

САМАРСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА

АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
С.П. КОРОЛЕВА

**ГРАНИЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА РЭА
МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ**

САМАРА 2003

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

ГРАНИЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА РЭА
МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ

Методические указания к лабораторной работе

Составитель *В.А. Медников*

УДК 621.396.6.001.4 (075)

Граничные испытания функционального узла РЭА методом математического моделирования на ЭВМ: Метод. указания к лаб. работе / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *В.А. Медников*. Самара, 2003.16 с.

Методические указания содержат подробное описание лабораторной работы. Лабораторная работа рассчитана на два академических часа.

Предназначены для студентов дневного и вечернего отделений специальности 2008. 00 для изучения методов проведения испытаний, ознакомления с испытательным оборудованием и принципами его действия, а также для получения студентами практических навыков в проведении испытаний и анализе их результатов.

Подготовлены на кафедре микроэлектроники и технологии радиоэлектронной аппаратуры.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензент *А. В. З е л е н с к и й*

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Цель работы: ознакомиться с методом моделирования граничных испытаний функционального узла с помощью ЭВМ типа IBM PC.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Испытания являются неотъемлемой частью разработки и создания радиоаппаратуры. На этапе разработки наиболее предпочтительными являются методы моделирования испытаний, основанные на математической модели свойств системы РЭА - испытательный стенд, учитывающей свойства элементов, функциональных узлов и РЭА в целом.

Математическая модель такой системы, включая субмодель функционального узла (ФУ) РЭА, строится на основе принципиальной схемы ФУ, вольт-амперных характеристик и передаточных функций входящих в состав ФУ элементов, с учетом ограничений, вытекающих из физических свойств, реализуемости, диапазонов изменения параметров¹ и условий применимости модели.

Все виды испытаний и исследований, применяемые для предсказания места и времени появления постепенного отказа элементов, функционального узла и РЭА в целом, основанные на определении связей граничных значений параметров элементов с работоспособностью и надежностью РЭА, принято называть граничными испытаниями.

Целью испытаний является установление совокупности значений варьируемых параметров внешних и внутренних воздействий и модели, соответствующих границе работоспособности функционального узла, при этом для всех возможных совокупностей внешних и внутренних

¹ Мощности, температуры, напряжений питания и сигналов, допустимых отклонений токов и напряжений от заданных значений и т.д.

параметров учитывают лишь два состояния, соответствующих нормальному выполнению функциональным узлом заданных функций, и отказом, при котором нарушается одно или несколько условий функционирования.

При граничных испытаниях имитируют изменения параметров элементов РЭА или внешних условий, влияющих на работоспособность.

Граничные испытания позволяют в процессе разработки выбирать варианты схем, параметры элементов, режимы работы и состоят из трех этапов:

1) определение критериев отказа РЭА, исходя из требований технического задания и условий работы;

2) определение границ изменения факторов, влияющих на работоспособность РЭА², при которых она сохраняет работоспособность;

3) определение границ разброса параметров элементов РЭА, при которых она сохраняет работоспособность в нормальных условиях или при заданных условиях эксплуатации.

В технических требованиях на РЭА обычно указываются допустимые предельные отклонения выходных параметров Y_M и Y_B , которые определяют работоспособность РЭА. Аппаратура считается работоспособной, если выполняются условия работоспособности

$$Y_n < Y < Y_B \quad (1)$$

для всех выходных параметров.

В результате граничных испытаний получают область работоспособности РЭА в n -мерном пространстве, где n - число факторов, влияющих на работоспособность РЭА, а граница области работоспособности определяется значениями факторов, при которых наступает выход параметров РЭА за оговоренные в ТЗ пределы.

² Напряжения питания, внешние условия, параметры входного сигнала и т.д.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

В простейшем случае в испытуемой РЭА или ее модели плавно или дискретно изменяются свойства какого-либо элемента (фактора X_i). В процессе этого изменения контролируются значения выходных параметров $\{Y\}$. Изменения значения фактора X_i в ту и другую сторону от номинального значения производят до тех значений X_{igr} , при которых будет нарушено условие работоспособности (1) хотя бы по одному выходному параметру Y_i . По полученным данным строят графики зависимостей

$$Y = f(X), \quad (2)$$

на которые наносятся предельно допустимые значения Y_H и Y_E . Через точки Y_H и Y_E проводятся прямые, параллельные оси OX . Если из точек пересечения этих прямых с кривой $Y = f(X)$ опустить перпендикуляры на ось OX , то их пересечения с этой осью дадут X_{min} и X_{max} , определяющие область работоспособности в одномерном пространстве.

На практике более важным является случай, когда на выходные параметры (Y) оказывают влияние несколько факторов $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$. Для случая с двумя факторами испытания проводят, выделяя из всех факторов, влияющих на работоспособность РЭА, такие два X_1 и X_2 , которые в наибольшей степени влияют на выходные параметры РЭА. Далее задают некоторое дискретное значение первого фактора X_1 и варьируют значения второго фактора X_2 в обе стороны относительно исходного значения X_2 до нарушения условий (1) работоспособности РЭА. Значения X_{1min} и X_{1max} , при которых произошло нарушение условий работоспособности, фиксируются. Затем фактору X_1 задают новое значение и вновь изменяют значение X_2 от исходного в большую и меньшую сторону до тех значений, при которых наблюдаются нарушения условий (1) работоспособности РЭА. Полученные таким образом сочетания значений $X_{1min/max}$ и

$X_{2min/max}$, при которых нарушалась работоспособность РЭА, являются координатами границы области работоспособности. Эти точки затем отмечают на плоскости чертежа в системе координат $[X_1; X_2]$. Соединяя эти близлежащие точки между собой, строят линию граничных режимов, ограничивающую область работоспособности (область безотказной работы РЭА) в двухмерном факторном пространстве.

Исходя из полученной области работоспособности можно определить область допусков, которая должна вписываться в область работоспособности.

3. МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА

В качестве простейшей модели функционального узла в лабораторной работе используется модель параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне, широко применяемом в источниках питания, ограничителях, устройствах защиты, источниках опорных напряжений АЦП и ЦАП и т.д. (рис.1)

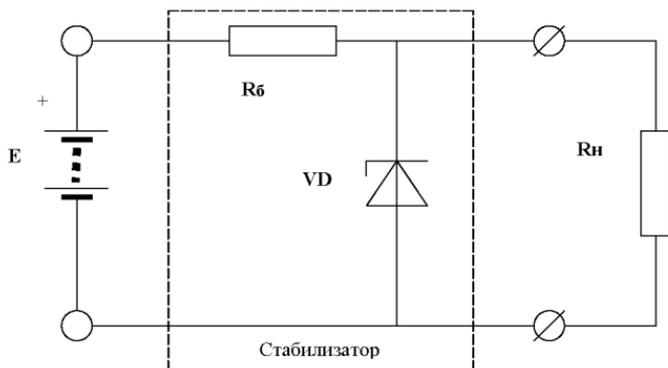


Рис. 1. Принципиальная схема параметрического стабилизатора:

E - напряжение источника питания; R_6 - балластный резистор;
 VD - полупроводниковый стабилитрон; R_n - сопротивление нагрузки

В качестве одного из критериев отказа выбранного функционального узла выберем требования к допустимым изменениям выходного напряжения ΔU на сопротивление нагрузки R_H при изменении величины сопротивления нагрузки R_H в пределах

$$R_H \in [R_{HM}; R_{H6}] \quad (3)$$

и изменении напряжения на входе стабилизатора E в пределах его возможных отклонений

$$E \in [(1 - \delta)E_{НОМ}; (1 + \delta)E_{НОМ}], \quad (4)$$

где δ - относительная нестабильность питающего напряжения при выполнении условий работоспособности балластного резистора R_6 и стабилитрона VD при отсутствии их перегрузок по токам, напряжениям и мощности рассеяния.

В некоторых случаях, особенно в прецизионных стабилизаторах, существенным является и изменение параметров элементов при изменении температуры окружающей среды. Температурные влияния учитывают соответствующим изменением параметров элементов рассматриваемой цепи. Так, например, с увеличением температуры окружающей среды допустимая мощность рассеяния стабилитроном и балластным резистором снижается, что может быть задано в технических требованиях графически или аналитическими зависимостями, которые можно учесть при анализе отказных ситуаций.

Анализ принципиальной схемы стабилизатора показывает, что при выбранном типе стабилитрона наиболее сильное влияние оказывает входное напряжение E и величина сопротивления балластного резистора R_6 . Поэтому их можно выбрать в качестве переменных величин, в поле изменения которых и будет определена область безотказной работы (ОБР) с учетом изменения сопротивления нагрузки, вариации входных напряжений из-за нестабильности питающей сети и при изменении температуры окружающей среды.

Для определения параметров функционального узла с целью определения его функционального состояния³ необходимо выполнять расчет его электрических параметров.

4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА

Для расчета электрического режима функционального узла при заданных внешних и внутренних параметрах необходимо составить систему уравнений его электрического состояния на основе идеализированной эквивалентной схемы, в которой оперируют параметрами идеальных элементов.

При этом будем считать, что источник ЭДС E , балластное сопротивление R_{σ} и сопротивление нагрузки R_H линейны, а вольт-амперная характеристика r_{σ} , описывающая свойства стабилитрона, описана в виде кусочно-линейной или иной зависимости в табличном или аналитическом виде. Для конкретности примем табличную форму описания ВАХ стабилитрона при условии, что точность линейной интерполяции промежуточных значений приемлема.

Для расчета цепи воспользуемся методом эквивалентного генератора и проведем соответствующее преобразование эквивалентной схемы (рис.2):

Здесь

$$r_{\sigma} = \frac{R_{\sigma} - R_H}{R_{\sigma} + R_H}, \quad (5)$$
$$e = \frac{R_H}{R_{\sigma} + R_H}.$$

В этом случае расчет цепи сводится к поиску решения нелинейного уравнения

³ Отказ или нормальное функционирование

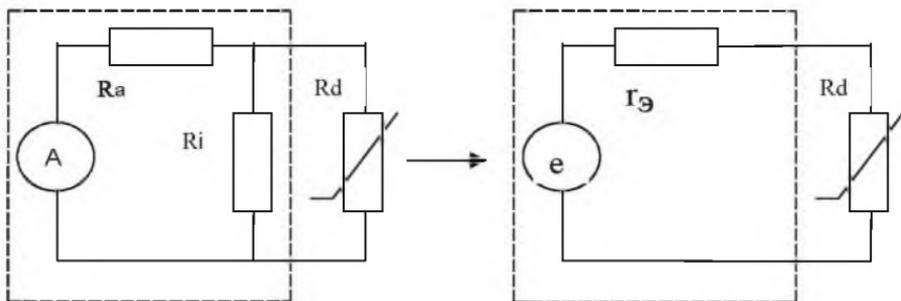


Рис. 2. Преобразование схемы параметрического стабилизатора по методу эквивалентного генератора

$$e - r_{\text{Э}} J = U_{\text{см}}(J), \quad (6)$$

в результате чего определяются величины тока J через стабилитрон и напряжения на нем $U_{\text{см}}$.

Величина тока нагрузки может быть определена по найденному значению $U_{\text{см}} = U_{\text{РН}}$:

$$J_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{см}}}{R_{\text{н}}}. \quad (7)$$

Ток через балластный резистор определяется как сумма токов через стабилитрон и нагрузку

$$J_{\text{б}} = J_{\text{н}} + J_{\text{см}} \quad (8)$$

или по формуле

$$J_{\text{б}} = \frac{E - U_{\text{см}}}{R_{\text{б}}}. \quad (9)$$

Мощность рассеяния тепла, выделяемого на стабилитроне, определяется как

$$P_{\text{см}} = J_{\text{см}} U_{\text{см}}, \quad (10)$$

а мощность рассеяния тепла на балластном резисторе

$$P_{\text{б}} = J_{\text{б}}^2 U_{\text{б}}. \quad (11)$$

Проведя расчеты цепи для различных сопротивлений нагрузки, напряжений источника питания и температур окружающей среды в заданных пределах их отклонения, учитывая температурные изменения ВАХ стабилизатора, сопротивления балластного резистора и допустимых значений мощностей, токов и напряжений на элементах схемы, можно определить:

1) пределы изменения выходного напряжения:

$$\delta = \frac{SUB(U_{cm_1}, U_{cm_2}, \dots) - \inf(U_{cm_1}, U_{cm_2}, \dots)}{SUB(U_{cm_1}, U_{cm_2}, \dots) + \inf(U_{cm_1}, U_{cm_2}, \dots)};$$

2) максимальные значения токов, напряжений и мощностей стабилизатора и балластного резистора;

3) наибольшее напряжение на балластном резисторе;

4) минимальный ток через стабилизатор;

5) допустимые значения токов и мощностей от температуры окружающей среды.

Найденные величины позволяют для каждой совокупности величины балластного резистора и номинального значения входного напряжения определить работоспособность функционального узла.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1) Получить у преподавателя исходные требования к параметрическому стабилизатору:

- стабилизированное выходное напряжение $U_{вых} \pm \Delta U_{вых}$, В;
- допустимая нестабильность выходного напряжения $\delta U_{вых}$, %;
- наибольший ток I_{max_H} / сопротивление нагрузки R_{max_H} ;
- наименьший ток I_{min_H} / сопротивление нагрузки R_{min_H} ;
- допустимое напряжение на балластном резисторе $U_{R_б}$, В.

- 2) Рассчитать исходные данные для эксперимента:
- выбрать тип стабилизатора;
 - определить ВАХ для выбранного стабилизатора в табличной форме (9 точек) или с помощью программ моделирования;
 - используя справочник, определить допустимую мощность стабилизатора, его максимальный и минимальный токи;
 - рассчитать величину напряжения источника питания, сопротивление балластного резистора R_B и его мощность, а также определить его тип, номинал, допуск;
 - построить ВАХ выбранного стабилизатора и графическим методом определить отклонения выходного напряжения для рассчитанных значений напряжения источника питания, балластного резистора и заданных вариаций сопротивления нагрузки, дать заключение о работоспособности стабилизатора.
- для определения ОБР при проведении граничных испытаний с помощью ЭВМ задать расширенные (по сравнению с расчетными) диапазоны изменения напряжения источника питания и R_B .
- 3) С помощью программы `gran1.exe` выполнить моделирование граничных испытаний на компьютере типа IBM PC в ОС DOS/Windows. По результатам моделирования построить ОБР и показать расчетные значения напряжения источника питания и возможные значения сопротивления балластного резистора. Сформулировать заключение по результатам проведенных испытаний и дать рекомендации по выбору напряжения источника питания и балластного резистора.

6. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Программа моделирования граничных испытаний параметрического стабилизатора GRANI написана на алгоритмическом языке

ке PASCAL и работает под ОС DOS или Windows - код программы находится в файле gran1.exe. После запуска программы появляется форма ввода исходных данных, показанная на рис. 3. После ввода исходных данных программа выполнит расчет и построит области режимов работы параметрического стабилизатора (рис. 4) и список возможных отказов (рис. 5).

Испытатель: Васильев Петр Андреевич
 Студент: 556
 Группа: 556

Источник питания
 Eпит. min 13 В
 Eпит. max 20 В

Стабилизатор
 Тип КС182
 Uст 8.2 В
 Iст. min 0.005 А
 Iст. max 0.05 А
 Iст. ном 0.03 А
 Pст. max 0.25 Вт
 Число точек 2

Балластный резистор
 Rb. min 100 Ом
 Rb. max 500 Ом
 Rн. max 0.5 Вт
 Uн. max 10 В

Нагрузка
 Rн. min 2000 Ом
 Rн. max 5000 Ом
 dUn 5 %

Вольт-амперная характеристика стабилизатора

Uст, В	-670мВ	0В	5.175В	6.816В	7.643В	8.2В	8.544В	8.831В	9.077В
Iст, А	-50мА	0А	5мА	12.3мА	21.7мА	30мА	36.7мА	43.3мА	50мА

1=1111111=1,10) 19) [Enter]-Ввод данных [F2]-Расчет [Esc]-Выход
 Введите Показатели и единицы

Рис. 3. Форма ввода исходных данных программы GRAN1

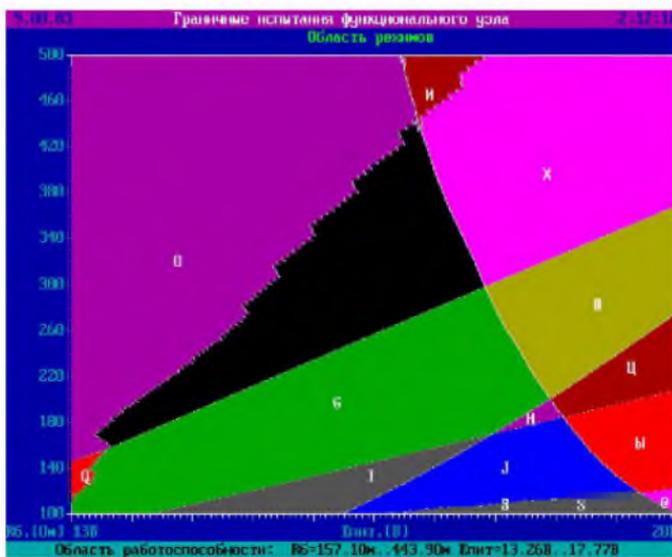


Рис. 4. Области режимов параметрического стабилизатора

ГРАНИ							
Граничные испытания функционального узла							
Список отказов							
№ П/П	Обозначение отказа на графике	Параметры отказа					
		Рб.мах	Ист.мах	Ист.мин	dUn	Рст.мах	Уб.мах
1	8					х	
2	6						х
3	Н	х					х
4	I		х				х
5	J	х	х				х
6	O				х		х
7	S	х	х		х		х
8	X						х
9	Н				х		х
10	И					х	х
11	И	х				х	х
12	М	х	х			х	х
13	8	х	х		х	х	х

Чтобы распечатать исходные данные и список отказов нажмите клавишу [F9]

Рис. 5. Список отказов стабилизатора

При работе с программой рекомендуется использовать какую-либо программу захвата изображения с экрана в графический файл, чтобы потом включить полученные результаты в отчет.

При работе под ОС Windows можно использовать клавишу PrintScreen, при нажатии на которую в буфер обмена будет помещен снимок экрана DOS-задачи, который можно вставить в программе Paint, PhotoShop для записи изображения как графического файла, или в Word для непосредственной вставки в документ.

При работе под DOS следует использовать программы-грабберы типа ScreenThief, которые загружаются резидентно в память до запуска GRANI и при нажатии клавиши или их комбинации⁴ записывают снимок экрана в графический файл. Именно этим способом были получены изображения экрана (рис. 3, 4, 5).

⁴ Зависит от программы

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема параметрического стабилизатора.
3. Исходные данные.
4. График вольт-амперной характеристики стабилитрона на миллиметровой бумаге формата А4.
5. Результаты расчета напряжения питания и сопротивления балластного резистора параметрического стабилизатора.
6. Заключение по результатам испытаний, выполненных графическим решением нелинейного уравнения, описывающего свойства параметрического стабилизатора.
7. График ОБР с нанесенными значениями $R_{НОМ}$, $E_{НОМ}$, поля допусков R и E .
8. Выводы и рекомендации по расширению области безотказной работы, уменьшения стоимости стабилизатора и повышения его экономичности.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Методика проведения граничных испытаний.
2. Как построить ВАХ стабилитрона по паспортным данным?
3. Как построить область безотказной работы?
4. Как выбрать номинальные значения $R_{НОМ}$, $E_{НОМ}$ при заданных допусках и выполнении условия минимального энергопотребления?
5. Какие возможные причины отказов параметрического стабилизатора?
6. Как учесть требования обеспечения минимальных массогабаритных и экономических характеристик при выборе элементов схемы?

Библиографический список

1. Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС: Учебник для вузов.-М.: Высш.шк., 1991.-336 с.
2. Малинский В.Д. Контроль и испытания радиоаппаратуры.- М.: Энергия, 1970. - 336 с.
- 3.Глудкин О.П., Черняев В.Н. Технология испытаний микро-элементов радиоэлектронной аппаратуры и интегральных микросхем: Учеб. пособие для вузов. - М.: Энергия, 1980. - 350 с.
- 4.Перельман В.Л., Сидоров В.Г. Методы испытаний и оборудование для контроля качества полупроводниковых приборов: Учебник для средн. проф.-тех. училищ. - М.: Высш. шк., 1979. - 215 с.
- 5.Испытательная техника: Справочник /Под ред. В.В.Клюева. В 2 книгах. - М.: Машиностроение, 1982. Книга 1. - 528 с.; Книга 2 - 559 с.
6. Андерман Д.И., Воробьева Б.А. Методы и средства испытаний РЭА: Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского университета, 1987.
- 7.Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование: Учебное пособие для вузов/О.П.Глудкин, А.Н.Енгальчев, А.И.Коробов, Ю.В.Трегубов; Под ред. А.И.Коробова. М.: Радио и связь, 1987. - 272 с.
- 8.Ошер Д.Н. и др. Регулировка и испытание радиоаппаратуры. М.: Энергия, 1978. - 384 с.
- 9.Глудкин О.П. и др. Статистические методы в технологии производства радиоэлектронной аппаратуры /Под ред. В.Н.Черняева. М.: Энергия, 1977. - 296 с.
- 10.Капцов А.В., Медников В.А. Методы и средства испытаний РЭА: Учебное пособие. - Куйбышев: КуАИ, 1989. - 78 с.

Учебное издание

**ГРАНИЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
УЗЛА РЭА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ**

Методические указания к лабораторной работе

Составитель *Медников Валерий Александрович*

Редактор Т. К. К р е т и н и н а

Компьютерная верстка О. А. А н а н ь е в

Подписано в печать 26.08.03. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ л. 0,93. Усл.кр.-отт. 0,95. Уч.-изд.л. 1,0.

Се?а?100 уес. Савс А?а С-57/2003.

Самарский государственный аэрокосмический
университет им.академика С.П.Королева.

443086 Самара , Московское шоссе, 34