ОДК 621.3.019 Министерство образования и науки Украины

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского

«Харьковский авиационный институт»

Факультет радиотехнических систем летательный аппаратов

Кафедра производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту по курсу «Физико-теоретические основы конструирования электронных аппаратов»

АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МИНИАТЮРНОГО МИКРОМОЩНОГО РАДИОПЕРЕДАТЧИКА

2010

**РЕФЕРАТ**

Расчетно-пояснительная записка по курсовому проекту: 41 страниц, 11 рисунков, 13 таблиц, 2 приложений, 6 источников.

Объектом исследования является миниатюрный микромощный радиопередатчик.

Целью данной работы является изучение и практическое применение методов анализа надежности и безотказности радиоэлектронной аппаратуры.

Для данного объекта был проведен анализ свойств и условий его применения, а так же анализ критериев отказов и предельных состояний. Было проведено распределение требований по надежности и ориентировочный расчет надежности по отдельным функциональным узлам, уточненный расчет надежности и расчет поля допуска на определяющий параметр одного функционального узла, а так же расчет параметрической надежности функционального узла. Были рассчитаны показатели безотказности, ремонтопригодности и комплексные составляющие всего устройства и его отдельной функциональной части.

ВЕРОЯТНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОТКАЗНОСТЬ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ, РЕСУРС, РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ, ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ, РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ.

**ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день создается большое количество новых радиоэлектронных приборов по усовершенствованным технологиям и с использованием современной элементной базы. Одной из основных задач такого проектирования является обеспечение требуемого уровня надежности электронной аппаратуры, т. к. низкая надежность является одной из причин преждевременного снятия объектов с эксплуатации, экономического простоя, увеличения затрат на гарантийное обслуживание, комплектов запасных частей, снижению эффективности применения ответственной техники.

Надежность техники должна обеспечиваться системно, охватывая все стадии жизненного цикла изделий, поэтому целью данной курсовой работы является проведение комплексного анализа надежности и безотказности микромощного радиопередатчика. Будет проведен ориентировочный расчет надежности всего устройства и сравнение с заданными значениями. Также более детально будет рассмотрен один из функциональных узлов, для которого будет проведен уточняющий расчет надежности, и, обобщив результаты, сможем сделать выводы о надежности данного узла.

Ожидаемым результатом должно быть получение данных об уровне надежности прибора, сможем выявить какие-то недостатки и предложить пути их устранения.

**1. АНАЛИЗ ОБЪЕКТА И УСЛОВИЙ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**1.1 Анализ свойств объекта**

Исследуемый в данной курсовой работе миниатюрный микромощный передатчик (ММП) относится к наземной, носимой (переносной), бытовой радиоэлектронной аппаратуре (РЭА). По категории размещения РЭА на объекте эксплуатации и условий эксплуатации относится к IV группе, т.е. к аппаратуре, работающей на открытом воздухе, в условиях движения. Категория размещения – для работы и эксплуатационного хранения в помещениях с искусственным климатом и для кратковременной работы в других условиях, в том числе и на открытом воздухе.

Схема электрическая принципиальная ММП представлена в прил. А. Данное устройство состоит из четырех функциональных узлов (ФУ) (см. рис. 1.1). Перечень элементов представлен в прил. Б.



Рисунок 1.1 – Структурная схема устройства: а) ФУ №1 – входной блок; б) ФУ№2 –микрофонный усилитель; в) ФУ№3 – задающий высокочастотный генератор; г) ФУ№4 – усилитель мощности

Микрофонный усилитель (ФУ №2) собран на транзисторе VT1, VT2 образует задающий высокочастотный генератор (ФУ №3). Его частота зависит от индуктивности L1 и емкости между электродами сток-затвор VT2. Через резистор R5 на варикап VD2 подается начальное смещение.

Нагрузкой микрофонного усилителя служит R6, c помощью С4 закорачиваются на корпус высокочастотные составляющие. Для увеличения громкости звука следует увеличить емкость конденсаторов С1 и С3.

На транзисторе VT3 собран усилитель мощности (ФУ №4) с коэффициентом усиления около 5-7. Конденсатор С11 нужен для нагрузки выходного каскада при использовании короткой антенны (менее 0,5 м).

**1.2 Анализ условий применения объекта**

Для обеспечения необходимых условий применения рассматриваемого объекта необходимо учитывать следующие нормативные внешние воздействующие факторы (ВВФ):

а) ударная устойчивость:

- ускорение, g – 10;

- длительность ударного импульса, – 16 мс;

- число ударов, не менее – 20;

б) прочность при транспортировании (в упакованном виде):

- ускорение g, 15;

- длительность ударного импульса – 11 мс;

- число ударов – не менее 1000;

в) теплоустойчивость:

- рабочая температура – 40°С;

- предельная температура – 55°С;

г) пониженное атмосферное давление – 70 кПа;

д) холодоустойчивость:

- рабочая температура −10°С;

- предельная температура −40°С;

е) влагоустойчивость:

- влажность – 93 %;

- температура – 25°С.

**2. РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТА**

**2.1 Классификация объекта по назначению**

миниатюрный микромощный радиопередатчик надежность

ММП – это изделие конкретного назначения (ИКН), имеющее один вариант применения. По работоспособности – это изделие вида I, которое в процессе эксплуатации может находиться в двух состояниях – работоспособном и неработоспособном. По режиму применения (функционирования) – это изделие длительного непрерывного применения (НПДП) и многократного циклического применения (МКЦП), восстанавливаемое, необслуживаемое, ремонтируемое обезличенным способом. Исследуемый объект относится к категории изделий, переход которых в предельное состояние при применении по назначению не ведет к катастрофическим последствиям. Основным процессом, определяющим переход в предельное состояние, является изнашивание.

**2.2 Выбор номенклатуры задаваемых показателей надежности (ПН)**

Ссылаясь на представленные выше классификационные признаки исследуемого объекта была определена номенклатура задаваемых ПН. К ней относится комплексный ПН – коэффициент технического использования Кт. и., показатели безотказности – интенсивность отказов всего устройства в пределах заданной наработки, средняя наработка до отказа, показатель ремонтопригодности – среднее время восстановления работоспособного состояния.

Для исследуемого устройства задались следующими ПН:

- вероятность безотказной работы на непрерывном участке Р(tб.р.)=0,96;

- время безотказной работы tб.р=600 ч.;

- коэффициент готовности Кг=0,98;

- среднее время восстановления Тв=2 ч.;

- срок сохраняемости Тс=10 л;

- средний срок службы Тсл=8 л;

- коэффициент технического использования Кт.и.=0,98.

**2.3 Установление критериев отказов и предельных состояний**

Критериями отказов для ФУ №1 являются:

- прекращение выполнения изделием заданных функций – отсутствие сигнала на выходе микрофона;

- снижение качества функционирования – уменьшение мощности звукового сигнала и увеличение шумовой составляющей.

Критериями отказов для ФУ №2 являются:

- прекращение выполнения изделием заданных функций – отсутствие сигнала на выходе усилителя;

- снижение качества функционирования – уменьшение мощности звукового сигнала и уменьшение коэффициента усиления ниже пределов допустимого уровня.

Критериями отказов для ФУ №3 являются:

- прекращение выполнения изделием заданных функций – отсутствие генерируемого сигнала;

- снижение качества функционирования – частота генерируемого сигнала выходит за приделы диапазона заданных частот.

Критериями отказов для ФУ №4 являются:

- прекращение выполнения изделием заданных функций – отсутствие сигнала на выходе усилителя;

- снижение качества функционирования – уменьшение мощности звукового сигнала и уменьшение коэффициента усиления ниже пределов допустимого уровня.

Критериями отказов всего устройства являются:

- прекращение выполнения изделием заданных функций – полное отсутствие каких-либо проявлений сигнала на выходе устройства;

- снижение качества функционирования – изменение частоты за пределы допустимого уровня, снижение мощности выходного сигнала.

**3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПО СОСТАВНЫМ ЧАСТЯМ**

Предполагается простейший поток отказов отдельных элктрорадиоэлементов (ЭРЭ) и функциональных узлов изделия. В устройстве все элементы данного типа равнозначны, т.е. величины интенсивностей отказов λi одинаковы. Все элементы работают в номинальном режиме.

Интенсивности отказов всех элементов постоянны, т.е. процессы деградации не учитываются, а отказы отдельных элементов являются событиями независимыми. Все элементы работают одновременно, в смысле надежности находятся в последовательном соединении.

Была определена средняя интенсивность отказов для каждого функциональные узла элементов элем согласно ДСТУ 2992-95(см. табл. 3.1).



Таблица 3.1 – Средняя интенсивность отказов отдельных типов элементов

|  |  |
| --- | --- |
| Элемент | элем., ч |
| Непроволочный резистор | 0,6 |
| Конденсатор | 2,5 |
| Транзистор | 4 |
| Диоды | 1,6 |
| Катушки | 1,5 |
| Антенна | 1,5 |
| Микрофон | 1,5 |
| Контактная пайка | 0,05 |
| Контактная дорожка | 0,05 |

На основании таблицы 3.1 и перечня элементов была найдена средняя интенсивность отказов для каждого ФУ ∑ФУi (см. табл. 3.2):



∑ФУi=∑элемi·Ni.(3.1)



Таблица 3.2 – Средняя интенсивность отказов каждого ФУ

|  |  |
| --- | --- |
| № ФУ | ∑ФУi., ч |
| 1 | 7,7 |
| 2 | 14,15 |
| 3 | 23,95 |
| 4 | 16,4 |

Дальше нам надо найти коэффициенты пропорциональности, которые показывает удельный вес каждого ФУ относительно уровня интенсивности отказов всего объекта:

КФУi=∑ФУi/∑∑ФУi.(3.2)



Результаты расчета представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Коэффициенты пропорциональности каждого ФУ

|  |  |
| --- | --- |
| № ФУ | КФУi |
| 1 | 0,124 |
| 2 | 0,227 |
| 3 | 0,385 |
| 4 | 0,264 |

Для проверки правильности расчета коэффициентов пропорциональности была найдена их сумма ∑КФУi=1. Дальше была определена заданная интенсивность отказов всего устройства:

λз=-lnPз(tб.р.)/tб.р..(3.3)

λз=68· ч.



С учетом найденных весовых коэффициентов и заданной интенсивности отказов всего устройства были рассчитаны заданные интенсивности отказов для каждого ФУ по формуле:

λзФУi=λз·КФУi.(3.4)

Заданная вероятность безотказной работы c учетом норм надежности каждого ФУ была определена по формуле:

РзФУi(tб.р.)=1-λзФУi·tб.р..(3.5)

Результаты расчета λзФУi и РзФУi представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 –Значения интенсивностей отказов и вероятностей безотказной работы, λзФУi и РзФУi каждого ФУ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ФУ | λзФУi.10-6 | РзФУi |
| 1 | 8,43 | 0,995 |
| 2 | 15,44 | 0,991 |
| 3 | 26,18 | 0,984 |
| 4 | 17,95 | 0,989 |

**4. ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ**

**4.1 Исходные данные**

На основании перечня элементов и справочных данных по базовым интенсивностям отказов отдельных типов элементов была составлена таблица с данными для расчета.

Таблица 4.1 – Исходные данные для ориентировочного расчета

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Типономинал | | | Количество, Ni | | Интенсивность отказов,  λ0i·10-6, ч | | | Суммарная  интенсивность  отказов,  Nj· λ0i·10-6, ч | | | | |
| Функциональный узел №1 | | | | | | | | | | | | | |
| R1, R2 | МЛТ-0.1 | | | 2 | | 0.6 | | | 1,2 | | | | |
| С2 | К50-35 | | | 1 | | 2,5 | | | 2,5 | | | | |
| VD1 | КИПД24С | | | 1 | | 1,6 | | | 1,6 | | | | |
| ВМ1 | МКЭ332 | | | 1 | | 1,5 | | | 1,5 | | | | |
| Контактные пайки | - | | | 10 | | 0,05 | | | 0,5 | | | | |
| Контактные дорожки | - | | | 8 | | 0,05 | | | 0,6 | | | | |
| λ∑ФУ1=7,7·10-6 | | | | | | | | | | | | | |
| Функциональный узел №2 | | | | | | | | | | | | | |
| R3, R4 | МЛТ-0.1 | | | 2 | | 0,6 | | | 1,2 | | | | |
| С1,C3,С4 | К50-35 | | | 3 | | 2,5 | | | 2,5 | | | | |
| VT1 | КТ3102 | | | 1 | | 4 | | | 4 | | | | |
| Контактные пайки | - | | | 13 | | 0,05 | | | 0,65 | | | | |
| Контактные дорожки | - | | | 16 | | 0,05 | | | 0,4 | | | | |
| λ∑ФУ2=14,15·10-6 | | | | | | | | | | | | | |
| Элемент | | Типономинал | | Количество, Ni | | | Интенсивность отказов,  λ0i·10-6, ч | | | Суммарная интенсивность отказов, Nj·λ0i·10-6, ч | |
| Функциональный узел №3 | | | | | | | | | | | | |
| R5, R6, R7 | | МЛТ-0.1 | | 3 | | | 0,6 | | | 1,8 | |
| C5,С6,C7, C8, C9 | | К73-44 | | 5 | | | 2,5 | | | 12,5 | |
| L1 | | ЕС24 | | 1 | | | 1,5 | | | 1.5 | |
| VD2 | | КВ109Г | | 1 | | | 1.6 | | | 1,6 | |
| VT2 | | КП307 | | 1 | | | 4 | | | 4 | |
| Контактные пайки | | - | | 23 | | | 0,05 | | | 1,15 | |
| Контактные дорожки | | - | | 28 | | | 0,05 | | | 0,15 | |
| λ∑ФУ3=23,95·10-6 | | | | | | | | | | | | |
| Функциональный узел №4 | | | | | | | | | | | | |
| R8 | | | МЛТ-0.1 | | 1 | | | 0,6 | | | 0,6 | |
| С10,С11, C12 | | | К50-35 | | 3 | | | 2,5 | | | 7.5 | |
| L2 | | | ЕС24 | | 1 | | | 1.5 | | | 1,5 | |
| VT3 | | | КТ368 | | 1 | | | 4 | | | 4 | |
| WA1 | | | - | | 1 | | | 1,5 | | | 1,5 | |
| Контактные пайки | | | - | | 14 | | | 0,05 | | | 0,7 | |
| Контактные дорожки | | | - | | 12 | | | 0,05 | | | 0,4 | |
| λ∑ФУ4=16,4·10-6 | | | | | | | | | | | | |

**4.2 Расчет показателей надежности и сравнение с заданными**

**4.2.1 Расчет показателей безотказности**

Расчетная вероятность безотказной работы каждого ФУ была найдена по формуле (3.5), а всего устройства по формуле (4.1).

Ррасч(tб.р.)=рФУi(tб.р.).(4.1)



Результаты расчетов заданных и найденных интенсивностей отказов (λз, λр) и вероятностей безотказной работы (Рз, Рр) представлены в таблице 4.2. График зависимости вероятности безотказной работы всего устройства от времени представлен на рис. 4.1.

Таблица 4.2 – Сравнительный анализ расчетных и заданных ПН

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №ФУ | Рз | Рр | λз,10-6ч | λр10-6, ч |
| 1 | 0,995 | 0,995 | 8,43 | 7,7 |
| 2 | 0,991 | 0,992 | 15,44 | 14,15 |
| 3 | 0,984 | 0,986 | 26,18 | 23.95 |
| 4 | 0,989 | 0,99 | 17,95 | 16,4 |

В результате Ррасч(tб.р..).=0.963

Необходимым условием данного расчета является выполнение следующих неравенств: λзi≥ λрi, Рзi ≤Ррi.

**4.2.2 Расчет показателей ремонтопригодности**

Изначально было выбрано заданное среднее время восстановления устройства Твз=2 ч.

Было найдено расчетное среднее время восстановления всего устройства:

Тв=∑λ∑ФУi·(То.о.i+Ту.о.i)/ λ∑,(4.3)

где То.о.i, Ту.о.i – среднее время обнаружения и устранения отказа каждого из ФУ (см. табл. 4.3).

Таблица 4.3 – Исходные данные для расчета Тв

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № ФУ | То.о., ч | Ту.о, ч |
| 1 | 0,3 | 0,5 |
| 2 | 0,5 | 0,5 |
| 3 | 1 | 0,5 |
| 4 | 1 | 0,5 |

Необходимым условием в расчете данного подраздела является выполнение неравенства: Тв≤Твз.

Тв=1,3 ч, Твз=2 ч.

**4.2.3 Расчет комплексных показателей надежности**

По (4.4) был рассчитан коэффициент готовности изделия.

Кг(t)=Т/(Т+Тв)+Тв/(Т+Тв)·ехр{-t∙( λ∑+1/Тв)},(4.4)

где Т=1/ λ∑=1,608·104 ч – среднее время наработки до отказа всего устройства.

Необходимо, чтобы выполнялось неравенство: Кг(tб.р.)≥Кгз.

Поскольку полученное нами значение Кг(tб.р.)=0,9999, а заданное Кгз=0,98, то заданные требования выполняется.

График зависимости коэффициента готовности изделия от времени представлен на рис. 4.2.

По (4.5) был найден коэффициент оперативной готовности Ког(tб.р.)=0,963.

Ког(t)=Кг(t)∙e{- λ∑·tб.р.}.(4.5)

График зависимости коэффициента оперативной готовности изделия от времени представлен на рис. 4.3.

Кроме того, по (4.6) найден коэффициент технического использования.

Кт.и(t).=Кг(t)∙tд/tном,(4.6)

где tном=17520 ч – время, на протяжении которого объект используется по назначению;

tд= tном-t∑B- t∑ТО – действительное время работы,

где t∑ТО=100 ч – время технического обслуживания.

В свою очередь t∑B определяется по формуле:

t∑B=nв·Тв,(4.7)

где nв= λ∑·tном=1,089 – среднее число ремонтов за время tном.

Получили, что t∑B=1,4 ч.

Таким образом Кт.и(tб.р.).=0,994



Рисунок 4.1 - График зависимости вероятности безотказной работы всего устройства от времени: а) P\_br – расчетная вероятность безотказной работы; б) Pzad – заданная вероятность безотказной работы



Рисунок 4.2 – График зависимости коэффициента готовности объекта от времени



Рисунок 4.3 – График зависимости коэффициента оперативной готовности объекта от времени



Рисунок 4.4 – График зависимости коэффициента технического использования объекта от времени

**5. УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ**

Целью данного расчета является уточненная оценка показателей безотказности и других ПН на основе использования более адекватных моделей отказов и более полного учета факторов, влияющих на безотказность объекта.

**5.1 Исходные данные и предварительный анализ**

Уточненный расчет проводился для ФУ №2. Узловые напряжения были рассчитаны с использованием программы Electronics Workbench (см. рис. 5.1).

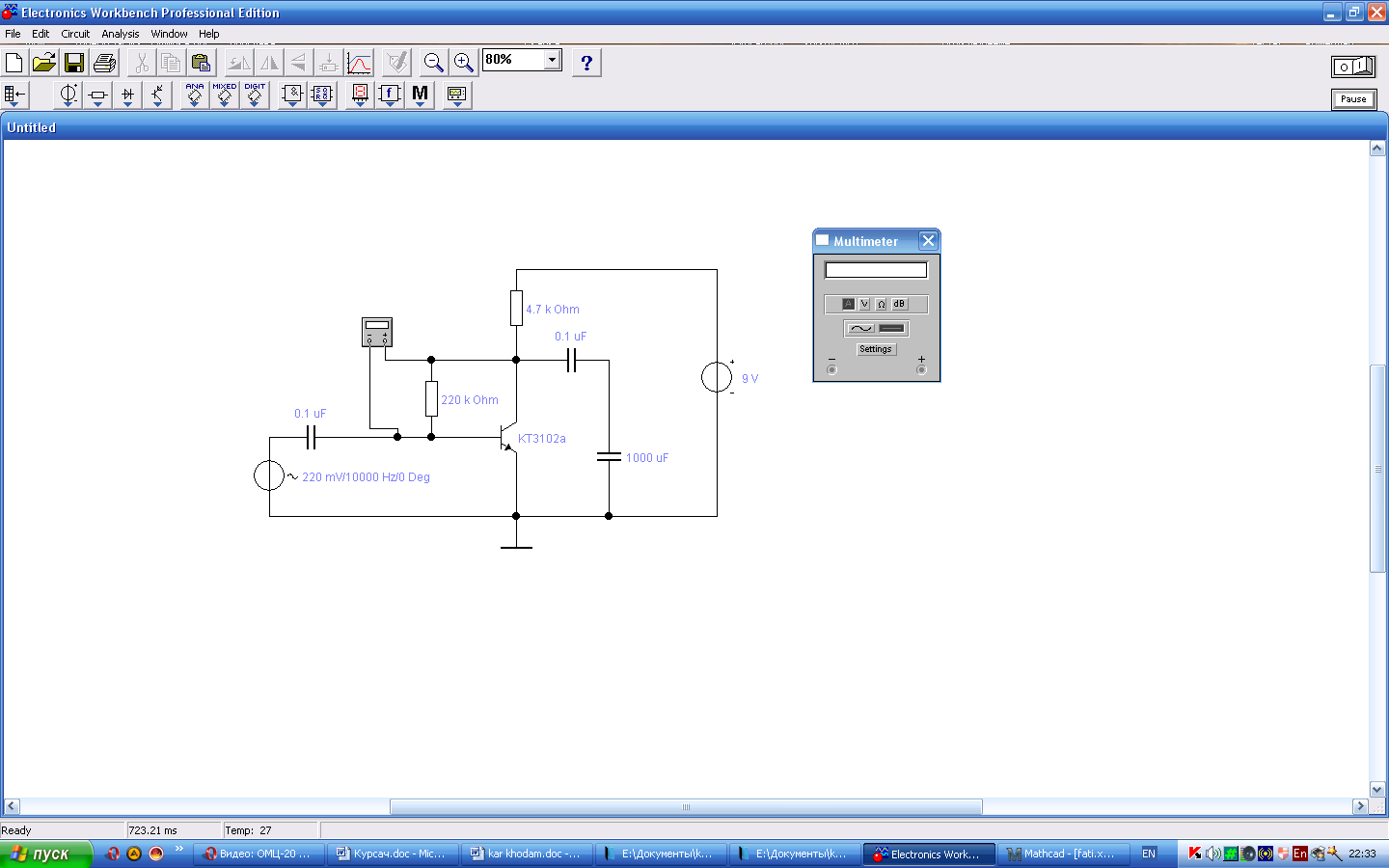


Рисунок 5.1 – Фрагмент расчета узловых напряжений с использованием программы Electronics Workbench

Карта напряжений, позволяющая рассчитать электрический режим любого элемента ФУ, представлена в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Карта напряжений для исследуемого ФУ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Рабочее напряжение | Рабочая мощность | Номинальная мощность | Номинальное рабочее напряжение |
| R3 | 1,83 В | 2 мВт | 0,125 Вт | – |
| R4 | 6,73 В | 59,22 мкВт | 0,125 Вт | – |
| С1 | 0,428 В | – | – | 50 В |
| С3 | 2,26 В | – | – | 50 В |
| С4 | 0,026 В | – | – | 10 В |

Перечень комплектующих элементов по данному ФУ представлен в прил. Б. Поскольку специальные элементы теплозащиты не предусмотрены, то берем максимальную температуру окружающей среды Т=50°С. Результаты вибрационного расчета и расчета на ударную прочность предполагаются брать усредненными и учитываются с помощью коэффициентов, определяемым по таблицам в зависимости от условий эксплуатации.

Перед уточненным расчетом был проведен качественный анализ элементной базы ФУ и выделены:

- элементы, имеющие постоянную интенсивность отказов (контактные пайки, резисторы постоянной емкости R3, R4, керамические конденсаторы C1, C3, С4);

- элементы, имеющие непостоянную интенсивность отказов, подверженные при эксплуатации износу (транзистор VT1).

**5.2 Уточненный расчет надежности по внезапным отказам**

Для каждого элемента схемы определяется уточненное значение интенсивностей отказов по соотношению:

λут=λ0∙∏·i,(5.1)



где λ0 –базовая интенсивность отказов типа элементов, определенных при нормальных климатических условиях и нормальном электрическом режиме;

i – поправочные коэффициенты, учитывающие условия и режимы эксплуатации изделий, особенности конструкции, отработанности технологического процесса и др.



Для резисторов R3, R4 λ0=0,07∙10 ч (пленочные высокостабильные), справочные значения некоторых констант, используемых для определения поправочных коэффициентов, составляют: Еа=0,08, А=0,71, В=1,1.



По (5.2) был найден коэффициент влияния повышенной температуры (см. табл. 5.2).

,(5.2)



где Т=50°С – температура корпуса.

,(5.3)



где P – мощность рассеяния.

По 5.3 были найдены коэффициенты влияния мощности рассеяния (см. табл. 5.2). Коэффициент влияния жесткости электрического режима был найден по (5.4) (см. табл. 5.2).

,(5.4)



где S=Pраб/Pном-коэффициент нагрузки;

Pраб, Pном – рабочая и номинальная мощности резистора соответственно.

Значение коэффициента влияния уровня качества =10. Значение коэффициента влияния жесткости условий эксплуатации =16 (см. табл. 5.2).



С учетом всех найденных коэффициентов влияния и базовой интенсивности отказов, были найдены интенсивности отказов при эксплуатации для резисторов (см. табл. 5.2).

Для конденсаторов С1, С3, С4 – λ0=0,00099∙10 ч (керамические общего назначения), справочные значения некоторых констант, используемых для определения поправочных коэффициентов, составляют: Еа=0,35, А=3, В=0,6, Д=0,09 (см. табл. 5.3).



,(5.5)



где С – емкость конденсатора;

D – постоянный коэффициент.

По (5.2) был найден коэффициент влияния повышенной температуры и по (5.5) коэффициент влияния емкости (см. табл. 5.3).

Значение коэффициента влияния последовательного сопротивления =1, коэффициент влияния уровня качества =10, коэффициент влияния жесткости условий эксплуатации =20. С учетом всех найденных коэффициентов влияния и базовой интенсивности отказов, были найдены интенсивности отказов при эксплуатации для конденсаторов (см. табл. 5.3).



Таблица 5.2 – Значение коэффициентов влияния, констант и уточненное значение интенсивностей отказов для резисторов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ЭРИ | Ea | A | B | λ0∙10 ч | т |  |  |  |  | λут.рез∙106  ч |
| R3 | 0,08 | 0,71 | 1,1 | 0,07 | 1,273 | 0,0886 | 0,723 | 10 | 16 | 0,913 |
| R4 | 0,08 | 0,71 | 1,1 | 0,07 | 1,273 | 0,0225 | 0,71 | 10 | 16 | 0,2278 |

Таблица 5.3 – Значение коэффициентов влияния, констант и уточненное значение интенсивностей отказов для конденсаторов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ЭРИ | Еа | А | В | Д | λ0∙10  ч |  |  |  |  |  | λут.конд∙106  ч |
| С1 | 0,35 | 3 | 0,6 | 0,09 | 0,00099 | 0,234 | 2,872 | 1 | 10 | 20 | 0,133 |
| С3 | 0,35 | 3 | 0,6 | 0,09 | 0,00099 | 0,234 | 2,872 | 1 | 10 | 20 | 0,133 |
| С4 | 0,35 | 3 | 0,6 | 0,09 | 0,00099 | 0,537 | 2,872 | 1 | 10 | 20 | 0,305 |

Общая уточненная интенсивность внезапных отказов по данному ФУ определяется суммой уточненных внезапных отказов ЭРИ, λут.i=1,712∙10-6 ч. График зависимости вероятности безотказной работы от времени исследуемого ФУ по внезапным отказам представлен на рис. 5.1.



Рисунок 5.1 – График зависимости вероятности безотказной работы от времени при внезапных отказах исследуемого ФУ

**5.3 Уточненный расчет надежности по деградационным отказам**

Аналогично подразделу 5.1 для биполярного высокочастотного малошумящего транзистора были определены базовая интенсивность отказов λ0=0,18∙10 ч и по (5.6)-(5.9) некоторые коэффициенты влияния (см. табл. 5.4).



, (5.6)



где – температура перехода, °С по (5.7).



,(5.7)



где =50 °С – температура окружающей среды;



=70 °С/Вт – тепловое сопротивление «переход-корпус»;



P – мощность рассеивания, P=3,2 мВт.

Результат = 50,224 °С.



(5.8)



где P – номинальная мощность, P=0.25 Вт.

(5.9)



где – коэффициент электрической нагрузки, 0<S<1.0;



– соответственно, рабочее напряжение коллектор-эмиттер =2,2 В и предельное напряжение коллектор-эмиттер при оторванной базе=2.6 В.



Таблица 5.4 – Значение коэффициентов влияния, констант и уточненное значение интенсивностей отказов для транзистора

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ЭРИ | λ0∙10  ч |  |  |  | λут.тр.∙106  ч |
| VT1 | 0.18 | 1.7395 | 0.6 | 0.118 | 0.222 |

По номограмме была определена средняя наработка до отказа для транзистора VT1 (To=3,7∙105 ч).

Уточненное значение средней наработки до отказа всех элементов, подверженных деградации было рассчитано по (5.10).

,(5.10)



TYT=μ=3,7 – параметр масштаба деградационного немонотонного распределения.



По (5.11) была найдена вероятность деградационных отказов:

, (5.11)



где - функция Лапласа;



Соответственно вероятность безотказной работы для совокупности элементов подверженных деградации определяется по (5.12).

(5.12)



График зависимости вероятности безотказной работы от времени исследуемого ФУ по деградационным отказам представлен на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 – График зависимости вероятности безотказной работы от времени при деградационных отказах исследуемого ФУ

Уточненная вероятность безотказной работы исследуемого ФУ была рассчитана по формуле (5.13).

Рут.(t)=Рут.I(t)·Рут.II(t).(5.13)

Рут.(tб.р.)=0.999

График зависимости уточненной вероятности безотказной работы от времени ФУ №2 представлен на рис. 5.3.



Рисунок 5.3 – График зависимости уточненной вероятности безотказной работы от времени ФУ №2

**6. РАСЧЕТ ПОЛЯ ДОПУСКА НА ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ПАРАМЕТР ФУ №2**

Для ФУ №2 была выделена та часть, которая является определяющей с точки зрения работоспособности. Эта часть выделена пунктиром на схеме ЭП (см. прил. А). Определяющими элементами в выделенной части являются транзистор VT1, резисторы R3 и R4, определяющим параметром является коэффициент усиления:

. (6.1)



Было предположено, что , и соответственно получена зависимость:



y=f(x1,x2),(6.2)

где y=46.8– выходной параметр.

По (6.3) были рассчитаны коэффициенты влияния Квi.

Квi=,(6.3)



где xi0, y0 – номинальные значения входных и выходного параметров.

Квx1=1,93∙10-5, Квx2=8,23∙10-4.

По данным комплектующих элементов были определены средние значения поля допуска на относительную погрешность каждого первичного параметра:

М,(6.4)



где - допустимые максимальные и минимальные значения поля допуска.



Однако для всех элементов заданного ФУ допуск на их параметры является симметричным, а значит при подстановке этих значений в формулу (6.4), эта величина будет равна нулю, т.е. М = =0.



По (6.5) было определено среднее значение поля допуска на определяющий параметр.

М.(6.5)



М=0.



В предположении нормального закона распределения выходного параметра и независимости первичных параметров была рассчитана половина поля допуска на относительную погрешность выходного параметра:

,(6.6)



где – половина поля допуска на относительную погрешность i-го первичного параметра;



γ – коэффициент гарантированной надежности, гарантирует некоторую вероятность нахождения параметров в поле допуска.

В данном случае для заданной вероятности безотказной работы объекта, равной 0.96, справочное значение γ=0.668. =12.



По (6.7), (6.8) были рассчитаны предельные значения, верхнее и нижнее (δв, δн), на относительную погрешность определяющего параметра.

,(6.7)



.(6.8)



δв=12 , δн=-12.

По (6.9), (6.10) были рассчитаны нижнее и верхнее предельные значения определяющего параметра.

ymin=y0-||∙y0/100%,(6.9)



ymax=y0+||∙y0/100%,(6.10)



ymin=41,2, ymax=52,4.

Таким образом, допуск на определяемый параметр (в данном случае коэффициент усиления KU) следующий:

.



**7. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ФУ №2**

Данный расчет учитывает как внезапные, так и постепенные (параметрические) отказы отдельных электрорадиоэлементов ЭРИ.

Используя данные расчета в разделе 6, по (7.1) были определены коэффициенты чувствительности определяющих первичных параметров (х1, х2).

Аi=Квi·y0/xi0.(7.1)

Аx1=4,1∙10-9, Ax2=8,2∙10-6.

Для первичных влиятельных элементов по (7.2) была определена интенсивность параметрических отказов.

λпi=λут.i·%парам. отказов,(7.2)

где·%парам.отказов – доля параметрических отказов, для x1 и для x2 составляет 94·%парам.отказов.

По нанограмме была определена средняя наработка до параметрического отказа: Тпx1=2,95∙105ч, Тпx2=3,75∙105ч.

По (7.3) был проведен расчет средней скорости дрейфа каждого влиятельного параметра.

ai=(xдi-x0i)/Тпi,(7.3)

где xдi- допустимое нижнее значение i-го параметра.

ax1=1.59, ax2=0.059.



По (7.4) была определена средняя скорость изменения выходного параметра вследствие дрейфа влиятельных первичных параметров:

а=∑Аi∙ai.(7.4)

а=4.838∙10-7.

Таблица 7.1 – Значения параметров параметрического отказа

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Первичные параметры | Коэф. влияния  Квi | Коэф. чувствительности,  Аi | Интенсивности отказов,  λут.i∙10-6 | Интенсивности парам. отказов,  λпi∙10-6 | Средняя наработка до парам отказа,  Тп, ч | Скорость дрейфа  ai |
| x1 | 1,93∙10-5 | 4,1∙10-9, | 0,913 | 0,858 | 2,95∙105 | 1,59∙  10-3, |
| x2 | 8,23∙10-4 | 8,2∙10-6 | 0,2278 | 0,214 | 3,75∙105 | 0.059 |

По (7.5) была определена вероятность параметрических отказов:

,(7.5)



где – допустимое значение выходного параметра;



– параметр формы, определяется по формуле:



=.(7.6)



=1.



По (7.7) найдена вероятность безотказной работы при параметрических отказах Рп(tб.р.)=0.976.

Рп(t)=1-Fп(t).(7.7)

График зависимости вероятности безотказной работы при параметрических отказах представлен на рис. 7.1.



Рисунок 7.1 - График зависимости вероятности безотказной работы ФУ №2 при параметрических отказах

**8. ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ФУ №2**

По (8.1) была найдена обобщенная вероятность безотказной работы ФУ №2.

Роб.(t)=Рвн.о.(t)·Рдег.о.·(t)·Рпарам.о.(t),(8.1)

где Рвн.о.(t) – вероятность безотказной работы при внезапных отказах;

Рдег.о.(t) – вероятность безотказной работы при деградационных отказах;

Рпарам.о.(t) – вероятность безотказной работы при параметрических отказах.

Результаты расчета вероятностей безотказной работы в момент времени tб.р. представлены в табл. 8.1.

Таблица 8.1 – Вероятности безотказной работы в момент времени tб.р.

|  |  |
| --- | --- |
| Рвн.о.( tб.р) | 0.9989 |
| Рдег.о.( tб.р) | 0.9999 |
| Рпарам.о.( tб.р) | 1 |
| Роб.( tб.р) | 0.9988 |



Рисунок 8.1 – Обобщение результатов расчета вероятностей безотказной работы ФУ №2

а) Pob(t)- обобщенная вероятность безотказной работы ФУ; б) P\_vnez(t) - вероятность безотказной работы ФУ при внезапных отказах; в) P\_deg(t) - вероятность безотказной работы ФУ при деградационных отказах; г)Pparam(t) - вероятность безотказной работы ФУ при параметрических отказах; д) Pz(t) – заданная вероятность безотказной работы функционального узла.

Из анализа полученных данных следует, что обобщенная вероятность безотказной работы ФУ №2 в момент времени tб.р. больше, чем заданная. Это значит, что данный ФУ исследуемого устройства соответствует нормам ПН.

**ВЫВОДЫ**

В данной курсовой работе был проведен расчет и анализ надежности радиоэлектронной аппаратуры на примере микромощного радиопередатчика.

В результате ориентировочного расчета норм ПН всего устройства было выявлено, что данное устройство отвечает заданным параметрам надежности.

Для ФУ№2 (микрофонный усилитель) был проведен уточненный и параметрический расчеты надежности. В ходе уточненного расчета надежности были пересчитаны, с учетом поправочных коэффициентов, интенсивности отказов и соответственно вероятности безотказной работы узла. Таким образом, в течение времени использования объекта по назначению вероятность его безотказной работы выше заданной, что подтверждает надежность исследуемого устройства. Но после окончания времени использования вероятность резко уменьшается, что связано с высокой интенсивностью внезапных отказов. Исходя из этого надежность данного ФУ можно увеличить, используя более надежные ЭРЭ, однако это приведет к повышению стоимости устройства, что не является целесообразным.

Также были подсчитаны комплексные показатели надежности устройства, такие как коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности и коэффициент технического использования.

Обобщив результаты, можно сказать, что данное устройство отвечает заданным параметрам надежности и может быть использовано на практике.

**ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Журнал «Радио» №7./ Е.Н. Сакевич. – Москва, - 2007.

2. Анализ и обеспечение надежности электронной аппаратуры при проектирование/ М.Ф. Бабаков. – Учебное пособие. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет, 2002. – 90 с.

3. Проектная оценка надежности электронных аппаратов / М.Ф. Бабаков., О.С. Уруский. – Учебное пособие. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет, 2006. – 48 с.

4. Нормирование и расчет надежности радиоэлектронной аппаратуры/ М.Ф. Бабаков, И.К. Васильева, И.И. Дерюга.– Учебное пособие – Харьков: Национальный аэрокосмический университет “Харьковский авиационный институт”, 2008. - 77 с.

5. Правила выполнения схем/ В.И. Кирюшко, С.В. Мартышко, В.А. Подгорный. – Учебное пособие – Харьков: Национальный аэрокосмический университет “Харьковский авиационный институт”, 2002. - 39 с.

6. Практическое пособие по учебному конструированию РЭА/ В.Т. Белинский, В.П. Гондюл, А.Б. Грозин. – Учебное пособие – Киев: «Вища школа», 1992.- 494 с.