МГТУ ГА

Факультет: компьютерного проектирования

# Кафедра: радиоэлектронных средств

## Пояснительная записка к курсовому проекту

по предмету: «Теоретические основы конструирования, технологии и надежности»

на тему: «Оценка параметрической надежности РЭС с использованием моделирования на ЭВМ постепенных отказов»

**Москва 2002**

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение

1. Постановка задачи

1.1 Анализ исходных данных

1.2 Пояснение решаемой задачи

2. Выбор метода решения поставленной задачи

3. Решение задачи на ЭВМ

3.1 Описание вычислительного алгоритма моделирования температурных и временных изменений параметров.

3.2 Пояснение процедур и функций, используемых в программе

3.3 Обоснование выбора числа реализаций

3.4 Список идентификаторов

4. Описание и анализ полученных результатов

5. Пояснения функциональных частей структурной схемы алгоритма

Заключение и выводы.

Литература.

Приложение 1. Листинг программы.

Приложение 2. Графический материал.

**ВВЕДЕНИЕ**

В курсовом проекте необходимо произвести оценку параметрической надёжности РЭС, с использованием моделирования на ЭВМ постепенных отказов элементов.

Параметрическая надёжность РЭУ - вероятность отсутствия в изделии постепенных отказов при его работе в заданных условиях эксплуатации в течение времени tзад (в нашем случае tзад = 10000 ч). Параметрическая надёжность связана с понятием постепенных отказов.

Постепенный (параметрический) отказ - отказ, возникающий в результате постепенного изменения значения одного или нескольких параметров изделия.

Основные причины, вызывающие появление постепенных отказов:

1) Производственный разброс выходного параметра, вызываемый действием производственных погрешностей.

2) Отклонение выходного параметра от номинального значения из-за процессов старения.

3) Отклонение выходного параметра от номинального значения под воздействием дестабилизирующих факторов (температуры, влажности и т.д.).

Из-за наличия производственного разброса входных параметров выходной параметр уже может существенно отклониться от номинального значения. Под воздействием дестабилизирующих факторов на первичные параметры, а также в процессе эксплуатации происходит дальнейшее изменение выходного параметра. В результате его значение может достигнуть критического значения и выйти за него, т.е наступит постепенный отказ.

Моделируя РЭУ и используя методы математической статистики, проследим как влияют производственный разброс входных параметров, дестабилизирующие факторы и старение на выходной параметр, а следовательно и на параметрическую надежность.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

## 1.1 Анализ исходных данных

Исходные данные к проекту:

1) Схема электрическая принципиальная.

2) Математическая модель для выходного параметра:

(1.1)



3) Сведения о первичных параметрах (параметрах элементов):

а) резисторы R1 = 3 кОм ± 5% типа ОМЛТ;

б) резисторы R2 = 12 кОм ± 5% типа ОМЛТ;

в) резисторы R3 = 2,4 кОм ± 10% типа ОМЛТ;

г) тип микросхемы DA1: 140УД9;

4) Заданное интервал работы РЭС: tзад = 10000 час.

5) Диапазон рабочих температур: Траб = +10°…+60° С.

6) Условие параметрической надежности:



Данных, указанных в задании, недостаточно для проведения расчетов и моделирования. Поэтому дополняем необходимые данные из справочников:

7) Согласно [3] температурный коэффициент резисторов типа ОМЛТ:

а) αR+ = ±7⋅10-2 % при Т = +20°…+100° С;



б) αR- = ±12⋅10-2 % при Т = -60°… +20° С;



8) Согласно [3] на резисторы типа ОМЛТ величина их сопротивления может измениться на ± 10% при наработке 25000 часов. Отсюда находим величину коэффициента старения:

СR = = ± 4⋅10-4 % ;



9) Согласно [2] коэффициент усиления Koy и входное сопротивлениеRbx:

Koy35000



Rbx300 кОм



Характеристики первичных параметров представлены в неявной форме, т. е. нет численных значений математического ожидания М(xi) и среднеквадратического отклонения σ(xi).Вследствие этого необходимо произвести их расчет.

Расчет этих характеристик производят в зависимости от закона распределения первичного параметра. Примем гипотезу о том, что Koy и Rbx распределены по нормальному закону. ω(Koy)

35000 М(Koy) Koy

Согласно [1] составим систему уравнений:

Koy=50000±30%



Аналогично определяем Rbx .Получаем Rbx=430 кОм±30%.

Т.о. получили Koy=50000±30% Rbx=430 кОм±30%

10) На основе данных, приведённых в [2] получили стабильность Koy и Rbx :

а)Температурная : α Koy= ±25⋅10-2 % при Т = -60°…+100° С;



α Rbx = ±7,5⋅10-3 % при Т = -60°…+100° С;



б)Временная: С Koy= ±3⋅10-3%; С Rbx= ±5⋅10-4 % ;



11) Коэффициент корреляции между Koy и Rbx: r =0.8

## 1.2 Пояснение решаемой задачи

В курсовом проекте необходимо произвести оценку параметрической надёжности РЭС, с использованием моделирования на ЭВМ постепенных отказов элементов.

Оценка параметрической надёжности - определение основных количественных показателей сохранения рабочих функций при возможных постепенных изменениях параметров комплектующих элементов в условиях эксплуатации.

Оценку параметрической надежности будем проводить следующим способом: Подсчитав по формуле (1.1) выходной параметр K (коэффициент передачи) и установив допуск на выходной параметр ΔK, смоделируем n РЭУ. РЭУ будем считать работоспособным, если значение коэффициента передачи лежит в диапазоне установленного допуска, т.е. K±ΔK. Таким образом, найдём вероятность отсутствия параметрического отказа (см. раздел 2).

**2. ВЫБОР МЕТОДА РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ**

Метод решения задачи состоит в следующем. Определяем выходной параметр по формуле (1.1) по значениям параметров элементов, не учитывая производственные допуска, корреляцию, воздействия температуры и времени. Назовем полученный таким образом коэффициент передачи “идеальным” -- Kи. После чего задаемся допуском на выходной параметр ΔKи, в пределах которого РЭУ считается исправным.

При помощи ЭВМ моделируем n различных реализаций РЭУ с параметрами элементов, распределенных либо по нормальному закону, либо по равномерному закону. Затем пересчитываем значения параметров элементов при воздействии на них температуры и времени. При этом предполагаем, что температурный коэффициенты αR, а также коэффициенты старения СR распределены по нормальному закону, а температура окружающей среды Траб – по равномерному. В связи с тем, что закон распределения температуры окружающей среды был неизвестен, и не было возможности попытаться подобрать закон распределения экспериментально, то была принята гипотеза о том, что температура распределена по равномерному закону, так как эта модель на практике является предельным (наихудшим) случаем разброса параметра. Определяем выходной параметр по формуле (1.1) – этот коэффициент передачи назовем “реальным”(Kр).

По способу, изложенному в подразделе 1.2, вероятность отсутствия параметрического отказа определим следующим образом:

Р (Kн ≤ Kр ≤Kв tзад)= , (2.1)



где nисп – число исправных РЭУ на момент времени tзад;

N – общее число смоделированных РЭУ;

Kн – нижнее значение коэффициента передачи Kн = Kи - ΔKи;

Kв – верхнее значение коэффициента передачи Kв = Kи + ΔKи.

Определяем математическое ожидание выходного параметра М\*(Kр) и его среднеквадратичное отклонение σ\*(Kр) по формулам [1]:

М\*(Kр) = , (2.2)



(2.3)



**3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НА ЭВМ**

# 3.1 Описание вычислительного алгоритма моделирования температурных и временных изменений параметров

R1, R2, R3 - сопротивления 1-го, 2-го и 3-го резисторов;

Rbx - входное сопротивление, Koy - коэффициент усиления.

1. При помощи стандартной функции Random генерируем равномерно распределённое значение температуры: temp.

Здесь вычислительный алгоритм разделяется на 2 части:

а) Если температура попала в положительную область диапазона рабочих температур т.е 20,



то, используя формулу (3.1) [1] генерируем нормально распределённые значения температурных коэффициентов αR+, α Rbx : dx1,dx2,dx3,dx 4.

αR+ - температурный коэффициент для резисторов в полож-й области температур;

α Rbx - температурный коэффициент для входного сопротивления.

dx1, dx2, dx3, dx4 – сгенерированные значения температурных коэффициентов для

1-го, 2-го, 3-го резисторов и входного сопротивления соответственно.

б)Если температура попала в отрицательную область диапазона рабочих температур т.е 20,



то, используя формулу (3.1) [1] генерируем нормально распределённые значения температурных коэффициентов αR+ , α Rbx : dx1,dx2,dx3,dx4.

αR- - температурный коэффициент для резисторов в отриц-й области температур;

α Rbx - температурный коэффициент для входного сопротивления.

dx1, dx2, dx3, dx4 – сгенерированные значения температурных коэффициентов для

1-го, 2-го, 3-го резисторов и входного сопротивления соответственно.

x = σ⋅+ m, (3.1)



где x – нормально распределённое случайное число;

m – математическое ожидание;

σ – среднеквадратичное отклонение;

ri – стандартное равномерно распределенное случайное число в диапазоне 0..1. (ri получаем при помощи стандартной функции Random).

Далее пересчитываем значения первичных параметров (R1,R2, R3, Rbx) с учётом воздействия температуры. Для этого воспользуемся формулами [1]:

(3.2)



где – номинальные значения *i*-го первичного параметра;



–приращения значений *i*-го первичного параметра под действием температуры;



Согласно [1] относительное изменение *i*-го первичного параметра под воздействием температуры (старения) можно выразить следующим образом:

(3.3)



(3.4)



где – температурный коэффициент *i*-го первичного параметра;



°C,



где tср – температура окружающей среды;

с*i* – коэффициент старения *i*-го первичного параметра;

– рассматриваемый интервал времени.



В качестве tср для положительной области диапазона рабочих температур примем

наибольшую из возможных температур - Tv, а для отрицательной области примем наименьшую из возможных температур - Tn. С учётом этого и формул (3.3) и (3.4) формула (3.2) примет вид:

для ‘‘+‘‘ -ой области температур:

(3.5)



С учётом этой формулы получаем:

;; ;;



для ‘‘-‘‘ -ой области температур:

(3.6)



С учётом этой формулы получаем:

;;



;;



где Rtemp1, Rtemp2, Rtemp3 - значения сопротивлений 1-го, 2-го и 3-го резисторов соответственно с учётом действия температуры.

RWtemp – значение входного сопротивления под действием температуры.

SR1, SR2, SR3 – номинальные значения 1-го, 2-го и 3-го резисторов соответственно.

SRW – номинальное значение входного сопротивления.

Для получения значений коэффициента усиления (Koy) производим смещение параметров m = m(z) и σ = σ(z) его температурного коэффициента (α Koy) с учётом коэффициента парной корреляции , а затем, воспользовавшись подпрограммой формирования случайных нормально распределённых чисел с параметрами m = m(z/x) и σ = σ(z/x) генерируем нормально распределённое значение его температурного коэффициента(α Koy):dx5.



dx5 - сгенерированное значение температурного коэффициента для коэффициента усиления.

Воспользовавшись формулой (3.5) (для положительной области температур) или (3.6) (для отрицательной области температур) пересчитываем значения коэффициента усиления (Koy) с учётом воздействия температуры:

для ‘‘+‘‘ -ой области температур:

;



для ‘‘-‘‘ -ой области температур: ;



где KOUtemp – значение коэффициента усиления под действием температуры.

SKOU – номинальное значение коэффициента усиления.

В отрицательной и положительной области температур по формуле (1.1) определяем значение выходного параметра - коэффициента передачи (Kexit).

2. Используя формулу (3.1) генерируем нормально распределённые значения коэффициентов старения СR, С Rbx :dx1,dx2,dx3,dx4.

СR – коэффициент старения для резисторов;

С Rbx – коэффициент старения для входного сопротивления;

dx1, dx2, dx3, dx4 – сгенерированные значения коэффициентов старения для

1-го, 2-го, 3-го резисторов и входного сопротивления соответственно.

Воспользовавшись формулой:

(3.7)



пересчитываем значения первичных параметров (R1,R2, R3, Rbx) с учётом воздействия старения:

;;



;;



где Rtime1, Rtime2, Rtime3 - значения сопротивлений 1-го, 2-го и 3-го резисторов соответственно с учётом действия старения.

RWtime – значение входного сопротивления под действием старения.

SR1, SR2, SR3 – номинальные значения 1-го, 2-го и 3-го резисторов соответственно.

SRW – номинальное значение входного сопротивления.

Для получения значений коэффициента усиления (Koy) производим смещение параметров m = m(z) и σ = σ(z) его коэффициента старения(С Koy) с учётом коэффициента парной корреляции , а затем, воспользовавшись подпрограммой формирования случайных нормально распределённых чисел с параметрами m = m(z/x) и σ = σ(z/x) генерируем нормально распределённое значение его коэффициента старения(С Koy):dx5.



Воспользовавшись формулой (3.7) пересчитываем значения коэффициента усиления (Koy) с учётом воздействия старения:

;



где KOUtime – значение коэффициента усиления под действием температуры.

SKOU – номинальное значение коэффициента усиления.

По формуле (1.1) определяем значение выходного параметра: коэффициента передачи (Kexit).

# 3.2 Пояснение процедур и функций, используемых в программе

В написанной программе формула (3.1) реализована через функцию:

**Function Generator(m:Real;s:Real):Real;**

**Label L1;**

**BEGIN**

**L1:x:=0;**

**FOR i:=1 TO 12 DO**

**BEGIN**

**k:=Random;**

**x:=x+k;**

**END;**

**x:=x-6;**

**if (x>3) or (x<-3) then goto L1;**

**m:=m+s\*x;**

**Generator:=m;**

**END;**

Таким образом, введя Generator(m,s)получим случайное число, распределенное по нормальному закону с параметрами m = m и σ = s.

В соответствии с [1] формула получения случайных чисел, распределенных по равномерному закону с параметрами a и b следующая:

x = ⋅r+ a, (3.8)



где a, b – параметры равномерной модели;

r –стандартное равномерно распределенное случайное число в диапазоне 0..1.

В написанной программе формула (3.8) реализована через функцию:

**Function Generator2(m:real;s:real):Real;**

**BEGIN**

**k:=Random;**

**m:=(s-m)\*k+m;**

**Generator2:=m;**

**end;**

Таким образом, введя Generator2(m, s)получим случайное число, распределенное по равномерному закону с параметрами a=m и b = s.

Пусть случайное число x, имеющее нормальное распределение с параметрами m = m(x) и σ = σ(x), уже получено. Тогда для получения случайного числа z, имеющего нормальное распределение с параметрами m = m(z) и σ = σ(z) и коррелированного с x, необходимо произвести смещение параметров m = m(z) и σ = σ(z) с учётом коэффициента парной корреляции, а затем воспользоваться подпрограммой формирования случайных нормально распределённых чисел с параметрами m = m(z/x) и σ = σ(z/x):

(3.9)



(3.10)



Определение величины смещения параметров m = M(z) и σ = σ(z) с учётом коэффициента парной корреляции в соответствии с формулами (3.9) и (3.10) в программе реализовано следующим образом:

**Procedure Corr(x1,mx,mz,sx,sz:real; Var mzx,szx:real);**

**BEGIN**

**mzx:=mz+rxz\*(sz/sx)\*(x1-mx);**

**szx:=sz\*sqrt(1-sqr(rxz));**

**END;**

Таким образом, введя Corr(x1,mx,mz,sx,sz,mzx,szx) получим случайное число, распределенное по нормальному закону с параметрами m = mzx и σ = szx.

# 3.3 Обоснование выбора числа реализаций

**3.4 Список идентификаторов**

Список идентификаторов вычислительного алгоритма программы для ЭВМ.

Таблица 3.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обозначение параметра | | Смысл параметра |
| В алгоритме | В программе |
| R1 | R1 | Сопротивление первого резистора |
| R2 | R2 | Сопротивление второго резистора |
| R3 | R3 | Сопротивление третьего резистора |
| Rbx | RW | Входное сопротивление |
| Koy | KOU | Коэффициент усиления |
| SR1 | SR1 | Номинальное значение сопротивления 1-го резистора |
| SR2 | SR2 | Номинальное значение сопротивления 2-го резистора |
| SR3 | SR3 | Номинальное значение сопротивления 3-го резистора |
| SKOU | SKOU | Номинальное значение коэффициента усиления |
| SRW | SRW | Номинальное значение входного сопротивления |
| Rtemp1 | Rtemp1 | Значения R1,учитывая температуру |
| Rtemp2 | Rtemp2 | Значения R2,учитывая температуру |
| Rtemp3 | Rtemp3 | Значения R3,учитывая температуру |
| RWtemp | RWtemp | Значения RW,учитывая температуру |
| KOUtemp | KOUtemp | Значения KOU,учитывая температуру |
| Rtime1 | Rtime1 | Значения R1,учитывая старение |
| Rtime2 | Rtime2 | Значения R2,учитывая старение |
| Rtime3 | Rtime3 | Значения R3,учитывая старение |
| RWtime | RWtime | Значения RW,учитывая старение |
| KOUtime | KOUtime | Значения KOU,учитывая старение |
| Kи | Kideal | Номинальное значение выходного параметра |
| ΔKи | dKideal | Допуск на выходной параметр |
| Kexit | Kexit | Значение выходного параметра n-смоделированного РЭУ |
| αR+ | Rtpol | Температурный коэффициент для R (+ обл.температур) |
| αR- | Rtotr | Температурный коэффициент для R (- обл.температур) |
| α Rbx | RWt | Температурный коэффициент для входного сопротивления |
| α Koy | KOUt | Температурный коэффициент для коэффициента усиления |
| СR | Rct | Коэффициент старения для резисторов |
| С Rbx | RWct | Коэффициент старения для входного сопротивления |
| С Koy | KOUct | Коэффициент старения для коэффициента усиления |
| temp | temp | Равномерно распределенное значение температуры |
|  | time | Заданное время работы |
| - | n | Номер текущего смоделированного РЭУ |
| N | num | Число реализаций РЭУ |
| rxz | rxz | Коэффициент парной корреляции между RW и KOU |
| - | a,b | Количество попаданий в ’’+’’-ю и ’’-’’-ю облсть температур |
| Tv,Tn | Tv,Tn | Верхнее и нижнее значение диапазона рабочих температур |
| - | dR1..dR3,dRW,dKOU | Производственный допуск на R1..R3 ,RW и KOU |
| Р | P,Р1, Р2 | Вероятности отсутствия параметрического отказа |
| - | mo1..mo3,mx,  mz,mzx | Математические ожидания |
| - | s1..s3,sx,sz,szx | Среднеквадратические отклонения |
| М\*(Kр) | mo4 | Математическое ожидание выходного параметра |
|  | s4 | Среднеквадратическое отклонени**е** выходного параметра |
| dx1…dx5 | dx1…dx5 | Сгенерированные значения температурных(временных) коэффициентов |
| - | x | Стандартное нормально распределённое случайное число |
| r(i) | k | Стандартное равномерно распределённое число в диапазоне (0…1) |
| - | sum…sum13 | Аккумуляторы суммы значений выходного параметра |

**4 ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

После запуска программы на экране дисплея появляются параметры элементов РЭУ и запрос на ввод данных: допуск на коэффициент передачи, число реализаций РЭУ, заданное время работы, и остальных необходимых для расчёта и работы программы.

***Оценка параметрической надёжности РЭС с использованием моделирования на ЭВМ отказов элементов***

**--------------------------------------------------------------------------------------------**

**Исходные данные:**

**-принципиальная схема**

**-тип резисторов ОМЛТ**

**-тип аналоговой микросхемы DA1:140УД9**

**Факторы, принимаемые во внимание:**

**-температура (диапазон +10..+60С)**

**-старение (Тз=10000 часов)**

**--------------------------------------------------------------------------------------------**

**Программа будет моделировать постепенные отказы элементов**

**и рассчитывать вероятность, с которой гарантируется отсутствие**

**постепенного отказа при заданных условиях.**

**--------------------------------------------------------------------------------------------**

После этого вводятся все необходимые данные значения и величины. После ввода выше названных данных программа начинает моделировать РЭУ. Коэффициент передачи в программе рассчитывается как с учётом только одного из факторов: производственного разброса, температуры, старения, так и с учётом всех факторов.

Анализ результатов произведём исходя из таблицы результатов:

Таблица 4.1

Результаты решения задачи на ЭВМ (вывод семи реализаций)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | N  Параметр | 10 | 200 | 800 | 1500 | 2500 | 4000 | 10000 |
| С учётом производственного допуска | R1(Om) | 3082 | 2936 | 3123 | 3057 | 2938 | 2909 | 3009 |
| R2 | 12081 | 12146 | 12057 | 11515 | 12120 | 12521 | 11969 |
| R3 | 2406 | 2324 | 2489 | 2494 | 2255 | 2511 | 2325 |
| RW(Om) | 433703 | 405121 | 485371 | 429629 | 439846 | 409981 | 457990 |
| KOU | 50192 | 44399 | 54470 | 48797 | 47615 | 53120 | 53028 |
| K | -3,919 | -4,137 | -3,861 | -3,767 | -4,126 | -4,3 | -3,977 |
| MO | -4,006 | | | | | | |
| CKO | 0,162 | | | | | | |
| С учётом температуры | R1(Om) | 2997 | 2998 | 3075 | 3001 | 3004 | 2978 | 3041 |
| Rt())% | -0,8 | -1,9 | 6,2 | 0,05 | 0,4 | -1,8 | 3,4 |
| R2 | 11974 | 12281 | 12090 | 11772 | 11886 | 11940 | 11921 |
| Rt())% | -2,2 | 5,9 | 1,9 | -4,8 | -2,4 | -1,2 | -1,6 |
| R3 | 2397 | 2435 | 2389 | 2441 | 2394 | 2403 | 2373 |
| Rt())% | -0,9 | 3,7 | -1,1 | 4,3 | -0,7 | 0,3 | -2,8 |
| RW(Om) | 429868 | 430104 | 430414 | 430822 | 429476 | 430156 | 429819 |
| RWt())% | -0,3 | 0,06 | 0,2 | 0,5 | -0,3 | 0,09 | -0,1 |
| KOU | 49487 | 49151 | 49352 | 54021 | 48314 | 49922 | 49665 |
| KOUt())% | -10,2 | -4,2 | -3,2 | 20 | -8,4 | -0,4 | -1,7 |
| K | -3,995 | -4,125 | -3,932 | -3,923 | -3,956 | -4,009 | -3,920 |
| MO | -4,001 | | | | | | |
| CKO | 0,0526 | | | | | | |
| С учётом старения | R1(Om) | 3016 | 2988 | 3081 | 3033 | 2982 | 3041 | 2959 |
| Rct()% | 0,5 | -0,4 | 2,7 | 1,1 | -0,6 | 1,4 | -1,3 |
| R2 | 11844 | 11977 | 12107 | 12075 | 12077 | 12084 | 12047 |
| Rct()% | -1,3 | -0,1 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 0,4 |
| R3 | 2449 | 2432 | 2400 | 2398 | 2366 | 2370 | 2385 |
| Rct()% | 2,1 | 1,4 | 0,008 | -0,06 | -1,4 | -1,2 | -0,6 |
| RW(Om) | 432146 | 431189 | 424724 | 426867 | 427351 | 431957 | 431042 |
| RWct()% | 0,4 | 0,2 | -1,2 | -0,7 | -0,6 | 0,4 | 0,2 |
| KOU | 50081 | 55350 | 49185 | 50345 | 51599 | 53088 | 47593 |
| KOUct()% | 0,2 | 10,6 | -1,6 | 0,7 | 3,1 | 6,2 | -4,8 |
| K | -3,926 | -4,009 | -3,930 | -3,982 | -4,050 | -3,974 | -4,071 |
| MO | -4,002 | | | | | | |
| CKO | 0,0762 | | | | | | |
| С учётом всех факторов | R1 | 3096 | 2902 | 3287 | 3091 | 2925 | 2927 | 3009 |
| R2 | 11898 | 12407 | 12257 | 11367 | 12083 | 12546 | 11937 |
| R3 | 2454 | 2390 | 2479 | 2535 | 2218 | 2483 | 2285 |
| RW | 435735 | 406341 | 479879 | 427314 | 436605 | 411996 | 458907 |
| KOU | 49759 | 48315 | 52888 | 53085 | 47482 | 56313 | 50136 |
| K | -3,843 | -4,276 | -3,729 | -3,677 | -4,131 | -4,286 | -3,967 |
| MO | -4,009 | | | | | | |
| CKO | 0,187 | | | | | | |
|  | Kideal | -4,000 | | | | | | |
| P | 0.698 | | | | | | |
|  |  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |

Из таблицы выписываем данные:

СКО(с учётом производственного допуска)=0,162

СКО(с учётом температуры)=0,0526

СКО(с учётом старения)=0,0762

Это означает, что температура и старение незначительно влияет на выходной параметр K(коэффициент передачи), тогда как производственный допуск (разброс параметров) элементов вносит основной вклад в отклонение выходного параметра от идеального (номинального) значения Kideal.

В конце таблицы выведена вероятность, с которой гарантируется отсутствие постепенного отказа: P=0,698.

Вероятность того,что в заданных условиях эксплуатации и течении времени t=tзад произойдёт постепенный отказ, определится как: Где N - номер реализации; R1,R2,R3,RW,KOU -рассматриваемые входные параметры; K-выходной параметр;

MO - математическое ожидание выходного параметра; CKO-среднеквадратическое отклонение выходного параметра; Kideal - номинальный коэффициент передачи; P - вероятность отсутствия параметрического отказа. Rt,RWt,KOUt - температурные коэффициенты ; Rct,RWct,KOUct - коэффициенты старения.

q=1-P=1-0,698=0,302

Это означает, что при эксплуатации операционных усилителей (ОУ) в заданных условиях в течение промежутка времени tзад=10000 ч в среднем из каждых 100 ОУ лишь у 30-31 экземпляров выходной параметр (коэффициент передачи K) выйдет за пределы Kideal ± 5%.

**5. ПОЯСНЕНИЯ ФУНКЦИОЕАЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АЛГОРИТМА**

Таблица 5.1

Пояснения функциональных частей структурной схемы алгоритма

|  |  |
| --- | --- |
| Номер функциональной части | Пояснение |
| **2**  **3,13,19**  **4**  **5**  **6**  **7,8**  **9,10**  **11,12**  **14,15**  **16,17**  **18**  **20**  **21** | Ввод исходных данных:SR1,SR2,SR3,SRW,SKOU,  dR1,dR2,dR3,dRW,dKOU,Tv,Tn,rxz,N,time,Ki,dKi,Rtotr,  Rtpol,RWt,KOUt,Rct,RWct,KOUct.  Организация цикла по переменной *n.*Индексом *n* учитываются реализации выходного параметра Kexit.  Генерация нормально либо равномерно распределённых R1,R2,R3 и нормально распределённых RW,KOU.Закон выбирается в зависимости от допуска на сопротивление. Расчёт Kexit по формуле (1.1).  Генерация равномерно распределённого значения температуры в диапазоне от Tn до Tv.  Оператор выбора попадания температуры в положительную( 20° С), либо в отрицательную(<20° С) область рабочих температур.  Генерация нормально распределённых значений температурных коэффициентов.  Пересчёт R1,R2,R3,RW,KOU под действием температуры. Расчёт Kexit по формуле (1.1) с учётом температупы.  Генерация нормально распределённых значений коэффициентов старения.  Пересчёт R1,R2,R3,RW,KOU под действием старения при t=tзад. Расчёт Kexit по формуле (1.1) с учётом старения.  Расчёт Kexit по формуле (1.1) с учётом температуры, старения, производственного допуска.  Расчёт вероятностей отсутствия постепенного отказа по формуле (2.7) для отрицательной (P1) и положительной (P2) областей температур и выбор минимальной (P).  Статистическая обработка результатов моделирования: расчёт математических ожиданий и среднеквадратических отклонений с учётом температуры, старения, производственного допуска и с учётом всех факторов.  Вывод результатов |

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ**

В результате проделанной работы было выявлено:

1) На параметрическую надежность РЭУ в большей степени влияет производственный допуск на параметры элементов РЭУ, тогда как дестабилизирующий фактор (температура) и процессы старения (при данных температурных коэффициентах и коэффициентах старения при заданном времени tзад = 10000 час) влияют в меньшей степени, однако уменьшают вероятность, с которой гарантируется отсутствие постепенного отказа.

2) Опыт эксплуатации РЭУ показывает, что эксплуатационная надёжность практически всегда ниже того уровня, который получается по результатам расчёта. Это объясняется как несовершенством технологии производства, так и низкой достоверностью справочной информации.

# ЛИТЕРАТУРА

1. Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности, -- Минск: Дизайн - Про, 1998.

2. Богданович М.И , Грель И.Н Интегральные микросхемы. Справочник, - Минск.: Полымя,1996

3. Папиев В.П. Сопротивления (том1),Справочник--М.: Электростандарт, 1977.

4. Фомин А.В., Борисов В.Ф., Чермошенский В.В. Допуски в радиоэлектронной аппаратуре, - М.: Советское радио, 1973.

5. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. Методические указания к курсовой работе под ред. Боровикова С.М., - Минск: БГУИР, 1995.

6. ГОСТ 19.002-80 Схемы алгоритмов и программ. Правила выполнения.

7. ГОСТ 2.105-95 Общие требования к текстовым документам.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

###### ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ

PROGRAM Toktin;USES Crt;Label L1;VAR k,x,x1,R1,R2,R3,RW,KOU,Kexit,sum,sum1,sum2,sum3,sum4,sum5,sum6,sum7,sum8,sum9,sum10,sum11,sum12,sum13,mo1,mo2,mo3,mo4,s1,s2,s3,s4,mx,mz,mzx,sx,sz,szx,rxz,P1,P2,P,SR1,SR2,SR3,SRW,SKOU,dR1,dR2,dR3,dR4,dRW,dKOU,Kideal,dKideal,Rtotr,Rtpol,Rct,RWt,KOUt,RWct,KOUct,Rtemp1,Rtemp2,Rtemp3,Rtemp4,RWtemp,KOUtemp,Rtime1,Rtime2,Rtime3,Rtime4,RWtime,KOUtime,temp,dx1,dx2,dx3,dx4,dx5,Tn,Tv:Real;i,a,b:Integer;time,num,n:Integer;Function Generator(m:Real;s:Real):Real;Label L1;BEGINL1:x:=0;FOR i:=1 TO 12 DOBEGINk:=Random;x:=x+k;END;x:=x-6;if (x>3) or (x<-3) then goto L1;m:=m+s\*x;Generator:=m;END;Function Generator2(m:real;s:real):Real;BEGINk:=Random;m:=(s-m)\*k+m;Generator2:=m;end;Procedure Corr(x1,mx,mz,sx,sz:real; Var mzx,szx:real);BEGINmzx:=mz+rxz\*(sz/sx)\*(x1-mx);szx:=sz\*sqrt(1-sqr(rxz));END;BEGIN textbackground(1);ClrScr;Randomize;TextColor(10);GotoXY(12,2);Writeln('ОЦЕHКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ HАДЕЖHОСТИ РЭС');GotoXY(3,3);Writeln('С ИСПОЛЬЗОВАHИЕМ МОДЕЛИРОВАHИЯ HА ЭВМ ОТКАЗОВ ЭЛЕМЕHТОВ');GotoXY(1,4);

Writeln('------------------------------------------------------------');Writeln(' Исходные данные: ');Writeln(' -принципиальная схема ');Writeln(' -тип резисторов ОМЛТ ');Writeln(' -тип аналоговой микросхемы DA1:140УД9 ');Writeln(' Факторы принимаемые во внимание: ');Writeln(' -температура (диапазон +10..+60C) ');Writeln(' -старение (Tз=10000 часов) ');riteln('------------------------------------------------------------');Writeln(' Программа будет моделировать постепенные отказы элементов ');Writeln(' и рассчитывать вероятность, с которой гарантируется ');Writeln(' отсутствие постепенного отказа при заданных условиях. ');Writeln('------------------------------------------------------------');ReadKey;ClrScr;Writeln('------------------------------------------------------------');Writeln(' Ввод необходимых данных для рассчета: ');Write(' -введите номинал R1 (рекомендуется 3000.Om +/-5%): ');Read(SR1);GotoXY(63,3);Write('+/-');GotoXY(67,3); Readln(dR1);Write(' -введите номинал R2 (рекомендуется 12000.Om+/-5%): ');Read(SR2);GotoXY(63,4);Write('+/-');GotoXY(67,4); Readln(dR2);Write(' -введите номинал R3(рекомендуется 2400.Om +/-10%): ');Read(SR3);GotoXY(63,5);Write('+/-');GotoXY(68,5);Readln(dR3);Write (' -введите вх.сопротивление RW(рекомендуется 430000.Om+/-30%): ');Read(SRW);GotoXY(70,6);Write('+/-');GotoXY(73,6);Readln(dRW);Write (' -введите коэф-т усиления О.У. KOU (рекомендуется 50000+/-30%): ');Read(SKOU);GotoXY(72,7);Write('+/-');GotoXY(76,7);Readln(dKOU);Writeln(' -введите температурные коэффициенты :');Write (' для R, T=-60..+20C (рекомендуется +/-0.12%): ');Readln(Rtotr);rite (' для R, T=+20..+100C (рекомендуется +/-0.07%): ');Readln(Rtpol);Write (' для RW, T=-60..+100C (рекомендуется +/-0.0075%): ');Readln(RWt);Write (' для KOU, T=-60..+100C (рекомендуется +/-0.25%): ');Readln(KOUt);Writeln(' -введите коэффициенты старения:');Write (' для R (рекомендуется +/-0.0004%) :');Readln(Rct);Write (' для RW (рекомендуется +/-0.0005) :');Readln(RWct);Write (' для KOU (рекомендуется +/-0.003) :');Readln(KOUct);rite(' -введите коэффициент парной корреляции между KOU и RW:');Readln(rxz);Kideal:=(-SR2/SR1)\*(1/(1+(1+SR3/SR1+2\*SR3/SRW)/SKOU));WriteLn('Коэффициент передачи Kideal=',Kideal:4:3);Write(' -условие отсутствия постепенного отказа в %: ');ReadLn(dKideal);Write (' -количество модулируемых экземпляров: ');Readln(num);Write (' -заданное время работы Тз: ');Readln(time);writeln ('Введите заданный диапазон рабочих температур: '); writeln;write ('Нижняя граница температурного диапазона : '); read(Tn);

write ('Верхняя граница температурного диапазона : '); read(Tv);Writeln(' -----------------------------------------------------------');Writeln(' Моделирование и рассчет займут некоторое время. ');Readkey;TextColor(13+Blink);Writeln(' ПРОИЗВОДИТСЯ МОДЕЛИРОВАHИЕ И РАССЧЕТ: ');TextColor(15);

sum:=0;sum1:=0;sum2:=0;sum3:=0;sum4:=0;sum5:=0;sum6:=0;sum7:=0;

sum8:=0;sum9:=0; sum10:=0;sum11:=0;sum12:=0;sum13:=0;FOR n:=1 TO num DOBEGINif dR1<=5 thenR1:=Generator2(SR1-(SR1\*dR1/100),SR1+(SR1\*dR1/100))elseR1:=Generator(SR1,(SR1\*dR1/300));if dR2<=5 thenR2:=Generator2(SR2-(SR2\*dR2/100),SR2+(SR2\*dR2/100))elseR2:=Generator(SR1,(SR1\*dR1/300));if dR3<=5 thenR3:=Generator2(SR3-(SR3\*dR3/100),SR3+(SR3\*dR3/100))elseR3:=Generator(SR3,(SR3\*dR3/300));RW:=Generator(SRW,(SRW\*dRW/300));Corr(RW,SRW,SKOU,(SRW\*dRW/300),(SKOU\*dKOU/300),mzx,szx);KOU:=Generator(mzx,szx);Kexit:=(-R2/R1)\*(1/(1+(1+R3/R1+2\*R3/RW)/KOU));sum:=sum+(Kexit);sum1:=sum1+sqr(Kexit);temp:=Generator2(Tn,Tv);if (temp>=20) thenbegina:=a+1;dx1:=Generator(0,(Rtpol/300));R1:=R1+R1\*Abs(20-Tv)\*dx1;Rtemp1:=SR1+SR1\*Abs(20-Tv)\*dx1;dx2:=Generator(0,(Rtpol/300));R2:=R2+R2\*Abs(20-Tv)\*dx2;Rtemp2:=SR2+SR2\*Abs(20-Tv)\*dx2;dx3:=Generator(0,(Rtpol/300));R3:=R3+R3\*Abs(20-Tv)\*dx3;Rtemp3:=SR3+SR3\*Abs(20-Tv)\*dx3;dx4:=Generator(0,RWt/300);RW:=RW+RW\*Abs(20-Tv)\*dx4;RWtemp:=SRW+SRW\*Abs(20-Tv)\*dx4;Corr(dx4,0,0,RWt/300,KOUt/300,mzx,szx);dx5:=Generator(mzx,szx);KOU:=KOU+KOU\*Abs(20-Tv)\*dx5;KOUtemp:=SKOU+SKOU\*Abs(20-Tv)\*dx5;Kexit:=(-Rtemp2/Rtemp1)\*(1/(1+(1+Rtemp3/Rtemp1+2\*Rtemp3/RWtemp)/KOUtemp));sum2:=sum2+(Kexit);sum3:=sum3+sqr(Kexit);dx1:=Generator(0,(Rct/300));R1:=R1+R1\*time\*dx1;Rtime1:=SR1+SR1\*time\*dx1;dx2:=Generator(0,(Rct/300));R2:=R2+R2\*time\*dx2;Rtime2:=SR2+SR2\*time\*dx2;dx3:=Generator(0,(Rct/300));R3:=R3+R3\*time\*dx3;Rtime3:=SR3+SR3\*time\*dx3;dx4:=Generator(0,(Rct/300));RW:=RW+RW\*time\*dx4;RWtime:=SRW+SRW\*time\*dx4;Corr(dx4,0,0,RWct/300,KOUct/300,mzx,szx);dx5:=Generator(mzx,szx);KOU:=KOU+KOU\*time\*dx5;KOUtime:=SKOU+SKOU\*time\*dx5;Kexit:=(-Rtime2/Rtime1)\*(1/(1+(1+Rtime3/Rtime1+2\*Rtime3/RWtime)/KOUtime));sum4:=sum4+(Kexit); sum5:=sum5+sqr(Kexit);Kexit:=(-R2/R1)\*(1/(1+(1+R3/R1+2\*R3/RW)/KOU));sum6:=sum6+(Kexit);sum7:=sum7+sqr(Kexit);IF Kexit<(Kideal-Kideal\*dKideal/100) THENIF Kexit>(Kideal+Kideal\*dKideal/100) THEN P1:=P1+1;end;if (temp<20) thenbeginb:=b+1;dx1:=Generator(0,(Rtotr/300));R1:=R1+R1\*Abs(20-Tn)\*dx1;Rtemp1:=SR1+SR1\*Abs(20-Tn)\*dx1;dx2:=Generator(0,(Rtotr/300));R2:=R2+R2\*Abs(20-Tn)\*dx2;Rtemp2:=SR2+SR2\*Abs(20-Tn)\*dx2;dx3:=Generator(0,(Rtotr/300));R3:=R3+R3\*Abs(20-Tn)\*dx3;Rtemp3:=SR3+SR3\*Abs(20-Tn)\*dx3;dx4:=Generator(0,RWt/300);RW:=RW+RW\*Abs(20-Tn)\*dx4;RWtemp:=SRW+SRW\*Abs(20-Tn)\*dx4;Corr(dx4,0,0,RWt/300,KOUt/300,mzx,szx);dx5:=Generator(mzx,szx);KOU:=KOU+KOU\*Abs(20-Tn)\*dx5;KOUtemp:=SKOU+SKOU\*Abs(20-Tn)\*dx5;Kexit:=(-temp2/Rtemp1)\*(1/(1+(1+Rtemp3/Rtemp1+2\*Rtemp3/RWtemp)/KOUtemp));sum8:=sum8+(Kexit); sum9:=sum9+sqr(Kexit);dx1:=Generator(0,(Rct/300));R1:=R1+R1\*time\*dx1;Rtime1:=SR1+SR1\*time\*dx1;dx2:=Generator(0,(Rct/300));R2:=R2+R2\*time\*dx2;Rtime2:=SR2+SR2\*time\*dx2;dx3:=Generator(0,(Rct/300));R3:=R3+R3\*time\*dx3;Rtime3:=SR3+SR3\*time\*dx3;dx4:=Generator(0,RWct/300);RW:=RW+RW\*time\*dx4;RWtime:=SRW+SRW\*time\*dx4;Corr(dx4,0,0,RWct/300,KOUct/300,mzx,szx);dx5:=Generator(mzx,szx);KOU:=KOU+KOU\*time\*dx5;KOUtime:=SKOU+SKOU\*time\*dx5;Kexit:=(-Rtime2/Rtime1)\*(1/(1+(1+Rtime3/Rtime1+2\*Rtime3/RWtime)/KOUtime));sum10:=sum10+(Kexit); sum11:=sum11+sqr(Kexit);Kexit:=(-R2/R1)\*(1/(1+(1+R3/R1+2\*R3/RW)/KOU));sum12:=sum12+(Kexit); sum13:=sum13+sqr(Kexit);IF Kexit<(Kideal-Kideal\*dKideal/100) THENIF Kexit>(Kideal+Kideal\*dKideal/100) THEN P2:=P2+1;end;END;P1:=P1/a;P2:=P2/b;IF P2>P1 thenbegin P:=P1;mo1:=sum/num;mo2:=sum2/a;mo3:=sum4/a;mo4:=sum6/a;s1:=sqrt((sum1-sqr(sum)/num)/(num-1));s2:=sqrt((sum3-sqr(sum2)/a)/(a-1));s3:=sqrt((sum5-sqr(sum4)/a)/(a-1));s4:=sqrt((sum7-sqr(sum6)/a)/(a-1));end;if P2<P1 thenbeginP:=P2;mo1:=sum/num;mo2:=sum8/b;mo3:=sum10/b;mo4:=sum12/b;s1:=sqrt((sum1-sqr(sum)/num)/(num-1));s2:=sqrt((sum9-sqr(sum8)/b)/(b-1));s3:=sqrt((sum11-sqr(sum10)/b)/(b-1));s4:=sqrt((sum13-sqr(sum12)/b)/(b-1));end;

ClrScr;WriteLn('Коэффициент передачи: ',Kideal:6:3);WriteLn('Математическое ожидание, учитывая производственный допуск:',mo1:6:3);WriteLn('Среднеквадратичное отклоненение: ',s1:6:4);WriteLn('Математическое ожидание, учитывая температурный допуск: ' ,mo2:6:3);WriteLn('Среднеквадратичное отклоненение: ',s2:6:4);WriteLn('Математическое ожидание, учитывая старение: ',mo3:6:3);WriteLn('Среднеквадратичное отклоненение: ',s3:6:4);WriteLn('Математическое ожидание, учитывая все факторы: ',mo4:6:3);WriteLn('Среднеквадратичное отклоненение: ',s4:6:4);Writeln('-------------------------------------------------------------------------');WriteLn('Вероятность отсутствия параметрического отказа: ');WriteLn('P=',P:6:4);if num<4\*Sqr(s4)/Sqr(0.01) thenBeginwriteln('Не достигнута заданная точность !');writeln('Следует сделать число реализаций процесса сделать>',num,'!');end;REPEAT UNTIL KeyPressed;END.