Министерство образования

Российской Федерации

Московский технологический университет

Гельфман Т.Э., Пирхавка А.П.

**РАСЧЕТ надежности РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Москва 2019

ББК 32. 844 – 02

УДК 621. 396. 6. 019. 3

Рецензенты:

 Т.Э. Гельфман, А.П. Пирховка. Расчет надежности радиоэлектронных средств: Метод. указания / Моск. технологический университет. - М., 2019. – 29 с.

 ISBN

 Содержит методики расчета надежности РЭС и ее элементов по внезапным отказам, справочный материал для современной элементной базы в различных энергетических режимах работы и условиях эксплуатации.

 Предназначена длястудентов изучающих надежность РЭС при выполнении курсовых и практических заданий.

 Табл. 28. Ил. 0. Библиограф.: 4 назв.

 Печатается по решению редакционно-издательского совета Московского технологического университета.

 ББК 32.844 - 02

|  |  |
| --- | --- |
| ISBN  | © Московский технологический  университет, 2019 |

**Оглавление**

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc6081702)

[1. Методика расчета надежности РЭС 4](#_Toc6081703)

[1.1. Составление схемы расчета надежности 4](#_Toc6081704)

[1.2. Выбор метода расчета надежности 5](#_Toc6081705)

[1.3. Полный расчет надежности РЭС 7](#_Toc6081706)

[1.4. Расчет количественных показателей надежности 10](#_Toc6081707)

[1.5. Распределение показателей надежности по элементам 11](#_Toc6081708)

[2. Надежность элементов РЭС 15](#_Toc6081709)

[2.1 Интегральные микросхемы 15](#_Toc6081710)

[2.2. Полупроводниковые приборы 18](#_Toc6081711)

[2.3. Конденсаторы 24](#_Toc6081712)

[2.4. Резисторы 28](#_Toc6081713)

[2.5. Радиокомпоненты 31](#_Toc6081714)

[2.6. Пример ориентировочного и полного расчета 34](#_Toc6081715)

[надежности модели РЭС 34](#_Toc6081716)

[Список литературы 37](#_Toc6081717)

# ВВЕДЕНИЕ

Проблема обеспечения высокой надежности радиоэлектронных средств (РЭС) является важнейшей и сложнейшей инженерной задачей. Ненадежность снижает эффективность использования РЭС, приводит к большим экономическим потерям, повышению стоимости эксплуатации.

Изучение методов расчета надежности в объеме данных методических указаний позволяет овладеть практическими навыками оценки надежности РЭС как на этапе ее проектирования, так и эксплуатации.

В работе рассматривается методика расчета надежности РЭС и ее элементной базы, отказы которой в настоящее время являются преобладающими по сравнению с информационными отказами программного обеспечения, систематизированы данные по математическим моделям надежности электрорадиоэлементов (ЭРЭ) по внезапным отказам на этапе технического проектирования, а также представлен обширный справочный материал для современных ЭРЭ.

# 1. Методика расчета надежности РЭС

Расчет надежности РЭС по внезапным отказам целесообразно проводить в следующем порядке.

## **1.1. Составление схемы расчета надежности**

Каждое устройство, имеющее количественную характеристику надежности, называется элементом расчета надежности. Элементами расчета надежности могут быть резисторы, конденсаторы, транзисторы, диоды, микросхемы, приемники, передатчики и т.д.

Структурная схема надежности составляется для оценки надежности устройства по внезапным отказам и представляет совокупность элементов расчета надежности, включение которых показывает их влияние на работоспособность. Если при отказе элемента работоспособность устройства нарушается – он включается в структурную схему надежности последовательно. Отказ характеризуется в структурной схеме надежности разрывом цепи между входом и выходом, таким образом разрыв цепи элемента при последовательном соединении в структурной схеме надежности означает одновременно разрыв цепи устройства, то есть его отказ.

Если устройство содержит группу однотипных элементов, соединенных между собой электрически так, что отказ устройства наступает при отказе всех элементов группы, то такие элементы включаются в структурной схеме надежности параллельно. При этом разрыв цепи устройства происходит при разрыве цепей всех элементов группы. Если в результате анализа выясняется, что отказ элемента не влияет на работоспособность устройства, этот элемент в структурную схему надежности не включается.

Возможен случай, когда элементы, не нарушающие работоспособность устройства поодиночке, нарушают ее в совокупности своих отказов. Такая комбинация элементов включается в структурную схему надежности последовательно, при этом элементы в комбинации соединяются параллельно.

#### На практике чаще всего элементы расчета надежности включаются последовательно, но в общем случае структурная схема надежности может иметь вид, представленный на рис. 1.1.

****

#### Рис. 1.1. Пример структурной схемы надежности

Здесь элементы 1,2,7,9,10,12,13,14 соединены последовательно. Группа из трех элементов 3,4,5 образуют параллельное соединение, включенное в структурную схему надежности последовательно. Элементы 6,8,11,15 из разных цепей раздельно не влияют на работоспособность устройства, но вместе вызывают отказ, поэтому эта комбинация включена в структурную схему надежности последовательно.

## **1.2. Выбор метода расчета надежности**

В зависимости от этапа разработки изделия применяются различные методы расчета надежности (табл. 1.1).

Таблица 1.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Название этапа разработки изделия | Метод расчета |
| 1. | Техническое предложение | Определение норм надежности |
| 2. | Разработка технического задания | Расчет норм надежности |
| 3. | Эскизный проект | Ориентировочный расчет |
| 4. | Технический проект | Полный расчет с учетом режимов работы элементов и факторов, воздействующих на изделие |
| 5. | Рабочий проект (выпуск рабочих чертежей) | Окончательный вариант расчета с учетом дополнительных факторов, зависящих от принятых схемных и конструктивных решений  |
| 6. | Готовый образец | Экспериментальная оценка уровня надежности изделия, выявление мест с недостаточной надежностью; введение необходимых корректив в схему, конструкцию и в окончательный расчет |

Ориентировочный расчет учитывает лишь условия эксплуатации будущего изделия с помощью справочного коэффициента эксплуатации (табл. 1.2) и не учитывает электрические режимы и воздействующие факторы. Ориентировочный расчет имеет цель прогнозирования надежности разрабатываемого изделия при различных вариантах его схемно-конструкторского построения. При этом интенсивность отказов *j*-го устройства определяется:

 = , (1.1)

где -интенсивность отказов в нормальных условиях: t0=2510 0С, относительная влажность 6020 %, номинальный электрический режим, отсутствие механических перегрузок и т.д.

Полный (уточненный) расчет надежности выполняют на этапе технического проектирования и разработки рабочей документации с учетом реальных электрических и тепловых режимов применения ЭРЭ. Для этого используют карты рабочих режимов ЭРЭ изделия, в которых указывают расчетные коэффициенты нагрузки ЭРЭ , или специальные компьютерные программы.

## **1.3. Полный расчет надежности РЭС**

 Полный расчет надежности изделия по внезапным отказам на основе экспоненциальной модели осуществляется в следующей последовательности:

1. Составляется перечень элементов, входящих в устройство РЭС.
2. Для каждого j элемента по справочной литературе определяется интенсивность отказов в нормальных условиях (j=1, ., ., n), где n - число элементов в устройстве.
3. Рассчитываются коэффициенты нагрузки для элементов электрической цепи Кн*.*

 = , (1.2)

где *G* и - рабочее (реальное) и допустимое по ТУ значение электрического параметра (при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах). Реальное значение электрического параметра (ток, напряжение, мощность и т.д.) находятся путем расчета по схеме, а допустимые значения берутся из справочников или ТУ.

1. В зависимости от коэффициентов нагрузки и значений внешних воздействий по справочной литературе определяются поправочные коэффициенты и рассчитываются интенсивности отказов элементов с учетом условий их эксплуатации :

 = , где i = 1, 2…m, (1.3)

где m - количество поправочных коэффициентов (зависит от типа элемента).

1. Результаты расчета заносятся в табл. 1.4.
2. Рассчитывается интенсивность отказов устройства в целом при последовательной структурной схеме надежности

 =

Если в устройстве есть v групп одинаковых элементов с одинаковыми условиями эксплуатации и режимами работы, то формула будет иметь следующий вид :

= , (1.4)

 – количество элементов в j группе.

Далее рассчитывается вероятность безотказной работы:

 P(t) = (1.5)

и среднее время безотказной работы:

Т = . (1.6)

Таблица 1.2

|  |  |
| --- | --- |
| Группаприборов | *КЭ* по группам аппаратуры |
| Стационарная в лабораторныхусловиях | Стационарнаяв условиях цехов предприятий | Переносимая | Перевозимая | Применяемаяна судах |
| Интегральные микросхемы и микросборки | 1 | - | 1,7 | 1,5 | 2 |
| Полупроводниковые приборы: диоды, транзисторы, тиристоры, оптоэлектронные приборы  | 1 | 2 | 1,5 | 2,5 | 2 |
| Резисторы, конденсаторы | 1 | 2 | 2 | 2,5 | 2 |
| Изделия квантовой электроники: лампы накачки, газовые лазеры и их излучатели | 1 | 2 | 1,5 | 2,5 | 2 |
| Коммутационные и установочные изделия | 1 | 2 | 2 | 2,5 | 2 |
| Магнитоуправляемые контакты | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 0,8 |
| Трансформаторы | 1 | 1,5 | 1,5 | 2 | 1,5 |
| Низкочастотные соединители | 1 | 2 | 1,5 | 2,5 | 2 |
| Пьезоэлектрические приборы | 1 | 2 | 1,5 | 2,5 | 2 |
| Приборы фоточувствительные | 1 | 2 | 1,5 | 2,5 | 2 |
| Газоразрядные приборы | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 2 |
| Источники высокоинтенсивного оптического излучения | 1 | 2 | 1,5 | 2,5 | 2 |
| Генераторные, модуляторныелампы, высоковольтные кенотроны и механотроны | 1 | 2 | 1,5 | 2,5 | 2 |
| Электровакуумные приборы и модули СВЧ | 1 | 2 | 1,5 | 2,5 | 2 |
| Ферритовые приборы | 0,5 | - | 1 | 1,25 | 1 |

Таблица 1.3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  Группа элементов | КН→ | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
| t 0C ↓ |
| Диоды: |  | Коэффициент режима (зависит от коэффициента нагрузки и t 0C) |
| кремниевые, сборки | 25 | 0.064 | 0.115 | 0.195 | 0.359 | 1.0 |
| 40 | 0.085 | 0.151 | 0.256 | 0.564 |  |
| стабилитроны | 25 | 0.194 | 0.242 | 0.319 | 0.484 | 1.0 |
| 40 | 0.213 | 0.274 | 0.387 | 0.613 |  |
| СВЧ кремниевые | 25 | 0.280 | 0.320 | 0.380 | 0.500 | 1.0 |
| 40 | 0.305 | 0.350 | 0.445 | 0.700 |  |
| Транзисторы: |  |
| биполярные, полевые, сборки | 25 | 0.15 | 0.21 | 0.29 | 0.47 | 1.0 |
| 40 | 0.18 | 0.24 | 0.36 | 0.66 |  |
| Тиристоры | 25 | 0.073 | 0.136 | 0.241 | 0.495 | 1.0 |
| 40 | 0.100 | 0.177 | 0.327 | 0.636 |  |
| Диоды излучающие | 25 | 0.034 | 0.116 | 0.278 | 0.570 | 1.0 |
| 40 | 0.100 | 0.341 | 0.782 |  |  |
| Оптопары | 25 | 0.043 | 0.144 | 0.355 | 0.606 | 1.0 |
| 40 | 0.129 | 0.42 | 0.908 |  |  |
| Конденсаторы: |  |
| керамические | 25 | 0.03 | 0.09 | 0.23 | 0.52 | 1.0 |
| 40 | 0.05 | 0.15 | 0.41 | 0.91 | 1.7 |
| слюдяные | 25 | 0.07 | 0.11 | 0.26 | 0.54 | 1.0 |
| 40 | 0.14 | 0.23 | 0.52 | 1.0 | 2.0 |
| бумажные | 25 | 0.01 | 0.02 | 0.09 | 0.35 | 1.0 |
| 40 | 0.01 | 0.02 | 0.10 | 0.39 | 1.2 |
| электролитические | 25 | 0.15 | 0.20 | 0.33 | 0.59 | 1.0 |
| 40 | 0.24 | 0.32 | 0.52 | 0.94 | 1.7 |
| Резисторы: |  |
| постоянные непроволочные | 25 | 0.4 | 0.51 | 0.64 | 0.81 | 1.0 |
| 40 | 0.44 | 0.57 | 0.72 | 0.91 | 1.1 |
| постоянныепроволочные | 25 | 0.15 | 0.23 | 0.37 | 0.60 | 1.0 |
| 40 | 0.16 | 0.25 | 0.42 | 0.73 | 1.27 |
| переменные непроволочные | 25 | 0.60 | 0.64 | 0.71 | 0.82 | 1.0 |
| 40 | 0.64 | 0.68 | 0.76 | 0.90 | 1.12 |

Окончание табл. 1.3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Коммутационные изделия | 25 | 0.22 | 0.27 | 0.37 | 0.57 | 1.0 |
| Соединители низкочастотные | 25 | 0.49 | 0.54 | 0.63 | 0.77 | 1.0 |

Целью полного расчета является определение рационального состава элементов, обеспечивающего необходимые электрические параметры и требуемый уровень надежности системы. Как правило, при полном расчете изделие расчленяется на отдельные конструктивно самостоятельные части путем деления систем на приборы, узлы, блоки и т.д. При этом расчет производится последовательно от простого к сложному.

В состав современной РЭС могут входить интегральные микросхемы различного уровня интеграции: полупроводниковые интегральные микросхемы (МС); большие полупроводниковые микросхемы (БИС); гибридные интегральные микросхемы (ГИС); большие гибридные интегральные микросхемы (БГИС). В микросборки включаются малогабаритные дискретные ЭРЭ.

Таблица 1.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  Порядковый № ЭРЭ или позиционное обозначение на схеме | Наименование и тип элемента | Ni | Кнi | 1/ч | Крi |  , 1/ч | Примеча-ние |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

## **1.4. Расчет количественных показателей надежности**

Наиболее часто рассчитываются вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа для невосстанавливаемых РЭС или средняя наработка на отказдля восстанавливаемых РЭС.

 При последовательном соединении элементов в структурной схеме надежности (рис. 1.1) и независимости отказов между собой вероятность безотказной работы изделия за время t будет равна

**, (1.7)

где n – количество элементов.

Полагая , получим

 , (1.8)

где *λi* - интенсивность отказов *i*-го ЭН.

Обычно в аппаратуре имеется большое количество однотипных элементов *Nj*, имеющих одинаковую интенсивность отказов *λj*. Если таких типов *К*, то

. (1.9)

Соответствующие значения среднего времени безотказной работы

; . (1.10)

 При нормальной работе аппаратуры, когда имеет место простейший поток отказов и справедлив экспоненциальный закон надежности, параметр потока отказов равен интенсивности отказов *W=λ=*const, а средняя наработка до отказа равна среднему времени безотказной работы между отказами *Т=Т0.*

При параллельном соединении элементов в структурной схеме надежности (рис. 1.1), когда отказы отдельных элементов независимы, вероятность безотказной работы определяется по формуле:

 ** . (1.11)

## **1.5. Распределение показателей надежности по элементам**

Рассмотрим некоторые из методов распределения показателей надежности по элементам.

#### ***1.5.1. Принцип равнонадежных элементов***

Пусть система состоит из *N*равнонадежных последовательных элементов и за время *t*должна обеспечить вероятность безотказной работы *P(t).* Тогда каждый ЭН должен обеспечить вероятность безотказной работы

 (1.12)

Для экспоненциальной модели (1.3)

 (1.13)

, (1.14)

где  - интенсивность отказов всей системы.

Следовательно, интенсивность отказов каждого ЭН (норма надежности) должна быть

 (1.15)

#### ***1.5.2. С учетом сложности элементов***

Пусть система состоит из *N*последовательных равнонадежных блоков, причем одинаковых блоков содержат элементов, **одинаковых блоков, отличных от предыдущих, содержат таких же элементов и т.д. Для обеспечения заданной вероятности безотказной работы *P(t)*за время *t* интенсивность отказов всего устройства должна быть

, (1.16)

так как для экспоненциальной модели (1.3) .

Для определения требований к надежности блоков вводятся коэффициенты

сложности блоков:

 (1.17)

где ****- число одинаковых блоков одного типа,  , *l*- число типов блоков, - число элементов в *i*- м блоке.

Норма надежности для каждого *i*-го блока определяется по формуле:

 ≤ (1.18)

Пример 1

Радиоэлектронное устройство состоит из *n*=12 блоков: 10 одинаковых устройств типа 1, одно устройство типа 2 и одно устройство типа 3.

Для безотказной работы устройства необходима безотказная работа всех блоков. Каждый из блоков содержит =10, =20, =30 транзисторов. Вероятность безотказной работы устройства в течении наработки *t***=**4ч должна быть не менее 0.998.

Определить допустимое значение интенсивности отказов каждого блока .

Если транзисторы в блоках 1,2 и 3 одного типа и на каждый транзистор приходится, примерно, одинаковое количество деталей, то интенсивность отказов всего устройства определяется из соотношения:

,

так как *P(t)* близка к 1, то **.**

 = 5∙ ,

где – интенсивность отказов устройства.

Определим коэффициенты сложности блоков по формуле (1.17)

  = =

  = = ; (1.19)

  = = .

Допустимые значения интенсивности (или нормы надежности) (1.19) для блоков следующие:

 = = 3,3∙

 = = 1∙ (1.20)

 = = 6,6∙

#### ***1.5.3. C учетом существующего соотношения показателей надежности элементов в аналогичной системе (прототипе)***

Пусть проектируемая система состоит из *N* последовательных блоков и за время*t*должна обеспечить вероятность безотказной работы *P(t).* Аналогичная система из N последовательных блоков имеет интенсивности отказов  *i*-го блока . При последовательном соединении блоков доля отказов системы из-за отказов *i*-го блока

; (1.21)

где - интенсивность отказов всей системы; - интенсивность отказов ***i***-го блока.

Аналогичный коэффициент  для прототипа можно найти по соотношению интенсивности отказов прототипа

. (1.22)

 Нормы надежности для блоков устанавливаются из соотношения

. (1.23)

Пример 2

Проектируемое устройство состоит из трех блоков 1,2,3. Для безотказной работы устройства необходима безотказная работа всех блоков. Задана вероятность безотказной работы устройства в течении *t=*100ч, *P(t)=*0,97.

Определить нормы надежности на блоки 1,2,3, если при рассмотрении аналогичной системы установлено, что аналогичные блоки соответственно имеют интенсивности отказов

 = ; = ; = .

Для определения норм надежности (интенсивности отказов) на блоки с учетом данных для аналогичного изделия необходимо определить коэффициенты, учитывающие соотношение надежности блоков в нем (1.22):

 = = ;

 = = ;

 = = .

Для проектируемого устройства этот коэффициент равен

 = .

Найдем значения по формуле (1.18) ;

 Тогда нормы надежности для проектируемых блоков согласно (1.23) определяются следующим образом:

 = 2,5∙ ;

 = 20∙ ;

 = 7,5∙ .

# 2. Надежность элементов РЭС

 Важнейшей исходной информацией при расчете надежности аппаратуры по внезапным отказам является надежность ее элементов в реальных условиях эксплуатации в виде интенсивностей отказов *λэ* .

## **2.1 Интегральные микросхемы**

В настоящее время существует несколько моделей интенсивностей отказов интегральных микросхем. В их основе лежит одинаковый принцип построения, заключающийся в суммировании интенсивностей отказов корреляционно независимых элементов конструкции, различие состоит в характере этих элементов. Наиболее важным вопросом является учет корреляционных связей между интенсивностями отказов интегральных элементов. С этой целью вводятся коэффициенты неоднородности дефектов, рост которых означает ослабление корреляционных связей и наоборот. Каждая модель имеет свою предпочтительную область, в которой она дает наибольшую точность и наименьшую трудоемкость расчета.

На практике для интегральных микросхем наиболее распространена модель

= , (2.1)

где эксплуатационная интенсивность отказов;

- интенсивность отказов интегральных микросхем в нормальных условиях эксплуатации (табл. 2.1);

*–* коэффициент, учитывающий сложность (количество элементов в микросхеме N) интегральных микросхем и температуру окружающей среды (табл. 2.2);

- коэффициент, учитывающий влияние материала корпуса интегральных микросхем;

 ( = 3 для пластмассовых корпусов и = 1 - для всех остальных);

- коэффициент, учитывающий влияние максимальных значений напряжения питания (табл. 2.3);

- коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (табл. 1.2).

Таблица 2.1

|  |  |
| --- | --- |
| Группа интегральных микросхем | · , 1/ч |
| Микросхемы интегральные полупроводниковые цифровые | 0,019 |
| Микросхемы интегральные полупроводниковые аналоговые | 0,037 |
| Микросхемы интегральные гибридные | 0,044 |

Таблица 2.2

|  |  |
| --- | --- |
| Число элементов в интегральной микросхеме N | при температуре окружающей среды, ℃ |
| 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| ***Микросхемы интегральные полупроводниковые цифровые*** |
| До 10 элементов | 0,6 | 0,67 | 0,74 | 0,82 | 0,91 | 1,01 | 1,12 | 1,24 | 1,38 |
| От 10 до100 | 0,8 | 0,89 | 0,99 | 1,09 | 1,21 | 1,35 | 1,49 | 1,66 | 1,84 |
| От 100до 1000 | 1,0 | 1,11 | 1,23 | 1,37 | 1,52 | 1,68 | 1,87 | 2,07 | 2,30 |
| От 1000до 5000 | 1,8 | 2,00 | 2,22 | 2,46 | 2,73 | 3,03 | 3,36 | 3,73 | 4,14 |
| От 5000до 10000 | 4,00 | 4,44 | 4,93 | 5,47 | 6,07 | 6,73 | 7,47 | 8,29 | 9,19 |
| От 10000до 50000 | 4,9 | 5,44 | 6,04 | 6,70 | 7,43 | 8,24 | 9,15 | 10,15 | 11,26 |
| От 50000до100000 | 8,0 | 8,88 | 9,85 | 10,93 | 12,13 | 13,46 | 14,94 | 16,57 | 18,39 |
| От 100000до 250000 | 9,01 | 9,99 | 11,09 | 12,3 | 13,65 | 15,14 | 16,8 | 18,64 | 20,69 |

Окончание табл. 2.2

|  |  |
| --- | --- |
| Число элементов в интегральной микросхеме N | при температуре окружающей среды, ℃ |
| 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| ***Микросхемы интегральные полупроводниковые аналоговые*** |
| До 10 элементов | 0,60 | 0,68 | 0,76 | 0,85 | 0,95 | l,07 | l,20 | l,35 | l,51 |
| От 10 до 100 | l,00 | l,13 | l,26 | l,42 | l,59 | l,79 | 2,00 | 2,25 | 2,52 |
| От 100 до 500 | l,41 | l,58 | l,77 | l,99 | 2,23 | 2,50 | 2,80 | 3,15 | 3,53 |
| От 500до l 000 | 2,01 | 2,25 | 2,53 | 2,84 | 3,18 | 3,57 | 4,01 | 4,49 | 5,04 |
| От 1000до 5000 | 3,01 | 3,38 | 3,79 | 4,26 | 4,77 | 5,36 | 6,01 | 6,74 | 7,56 |
| От 5000до 20000 | 4,02 | 4,51 | 5,06 | 5,67 | 6,36 | 7,14 | 8,01 | 8,99 | 10,08 |
| ***Микросхемы интегральные полупроводниковые гибридные*** |
| До 25 элементов  | 0,90 | 1,01 | 1,14 | 1,29 | 1,45 | 1,64 | 1,84 | 2,08 | 2,34 |
| От 25 до 50 | 1,00 | 1,13 | 1,27 | 1,43 | 1,61 | 1,82 | 2,05 | 2,31 | 2,60 |
| От 50 до 100 | 1,20 | 1,35 | 1,52 | 1.72 | 1,94 | 2,18 | 2,46 | 2,77 | 3,12 |
| От 100до 500 | 1,35 | 1,52 | 1,72 | 1,93 | 2,18 | 2,46 | 2,77 | 3,12 | 3,51 |
| Более 500 | 1,50 | 1,69 | 1,91 | 2,15 | 2,42 | 2,73 | 3,07 | 3,46 | 3,90 |

Таблица 2.3

|  |  |
| --- | --- |
| Технология производства микросхем | *Кu* для источника питания с напряжением, В |
| До 10 | Свыше 10 до 12,6 | Свыше 12,6 до 15 |
| КМОП | 1,0 | 3,0 | 10,0 |
| Прочие виды технологий | 1,0 |

Пример 1

Определить интенсивность отказов полупроводниковой аналоговой интегральной микросхемы, состоящей из 687 элементов, при ее эксплуатации в наземной автомобильной аппаратуре при 40 ℃.

В соответствии с формулой (2.1) интенсивность отказов равна

 = ,

где (табл. 1.2);

 = 1,37 (табл. 2.2);

 = 1 (табл. 2.3);

 = 0,037∙ (табл. 2.1).

Интенсивность отказа данной микросхемы в заданных условиях эксплуатации равна 0,08∙ .

При расчете надежности микросборок применяются, в основном, два подхода. Первый подход аналогичен изложенному выше для микросхем и заключается в применении поправочных коэффициентов сложности и эксплуатации к базовой интенсивности отказов микросборок. Учитывая, что микросборка представляет собой гибридную интегральную микросхему собственного изготовления, в качестве базовой принимают средне-групповую интенсивность отказов для гибридной интегральной микросхемы серийного производства λ0=0,21⋅10-6 1/час в лабораторных условиях. С учетом этого модель интенсивности отказов микросборки в условиях эксплуатации имеет вид

 *= ,*  (2.2)

где *Кс* и *Кэ* - коэффициенты сложности и эксплуатации.

Второй подход основан на методике расчета надежности аппаратуры на дискретных элементах и заключается в суммировании интенсивностей отказов отдельных элементов с учетом электрического режима работы и условий эксплуатации.

## **2.2. Полупроводниковые приборы**

Интенсивности отказов полупроводниковых приборов рассчитываются коэффициентным методом по модели (1.6), при этом для отдельных видов приборов наряду с общими используются коэффициенты, отражающие их специфику. Модели основных полупроводниковых приборов приведены в табл. 2.4.

В качестве *λ0* в моделях табл. 2.4 принимается средне-групповая интенсивность отказов, полученная при нормальной температуре 25 °С и номинальной электрической нагрузке.

Таблица 2.4

|  |  |
| --- | --- |
| Полупроводниковый прибор | Модель интенсивности отказов |
| Транзисторы биполярные, кроме мощных СВЧ, транзисторные сборки | *λЭ=λ0· Кр · КФ· КДН· КНН· КЭ* |
| Транзисторы биполярные мощные СВЧ | *λЭ= λ0· КФ· КТ· КЧМ· КЭ* |
| Транзисторы полевые | *λЭ= λ0· КФ· КЭ* |
| Тиристоры | *λЭ= λ0· Кр · КДН· КЭ* |
| Диоды выпрямительные, универсальные, импульсные, столбы выпрямительные, варикапы, диодные сборки | *λЭ= λ0· Кр · КФ· КДН· КНН· КЭ* |
| Стабилитроны | *λЭ = λ0· Кр · КЭ* |
| Диоды СВЧ | *λЭ = λ0· Кр · КЭ* |

Коэффициенты в моделях табл. 2.4 имеют следующие значения: *Кр* – отражает режим работы прибора и зависит от электрической нагрузки и (или) температуры окружающей среды; *Кф* – учитывает функциональное назначение прибора; *КДН* – зависит от величины максимально допустимой по ТУ нагрузки по мощности рассеяния или току; *КНН* – показывает нагрузку по напряжению и равен отношению рабочего напряжения к максимально допустимому по ТУ; *КНТ*– зависит от нагрузки по напряжению и температуры перехода для мощных транзисторов СВЧ; *КЧМ*– отражает частоту и мощность в импульсе мощных транзисторов СВЧ; *КЭ*– учитывает условия эксплуатации.

Средне-групповые интенсивности отказов полупроводниковых приборов λ0 приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

|  |  |
| --- | --- |
| Полупроводниковый прибор | *λ0⋅106 час-1* |
| Транзисторы биполярные, кроме мощных СВЧТранзисторы биполярные мощные СВЧТранзисторные сборкиТранзисторы полевые | 0,150,20,150,15 |
| Тиристоры | 0,23 |

Окончание табл. 2.5

|  |  |
| --- | --- |
| Полупроводниковый прибор | *λ0⋅106 час-1* |
| Диоды:- выпрямительные- универсальные- импульсные- столбы выпрямительные- варикапы подстроечные- диодные сборкиСтабилитроныДиоды СВЧ:- смесительные- параметрические- переключательные и ограничительные- умножительные- генераторные | 0,050,050,0230,350,050,0250,0350,730,280,180,750,16 |

#### Таблица 2.6

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Полупроводниковый прибор | Функциональный режим работы | *К*Ф |
| Транзисторы биполярные, кроме мощных СВЧ, транзисторные сборки | Линейный | 1,5 |
| Переключающий | 0,7 |
| Генераторный | 0,7 |
| Малошумящие приборы | 15 |
| Высоковольтные приборы | 1,5 |
| Транзисторы полевые | Кремниевые | Линейный | 1,5 |
| Переключающий | 0,7 |
| Генераторный | 1 |
| СВЧ – диапазона | 5 |
| Арсенид-галлиевые | Малошумящие приборы | 10 |
| Остальные типы приборов | 7,5 |

Окончание табл. 2.6

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Диоды выпрямительные, универсальные, импульсные, столбы выпрямительные, варикапы, диодные сборки | Линейный | 1 |
| Переключающий | 0,6 |
| Выпрямительный | 1,5 |
| Транзисторы биполярные мощные СВЧ | Импульсныеусилители | Скважность >20 Скважность 3-20 Скважность <3 | 0,250,51 |
| Усилители в непрерывном режиме | 1 |
| Генераторы | 1 |

#### Таблица 2.7

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Полупроводниковый прибор | Нагрузка | *КДН* |
| Транзисторы биполярные, кроме мощных СВЧ, транзисторные сборки, варикапы | Максимально допустимая по ТУ рассеиваемая мощность, Вт, |  |
| ≤1 | 0,5 |
| >1≤5 | 0,8 |
| >5≤20 | 1 |
| >20≤50 | 1,3 |
| >50≤200 | 2,5 |
| >200≤500 | 5 |
| Диоды выпрямительные, универсальные, импульсные, столбы выпрямительные, диодные сборки | Максимально допустимый по ТУ средний прямой ток, А, |  |
| ≤1 | 0,6 |
| >1≤3 | 0,8 |
| >3≤10 | 1 |
| >10≤20 | 2 |
| >20≤50 | 5 |
| Тиристоры | Максимально допустимый по ТУ средний прямой ток, А, |  |
| ≤1 | 1 |
| >1≤5 | 3 |
| >5≤25 | 6 |
| >25≤50 | 10 |

Таблица 2.8

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Полупроводниковый прибор | Нагрузка по напряжению, % | *КНН* |
| Транзисторы биполярные, кроме мощных СВЧ, транзисторные сборки | Отношение рабочего напряжения к максимально допустимому, %: |  |
| От 0 до 50 | 0,5 |
| 50 | 0,7 |
| 60 | 0,8 |
| 70 | 1 |
| 80 | 1,5 |
| 90 | 2 |
| 100 | 3 |
| Диоды выпрямительные, универсальные, импульсные, столбы выпрямительные, варикапы, диодные сборки | Отношение рабочего обратного напряжения к максимально допустимому, %: |  |
| От 0 до 60 | 0,7 |
| 70 | 0,75 |
| 80 | 0,8 |
| 90 | 0,9 |
| 100 | 1 |

 Таблица 2.9

|  |  |
| --- | --- |
| Частота, МГц | Мощность в импульсе, Вт |
|  | >1 | 1-5 | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|  |  |
| 200-400 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1000 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2 | 5 | 10 |  |
| 1500 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 3 | 10 |  |  |
| 2000 | 1 | 2 | 2 | 6 | 10 | 20 |  |  |  |
| 3000 | 1 | 4 | 8 | 20 |  |  |  |  |  |
| 4000 и более | 1 | 10 | 30 |  |  |  |  |  |  |

 Коэффициент *КТ* для рабочих температур перехода *tП* от 100 до 200°С и отношений рабочего напряжения между коллектором и эмиттером к максимально допустимому от 0,4 до 0,65 определяется по табл. 2.10.

Таблица 2.10

|  |  |
| --- | --- |
| t, ℃ | Металлизация алюминием |
|  для мощных биполярных СВЧ-транзисторов при  |
| 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,55 | 0,6 | 0,65 |
| 100 | 0,38 | 0,76 | 1,14 | 1,52 | 1,89 | 2,27 |
| 110 | 0,57 | 1,13 | 1,70 | 2,27 | 2,84 | 3,40 |
| 120 | 0,83 | 1,66 | 2,50 | 3,33 | 4,16 | 4,99 |
| 125 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 5,01 | 6,01 |
| 130 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,79 | 5,99 | 7,19 |
| 140 | 1,69 | 3,39 | 5,08 | 6,78 | 8,47 | 10,17 |
| 150 | 2,36 | 4,72 | 7,07 | 9,43 | 11,79 | 14,15 |
| 160 | 3,23 | 6,46 | 9,69 | 12,93 | 16,16 | 19,39 |
| 170 | 4,37 | 8,73 | 13,10 | 17,46 | 21,83 | 26,19 |
| 180 | 5,82 | 11,64 | 17,46 | 23,28 | 29,10 | 34,92 |
| 190 | 7,66 | 15,33 | 22,99 | 30,65 | 38,32 | 45,98 |
| 200 | 9,97 | 19,95 | 29,92 | 39,89 | 49,86 | 59,84 |
| t, ℃ | Металлизация золотом |
|  для мощных биполярных СВЧ-транзисторов при  |
| 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,55 | 0,6 | 0,65 |
| 100 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,5 | 0,60 |
| 110 | 0,14 | 0,28 | 0,42 | 0,56 | 0,7 | 0,84 |
| 120 | 0,18 | 0,36 | 0,54 | 0,72 | 0,9 | 1,08 |
| 125 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,0 | 1,20 |
| 130 | 0,22 | 0,44 | 0,66 | 0,88 | 1,1 | 1,32 |
| 140 | 0,26 | 0,52 | 0,78 | 1,04 | 1,3 | 1,56 |
| 150 | 0,30 | 0,60 | 0,90 | 1,20 | 1,5 | 1,80 |
| 160 | 0,34 | 0,68 | 1,02 | 1,36 | 1,7 | 2,04 |
| 170 | 0,38 | 0,76 | 1,14 | 1,52 | 1,9 | 2,28 |
| 180 | 0,42 | 0,84 | 1,26 | 1,68 | 2,1 | 2,52 |
| 190 | 0,46 | 0,92 | 1,38 | 1,84 | 2,3 | 2,76 |
| 200 | 0,50 | 0,10 | 1,50 | 2,00 | 2,5 | 3,00 |

Пример 2

 Определить интенсивность отказов импульсного диода в режиме переключения при его работе в корабельной аппаратуре при = 0,5 (по току); = 0,4 (по напряжению); t = 40℃. В соответствии с табл. 2.4 интенсивность отказов равна

*λЭ= λ0·Кр· КФ· КДН· КНН· КЭ ,*

где = 0,023∙ ;

2 ;

 = 0,0195 ;

 = 0,6 ;

 = 0,6 ;

 .

Интенсивность отказа импульсного диода равна 0,002∙ .

## **2.3. Конденсаторы**

Модели для расчета значений эксплуатационной интенсивности отказов отдельных групп конденсаторов приведены в табл. 2.11.

В моделях табл. 2.11:

*КC* – коэффициент, определяемый номинальной емкостью конденсатора, *КПС* – коэффициент, зависящий от величины последовательного активного сопротивления в схеме между конденсатором и источником питания, для оксидно-полупроводниковых конденсаторов*,*

*КТ* – коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды;

коэффициент  находится по табл.1.3.

В качестве *λ0* принимается индивидуальная (при наличии таких данных) или средне-групповая интенсивность отказов конденсатора (приведена в табл. 2.12).

Таблица 2.11

|  |  |
| --- | --- |
| Группа конденсаторов | Вид модели  |
| Конденсаторыпостояннойемкости | Тонкопленочные с неорганическим диэлектриком | *λЭ = λ0··КЭ* |
| КерамическиеСтеклокерамическиеСлюдяныеОксидно-электролитические алюминиевые (кроме импульсных)C органическим синтетическим диэлектриком: низковольтные, высоковольтные постоянного напряжения, бумажные | *λЭ = λ0··КC·КЭ* |
| Оксидно-полупроводниковые | *λЭ=λ0··КC·КПС· КЭ* |
| Оксидно-электролитические алюминиевые импульсные С органическим синтетическим диэлектриком импульсные | *λЭ = λ0··КС·КТ· КЭ* |
| Конденсаторы подстроечные | С твердым диэлектриком | *λЭ = λ0·· КЭ* |

Таблица 2.12

|  |  |
| --- | --- |
| Группа приборов | λ0 106 , час-1 |
| Конденсаторы постояннойемкости | Керамические на номинальное напряжение менее 1600В. | 0,006 |
| Керамические на номинальное напряжение не менее 1600В. | 0,075 |
| Оксидно-электролитические алюминиевые (кроме импульсных)  | 0,025 |
| Оксидно-полупроводниковые | 0,01 |
| С органическим синтетическим диэлектриком, низкочастотные | 0,005 |
|  | Бумажные | 0,0025 |
| Конденсаторы подстроечные | С твердым диэлектриком | 0,01 |

Коэффициент КТ находится по моделям:

- для оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов

, (2.9)

- для конденсаторов с органическим синтетическим диэлектриком, импульсных

. (2.10)

Модели или значения коэффициента *КС* представлены в табл. 2.13

Таблица 2.13

|  |  |
| --- | --- |
| Тип конденсатора постоянной емкости | Модель *КС* |
| Керамические и стеклокерамические | *КС* = 0,4∙С 0,12 (С в пФ) |
| Слюдяные | *КС* = 0,4∙С 0,14 (С в пФ) |
| Оксидно-электролитические алюминиевые | *КС* = 1 при С ≤ 103 мкФ*КС* = 2 при 103 мкФ < C ≤ 22∙103 мкФ*КС* = 2,5 при С>22∙103 мкФ |
| Оксидно-полупроводниковые | *КС* = 1 |
| С органическим синтетическим диэлектриком и бумажные | *КС* = 1,0∙С 0,05 (С в мкФ) |

 Коэффициент  находится по табл. 2.14.

Таблица 2.14

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Нормальноенапряжение, В | Рабочаятемпература, 0C | U/ | Значение КПС при отношении R/U, Oм/В |
| <0,1 | 0,1 <1 | 1<2 | 2<3 | 3 |
| не более 6,3 | не более 85 | 1 | 1 |
| 85 … 100 | 0,7 | 1 |
| >0,7 | 3,5 | 1,6 | 1,35 | 1,2 | 1 |
| 100 … 125 | 0,5 | 1 |
| >0,50,7 | 2 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1 |
| 6,3 … 16 | не более 50 | 1 | 1 |
| 50 … 85 | 0,7 | 1 |
| >0,7 | 2,5 | 1,5 | 1,25 | 1,125 | 1 |
| 85 … 100 | 0,7 | 1 |
| >0,7 | 4 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 1 |
| 100 … 125 | 0,5 | 1 |
| >0,50,7 | 4 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 1 |
| более 16 | не более 50 | 0,7 | 1 |
| >0,7 | 2 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1 |
| 50 … 85 | 0,5 | 1 |
| >0,50,7 | 2 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1 |
| >0,7 | 4 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 1 |
| 85 … 100 | 0,4 | 1 |
| >0,40,7 | 4 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 1 |
| >0,7 | 5 | 2 | 1,5 | 1,25 | 1 |
| 100 … 125 | 0,3 |  |
| >30,5 | 4 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 1 |
| >0,50,7 | 5 | 2 | 1,5 | 1,25 | 1 |

Значение коэффициента указаны в табл. 1.2.

Пример 3.

 Определить интенсивность отказов керамического высоковольтного конденсатора емкостью 1000 пФ, эксплуатируемого в стационарном устройстве при номинальном напряжении и 40 ℃. В соответствии с табл. 2.11 интенсивность рассчитывается как

λЭ = λ0··КC·КЭ,

где КЭ = 1 (табл. 1.2);

 = 1,7 (табл. 1.3);

 = 0,9 (табл. 2.13);

λ0 = 0,075∙ (табл. 2.12).

Получаем λЭ = 0,11∙ .

## **2.4. Резисторы**

Модели эксплуатационной интенсивности отказов резисторов приведены в табл. 2.15.

В табл. 2.15, кроме вышеупомянутых и, использованы следующие коэффициенты:

- учитывает номинальное сопротивление,

- учитывает номинальную мощность рассеяния,

- учитывает нагрузку по напряжению (отношение реального напряжения на резисторе *U* к максимально допустимому по ТУ ).

Таблица 2.15

|  |  |
| --- | --- |
| Группа изделий  | Вид моделей  |
| Резисторы постоянные не проволочные металлодиэлектрические  |  =  |
| Резисторы постоянные непроволочные углеродистыеРезисторы постоянные проволочные и металло-фольгированныеРезисторы переменные проволочныеНаборы резисторов |  =  |
| Резисторы переменные непроволочные |  =  |
| Резистивные микросхемы |  =  |
| Терморезисторы  |  =  |

В качестве  подставляются экспериментальные данные конкретного типа резистора, либо среднегрупповые значения, если индивидуальные интенсивности отказов отсутствуют. Значения приведены в табл. 2.16, - в табл. 1.2, а коэффициент режима работы в табл. 1.3.

Таблица 2.16

|  |  |
| --- | --- |
| Группа приборов | 106, час-1 |
| Резисторы постоянные непроволочные | 0,005 |
| Резисторы постоянные проволочные и металлофольгированные:нагрузочные, прецизионные, особостабильные и металлофольгированные | 0,01 |
| Резисторы переменные непроволочные | 0,005 |
| Резисторы переменные проволочные: подстроечные, регулировочные  | 0,015 |
| Терморезисторы | 0,015 |
| Наборы резисторов | 0,01 |
| Резистивные микросхемы | 0,005 |

Таблица 2.17

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип резисторов | Диапазон сопротивлений |  КR |
| Резисторы постоянные непроволочные: -металлодиэлектрические | R<1 кОм | 1,0 |
| 1 кОм<R<100 кОм | 0,7 |
| 100 кОмR<1 МОм | 2 |
| R МОм | 0,6 |
| -углеродистые | R100 кОм | 0,5 |
| 100 кОмR1 МОм | 2,7 |
| R>1 МОм | 0,7 |
| Резисторы постоянные проволочные:-нагрузочные | R1 кОм | 1,3 |
| 1 кОм<R10 кОм | 0,8 |
| 10 кОм<R100 кОм | 1,5 |

Окончание табл. 2.17

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип резисторов | Диапазон сопротивлений |  КR |
| Резисторы постоянные проволочные:-прецизионные,особостабильные и металлофольгированные | R1 кОм | 1,6 |
| 1 кОм<R10 кОм | 0,6 |
| 10 кОм<R100 кОм | 0,4 |
| 100 кОм<R | 1 |
| Резисторы переменные непроволочные:-керметные | 10 Ом<R100 Ом | 1,6 |
| 100 Ом<R330 Ом | 1,4 |
| 330 Ом<R | 1 |
| -композиционные пленочные | R1 кОм | 1 |
| 1 кОм<R10 кОм | 0,3 |
| 10 кОм<R100 кОм | 0,5 |
| 100 кОм<R1 МОм | 1 |
| 1 Мом<R | 1,6 |
| -композиционные объемные | 10 Ом<R100 Ом | 0,5 |
| 100 Ом<R1 кОм | 1 |
| 1 кОм<R10 кОм | 0,5 |
| 10 кОм<R100 кОм | 0,9 |
| 100 кОм<R1 МОм | 1 |
| 1 Мом<R | 1,4 |
| Резисторы переменныепроволочные:-подстрочные | R1 кОм | 1,9 |
| 1 кОм<R10 кОм | 0,3 |
| 10 кОм<R100 кОм | 0,8 |
| -регулировочные | R1 кОм | 1,7 |
| 1 кОм<R10 кОм | 0,5 |
| 10 кОм<R100 кОм | 0,9 |
| Наборы резисторов | 10 Ом<R680 Ом | 0,5 |
| 1 кОм<R100 кОм | 0,3 |
| 150 кОмR1 МОм | 1 |

#### Таблица 2.18

|  |  |
| --- | --- |
| Мощность, Вт | КМ |
| 0,062…0,51…25…10 | 0,71,54,5 |

#### Таблица 2.19

|  |  |
| --- | --- |
| КU=U/Uдоп | КНН |
| 0,1КU0,80,8КU0,90,9КU1,0 | 1,01,051,2 |

 Пример 4.

 Определить интенсивность отказов металлодиэлектрического резистора номинальной мощностью 0,125 Вт и рабочей мощностью 0,1 Вт, то есть , сопротивлением 10 Ом, эксплуатируемого на судах при 25℃.

В соответствии с табл. 2.15 интенсивность рассчитывается по формуле:

 = ,

где КЭ = 2 (табл. 1.2);

 = 0,81 (табл. 1.3);

 = 1 (табл. 2.17);

 = 0,7 (табл. 2.18);

λ0 = 0,01∙ ч-1 (табл. 2.16).

Получаем λЭ = 0,0113∙ ч-1.

## **2.5. Радиокомпоненты**

В число радиокомпонентов включены коммутационные, установочные изделия и трансформаторы.

Модели  радиокомпонентов представлены в табл. 2.20.

Базовые значения интенсивностей отказов  моделей табл. 2.20 приведены в табл. 2.21.

#### Таблица 2.20

|  |  |
| --- | --- |
| Группа радиокомпонентов | Вид модели |
| Переключатели, тумблерыКонтакты магнитоуправляемыеПредохранителитрансформаторы |  =  =  =  =  |

Таблица 2.21

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Группа приборов  | (1/час) | Тип магнитоуправляемого контакта | (1/час) |
| Переключатели (кроме ПКн41, ПКн61); тумблеры | 0,035 | КЭМ-1 | 0,10 |
| КЭМ-2 | 0,18 |
| ПКн41 | 0,5 | КЭМ-3 | 6,9 |
| КЭМ-6 | 0,83 |
| ПКн61 | 0,03 | МК-17 | 0,33 |
| МУК1А-1 | 0,58 |
|  |  | МК-10-3 | 2,72 |
| МКА-10501 | 0,66 |
| Предохранители | 0,08 | МКА-27101 | 1,38 |
| МКА-27102 | 3,75 |
| Трансформаторы: |  | МКС-27103 | 0,84 |
| Силовые | 0,85 | МКА-52141 | 15,2 |
| Выходные строчные | 1,5 | МКА-10104 | 5,0 |
| Межкаскадные строчные | 0,05 | МКА-20101 | 0,15 |

В моделях табл. 2.20:

- коэффициент, зависящий от числа задействованных контактов;

- учитывает температуру окружающей среды,;

-коэффициент  при температуре 50 .

Коэффициент  для предохранителей при номинальной нагрузке рассчитывается по формуле:

, (2.11)

где *Т*- температура окружающей среды, .

Значения  для трансформаторов приведены в табл. 2.22.

Таблица 2.22

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т,  |  | Т,  |  | Т,  |  |
| 25 | 1,00 | 40 | 4,25 | 55 | 16,5 |
| 30 | 1,75 | 45 | 7,00 | 60 | 25,0 |
| 35 | 2,75 | 50 | 11,0 | - | - |

 

Коэффициенты и коммутационных изделий определяются по таблицам 2.23 и 2.24. Коэффициент режима  зависит от нагрузке по току (отношение реального тока через контакты *I* к максимально доступному по ТУ ) и температуры окружающей среды.

Таблица 2.23

|  |  |
| --- | --- |
|  |  при  |
| 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 25 | 0,21 | 0,22 | 0,24 | 0,27 | 0,31 | 0,37 | 0,45 | 0,57 | 0,74 | 1,0 |
| 30 | 0,27 | 0,28 | 0,30 | 0,34 | 0,39 | 0,47 | 0,57 | 0,72 | 0,94 | 1,26 |
| 35 | 0,33 | 0,34 | 0,37 | 0,41 | 0,47 | 0,56 | 0,69 | 0,87 | 1,14 | 1,53 |
| 40 | 0,40 | 0,42 | 0,45 | 0,50 | 0,58 | 0,69 | 0,84 | 1,07 | 1,39 | 1,87 |
| 45 | 0,49 | 0,51 | 0,55 | 0,61 | 0,70 | 0,84 | 1,02 | 1,29 | 1,68 | 2,27 |
| 50 | 0,58 | 0,61 | 0,66 | 0,73 | 0,85 | 1,01 | 1,23 | 1,56 | 2,03 | 2,73 |
| 55 | 0,71 | 0,74 | 0,80 | 0,89 | 1,03 | 1,23 | 1,50 | 1,89 | 2,48 | 3,33 |
| 60 | 0,86 | 0,89 | 0,96 | 1,07 | 1,24 | 1,48 | 1,80 | 2,28 | 2,98 | 4,00 |
| 65 | 0,95 | 0,99 | 1,08 | 1,20 | 1,38 | 1,65 | 2,01 | 2,54 | 3,32 | 4,46 |
| 70 | 1,21 | 1,26 | 1,37 | 1,52 | 1,76 | 2,29 | 2,56 | 3,23 | 4,22 | 5,67 |
| 75 | 1,43 | 1,48 | 1,61 | 1,79 | 2,07 | 2,46 | 3,00 | 3,80 | 4,96 | 6,67 |
| 80 | 1,68 | 1,75 | 1,90 | 2,11 | 2,44 | 2,90 | 3,55 | 4,49 | 5,86 | 7,87 |
| 85 | 1,99 | 2,07 | 2,25 | 2,50 | 2,90 | 3,44 | 4,21 | 5,32 | 6,94 | 9,47 |
| 90 | 2,35 | 2,44 | 2,65 | 2,95 | 3,41 | 4,06 | 4,96 | 6,27 | 8,18 | 11,00 |
| 95 | 2,78 | 2,88 | 3,13 | 3,48 | 4,03 | 4,79 | 5,85 | 7,41 | 9,68 | 13,00 |
| 100 | 3,27 | 3,40 | 3,69 | 4,10 | 4,74 | 5,65 | 6,89 | 8,72 | 11,38 | 15,29 |

Таблица 2.24

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Группа изделий  | Количествозадействованных контактов |  |
| Тумблеры | Однополюсные | 0,5 |
| Двухполюсны | 1,0 |
| Трехполюсные | 1,5 |
| Четырехполюсные | 2,0 |
| Переключатели кнопочные, движковые | 1 | 0,25 |
| 2 | 1,0 |
|  | 2,0 |
| Переключатели галетные, программные, бесконтактные | - | 1 |

## **2.6. Пример ориентировочного и полного расчета**

## **надежности модели РЭС**

Выполним расчет надежности модели устройства РЭС, представляющей последовательное соединение элементов. РЭС эксплуатируется в корабельных условиях при 40℃.

Электрические режимы эксплуатации однотипных элементов одинаковы.

В результате расчета необходимо определить интенсивность отказов, вероятность безотказной работы в течении 9000 часов и среднее время до отказа.

Поправочные коэффициенты определяются из приведенных выше таблиц для соответствующих элементов.

В табл. 2.25 приведены состав РЭС, условия работы и результаты ориентировочного расчета надежности. N – количество элементов в интегральной микросхеме.

Таблица 2.25

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  №  | Наименование и тип элемента |   |   | × |  ×   |
| 1 | Керамический конденсатор 1000 пФ | 12 | 2 | 0,006 | 0,144 |
| 2 | Резистор постоянный не проволочный металлодиэлектрический 10 кОм, 0,125 Вт | 15 | 2 | 0,005 | 0,15 |
| 3 | Транзистор биполярный линейный = 10 Вт | 9 | 2 | 0,15 | 2,7 |
|  4 | Диод кремниевый универсальный<1А | 6 | 2 | 0,05 | 0,6 |
|  5 | Цифровая интегральная микросхема полупроводниковая N=1653- ??? | 58 | 2 | 0,019 | 2,204 |
|  6 | Аналоговая интегральная микросхема полупроводниковая N=732- ??? | 30 | 2 | 0,037 | 2,22 |
|  7 | Гибридная интегральная микросхема N=430- ??? | 20 | 2 | 0,044 | 1,76 |
|  8 | Силовой трансформатор | 1 | 1,5 | 0,85 | 1,275 |
|  9 | Терморезистор | 1 | 2 | 0,015 | 0,03 |
| 10 | Стабилитрон | 1 | 2 | 0,035 | 0,07 |

Значение и составляет 11,153×ч-1.

Вероятность безотказной работы P(t) = 0,905 рассчитана по формуле (1.5).

Cреднее время до отказа T = 89662 часов рассчитано по формуле (1.6).

В табл. 2.26 приведены состав РЭС, условия работы и результаты полного расчета надежности. – количество однотипных элементов в устройстве.

Таблица 2.26

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  №  | Наименование и тип элемента |   | Кнi |   |   |  | ×, ч-1 |  × , ч-1  |
| 1 | Керамический конденсатор 1000 пФ | 12 | 0,8 | 2 | 0,91 | =0,9 | 0,006 | 0,12 |
| 2 | Резистор постоянный не проволочный металлодиэлектрический10 кОм, 0,125 Вт | 15 | 0,4 | 2 | 0,44 | ==0,7 | 0,005 | 0,03 |
| 3 | Транзистор биполярный линейный = 10 Вт | 9 | 0,8 | 2 | 0,66 | =1=1,5=1,5 | 0,15 | 4,01 |
|  4 | Диод кремниевый универсальный<1А | 6 | =0,6=0,6 | 2 | 0,256 | =0,8=0,6 | 0,05 | 0,07 |
|  5 | Цифровая интегральная микросхема полупроводниковая N=1653 - ??? | 58 | 1 | 2 | 1 | =2,46=1=1 | 0,019 | 5,42 |
|  6 | Аналоговая интегральная микросхема полупроводниковая N=732 - ??? | 30 | 1 | 2 | 1 | =2,84=1=1 | 0,037 | 6,3 |
| 7 | Гибридная интегральная микросхема N=430 - ??? | 20 | 1 | 2 | 1 | =1,93=1=1 | 0,044 | 3,4 |
| 8 | Силовой трансформатор | 1 | 1 | 1,5 | 1 | =0,39 | 0,85 | 0,5 |
|  9 | Терморезистор | 1 | 1 | 2 | 1 |  | 0,015 | 0,03 |
| 10 | Стабилитрон | 1 | 0,6 | 2 | 0,387 |  | 0,035 | 0,03 |

Значение и составляет 19,87×ч-1.

Вероятность безотказной работы P(t) = 0,835 рассчитана по формуле (1.5).

Cреднее время до отказа рассчитано по формуле (1.6) и составляет T = 50327 часов.

Следует отметить, что в действительности коэффициенты режима даже для одинаковых элементов могут отличаться, поэтому таблица 2.26 будет значительно больше.

Сравнение результатов ориентировочного и полного расчета надежности модели РЭС показывает, что в реальных условиях и режимах работы элементов РЭС показатели надежности снижаются и могут не соответствовать требованиям технического задания. В этом случае необходимо выбрать электро-радиоэлементы с меньшим значением и . Если этого недостаточно, то необходимо применить резервирование.

# Список литературы

1. Основы надежности: Метод. указ. по дипломному проектированию / под ред. Г.М. Чернявского.  – М.: МИРЭА, 2007. — 32 с.

2. Гельфман Т. Э., Легкий Н. М. Основы теории надежности РЭС: – М.: МИРЭА, 2018. – 92 с.

3. Ямпурин Н. П., Баранова А. В. Основы надежности электронных средств: – М.: Академия, 2010. – 238 с.

4. Надёжность электрорадиоизделий. Справочник нормативного характера. – М.: 22 ЦНИИИ МО РФ, 2006. – 641 с.

5. Гельфман Т. Э., Пирхавка А.П. Основы надежности электронных средств: Метод. указания по выпол. курсовой работы: – М.: МИРЭА, 2017. – Электронный ресурс.

**Гельфман** Татьяна Элевна, доцент кафедры радиоэлектронных систем и комплексов института радиотехнических и телекоммуникационных систем МИРЭА – Российского технологического университета,

**Пирхавка** Алексей Петрович, к.т.н., доцент кафедры радиоэлектронных систем и комплексов института радиотехнических и телекоммуникационных систем МИРЭА – Российского технологического университета

*Учебное издание*

**РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

*Методические указания к практическим занятиям*

МИРЭА ­­– Российский технологический университет

119454, Москва, пр. Вернадского, д. 78