |

Таблица 14.5 - Специальная техническая оснастка и инструмент

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Количество  наименований (номеров  чертежей) | Обозначение (номер  чертежа) | Обозначение составной части, где применяется | Стоимость, руб. |
| Специальная оснастка, в том числе: |  |  |  |  |
| штампы |  |  |  |  |
| пресс-формы | 6 |  |  |  |
| формы для литья | 2 |  |  |  |
| кокили |  |  |  |  |
| приспособления |  |  |  |  |
| кондукторы |  |  |  |  |
| прочая |  |  |  |  |
| ВСЕГО: | 8 |  |  |  |
| Специальный инструмент, в том числе: |  |  |  |  |
| режущий | 3 |  |  |  |
| измерительный |  |  |  |  |
| вспомогательный |  |  |  |  |
| слесарный |  |  |  |  |
| радиомонтажный |  |  |  |  |
| ВСЕГО: |  |  |  |  |

**15. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**15.1 Анализ характеристик объекта проектирования и трудовой деятельности**

Объект проектирования представляет собой автономный портативный генератор с ФАПЧ для диапазонов ОВЧ–УВЧ, заключенный в алюминиевый экранирующий корпус. Прибор питается от аккумуляторной батареи напряжением 7,2 В, или от блока питания 7…15 В, работающего от сети переменного тока 220 В. Малые рабочие напряжения и токи, а так же металлический экран, обеспечивают безопасно низкий уровень электромагнитных излучений для здоровья человека при эксплуатации прибора (согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.055–96).

Объект проектирования может применяться как в помещениях, так и на открытом воздухе. Прибор может быть использован как радиомаячок, гетеродин или контрольный генератор, не требующий постоянного контроля со стороны оператора, в том числе и в автономном режиме. Исходя из этого, данное устройство может являться как составной частью более сложной системы, так и самостоятельным прибором. Разрабатываемое устройство относится к профессиональной аппаратуре (ГОСТ 16962.1–89), гр. IV, к классу наземной носимой аппаратуры. Предполагается, что изделие может использовать радиолюбитель.

Основные технические характеристики проектируемого устройства:

1. Диапазон рабочих частот, МГц ……….. 100–2500;
2. Напряжение питания, В………………… 5 (7…15);
3. Масса, кг…………………………………. менее 0,2;
4. Габаритные размеры, мм……………….. 106х50х25.

Устройство не разбирать самостоятельно. Ремонт и обслуживание оборудования осуществляется только специальным техническим персоналом, прошедшим инструктаж по технике безопасности. Не допускать попадания жидкости внутрь корпуса. Нежелательно воздействие прямых солнечных лучей. Не располагать изделие вблизи источников теплового излучения.

Исходя из изложенного, более целесообразно рассматривать мероприятия по обеспечению безопасности жизнедеятельности в условиях ремонта данного устройства.

**15.2 Мероприятия по эргономическому обеспечению**

Общие эргономические требования к объекту проектирования и рабочим местам обслуживающего персонала должны соответствовать ГОСТ Р 50948–2001.

На лицевой панели устройства расположены слева направо: гнездо для подключения внешнего блока питания, трехпозиционный движковый переключатель, управляющий включением и режимом питания прибора, высокочастотный разъем для внешней коммутации устройства. Причем среднее положение переключателя включает питание прибора от гальванического элемента, левое – слева расположено гнездо для внешнего блока питания – соответственно, включает питание от внешнего сетевого блока питания.

Конструкция крышки корпуса обеспечивает быстрый доступ к отсеку с гальванической батареей и возможность ее оперативной замены. Для доступа к плате с ЭРЭ необходимо снять крышку прибора, для чего необходимо отвинтить 6 винтов с потайной головкой.

Все элементы, расположенные на печатной плате, гнезда и переключатель имеют легко читаемую маркировку, что также способствует быстрому ориентированию при осуществлении ремонта и настройки.

Рассмотрим оснащение рабочего места персонала, который осуществляет ремонт и настройку данного объекта проектирования в стационарных условиях. Оно должно соответствовать общим требованиям ГОСТ Р 12.0.006–2002.

Окраска помещений и мебели должна способствовать созданию благоприятных условий для зрительного восприятия, хорошего настроения.

Конструкция мебели: стола, рабочего кресла, шкафов и оснастка рабочего места имеет огромное значение для создания комфортных и безопасных условий труда.

Основное значение имеет конструкция производственного кресла, т.к. от него зависит правильность позы работника, а, следовательно, и степень утомляемости. Рабочее кресло должно иметь требуемые размеры, соответствующие антропометрическим данным человека, и быть подвижным, этим требованиям отвечают кресла с регулируемым наклоном спинки и высотой сиденья. Изменяя высоту сиденья от уровня пола и угол наклона спинки, работник может найти наиболее удобное и соответствующее трудовому процессу и индивидуальным особенностям положение.

Поверхность рабочего стола должна быть на уровне локтя при рабочем положении человека. Отсутствие достаточного пространства для коленей и ступней ног обуславливает неправильное положение тела во время работы и вызывает утомление работника. Средняя высота рабочего стола принимается за 725 мм. Расстояние от ремонтируемого устройства до глаз рабочего по высоте должно составлять примерно 450 мм.

Покрытие рабочего места ремонтника должно быть выполнено из изоляционных материалов, при нагревании не выделяющих вредных веществ.

Рабочее место следует оборудовать таким образом, чтобы движения работника были наиболее рациональные, наименее утомительные. Предельная и комфортная зоны досягаемости рук для сидящего оператора приведена на рис. 16.1, размеры указаны в мм.



Рис. 15.2.1 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

Разрабатываемое устройство должно находится в зоне Д, в зоне Г и В рекомендуется располагать часто используемое оборудование: паяльник или паяльно-ремонтную станцию, флюс, припой и т. д. В зонах А и Б рекомендуется размещать выключатели питания, контрольно-измерительную аппаратуру и т. д.

На рабочем месте не должны находиться ненужные для рабочего процесса материалы, приспособления и оборудование. Захламленность рабочего места часто приводит к производственному травматизму. Размещение инструментов в инструментальном шкафу, измерительных приборов, инструментов и приспособлений, заготовок и деталей в строгом порядке на рабочем месте снижает утомляемость работника.

Типовое рабочее место ремонтника включает в зоне электростатической безопасности, следующие антистатические объекты: паяльную станцию (например, ERSA Analog 60A), монтажный инструмент (с изолирующими ручками), контрольно–измерительную аппаратуру (например, мультиметр), контейнеры с компонентами, настольный коврик, браслет с гарнитурой (например, 8РК–611), объединительный узел заземления, напольное заземляющее покрытие, стол и стул (полностью антистатический или с заземляющими чехлами на сиденье и спинке). Настольный антистатический коврик обычно двухслойный: верхний его слой рассеивающий, а нижний – проводящий. Коврик должен быть износостойким, негорючим, термостойким (чтобы выдерживать случайные прикосновения паяльником), не выделять газов, иметь спокойную однотонную расцветку.

На рисунке 16.2 показан примерный вид оснащения рабочего места ремонтника (электрическое оборудование и кресло не показано).

Антистатическое покрытие пола должно быть матовым c цветными вкраплениями, чтобы не выделялись места потертостей после длительной эксплуатации. Покрытие пола должно быть износостойким, шумопоглощающим, негорючим, термостойким, не выделять газов. Оно крепится на напольную металлическую сетку или сборные металлические плитки проводящим клеем. Антистатический стул (кресло) должен иметь негорючее, термоcтойкое покрытие с сопротивлением порядка 1Мом и временем стекания заряда не более 0,5 с; конструкция стула должна соответствовать стандартам эргономичности.

Спецодежда с антистатической маркировкой (халаты, футболки) для работы в зоне антистатической защиты имеет в составе ткани 96% хлопка и 4% проводящего волокна, обеспечивающего сопротивление порядка 3 МОм и время стекания заряда не более 0,3 с; число стирок без утраты антистатических свойств – не менее 50.

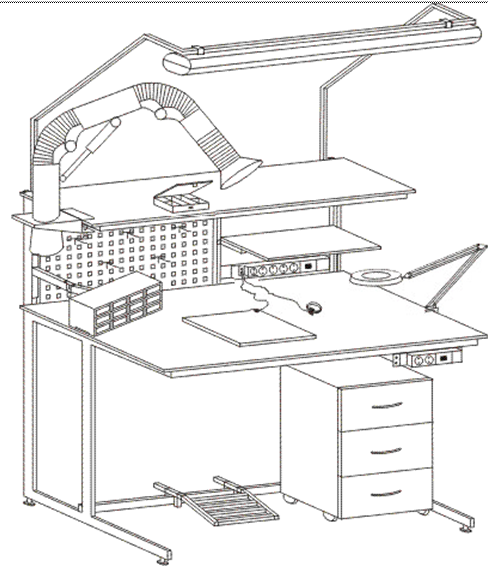


Рис. 15.2.2 - Оснащение рабочего места ремонтника

Обувь изготавливается на основе натуральной кожи с сопротивлением не более 3,5 МОм. При отсутствии специальной обуви используются заземляющие ремешки для стекания заряда с лодыжечной части ноги человека на покрытие пола. Разумеется, рабочую одежду и обувь следует содержать в чистоте в соответствии с СанПиН 2.2.2.540–96 "Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ".

На ответственного сотрудника возлагаются функции ежедневного контроля над соблюдением правил антистатической безопасности. В распоряжении координатора должны быть приборы контроля влажности, статического заряда, сопротивления. Периодически должен проводиться также независимый антистатический аудит.

Необходимым условием безопасной для зрения работы является наличие бестеневой лампы с увеличивающей линзой, например 8РК–F120NB.

Правильный выбор и расчет освещенности рабочего места и производственного помещения обеспечивают в соответствии с главой СНиП П–4–79, рекомендуется применять комбинированное освещение.

Системы вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха должны быть выполнены в соответствии с главой СНиП 2.04.05–91.

Рабочее место ремонтника должно быть оборудовано принудительной вентиляцией со скоростью вытяжки воздуха на месте пайки - не менее 0,6 м/сек (СанПин 952–72), причем рециркуляция воздуха внутри помещения запрещена. Вентиляционные устройства необходимо очищать не менее раза в месяц. При данных мероприятиях концентрация аэрозолей свинца на рабочем месте не должна превышать 0,005–0,01 мг/м3.

Гигиенические требования к микроклимату ремонтного помещения должны соответствовать СанПиН 2.2.4.548–96 и Р 2.2.755–99. Концентрация пыли на рабочих местах не должна превышать 6 мг/м3(п.892б СанПиН N 4617–88). Не реже одного раза в две недели должна выполняться общая влажная уборка всего рабочего помещения.

Уровни шума на рабочих местах должны соответствовать требованиям ведомственных строительных норм ВСН 601 – 92 "Допустимые уровни шума на предприятиях связи".

**15.3 Мероприятия по электробезопасности (ГОСТ 12.1.030-81)**

Помещение, в котором находятся рабочие места ремонтников, по степени поражения электрическим током относится к категории помещений без повышенной опасности.

Для питания измерительных приборов и устройства на рабочем месте используется сеть переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью. Электропитание рабочего места должно быть подключено через рубильник, установленный в месте, удобном для быстрого отключения питания рабочего места, должны быть предприняты меры для обесточивания рабочего места в аварийных режимах.

В сети с глухозаземленной нейтралью при однофазном замыкании на корпус необходимо обеспечить автоматическое отключение поврежденного электрооборудования. Этого можно добиться только прокладкой специального провода достаточной проводимости – нулевого провода, к которому присоединяются корпуса электрооборудования

На рис. 16.3 приведена рекомендательная схема заземления производственного помещения с учетом требований электробезопасности и антистатики.

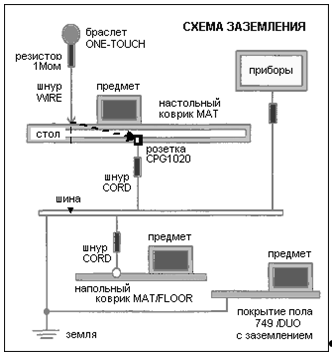


Рис. 15.3.1 - Схема заземления производственного помещения

**15.4 Мероприятия по пожарной безопасности**

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара, системой пожарной защиты, а так же автоматическими системами пожаротушения, противопожарными датчиками температуры и задымленности и системами аварийного отключения аппаратуры от сети. Во всех ремонтных помещениях необходимо наличие таблиц «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения возгорания и указывающих места расположение пожарной техники. Отделка помещения, где находится данное устройство, должна соответствовать нормам пожарной безопасности ППБ 01–93, ГОСТ 12.1.004 – 91 ССБТ, ГОСТ 12.1.018–93 ССБТ.

В зданиях пожарные краны устанавливаются в коридорах, на площадках лестничных клеток и входов.

Пожар часто угрожает жизни и здоровью человека и может привести к выходу из строя дорогостоящей аппаратуры.

Основными причинами возникновения пожаров являются:

* небрежное, неосторожное или неумелое обращение с открытым огнем;
* неисправности в устройствах систем отопления, вентиляции, кондиционирования и нарушение правил их эксплуатации;
* неисправности электрооборудования, электропроводки, производственного оборудования и нарушение правил их эксплуатации;
* самовозгорание и самовоспламенение горючих веществ;
* разряды статического и атмосферного электричества;
* неправильное хранение материалов, опасных в пожаром отношении;
* нарушение установленного технологического процесса производства без учета пожарной опасности;
* курение в местах, не разрешенных пожарной охраной предприятия.

Поэтому все ремонтники должны допускаться к работе только после прохождения противопожарного инструктажа.

Для тушения пожаров на начальных стадиях применяются огнетушители. В соответствии с ГОСТ Р 51057–97 в помещении, где находится рабочие места ремонтников целесообразно использовать углекислотный огнетушитель ОУ–5, который применяется для тушения пожаров в электротехнических установках и приборах, находящихся под напряжением и для тушения особо ценных материалов (например, ценных бумажных документов), когда нельзя использовать воду или пену. Профилактический осмотр данных огнетушителей заключается в периодическом (как минимум 1 раз в год) взвешивании.

В случае возникновения пожара ответственным за пожарную безопасность лицам необходимо:

* продублировать сообщение о возникновении пожара в пожарную охрану;
* в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение, используя для этого имеющиеся силы и средства;
* проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты;
* при необходимости отключить электроэнергию;
* прекратить все работы в здании, кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;
* одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию персонала, не участвующего в пожаротушении и защиту материальных ценностей;
* обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;
* организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;

**15.5 Мероприятия по обеспечению экологической безопасности**

При проектировании СВЧ аппаратуры необходимо учитывать возможность загрязнения окружающей среды электромагнитным излучением. Для обеспечения экологической безопасности при разработке генератора диапазона ОВЧ–УВЧ необходимо учесть экранирование.

Уменьшение энергии излучения достигается выполнением специальных мероприятий: к ним относится экранирование СВЧ аппаратуры. Полное отражение электромагнитных волн обеспечивается применением экранов с высокой электропроводностью (из металлов). Проектируемое устройство имеет алюминиевый экран. В материале металлического экрана возникают вихревые токи, создающие электромагнитное поле, противоположное экранируемому. В результате такого противодействия электромагнитное поле источника излучения локализуется. Наибольший эффект достигается при общем экранировании всех элементов устройства.

При точном выполнении требований нормативных документов и правил, грамотном и разумном оснащении рабочих мест ремонтников данного устройства все угрозы для жизни и здоровья людей будут сведены к минимуму.

Разрабатываемое устройство можно назвать безопасным при эксплуатации и удобным для обслуживающего персонала эргономически.

Условия труда для ремонтных работников комфортны и благоприятны для высокопроизводительного труда. Наличие вентиляции сводит риски, связанные с пайкой припоем, содержащим свинец, к минимуму. При этом приточная вентиляция обеспечивает концентрацию паров свинца в несколько раз меньшую, чем его ПДК.

Специальные мероприятия обеспечивают пожарную и электрическую безопасность помещений.

**16. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ**

В данном дипломном проекте разрабатывается конструкция генератора с ФАПЧ для диапазонов ОВЧ-УВЧ.

В ходе разработки дипломного проекта был выполнен анализ технического задания, в котором предъявляются требования к эксплуатационным характеристикам устройства, конструкции, ремонтопригодности.

Анализ различный конструкторских приемов и решений, использование современных технологий, позволили существенно снизить затраты на изготовление прибора с сохранением всех изначально заложенных потребительских качеств.

Генератор с ФАПЧ – это устройство с фазовой автоматической подстройкой частоты электрических колебаний стабильного задающего генератора, который реализован на компактном стабильном кварцевом резонаторе Geyer Electronics с частотой 10 МГц.

Генератор заключен в литой герметичный алюминиевый корпус, и может являться как автономным портативным устройством (например, как радиомаяк), ввиду малых габаритов, веса и наличия встроенного аккумуляторного источника питания высокой емкости, так и частью более сложной стационарной системы (например, как гетеродин-генератор).

Основной целью данного раздела является анализ экономической целесообразности и технической возможности разработки и реализации генератора с ФАПЧ.

При расчетах за единицу продукции принимается одно устройство в сборе. Применительно к условиям производства в себестоимость включается три прямых статьи затрат: стоимость материалов; покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты и услуги кооперированных предприятий; основная заработная плата производственных рабочих. Остальные статьи калькуляции определяются косвенным путем.

1). Расчет стоимости покупных изделий и полуфабрикатов

Расчет стоимости покупных изделий и полуфабрикатов определяется прямым счетом. Форма для расчета стоимости покупных изделий и полуфабрикатов приведена в таблице 17.1.

Данные граф 1-3 определяются на основании принципиальной схемы и спецификации разработки. Графа 4 определяется, в основном, по договорным и свободным ценам, или по данным предприятия-изготовителя. Графа 5 – расчетная (произведение графы 3 на графу 4).

Транспортно-заготовительные расходы принимаются в размере 13-15% от общей стоимости покупных изделий и полуфабрикатов.

Договорные цены на покупные изделия определялись через представительства крупнейших поставщиков радиокомпонентов в сети Интернет: Платан, Симметрон, Вест-Эл, Компэл.

Таблица 16.1 - Расчет стоимости покупных изделий и полуфабрикатов

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование готовых изделий и полуфабрикатов | Тип | | Количество | Цена за единицу, руб. | Сумма, руб. | |
| 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | |
| Печатная плата | СФ2-35-1,5 | | 0,18 дм2 | 80 | 14,4 | |
| Микросхемы | 78L05 | | 1 | 17 | 17 | |
| Motorolla MC74HC86D | | 1 | 12,6 | 12,6 | |
| Motorolla MC12022LVAD | | 1 | 7,3 | 7,3 | |
| Транзисторы | КТ 3132А | | 2 | 50 | 100 | |
| Резисторы | Koa RK73 | | 15 | 0,55 | 8,25 | |
| Murata PVG3A | | 1 | 9,8 | 9,8 | |
| Катушка индуктивности | Murata LQP18M-1,5нГн | | 1 | 3,4 | 3,4 | |
| Конденсаторы | Murata GRM 0.01мкФ | | 5 | 0,6 | 3,0 | |
| Murata GRM 0.1мкФ | | 2 | 1 | 2 | |
| Murata B 47мкФх6В | | 1 | 3,4 | 3,4 | |
| Murata GRM 4,7пФ | | 1 | 0,6 | 0,6 | |
| Murata GRM 5,1пФ | | 1 | 0,7 | 0,7 | |
| Murata GRM 20пФ | | 1 | 0,7 | 0,7 | |
| Murata GRM 30пФ | | 2 | 0,9 | 1,8 | |
| Murata GRM 300пФ | | 4 | 0,9 | 3,6 | |
| Murata TZVY2R200 4,5-20пФ | | 1 | 13,3 | 13,3 | |
| Соединители | Переключатель Switronic SK-23D06 | | 1 | 7,8 | 7,8 | |
| Гнездо питания 3,5мм | | 1 | 5,6 | 5,6 | |
| Клеммник 301-02-113 | | 1 | 4,1 | 4,1 | |
| ВЧ-гнездо AMP BNC 966475 50Oм | | 1 | 93,60 | 93,6 | |
| Элемент питания | GP Batteries 7.2V | 1 | | 403,3 | | 403,3 | |
| Варикап | КВ132 | 1 | | 6,3 | | 6,3 | |
| Кварцевый резонатор | Geyer KX-9A 10МГц | 1 | | 25 | | 25 | |
| Итого 747,55 руб.  Транспортно-заготовительные расходы 97,18 руб.  Всего 844,73 руб. | | | | | | |

2). Расчет стоимости основных материалов

Определим затраты на основные материалы

руб.,(16.1)



где – удельный вес на материалы;



– удельный вес на покупные изделия и полуфабрикаты.



Коэффициенты , , выбираются согласно таблице 3.6 [ ].



Так как разрабатываемое устройство - генератор, т.е. возбудитель, то =0,15; =0,3



3). Расчет заработной платы производственных рабочих

Определим заработную плату производственных рабочих

руб.,(16.2)



где =0,55 – удельный вес на заработную плату.



4). Расчет полной себестоимости изделия

Расчет полной себестоимости приведен в таблице 17.2. За основу при расчете взята заработная плата производственных рабочих.

Таблица 16.2 - Полная себестоимость единицы изделия

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование статей затрат | Сумма затрат, руб | Удельные веса статей затрат, % |
| 1 | 2 | 3 |
| Зарплата производственных рабочих | 1548,67 | 17,54 |
| Единый социальный налог (26% зарплаты производственных рабочих) | 402,65 | 4,56 |
| Покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты и услуги кооперированных предприятий | 844,73 | 9,57 |
| Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (35-40% зарплаты производственных рабочих) | 542,03 | 6,14 |
| Цеховые расходы (150% зарплаты производственных рабочих) | 2323 | 26,31 |
| Общезаводские расходы (200% зарплаты производственных рабочих) | 3097,34 | 35,08 |
| Производственная себестоимость единицы изделия | 8758,42 | 99,2 |
| Внепроизводственные расходы(0,8-1% производственной себестоимости единицы изделия) | 70,07 | 0,8 |
| Полная себестоимость единицы изделия (Сп) | 8828,49 | 100% |

5). Расчет оптовой цены

Определим базовую оптовую цену изделия Цмин с учетом 15%-прибыли предприятия П как:

;(16.3)



Цмин = Сп(1+0,15) = 8828,49(1+0,15) = 10152,76 руб.;

Так как аналог устройства не определен - верхний предел цены не может быть учтен, очевидно, что она должна быть на уровне, выгодном потребителю.

6). Расчет отпускной цены

Для расчета конечных цен примем оптовую цену Цо за 10500 руб. Тогда отпускная цена изделия (с учетом НДС 18%) будет составлять:

Цотп = Цо+Цох18% = 10500+1890 = 12390 руб;

7). Расчет розничной цены

Розничная цена Црозн дополнительно к отпускной цене Цотп включает в себя торговую наценку 25%, тогда:

Црозн = Цотп+Цотпх25% = 12390+3097,5 = 15487,5 руб;

7). Технико-экономические показатели

Основные технико-экономические показатели разработанного устройства представлены в таблице 16.3.

Таблица 16.3 - Технико-экономические показатели

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование показателей | Разрабатываемое устройство | Аналог устройства |
| 1 | 2 | 3 |
| Диапазон частот, МГц  Нестабильность частоты, %  Способ установки частоты  Точность установки частоты, %  Среднее время безотказной работы, час  Коэффициент использования объема  Коэффициент использования массы  Диапазон перестройки частоты, %  Напряжение питания, В  Число полупроводниковых микросхем  Габариты ВхШхД, мм  Масса, кг  Полная себестоимость, руб.  Отпускная цена, руб.  Розничная цена, руб. | 100…2500 (номинально 1290)  10  Фазовая автоподстройка  10  1,6х105  0,09  0,163  15…25%  +7…15  3  25х50х106  <0,2  8828,49  12390  15487,5 | Нет  данных |

Проведенный аналитический обзор технической литературы за 1995-2005гг. по теме дипломного проектирования не позволил выявить явный аналог. Были найдены несколько устройств, которые по назначению похожи на разрабатываемое в дипломном проекте, но некоторые из них могут работать на частотах значительно более низких, а одно работает на тех же частотах, но выполняет другие функции, реализовано на другом функциональном уровне (ПАВ) и находится в стадии разработки в настоящий момент, поэтому его цена неизвестна. Исходя из этого, технико-экономический расчет возможно было провести только для нового устройства.

Уменьшение себестоимости генератора возможно с применением менее совершенной и более дешевой элементной базы, а так же существенное увеличение программы выпуска, кроме этого существует возможность изменить комплект поставки и вместо аккумуляторной батареи питания включить одноразовый гальванический элемент.

**17. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИИ**

В настоящее время действует 2 ГОСТа для оценки качества РЭА:

ГОСТ 15467-70 Качество продукции. Термины. ГОСТ 16431-70. Качество продукции. Показатели качества и методы оценки уровня качества продукции. Термины и определения.

Под качеством продукции (в том числе радиоэлектронной аппаратуры) согласно ГОСТ 15467-70 понимается совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность продукции удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Для оценки уровня качества в соответствии с ЕСКД (ГОСТ 2.116-71) должны составляться “Карты технического уровня и качества продукции” (КУ). В КУ для РЭА указываются следующие показатели качества:

* показатели назначения;
* надежности;
* технологичности;
* эргономические;
* эстетические;
* стандартизации и унификации;
* патентно-правовые;

- экономические.

Ряд показателей качества непосредственно является сисмтемой конструкции (технологичность), а остальные частично определяются конструкцией наряду со системно-, схемотехническими и технологическими решениями.

При анализе конструкций РЭА используются параметры и коэффициенты по компоновочным показателям (часть показателей качества РЭА по назначению, практически не зависящих от схемного решения РЭА):

Рассчитаем компоновочные показатели качества блока генератора:

кг – масса генератора;



см3 – объем генератора;



1) Плотность монтажа для блока генератора:

(17.1)



где N – количество ЭРЭ, входящих в принципиальную электрическую схему РЭА.



2) Коэффициент использования массы го элемента



(17.2)



масса го элемента, кг;



масса конструкции, кг.



3) Коэффициент использования объема го элемента



(17.3)



объем го элемента, ;



объем конструкции, .



4) Эквивалентная масса одного ЭРЭ

(17.4)



5) Эквивалентный объем одного ЭРЭ

(17.5)



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В дипломном проекте разработана конструкция генератора с ФАПЧ для диапазонов ОВЧ-УВЧ в виде носимого малогабаритного автономного прибора, который может функционировать как самостоятельно, так и в составе более сложной системы, например как задающий генератор.

В проекте решены все поставленные в ТЗ задачи: проведен патентный поиск; обзор технической литературы по теме проекта, который не позволил найти полный аналог разрабатываемого прибора; проведены необходимые расчеты подтвердившие правильность конструкторских решений; проведены расчеты надежности и технологичности конструкции. Габариты прибора 106×50×25 мм. Масса менее 0,2кг.

В герметизированном алюминиевом корпусе, выполняющем роль экрана, установлена малогабаритная печатная плата (40х45 мм) и аккумуляторная батарея повышенной емкости. Конструкция обеспечивает возможность быстрой замены батареи, при этом устройство может быть подключено к сетевому блоку питания 7…15 В.

Малые габариты печатной платы были получены в результате использования современной элементной базы на основе поверхностно-монтируемых (SMD) элементов.

Проведенные технико-экономические расчеты, показали целесообразность изготовления данного прибора в условиях мелкосерийного производства, при этом были предложены варианты дополнительного снижения себестоимости.

Прибор удобен и безопасен при эксплуатации и ремонте.

К недостаткам устройства можно отнести отсутствие световой индикации, показывающей режимы питания прибора, а так же необходимость его настройки.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Воздвиженский Ю.М., Иванов В.К., Короткова Н.А., Костромина Е.Н. «Экология и безопасность жизнедеятельности. Методические указания для разработки главы в дипломных проектах». СПб., СПбГУТ, 2005.
2. Гелль П.П., Иванов-Есипович Н.К. «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры». Ленинградское отделение: «Энергия», 1972.
3. Гелль П.П., Иванов-Есипович Н.К. «Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для ВУЗов». Л: «Энергоатомиздат», 1984.
4. Гелль П.П., Осокина Н.А., Сотенко С.М., Матюхина Т.В. «Методические указания к конструкторскому практикуму по курсу "Конструирование радиоэлектронных средств"». СПб., СПбГУТ, 1995.
5. Гелль П.П., Матюхина Т.В., Осокина Н.А., Сотенко С.М. «Основные конструкторские расчеты. Учебное пособие к самостоятельной работе по специальности 654300, 551100». СПб., СПбГУТ, 2004.
6. Гроднев И.И. «Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот». М., «Связь», 1972.
7. Гончаров Н.Р. «Охрана труда на предприятиях связи». М., «Связь», 1971.
8. Журнал «Радио» №12, 2004. // Нечаев И. «Генератор с ФАПЧ для диапазонов ОВЧ-УВЧ», с. 33-34.
9. Журнал «ChipNews» №4 2000 г. // Голуб В. «Система ФАПЧ и ее применения».
10. Кустов О.В., Гелль П.П., Осокина Н.А., Матюхина Т.В. «Методические указания к выпускной квалификационной работе. Проектирование и технология электронных средств». СПб., СПбГУТ, 2004.
11. Ненашев А.П. «Конструирование радиоэлектронных средств: Учебник для радиотехнических специальностей ВУЗов». М: «Высшая школа», 1990.
12. Половко А.М. «Сборник задач по теории надежности», М:,1972.
13. Уваров А.С. «P-CAD. Проектирование и конструирование электронных устройств». М.: «Горячая линия – Телеком», 2004.
14. Ханке Х.-И., Фабиан Х. «Технология производства радиоэлектронной аппаратуры». М.: «Энергия», 1980.
15. Цатурова Р.Г., Мазурова М.М., Голубева А.В. «Методические указания по технико-экономическому обоснованию дипломных проектов». СПб., СПбГУТ, 2003.