

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

# ИСПЫТАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Утверждены  
редакционно-издательским  
советом института  
в качестве  
методических указаний  
для студентов

КУЙБЫШЕВ 1989

УДК 621

Испытания радиоэлектронных средств: Метод. указания /Сост. В. А. Медников; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1989. 40 с.

Методические указания содержат подробное описание 3-х лабораторных работ, предназначенных для выполнения по курсу «Методы и средства испытаний РЭА» студентами дневного и вечернего отделений, обучающихся по специальности 0705. Основные операции процесса испытаний изложены в лабораторной работе № 1 и могут быть использованы при выполнении других лабораторных работ.

Лабораторные работы предназначены для изучения методов проведения испытаний, ознакомления с испытательным оборудованием и принципов его действия, а также для получения студентами практических навыков в проведении испытаний и анализе их результатов.

Каждая лабораторная работа рассчитана на 2 часа занятий.

## Лабораторная работа I

### ИСПЫТАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА НА ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ

Ц е л ь р а б о т ы - ознакомиться с видами испытаний РЭА на температурные воздействия, видами и методами их проведения, устройствами испытательных камер, методами измерения, поддержания и регулирования температуры, получить навыки работы с испытательным оборудованием.

#### I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

##### I.1. Влияние температуры на электрические параметры элементов РЭА

Изменение температуры приводит к изменению физико-химических и механических свойств материалов и элементов, что вызывает изменение электрических и механических параметров РЭА.

Изменение температуры электроизоляционных материалов приводит к изменению следующих основных электрических характеристик: диэлектрической проницаемости, удельного, объемного и поверхностного сопротивлений, угла диэлектрических потерь и электрической прочности. Одновременно изменяются и их механические свойства. Зависимость величины удельного сопротивления диэлектрика определяется по формуле

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{\frac{B}{T}} \quad \text{Ом} \cdot \text{м}$$

где  $\rho_0$  и  $B$  - постоянные величины, характерные для данного диэлектрика;  $T$  - абсолютная температура.

Зависимость  $\text{tg } \delta$  от температуры определяется по формуле

$$\text{tg } \delta = 1,8 \cdot 10^{12} \cdot \frac{\gamma_0}{\varepsilon \cdot f} \cdot e^{-\frac{A}{T}}$$

где  $f$  - частота, Гц;  $\gamma_0$  - удельная объемная проводимость ( $\text{О} \cdot \text{м} \cdot \text{см}$ )<sup>-1</sup> при нормальной температуре;  $A$  - постоянная величина, характерная для данного диэлектрика.

Величина пробивного напряжения в зависимости от температуры изменяется по экспоненциальному закону

$$U_{np} = k \cdot d \cdot e^{-\frac{4}{T} \cdot t}$$

где  $K$  - постоянная величина, характеризующая свойство данного диэлектрика при определенной частоте подводимого напряжения;  $\alpha$  - температурный коэффициент электрической проводимости;  $d$  - толщина диэлектрика;  $t$  - температура, °С.

Изменение температуры металлов также приводит к изменению их электрических и физических параметров. Известно, что повышение температуры вызывает увеличение их сопротивления.

Зависимость величины удельного сопротивления от температуры можно выразить следующим уравнением

$$\rho_t = \rho_{t_0} [1 + \alpha(t - t_0)]$$

где  $\rho_t$  и  $\rho_{t_0}$  - величины удельных сопротивлений при температурах  $t$  и  $t_0$  соответственно; величина  $\alpha$  является температурным коэффициентом удельного сопротивления.

Очень сильно изменяется электропроводность полупроводниковых материалов при температурных изменениях.

Изменение параметров диэлектриков, проводников и полупроводников приводит к изменению параметров, а следовательно, к изменению выходных параметров самой РСА.

### 1.2. Влияние температуры на конструктивные элементы РСА

Различие температурных коэффициентов расширения различных материалов, применяемых в РСА, приводит к деформации деталей и узлов аппаратуры, растрескиванию, обрывам электрических цепей, появлению каналов проникновения влаги в материалы и прибора, образованию на границе раздела разнородных металлов интерметаллических соединений, разрушения изоляции и т.п.

Повышение и понижение температуры среды влияет на механическую прочность большинства материалов. Элементы и аппаратура становятся уязвимыми к воздействию механических факторов внешней среды.

В условиях высокой температуры форсируется развитие ряда структурных и кристаллографических дефектов в металлах, понижающих прочность соединений и конструкций, ускоряется процесс старения РСА.

Понижение температуры отрицательно влияет на паяные соединения и швы. Обычная модификация слова: белое олово устойчиво при температурах  $-13...+100^{\circ}\text{C}$ . При температурах  $-13^{\circ}\text{C}$  белое олово медленно переходит в серое. По мере снижения температуры до  $-50^{\circ}\text{C}$  скорость разрушения слова возрастает. Это явление часто называют "оловянной чумой". В процессе перехода белого олова в

серое металлы увеличивается в объеме и в местах появления серого олова происходит образование кристаллической структуры, сопровождающееся его разрушением. Низкие температуры приводят к загустеванию смазки, увеличивают пусковые моменты двигателей и сельсинов, ухудшаются контакты колец токосъемников из-за обледенения.

При циклических изменениях окружающей температуры на поверхности и внутри РЗА конденсируется влага, которая, абсорбируясь через микротрещины, поры и зазоры между деталями, проникает в РЗА. Термоциклирование сопровождается разрушением паяных, сварных клеевых и других соединений, отслоением и расслоением покрытий, появлением утечки наполнителей.

Увеличение температуры различных механизмов вызывает уменьшение вязкости смазок и одновременное расширение металлов, что приводит к перегреву механизмов элементов, заклиниванию и заеданию подвижных частей, выходу из строя подшипников и т.д.

### 1.3. Виды испытаний РЗА на воздействие температурных изменений

Для определения способности РЗА выполнять свои функции и сохранять параметры в пределах установленных норм при воздействии температурных изменений проводятся испытания на их воздействие.

Согласно ГОСТ 16962-71 предусматриваются следующие виды испытаний:

- испытание на холодоустойчивость при эксплуатации;
- испытание на холодоустойчивость при температуре транспортирования и хранения;
- испытание на теплоустойчивость при эксплуатации;
- испытание на теплоустойчивость при температуре транспортирования и хранения;
- испытание на воздействие смены температур.

### 1.4. Основные операции процесса испытаний

Технологический процесс испытаний РЗА состоит из ряда последовательных операций, основными из которых являются:

Операция 1. Предварительная выдержка РЗА в нормальных климатических условиях в течение заданного техническими условиями времени. Нормальные климатические условия характеризуются температурой

+20-5°C, относительной влажностью 65-15%, атмосферным давлением 720...780 мм.рт.ст.

Операция II. Внешний осмотр РЗА и предварительные измерения ее параметров, устанавливающие работоспособность РЗА.

Операция III. Проверка работоспособности испытательного оборудования, устройств контроля.

Операция IV. Установка изделия в камеру или на испытательный стенд, механическое крепление его, подведение к нему питающих напряжений, подключение измерительных приборов.

Операция V. Первоначальное измерение параметров, определяющее состояние РЗА до испытания.

Операция VI. Вдержка РЗА при воздействии на нее определенных климатических и других факторов для определения их влияния.

Операция VII. Измерение параметров РЗА для определения ее состояния в процессе испытания.

Операция VIII. Заключительные измерения, проводимые по окончании испытаний (в камере и вне ее), с целью установления количественных и качественных зависимостей характеристик РЗА от проведенных испытаний. Проведение внешнего осмотра РЗА, оценка влияния испытаний производится путем сравнения результатов заключительных измерений, с результатами первоначальных.

Первые пять операций являются общими и имеют место для любого вида испытаний. Основной целью их проведения является исключение ошибок из результатов испытаний, которые обусловлены следующими причинами: а) попадание на испытание бракованной РЗА; б) проведение испытаний на исправном испытательном оборудовании; в) проведение контроля испытательных режимов неисправными контрольно-измерительными приборами; г) нарушение работоспособности аппаратуры в процессе установки ее на стенде, подключение внешней аппаратуры.

Общей для всех видов испытаний является также и восьмая операция, так как служит для оценки результатов испытаний. В то же время содержание 6-й и 7-й операций, а также методика их проведения зависят от вида испытаний.

1.5. Целью испытаний РЗА на теплоустойчивость является определение способности РЗА сохранять параметры в заданных пределах в условиях воздействия на нее повышенной температуры.

## 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА

Испытание на воздействие температурных изменений проводится в специальном испытательном оборудовании. В ГОСТ 10070-71 давался перечень оборудования, которое позволяет проводить следующие испытания: камера шкальная для испытаний на воздействие тепла и холода КТХ; испытаний на одновременное или раздельное воздействие тепла (или холода) и пониженного атмосферного давления КТХБ; испытаний на одновременное воздействие тепла и относительной влажности или раздельное воздействие тепла (или холода) и относительной влажности КТХВ, камера сундучная для испытаний на воздействие тепла или холода.

Основные технические характеристики таких камер:

номинальный рабочий объем,

нижний и верхний воспроизводимые пределы температур, °С;

время достижения максимальной и минимальной температуры от 25°С, мин:

неравномерность температуры в полезных объемах ненагруженных камер.

Получение повышенной температуры осуществляется подачей нагретого воздуха непосредственно в полезный объем или путем обеспечения циркуляции теплоносителя (воздуха) внутри металлической рубашки камеры, окружающей полезный объем. Обеспечение равномерной температуры по объему камеры достигается размещением нагревательных элементов на дне и стенках камеры, а по возможности и в двери. Постоянство температуры в камере достигается автоматическим включением или отключением части нагревательных элементов в зависимости от изменения температуры.

Получение пониженной температуры может достигаться двумя способами: непосредственным охлаждением с помощью хладагента (жидкий азот, кислород, двуокись углерода и др.) или косвенным охлаждением с помощью компрессорной установки. В этом случае также используется хладагент (фреон, аммиак и др.). При непосредственном охлаждении камеры находит применение двуокись углерода, которая при температуре ниже  $-78,5^{\circ}\text{C}$  находится в твердом состоянии. В среде с температурой выше  $-78,5^{\circ}\text{C}$  двуокись углерода испаряется в безвредный газ. При этом поглощается тепло окружающей среды и температура ее понижается. Недостаток этого способа заключается в том, что происходит---

большой расход хладагента. Достоинство -- простота получения низкой температуры.

Косвенный способ охлаждения основан на свойстве жидкости при испарении поглощать тепло из окружающей среды. Техническое осуществление данного способа основано на применении компрессорной испытательной системы охлаждения (холодильная система). Принцип действия ее состоит в том, что газообразный хладагент сжимается компрессором до давления, обеспечивающего конденсацию газа. Далее хладагент, проходя по радиаторам, испаряется и охлаждает окружающую среду. Холодильная система может быть одноступенчатой, двух- или трехступенчатой. Количество ступеней зависит от того, какую температуру и в течение какого времени следует получить. Чем ниже требуемая температура и время ее получения, тем больше делается ступеней.

### 3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ

К приборам, позволяющим контролировать температуру, относятся термометры, терморезисторы, термодары, термокарданы и термокарсы.

Наибольшее распространение получили жидкостные (ртутные) термометры благодаря своей простоте, сравнительно высокой точности и удобству эксплуатации. Основной их недостаток -- инерционность. По функциональному назначению жидкостные термометры можно разделить на максимальные, минимальные, измерительные и контактные.

Максимальный термометр служит для регистрации и сохранения показаний наибольшей температуры. Для этого в его резервуаре с ртутью установлен конусный штифт, который не препятствует движению ртути при расширении из резервуара в капилляр, но препятствует обратному ее движению.

Минимальный термометр служит для регистрации наименьшей температуры в отдельный промежуток времени. Достигается это введением в капилляр термометра подвижного штифта с утолщением на концах. При понижении температуры вследствие небольшой силы трения штифта о капилляр штифт будет перемещаться вслед за поверхностной пленкой спирта в капилляре. При повышении температуры спирт свободно обтекает штифт, не трогая его с места, так как сила трения его головок о стенки капилляра превышает силу, с которой спирт толкает штифт.

Измерительный термометр служит для показания текущей температуры в данный момент времени.

На основе измерительного термометра изготавливается контактный термометр, который широко применяется в испытательных установках. В капилляре такого термометра встроен контактный проводок, который



можно перемещать по капилляру. Задание требуемой температуры осуществляется посредством установки конца проводка по шкале термометра на нужный уровень. Проводок в капилляре движется на гайке, перемещаемой по винту с помощью магнитной поворотной головки.

При достижении в камере заданной температуры термометр замыкает электрическую цепь регулятора температуры. Последний производит необходимые коммутации энергетических агрегатов.

Кроме жидкостных термометров нашли применение также деформационные, которые можно разделить на биметаллические и манометрические.

Биметаллический термометр состоит из биметаллической пластины, которая под действием температуры изгибается. Деформацию пластины можно использовать для приведения в движение стрелки, которая передвигается по шкале и указывает температуру замыкания (или размыкания) электрической цепи терморегулятора или для приведения в движение пера самописца (термографа).

Манометрический термометр представляет собой трубчатую пружину, заполненную жидкостью. При повышении температуры жидкость в пружине расширяется и разгибает ее. Разгибание пружины используется для приведения в движение стрелки пера самописца, стрелки термометра или контактов терморегулятора.

Измерение температуры можно производить также с помощью терморезисторов, сопротивление которых с изменением температуры изменяется. Из-за малых размеров и соответственно теплоемкости терморезисторы имеют малую термическую инерционность. Основной их недостаток — склонность к старению. Терморезисторы для измерения температуры чаще включаются в плечо моста измерительной схемы. Погрешность измерения температуры с помощью терморезисторов не превышает  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Простым, надежным и удобным средством является измерение температуры с помощью термопары. Она состоит из двух разнородных металлических проводков, соединенных на одном конце пайкой, сваркой или скручиванием. Если поместить это соединение в место измерения температуры, а противоположные концы в нормальные условия или ванну с тающим льдом, то между концами образуется разность температур, которая вызывает ток в замкнутой цепи. Термопары позволяют измерить температуры в любом требуемом диапазоне с погрешностью не более 1% от измеряемой величины.

Измерение температуры с помощью термокрасок и термочерной краски основано на свойстве веществ, входящих в их состав, определенным образом изменять свой цвет при воздействии тепла. Эти способы применяются при измерении высоких температур (600-700°C) с погрешностью от 5 до 30°C.

#### 4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В качестве испытательного оборудования в лабораторной работе используется камера тепла типа  $SU - 12$ .

Она представляет собой шкаф с двойными стенками и двойным дном. В двойных стенках расположен нагреватель. Теплый воздух через вентиляционные отверстия во внутренних стенках поступает внутрь камеры. Для возможности непрерывной циркуляции воздуха в верхней стенке камеры предусмотрено вентиляционное отверстие. Для размещения изделий в камере предусматривается установка полок и кронштейнов так, чтобы расстояние между изделиями и стенками было не менее 20 мм. Камеры позволяют производить испытания на воздействие сухого тепла в диапазоне температур от 40 до 200°C с точностью поддержания заданной температуры  $\pm 1^\circ C$ . Градиент температуры по объему камеры не превышает  $2^\circ C$ . Постоянство заданной температуры в камере поддерживается с помощью терморегулятора, в состав которого входит ртутный контактный термометр.

В лабораторной работе в качестве испытуемых функциональных узлов РЗА используются мультивибраторы, выполненные на интегральных микросхемах серии 1155. В качестве активных элементов мультивибраторов используются логические схемы 2И-НЕ типа К155ЛА3.

На рис.1 показана принципиальная схема исследуемого функционального узла, который состоит из генератора импульсов, длительность и период повторения которых определяется величинами сопротивления резистора  $R_1$ , емкости конденсатора  $C_1$  и уровнем логической единицы  $U_1$  и логического нуля  $U_0$  элемента  $DD 1-2$ , а также уровнем сигнала  $U_{BX}$  на первом входе логического элемента  $DD 1-1$ , приводящем к изменению его выходного состояния. Кроме того на длительности формируемых интервалов оказывает влияние входные токи логического элемента  $DD 1-1$ .

Длительность генерируемого импульса на выходе такого генератора можно в первом приближении определить по формуле

где  $R_{in} = \frac{R_1 \cdot R_{вх0}}{R_1 + R_{вх0}}$ ,  $R_{вх0}$  - эквивалентное входное сопротивление логического элемента DD I-I при напряжения на его входе меньше  $U_{вх}$ .

Длительность пауз между генерируемыми импульсами можно определить в первом приближении как:

$$t_n = R_{in} C_1 \ln \left( 1 + \frac{U_1}{U_{вх}} \right),$$

где  $R_{in} = \frac{R_1 R_{вх1}}{R_1 + R_{вх1}}$ ,  $R_{вх1}$  - эквивалентное входное сопротивление логического элемента DD I-I при напряжении на его входе больше  $U_{вх}$ .

Мультивибраторы МВ-2 и МВ-3 работают в ждущем режиме и формируют одиночные импульсы на своем выходе в ответ на каждый импульс на их входе. Длительность этих выходных импульсов определяется по аналогичным формулам, что и для первого мультивибратора МВ-1, однако в схему третьего мультивибратора МВ-3 введены дополнительные элементы, уменьшающие зависимость длительности его выходных импульсов от изменений параметров логических элементов.

Как видно из приведенных формул, период повторения импульсов и их длительность являются функциями параметров схем мультивибраторов  $R$ ,  $C$ ,  $U_0$ ,  $U_1$ ,  $U_{вх}$ . Эти параметры при изменении температуры окружающей среды изменяются, в результате чего изменяются и выходные параметры мультивибраторов МВ-1, МВ-2, МВ-3.

В процессе выполнения работы необходимо последовать, как изменяются длительности, формируемые мультивибраторами при изменении температуры и сделать выводы о работоспособности функционального узла по результатам испытаний исходя из предъявленных к нему требований.

Для измерения выходных параметров испытуемого функционального узла в лабораторной работе используется электронный осциллограф и измеритель временных интервалов, подключаемые к соответствующим выходам мультивибраторов.

Измерение температуры внутри термокамеры и регулирование тока ее нагревателей осуществляется с помощью автоматического потенциометра ЭП-120 с термопарой в качестве датчика температуры, располагаемой внутри термокамеры. Функциональная схема автоматического потенциометра приведена на рис.2.

Измерение ЭДС термопары производится методом компенсации путем сравнения неизвестной термоэлектродвижущей силы  $E_x$  с падением напряжения на калиброванном реохорде  $R_p$ .

Компенсационная схема потенциометра состоит из реохорда  $R_p$

с ползунком  $K$ , электронного усилителя  $У$ , электродвигателя  $Д$  и источника питания.

Электродвигатель  $Д$  через редуктор  $P$  связан с ползунком  $K$  и стрелкой указателя температуры. Действие компенсационной схемы сводится к автоматическому перемещению ползунка  $K$  по реохорду в сторону уменьшения напряжения рассогласования (разности термоэлектродвижущей силы  $E$  и падения напряжения на реохорде  $P$ ) — тех пор, пока это напряжение не станет равным нулю.

Таким образом, положение ползунка  $K$  и связанной с ним стрелкой прибора однозначно определяет величину термоэлектродвижущей силы, а следовательно и измеряемую температуру.

## 5. ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К РАБОТЕ

1. Какова цель данной работы?

2. Какие существуют разновидности температурных воздействий на РЭА?

3. Как изменяются параметры материалов, из которых представляются элементы конструкций РЭА, при изменении температуры окружающей среды?

4. К каким вредным последствиям для конструкции РЭА приводят температурные изменения?

5. Какие существуют виды испытаний на воздействие температурных изменений?

6. Какое испытательное оборудование используется для испытаний на воздействие температурных изменений?

7. Каким образом получают необходимые температурные режимы в камерах для испытаний на воздействие температурных изменений?

8. На каких принципах основаны приборы для измерения, контроля, регистрации и поддержания необходимых температурных режимов и испытательных камер?

9. Из каких составных частей состоит лабораторная установка?

10. На каких основных параметрах основан процесс испытаний РЭА на теплоустойчивость, термостойкость?

11. Каким образом осуществляется и регулируется температура в термокамере?

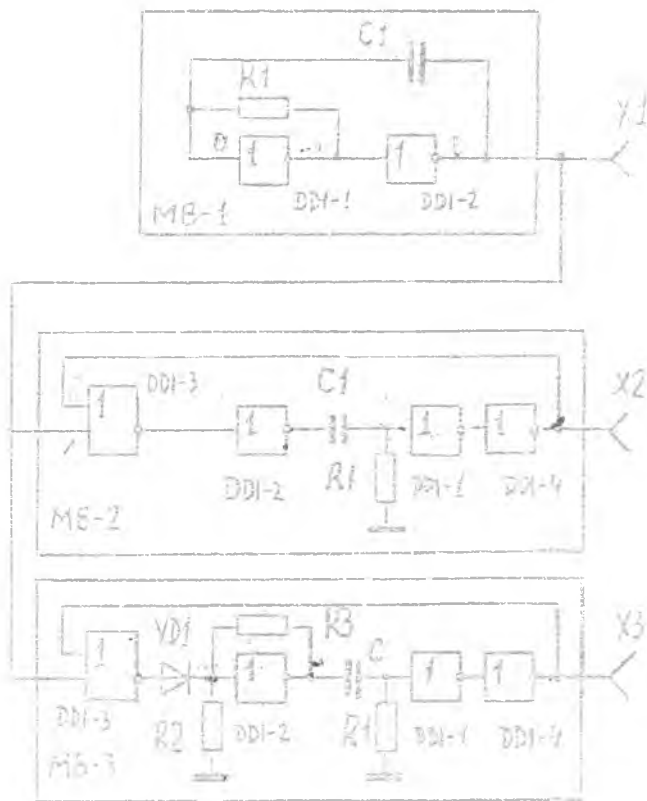
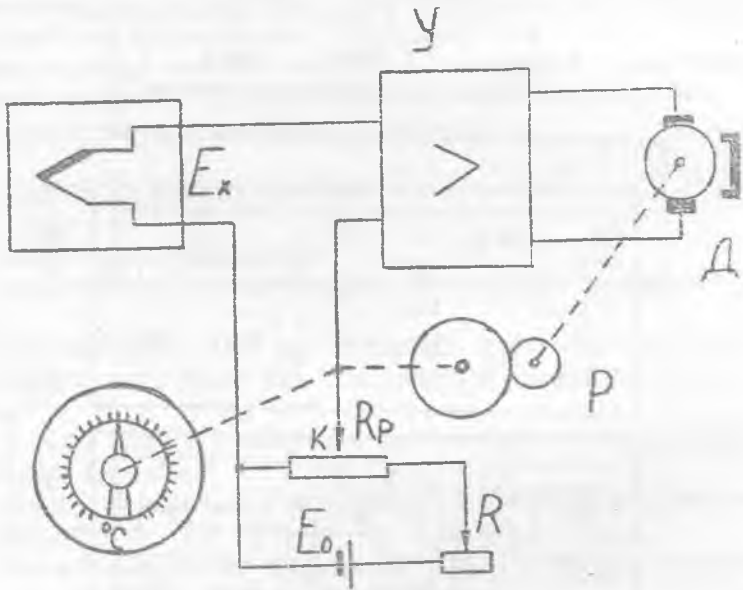


Рис. 1. Принципиальная схема функционального узла.



Р и с. 2. Функциональная схема измерения термоэлектродвижущей силы термопары

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

1. Расположить в рабочем объеме камеры испытуемое устройство (функциональный узел на основе мультивибратора).

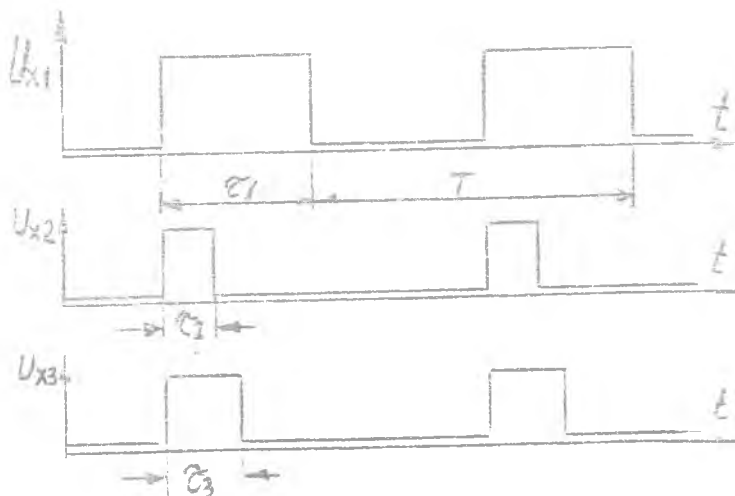
2. Выключить электронный осциллограф и электронный измеритель временных интервалов.

3. Подключить выходной кабель, идущий от испытуемого функционального узла ко входу осциллографа и измерителя временных интервалов, обращая внимание на то, чтобы вилки кабелей с обозначением "1" "корпус" были включены в соответствующие входы осциллографа и измерителя временных интервалов.

Включить тумблер питания функционального узла.

4. Установить на осциллографе СИ-15 ручкой: ДЛИТЕЛЬНОСТЬ - в положение 20 мкс/см, множитель длительности - положение X I; ЗАПУСК - в положение  $\checkmark$ ; синхронизация (внешняя) в положение ИССЛЕД. СИГНАЛ; УСИЛЕНИЕ - в положение 2  $\checkmark$ /см;

5. Ручками синхронизация (центральная) и подстройка синхронизации добиться устойчивого изображения генерируемых мультивибратором и импульсов на экране осциллографа, соответствующего тому, которое изображено на рис.3.



Р и с. 3. Осциллограмма выходных импульсов

6. Ручками ЯРКОСТЬ, ФОКУС и АСТИГМАТИЗМ добиться того, чтобы импульсы разворачивались тонким ярким лучом.

7. Установить на частотомере ЧЗ-7 ручки: пределов измерения частоты в положение 10 кГц; пределов измеряемого напряжения импульсов в положение 0,1-200 В; тумблер режима работы в положение ИЭМ.

8. Произвести измерения дли:ельностей генерируемых мультивибраторами импульсов в нормальных условиях. Полученные данные занести в табл. I.

Т а б л и ц а I

Измеряемый параметр	Температура				
	Нормальные условия	+40°C	+50°C	+60°C	+70°C
Частота, кГц					
Длительность импульса МВ-1					
Интервал между импульсами МВ-1					
Длительность импульса МВ-2					
Длительность импульса МВ-3					

9. Закрыть дверцу камеры. Установить на автоматическом потенциометре ЭП-120 контактный узел соответствующий температуре +40°C и включить камеру. Дать выдержку времени до установления в камере температуры +40°C и еще 10 мин.

10. Произвести измерения параметров мультивибраторов.

11. Установить в камере последовательно температуру +50, +60, +70°C каждый раз делая выдержку на 10 мин после установления в камере заданного температурного режима и измеряя длительности импульсов мультивибраторов. Полученные данные занести в табл. I.

11. Получите у преподавателя технические требования к функциональному узлу.

### 7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Краткое описание лабораторной установки.
3. Данные измерений, таблица, графики зависимости.
4. Выводы о характере полученных зависимостей.
5. Выводы по результатам испытаний функционального узла на теплоустойчивость.



## Лабораторная работа 2. Испытание РЭА на воздействие повышенной влажности

Цель работ: выявить влияние влажности на свойства РЭА, методами измерения повышенной влажности, получить навык работы с испытательным оборудованием.

### I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

#### I.1. Влияние влажности на РЭА

Влияние влажности на элементы конструкции и свойства РЭА определяются в первую очередь свойствами воды. Так, хотя объемное сопротивление абсолютно чистой воды велико и составляет величину порядка  $20 \text{ МОМ/см}^3$ , однако легко загрязняясь изменяет сопротивление, особенно поверхностных пленок влаги, в широких пределах. Диэлектрическая постоянная воды имеет высокое значение, примерно 81 и практически от частоты не зависит. Однако с ростом температуры значительно уменьшается.

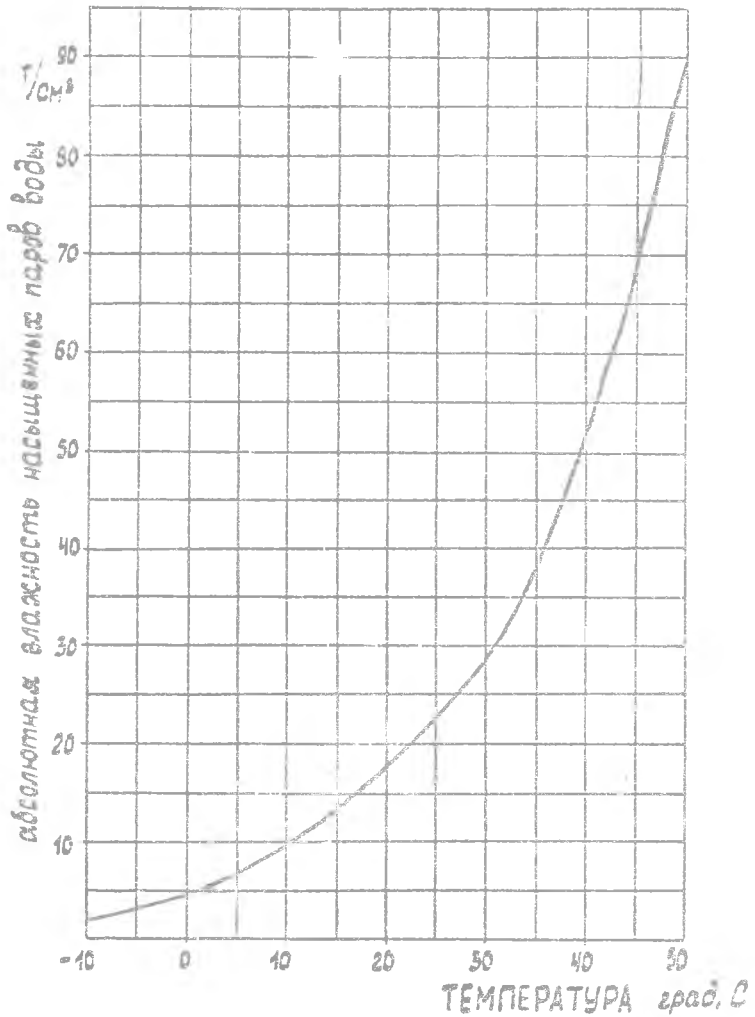
Тангенс угла потерь не дистиллированной воды зависит от температуры и от частоты. На частотах выше 10 МГц молекула воды вследствие ее полярности начинает поглощать энергию колебаний, и поглощение это с ростом частоты увеличивается. Поэтому тангенс угла потерь резко увеличивается на частотах выше 10 МГц.

К важным физическим характеристикам воды в паробразном состоянии относится вязкость, проницаемость, давление паров и плотность. Вязкость является мерой внутреннего трения в газе при перемещении одного слоя относительно другого. Проницаемость определяет количество паров которое может быть перенесено через слой воздуха. Пары воды подчиняются основным газовым законам в отношении температуры, давления и объема. Давление, оказываемое парами воды является парциальным давлением и в естественной атмосфере складывается с парциальным давлением других газов, образуя атмосферное давление.

Вес воды, содержащийся в воздухе при насыщении, изменяется с температурой в соответствии с тем же законом, что и давление паров. Характер этого изменения показан на рис. I. Указанная зависимость характеризует абсолютную влажность насыщенного водяных паров в зависимости от температуры.

Для оценки степени влажности, наряду с понятием абсолютной влажности, применяется понятие относительной влажности, равное отношению фактического давления паров воды к давлению паров в насыщенном состоянии. При понижении температуры насыщенного парами воздуха, пар частично конденсируется и превращается в жидкость.

Высокая влажность окружающего воздуха, особенно в сочетании с



Зависимость абсолютной влажности  $\text{г/см}^3$  воздуха от температуры при 100% относительной влажности и нормальном атмосферном давлении

повышенной температурой среды способствует быстрому разрушению аппаратуры, при этом интенсивность отказов наземной радиоаппаратуры выше, чем при любых иных воздействиях. Циклические воздействия влажности в условиях высокой температуры дает еще более высокую интенсивность отказов.

При работе аппаратуры во влажностной атмосфере влага обволакивает ее снаружи и проникает внутрь. Поглощение энергии электромагнитных колебаний влажной средой вызывает дополнительные потери в индуктивных и емкостных элементах, т.е. ведет к снижению КПД. Образование пленок на деталях и материалах играет очень важную роль. Вследствие загрязнения поверхности нас упает быстрая ионизация и увеличивается проводимость пленки воды. Пленка способствует появлению проводящего канала и возникновению емкостного эффекта, обусловленного высоким значением диэлектрической проницаемости. Эти эффекты при электрических измерениях проявляются в изменении сопротивления изоляции, поверхностного сопротивления, индуктивности, емкости, коэффициента рассеяния и добротности  $Q$ . Сопротивление поверхностному пробоему снижается.

Под действием влаги параметры полупроводниковых структур изменяются, что приводит к дрейфу электрических параметров интегральных микросхем, уменьшению коэффициента усиления транзисторов, изменению пробивных напряжений п/п переходов. Особенно опасна для микросхем электролитическая коррозия, под действием которой образуются электроизоляционные слои, в результате которой металлизация и резистивные слои обрываются в месте положительного контакта. Если продукты коррозии растворимы в воде, то ионы металла могут переноситься в растворе от анода к катоду, образуя дендритные кристаллы "Усы", замыкающие металлизированные токоведущие проводники.

Проникновение воды и паров в материалы органического происхождения вызывает изменение размеров, понижение сопротивления изгибу и в некоторых случаях повышение сопротивления удару вследствие увеличения вязкости материала.

## 1.2. Принципы получения испытательных режимов

Необходимая влажность воздуха может быть достигнута следующими способами: открытым - когда воздух соприкасается с открытой поверхностью (водной); закрытым - когда влажность достигается путем циркуляции воздуха через закрытое увлажнительное устройство.

Открытый способ, воспроизводящий природные условия увлажнения воздуха, прост и дешев, но практическое его применение ограничивается необходимостью строго поддерживать постоянство разности температур

воздуха и воды, а также точности регулирования температуры в пределах психометрической разности.

Понижение температуры более, чем на  $0,5^{\circ}\text{C}$  при высокой относительной влажности и повышенной температуре может привести к выпадению росы, что является недостатком способа.

Характерной особенностью закрытого способа является наличие циркуляции воздуха через увлажнительное устройство. В увлажнителе воздух либо смешивается с распыленной водой, либо барботируется через слой воды. Закрытый способ позволяет регулировать содержание влаги и температуры атмосферы камеры за счет изменения количества циркулирующего увлажненного воздуха в замкнутом пространстве и степени его подогрева.

## 2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

К наиболее известным и применяемым методам измерения влажности воздуха относятся психометрический, сорбционный, спектрометрический, диффузионный, конденсационный, пьезометрический.

Психометрический метод основан на измерении психометрической разности (разности между показаниями обычного сухого термометра и термометра, на баллон которого надет батист, смоченный водой. Психометрическая разность зависит от влажности окружающего воздуха. Чем она ниже, тем интенсивней происходит испарение воды со смоченной ткани, что приводит к охлаждению термобаллона и понижению температуры "мокрого термометра". Измерители влажности, основанные на психометрическом методе, применяются для измерения больших влажностей (20-100%) с небольшой точностью в жилых и служебных помещениях. Сорбционный метод использует поглощение влаги каким-либо гигроскопическим веществом. Различают:

сорбционно-деформационный метод - о влажности судят по деформации гигроскопического материала (обычно человеческого волоса, животного или синтетической пленки). Этот метод позволяет измерять большие относительные влажности 10...100% с небольшой точностью ( $\pm 5\%$ );

сорбционно-электролитический метод - о влажности судят по изменению электропроводности поглотителя влаги - сорбента. Применяется для измерения относительной влажности в пределах 20...100% с удовлетворительной точностью;

сорбционно-кулонометрический метод - влажность определяют по количеству электричества, идущего на электролиз влаги, поглощенной пленкой частично гидратированной пятиокиси фосфора. Применяется для измерения влажности в очень широком диапазоне абсолютной влажности от  $0,005$  до  $100\text{ мг/см}^3$ ;

сорбционно-весовой метод - определяется масса влаги  $M$ , содержащаяся в известном объеме  $V$ . Отношение этих величин дает абсолютную влажность ( $\mu = \frac{M}{V}$ ). Применяется в лабораторных условиях;

сорбционно-термический метод - измеряется количество тепла, выделяющегося при поглощении влаги гигроскопическим материалом. Применяется редко ввиду сложности измерения тепла.

Диффузионный метод базируется на диффузии газов через пористую перегородку. О величине влажности судят по разности давлений внешней среды и газа в камере, отделенной от этой среды пористой мембраной. Применяется редко.

конденсационный метод - метод точки росы, когда определяется температура точки росы, т.е. температура, при которой наступает насыщенное состояние анализируемой среды при ее охлаждении. Приборы, основанные на измерении точки росы находят широкое применение для измерения очень малой величины влажности при контроле величины влажности осушенного воздуха. Применяется как в лабораторных условиях, так и в полевых;

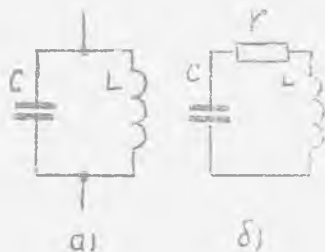
чисто конденсационный метод - измеряется количество анализируемого газа и объема воды, выпавшей в холодильнике в виде конденсата. Применяется в лабораторных условиях.

Объемный или пьезометрический метод предусматривает определение изменения давления взятой пробы газа в результате поглощения водяного пара сорбентом или вымораживанием. Применяется в лабораторных условиях. Этот пар при необходимости подается в камеру для увеличения влажности.

### 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В лабораторной работе в качестве испытываемой РЗА используется колебательный контур, схема которого показана на рис.3. Он состоит из катушки индуктивности  $L$ , намотанной с шагом на керамическом основании, и конденсатора  $C$  с воздушным диэлектриком. Как известно, резонансная частота такого колебательного контура определяется формулой

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Р и с. 3. Принципиальная и эквивалентная (б) схемы колебательного контура

где  $f_0$  - частота, Гц;  $L$  - индуктивность, Гн;  $C$  - емкость, Ф, а добротность контура определяется формулой

$$Q = \frac{W_p}{W_a} = \frac{P}{r} = \frac{1}{r} \cdot \frac{1}{2\pi f_0 C r}$$

где  $r$  - эквивалентное активное сопротивление элементов колебательного контура, Ом;  $W_a$  - энергия, рассеиваемая в контуре за один период колебаний;  $W_p$  - реактивная энергия контура.

Как видно из приведенных формул, такие параметры колебательного контура, как резонансная частота  $f_0$  и добротность  $Q$ , являются функциями параметров схемы контура  $L$ ,  $C$  и  $r$ .

Эти параметры при изменении влажности окружающей среды изменяются, в результате чего изменяются и выходные параметры колебательного контура  $f_0$  и  $Q$ . Как изменяются эти выходные параметры при изменении влажности, необходимо последовать в процессе выполнения работы.

В качестве испытательного оборудования в лабораторной работе используется лабораторная камера влаги, которая состоит из основания, стеклянного колпака и испарителя. Испаритель состоит из резервуара с водой, в котором расположен нагревательный элемент для подогрева воды с целью интенсификации испарения воды. На основании закреплены катушки индуктивности и конденсатор колебательного контура; вентилятор для перемешивания воздуха под колпаком с целью установления равномерной влажности воздуха по объему камеры и психрометр для измерения влажности воздуха в камере.

Для измерения выходных параметров испытываемого колебательного контура в процессе испытаний в лабораторной работе используется  $Q$ -метр типа УК-1.)

С помощью  $Q$ -метра измеряется и резонансная частота, добротность колебательного контура и изменение его собственной емкости.

#### 4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К РАБОТЕ

К выполнению лабораторной работы студент приступает после получения допуска от преподавателя, ведущего лабораторные работы.

1. Какова цель данной работы?

2. Каковы основные физико-химические свойства воды?

3. К каким вредным последствиям для конструкции РЭА приведет повышенная влажность окружающей среды?

4. Какие изменения механических свойств вызывает повышенная влажность в РЭА?

5. Какие изменения электрических свойств вызывает повышенная влажность в РСА?

6. Какие причины внезапных отказов может вызывать повышенная влажность в РСА?

7. Какие причины постепенных отказов может вызывать повышенная влажность в РСА?

8. Какие существуют принципы получения повышенной влажности в испытательных камерах?

9. В чем сущность закрытого способа получения повышенной влажности в испытательных камерах?

10. В чем сущность открытого способа получения повышенной влажности в камерах?

11. Какие существуют методы измерения влажности воздуха?

12. В чем суть психрометрического метода измерения влажности воздуха?

13. В чем суть сорбционного метода измерения влажности воздуха? Назовите разновидности сорбционного метода.

14. На каких принципах базируются дельтауометрический и конденсаторный методы измерения влажности воздуха?

15. Какие методы измерения влажности воздуха можно использовать для автоматического управления испытательным режимом в камерах влажности?

16. Из каких составных частей состоит лабораторная установка? Назначение составных частей.

## 5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

1. Включить  $Q$ -метр. Произвести его начальную настройку. Для этого ручку диапазона частот поставить в положение 30-60; ручку  $Q$  поставить в левое крайнее положение;

левой ручкой УСТАНОВКА НУЛЯ выставить на нуль прибор МНОЖИТЕЛЬ  $Q$ , правой ручкой УСТАНОВКА НУЛЯ выставить на нуль прибор  $Q$ , значение зерньера выставить на отметку 20 пФ.

2. Произвести измерение резонансной частоты и добротности колебательного контура при нормальных условиях. Для этого поворотом направо ручек МНОЖИТЕЛЬ  $Q$  добиться того, чтобы стрелки прибора  $Q$  и МНОЖИТЕЛЬ  $Q$  находились на рабочей части шкал, затем медленным поворотом ручки частота МГц и добиться максимального отклонения направо стрелки прибора  $Q$ . При этом по приборам  $Q$  и МНОЖИТЕЛЬ  $Q$

определить добротность колебательного контура путем перефокусирования значений показаний этих приборов и резонансную частоту по шкале частоты. Полученные значения частоты, емкости и добротность записать в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Температура "сухого" термометра, °С	$t_c$				
Температура "мокрого" термометра, °С	$t_m$				
Относительная влажность	$a$				
Резонансная частота, МГц					
Добротность	$Q$				
Емкость	$C$				
Изменение емкости контура	$\Delta C$				

4. Убедиться, что в резервуаре испарителя и психометра налита вода. Надеть на основание колпак, включать нагревательный элемент испарителя и вентилятор. Произвести измерение относительной влажности в камере, пользуясь при этом психометрической таблицей 3, определить значение резонансной частоты и добротности колебательного контура.

5. Произвести измерение изменений собственной емкости колебательного контура в условиях повышенной влажности, для этого установить частоту  $\Omega$ -метра равной резонансной частоте контура для нормальных условий и верньером ЕМКОСТЬ добиться резонанса контура (по максимальному отклонению индикатора  $\Omega$  ).

6. По мере увеличения влажности производить измерение относительной влажности и соответствующего значения резонансной частоты, добротности колебательного контура и изменений емкости контура. Полученные данные занести в табл.2.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Краткое описание лабораторной установки.
3. Данные измерений: таблица, графики зависимости  $f_{\Omega}$  и  $Q$  от относительной влажности.
4. Выводы о характере полученных зависимостей.





D 1 1 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
21	100	91	83	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	64
22	100	91	83	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	64
23	100	96	91	87	84	80	76	72	69	65	63	61	58	55	53	51	48	46	43	41	39
24	100	95	92	88	84	80	77	73	70	67	64	62	59	56	53	52	49	47	44	42	40
25	100	96	92	88	84	81	77	74	70	67	65	63	59	58	54	52	50	47	45	44	42
26	100	96	92	88	85	81	78	74	71	69	66	64	60	58	55	53	51	49	46	45	43
27	100	96	92	88	85	81	78	75	72	69	66	64	61	59	56	54	50	50	46	43	43
28	100	96	92	88	85	82	79	75	72	69	67	65	62	60	57	54	52	51	48	47	45
29	100	96	92	89	85	82	79	75	73	71	67	65	62	60	57	55	53	52	49	48	46
30	100	96	93	89	86	82	79	77	73	71	68	66	63	61	58	56	55	53	51	49	47
31	100	95	93	89	86	83	80	77	74	72	69	67	64	61	59	57	55	54	51	50	48
32	100	97	93	89	86	83	80	77	75	72	70	67	65	62	60	58	56	54	53	51	48
33	100	96	93	89	86	83	80	78	75	72	70	68	66	63	61	59	57	55	53	51	49
34	100	96	93	90	86	83	81	78	76	73	71	69	66	64	62	59	57	55	54	52	50
35	100	96	93	90	87	83	81	79	76	74	71	69	67	65	62	60	58	56	55	52	51
36	100	96	93	90	87	84	82	79	77	74	72	70	67	65	63	60	59	57	55	53	51
37	100	96	93	90	87	85	82	79	77	75	72	70	68	65	63	61	59	57	55	53	52
38	100	97	94	91	88	85	82	80	77	75	73	70	68	66	64	61	59	57	56	54	52
39	100	96	94	91	88	85	82	80	77	75	73	71	68	66	64	62	59	58	56	54	53
40	100	97	94	91	88	85	82	80	78	76	73	71	68	66	64	62	60	58	57	55	54
41	100	97	94	91	88	85	83	80	78	75	73	71	68	66	65	63	61	59	58	56	54
42	100	97	94	91	88	85	83	80	78	76	73	71	69	67	65	63	61	59	58	56	55
43	100	97	94	91	88	86	83	81	78	76	73	72	69	67	65	64	62	60	59	57	55
44	100	97	94	91	89	86	83	81	78	76	74	72	70	68	66	64	63	61	59	57	55
45	100	97	94	91	89	86	84	81	79	77	75	72	70	68	66	65	63	61	59	57	56

## Л и т е р а т у р а

1. Малкинский В.Д. Контроль и испытания радиоаппаратуры. М.: Энергия, 1970.
2. Кальман И.Г. Воздействие факторов внешней среды на аппаратуру и элементы. Методы климатических и механических испытаний. М.: Энергия, 1971.
3. ГОСТ 16962-71, ГОСТ 19118-73, ГОСТ 16826-71, ГОСТ 20844-75.

### Лабораторная работа 3. Граничные испытания функционального узла РЭА методами математического моделирования на ЭВМ

**Ц е л ь р а б о т ы:** ознакомиться с методом проведения граничных испытаний функционального узла с помощью ЭВМ типа ЕС 1050.

#### Теоретические основы работы

Испытания являются неотъемлемой частью разработки и создания радиоаппаратуры. На этапе разработки наиболее предпочтительными являются методы испытаний, основанные на моделировании свойств элементов, функциональных узлов и РЭА в целом.

Таким испытаниям подвергают математическую модель функционального узла (ФУ), построенную на основе принципиальной схемы этого ФУ и вольт-амперных характеристик, входящих в нее элементов, с учетом ограничений, вытекающих из физической реализуемости и границ допустимых пределов измерения параметров по влажности, температуре, наибольшим напряжениям, допустимым отклонениям токов и напряжений от заданных значений.

При этом все виды испытаний и исследований, применяемые для предохранения места и времени появления постепенного отказа элемента, функционального узла или РЭА в целом, основанные на определении связи граничных значений параметров элементов с работоспособностью и надежностью РЭА, принято называть граничными испытаниями.

Целью испытаний является установление совокупности значений варьируемых параметров внешних или внутренних воздействий и модели, соответствующих границе работоспособности функционального узла, при этом для всех возможных совокупностей внешних и внутренних параметров учитывают лишь два состояния, соответствующие нормальному выполнению функциональным узлом заданных функций и режимом, при котором нарушается какое-либо или несколько условий функционирования.

Граничные испытания позволяют в процессе разработки выбрать варианты схем, параметры элементов, режимов работы и состава в трех этапах:

- 1) Определение критериев отказа РЭА, исходя из требований технического задания и условий работы,
- 2) Определение границ изменения факторов, влияющих на работоспособность РЭА (напряжений питания, внешние условия, параметры входного сигнала и т.д.), при которых РЭА сохраняет работоспособность.

3) Определение границ разброса параметров элементов РЭА, при которых она остается работоспособной в нормальных условиях или при заданных условиях эксплуатации.

При граничных испытаниях имитируют изменения параметров РЭА (резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, электронных и полупроводниковых приборов), влияющих на работоспособность.

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

$$Y_H < Y < Y_B$$

для всех выходных параметров.

В результате граничных испытаний получают область работоспособности РЭА в одномерном или двумерном пространстве.

### I. Методика проведения граничных испытаний

В простейшем случае граничные испытания проводят следующим образом:

В модели плавно или дискретно изменяется параметр какого-либо элемента  $X_i$ . В процессе этого изменения контролируются значения выходных параметров  $Y_i$ . Изменения параметра элемента  $X_i$  в ту и другую сторону от номинального значения производят до тех пор, пока не будет нарушено условие работоспособности хотя бы по одному выходному параметру  $Y_i$ . По полученным данным строят графики зависимостей

$$Y = f(x)$$

на которые наносятся предельные допустимые значения  $Y_H$  и  $Y_B$ . Через точки  $Y_H$  и  $Y_B$  проводятся прямые параллельно оси  $Y$ . Если из точек пересечения этих прямых с кривой  $Y = f(x)$  опустить перпендикуляр на ось  $X$ , 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 выходной параметр  $Y$  оказывает влияние не один, а несколько параметров

$$X_i, k, e, m$$

Для случая с двумя такими параметрами испытания осуществляют следующим образом:

Выделяются параметры элементов  $X_1$  и  $X_2$  с наибольшими коэффициентами влияния. Задается какое-то дискретное значение  $X_{1-1}$  первому параметру и варьируют параметр  $X_2$  в ту или другую сторону относительно среднего значения  $\bar{X}_2$  до нарушения условия работоспособности. Значения  $X_{2-1}$ , при которых условие работоспособности нарушилось, фиксируется. Затем параметру  $X_1$  задается новое значение  $X_{1-2}$  и вновь изменяется значение  $X_2$  в ту и другую сторону от  $\bar{X}_2$  до нарушения работоспособности.

Значения  $X_{2-2}$ , при которых произошло нарушение условий работоспособности также фиксируются.

Полученные таким образом сочетания значений  $X_1$  и  $X_2$ , при которых имели место нарушения работоспособности, являются координатами области работоспособности. Эти точки затем откладываются на плоскости в системе координат  $X_1$  и  $X_2$ .

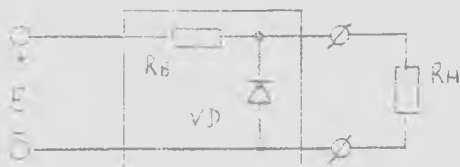
Соединяя эти точки строят область работоспособности в двумерном пространстве.

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

#### 4. Модель функционального узла

В качестве простейшей модели функционального узла примем параметрический стабилизатор напряжения на стабилитроне, широко применяемым в источниках питания, в ограничителях, в устройствах защиты, в качестве источников опорных напряжений для аналоговых и цифроаналоговых преобразователей и др.

Принципиальную схему функционального узла можно представить в следующем виде:



Здесь  $E$  - напряжение источника питания;  $R_b$  - балластный резистор;  $VD$  - полупроводниковый стабилитрон;  $R_n$  - нагрузочный резистор.

Критерием отказа выбранного функционального узла определим исходя из требований к допустимым изменениям выходного напряжения  $\Delta U$  на сопротивлении нагрузки  $R_H$  при изменении величины нагрузочного резистора  $R_H$  в пределах от  $R_{Hн}$  до  $R_{Hв}$

$$R_{Hн} < R_H < R_{Hв}$$

изменения напряжения на входе стабилизатора  $E$  в пределах его возможных отклонений:

$$(1-\delta)E_{ном} < E < (1+\delta)E_{ном}$$

где  $\delta$  - относительная нестабильность питающего напряжения при выполнении условий работы балластного резистора  $R_B$  и стабилитрона  $VD$  без отказов, обусловленных их перегрузкой по токам, мощности рассеяния энергии и напряжением.

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 может снижаться, что может быть задано в технических требованиях графически или аналитическими зависимостями, которые можно учесть при анализе отказных ситуаций.

Анализ принципиальной схемы стабилизатора показывает, что наиболее сильное влияние на выходные параметры, при выбранном типе стабилитрона, оказывают входное напряжение  $E$  и величина балластного резистора  $R_B$ , поэтому их можно выбрать в качестве переменных величин, в поле изменения которых и будет определена область безотказной работы (ОБР) с учетом изменения сопротивления нагрузки в пределах от  $R_{Hн}$  до  $R_{Hв}$ , вариаций входных напряжений из-за нестабильности питающей сети и при изменении температуры окружающей среды.

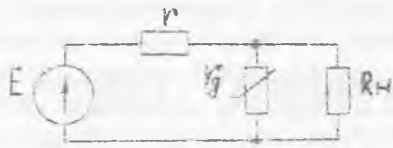
Для определения параметров функционального узла с целью определения его функционального состояния (отказ или нормальное функционирование) необходимо выполнять расчет его электрических параметров.

### 3. Методика расчета электрических параметров функционального узла

Для расчета электрического режима функционального узла при заданных его внешних и внутренних параметрах необходимо сос-

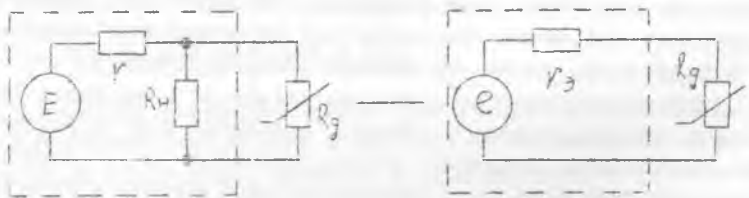
тавить уравнения его электрического состояния на основе идеализированной расчетной схемы (эквивалентная схема).

В расчетной схеме оперируют идеализированными параметрами элементов, вид которой для рассматриваемого случая может быть следующий.



При этом будем считать, что источник электродвижущей силы, балластное сопротивление  $r$  и сопротивление  $R_N$  нагрузки линейны, а вольт-амперная характеристика  $I_g$ , описывающая свойства стабилитрона описана в виде кусочно-линейной или иной зависимости, описанной в виде таблицы или аналитически. Для конкретности примем табличную форму описания вольт-амперной характеристики стабилитрона при условии, что точность линейной интерполяции промежуточных значений приемлема.

Для расчета цепи воспользуемся методом эквивалентного генератора и проведем соответствующие преобразования эквивалентной схемы



где 
$$R_3 = \frac{r \cdot R_N}{r + R_N} ; \quad e = \frac{R_N \cdot E}{r + R_N}$$

В этом случае расчет цепи сводится к поиску решения нелинейного уравнения:

$$e - r_3 \cdot I = U_{cm}(I) ;$$

в результате чего определяются величины тока  $I$  через стабилитрон и напряжения на нем  $U_{cm}$ .

Величина тока нагрузки может быть определяча по найденному значению  $U_{cm}$ , равному напряжению на нагрузочном резисторе и величине сопротивления нагрузки  $R_N$ :



$$J_H = \frac{U_{CT}}{R_H}$$

Ток  $J$  через балластный резистор определится как сумма токов через стабилизатор и нагрузку

$$J_C = J_H + J_{CT}$$

или по формуле

$$J_C = \frac{E - U_{CT}}{R_C}$$

Мощность рассеяния тепла, выделяемого на стабилизаторе определится как:

$$P_{CT} = J_{CT} \cdot U_{CT}$$

а мощность, выделяемая в виде тепла на балластном резисторе

$$P_C = J_C^2 \cdot R_C$$

Проведя расчеты цепи для различных сопротивлений нагрузки, различных напряжений источника питания (в заданных пределах их отклонений) и для различных температур окружающей среды (учитывая температурные изменения параметров вольт-амперной характеристики стабилизатора, температурные изменения сопротивления балластного резистора и допустимых значений мощностей токов и напряжений элементов схем можно определить:

а) пределы изменения выходного напряжения как

$$\delta = \frac{SUB(U_{CT1}, U_{CT2}, U_{CT3} \dots) - INF(U_{CT1}, U_{CT2}, U_{CT3} \dots)}{SUB(U_{CT1}, U_{CT2}, U_{CT3} \dots) + INF(U_{CT1}, U_{CT2}, U_{CT3} \dots)}$$

б) максимальные значения токов, напряжений и мощностей стабилизатора, балластного резистора,

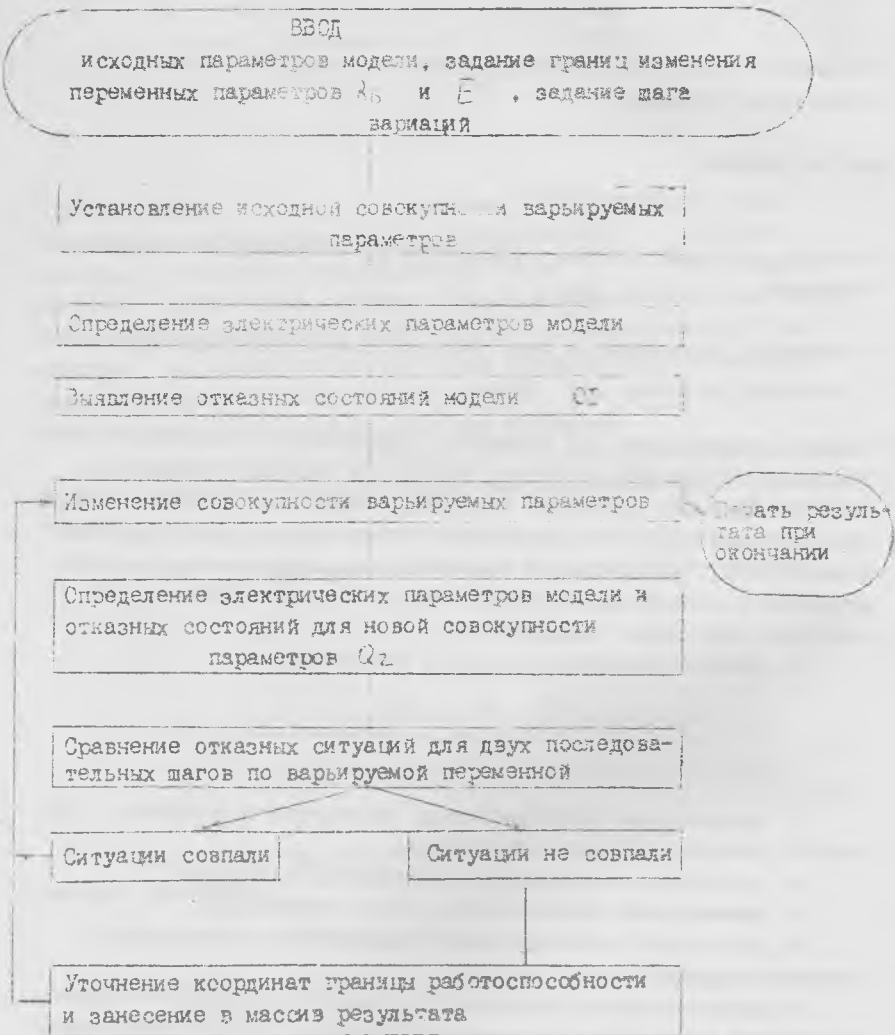
в) наибольшего напряжения на балластном резисторе,

г) минимального значения тока через стабилизатор,

д) 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.

#### 4. Углубленная схема вычислительной модели



## 5. Структура программы

Программа составлена на алгоритмическом языке Фортран и содержит:

4.1. ) Головную программу

4.2. ) Подпрограммы первого уровня:

а) исходной подготовки выходных массивов "CLIM" без параметров массивы, с которыми работает подпрограмма описаны в виде общих блоков.

Подпрограмма присваивает всем элементам массивов большое отрицательное число, необходимое для работы подпрограммы нахождения минимальных и максимальных элементов.

б) поиска максимального элемента "MAX" ( $X$ ,  $N$ ,  $XMAX$ ) с параметрами:  $X$  - массив значений из  $N$  элементов;  $XMAX$  - имя которому будет присвоено значение максимального элемента.

в) поиска минимального элемента массива ( $X$ ,  $N$ ,  $XMIN$ ), параметры аналогичны подпрограммам MAX.

г) определения электрических параметров модели для заданной совокупности исходных величин - "MODEL" ( $K, E, C, R_N$ )  $R$  - сопротивление балластное,  $E$  - напряжение источника,  $R_N$  - сопротивление нагрузки,  $U$  - напряжение на нагрузке определяется.

д) печати результата по столбцам из нескольких точек массива "RESN" ( $J, J1$ ), где  $J$  - количество столбцов чисел при печати результата  $J1$  - количество выводимых точек.

е) определения координат границы области безотказной работы "CKAK".

е) подпрограмма выявления ситуации отказа "ОТКАЗ".

4.3. ) Подпрограмма второго уровня определения тока через стабилизатор по заданному напряжению или напряжению по заданному току "VAX" ( $J3, U_c, M$ ) с параметрами  $J3$  - ток через стабилизатор,  $U_c$  - напряжение на стабилизаторе,  $M$  - параметр (при  $M = 2$  определяется ток по заданной величине  $U_c$ ).

4.4. ) Подпрограмма третьего уровня вложенности для линейной интерполяции вольтамперной характеристики стабилизатора "LIVT" ( $X1, X2, X, Y1, Y2, Y$ ) с параметрами  $X1, Y1$  - координаты первой заданной точки,  $X2, Y2$  - координаты второй точки,  $X$  - одна из заданных координат,  $Y$  - определяемая координата.

#### 4. Подготовка к выполнению работы

4.1. Получить у преподавателя исходные требования к параметрическому стабилизатору напряжения, в которых должны быть указаны:

- 4.1.1. Стабилизированное выходное напряжение  $50 \pm 5$  В;
- 4.1.2. Допустимая нестабильность выходного напряжения  $\pm 1,5\%$ ;
- 4.1.3. Наибольший ток (сопротивление) нагрузки  $[0,05]$  А (Ом);
- 4.1.4. Наименьший ток (сопротивление) нагрузки  $[0,01]$  А (Ом);
- 4.1.5. Нестабильность питающего напряжения  $\pm 10\%$ ;
- 4.1.6. Допустимое напряжение на балластном резисторе  $[20]$  В;

4.2. При подготовке к выполнению работы необходимо определить следующее:

- 4.2.1. Выбрать тип стабилизатора.
- 4.2.2. По справочным данным составить таблицу вольт-амперной характеристики выбранного стабилизатора (9 точек).
- 4.2.3. Определить (по справочным данным) допустимую мощность стабилизатора, его максимальные и минимальные токи;
- 4.2.4. Определить приближенные значения величины напряжения источника питания, сопротивления балластного резистора и его мощность.
- 4.2.5. Задать диапазоны вариаций напряжения источника питания и сопротивления балластного резистора.

#### 5. Порядок выполнения работы

5.1. Ввести исходные и подготовленные данные в программу, для этого необходимо выполнить следующее:

5.1.1. Войти в систему программирования ФОКУС и режим редактирования программ, для этого необходимо:

- а) при появлении приглашения надписи ФОКУС на экране дисплея нажать клавишу ВВОД на клавиатуре дисплея;
- б) при запросе на экране ВАШЕ ИМЯ набрать с помощью клавиатуры имя СТУДЕНТ и без пробела цифру-номер дисплея, после чего нажать клавишу ВВОД, после чего следует ввести пароль путем восьмикратного нажатия клавиши с порядковым номером данного дисплея. Затем нажать клавишу ВВОД;

в) последующими нажатиями клавиши ВВОД вызвать на экран дисплея список функций, на первой строке которого появится запись

## 1. РАЗДЕЛ ПРОГРАММИСТА

### 2. . . . .

Далее на клавиатуре набрать код "1" и нажать клавишу ВВОД. После появления на экране списка функций для пользования программистом войти в режим редактирования программ для чего необходимо набрать код 3 на клавиатуре и нажать кнопку ВВОД.

5.2. Выбрать из библиотеки головную программу граничных испытаний параметрического стабилизатора, для этого в самом начале первых трех строк дисплея с помощью клавиатуры сформировать запись

```
MITREA  
FOTON  
GRANI
```

после чего нажать клавишу ВВОД.

После копирования текста программы на экране дисплея появится первая страница исходных данных, первое слово первой строки которых идентифицирует задание.

Подводя курсор к символам этого идентификатора заменить буквы идентификатора задания на первые шесть букв своей фамилии, набранные латинским шрифтом с помощью клавиатуры дисплея.

Затем подводя курсор к числовым значениям исходных данных заменить имеющиеся числовые значения на требуемые исходные величины. После замены исходных данных на всем поле экрана установить курсор в нижнюю позицию, нажав голубую клавишу с символом  $\leftarrow$ , после чего в позиции курсора набрать букву 3 и нажать кнопку ВВОД, тем самым будет выполнено запоминание введенных изменений. Для продолжения списка исходных данных необходимо дополнительно нажать клавишу ВВОД, после чего на экране появится следующая страница исходных данных. Аналогично вносим соответствующие исправления исходных данных и на второй странице, после чего обязательно выполнить запоминание исправлений описанным выше способом.

После этого, проверив исправления исходных данных, с разрешения преподавателя можно произвести запуск задания на выполнение. Для этого нажимая клавишу  $\square$  погасить экран. После повторного нажатия этой клавиши на экране появится список функций из которых выбираем функцию под номером 8 "Запуск задания на выполнение". После вызова которой в позиции курсора набрать символ " " и нажать кнопку ВВОД. Эти действия приведут к считыванию исходных данных с дисплея и запуск программы для

проведения граничных испытаний по введенным исходным данным.

5.3. Проконтролируйте прохождение решения задачи по информации с экрана дисплея, который установлен в режиме ДИСПЛЕЙ-КОНСОЛЬ. По окончании решения войдите в режим просмотра решений. Для этого с помощью последовательного нажатия кнопок "К" и ВВОД вызвать на экран дисплея список функций программиста, где под номером 5 обозначен просмотр результатов, для выбора которого необходимо в позиции курсора набрать цифру 5 и нажать кнопку ВВОД. Затем укажите в каком классе надо просматривать решение путем ввода буквы "А" в позиции курсора и нажатия кнопки ВВОД. После этого на экране дисплея появятся пронумерованные по порядку названия задач, решенных к данному моменту времени. В месте курсора введите цифру - номер, стоящий перед вашим вариантом задачи, нажмите клавишу ВВОД, а затем в позиции курсора набрать цифру "0" и нажать кнопку ВВОД, при этом на экране дисплея появится результат граничных испытаний, в начале которого представлены оформленные специальным образом исходные данные.

#### б. Анализ результатов испытаний

В зависимости от исходных параметров, требования и диапазонов варьирования величины сопротивления балластного резистора и напряжения источника питания возможны три варианта результатов решений.

Первый вариант. Во всей области задания вариаций сопротивления балластного резистора и напряжения источника питания параметрический стабилизатор нормально функционирует и удовлетворяет предъявленным к нему требованиям. В этом случае результатом решения является сообщение "Устройство работоспособно во всей области задания параметров  $R$  и  $E$ " с указанием конкретных границ вариаций по  $R$  и  $E$ .

Второй вариант. Во всей области задания вариаций сопротивления балластного резистора и напряжения источника питания не обеспечивается работоспособность параметрического стабилизатора в соответствии с заданными требованиями и свойствами его элементов. В этом случае результатом испытаний является сообщение "Устройство не работоспособно во всей области задания" параметров  $R$  и  $E$ , далее указывается диапазон вариаций по  $R$  и  $E$ , а также сообщение о характере отказов для предельных значений  $R$  и  $E$ .

Третий вариант. В области заданных вариаций по сопротивлению балластного резистора и напряжения источника питания существуют области нарушения условий работоспособности параметрического стабилизатора. В результатах испытаний содержится информация о координатах границы работоспособности устройства с указанием причины отказов на границе области безотказной работы и мощности, потребляемой от источника питания. Расшифровка причин отказов выполняется с помощью таблиц. Полученные результаты позволяют построить область безотказной работы в координатах  $K$  и  $I$  и определить номинальные значения  $K_{ном}$  и  $I_{ном}$  допустимые отклонения  $\delta K$  и  $\delta I$  от номинальных значений.

7. Таблица кодировки отказов

Код от- ка- зов	П р и ч и н а   о т к а з о в						
	Превышение мощности балл. рез.	Превышение мощности стабилиз. тр.	Превышение напряжен. балл. рез.	Белики колеба- ния вы- ходн. напряж.	Ток через стабили- трон больше допустим.	Ток через стабили- трон меньше ре- комендуем.	
	1	2	3	4	5	6	7
0	-	-	-	-	-	-	-
I	+	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	+	-
3	+	-	-	-	-	+	-
4	-	-	-	-	-	-	+
5	+	-	-	-	-	-	+
6	-	-	-	-	-	+	+
7	+	-	-	-	-	+	+
8	-	-	-	-	+	-	-
9	+	-	-	-	+	-	-
10 A	-	-	-	-	+	+	-
11 B	+	-	-	-	+	+	-
12 C	-	-	-	-	+	-	+
13 D	+	-	-	-	+	-	+
14 E	-	-	-	-	+	+	+
15 F	+	-	-	-	+	+	+
16 G	-	+	-	-	-	-	-
17 H	+	+	-	-	-	-	-
18 I	-	+	-	-	-	+	-

1	2	3	4	5	6	7
19	7	+	+	-	-	+
20	к	-	+	-	-	+
21	л	+	+	-	-	+
22	М	-	+	-	-	+
23	0	+	+	-	-	+
24	а	-	+	-	+	-
25	р	+	+	-	+	-
26	к	-	+	-	+	+
27	с	+	+	-	+	+
28	т	-	+	-	+	+
29	u	+	+	-	+	+
30	v	-	+	-	+	+
31	w	+	+	-	+	+
32	x	-	-	+	-	-
33	y	+	-	+	-	-
34	z	-	-	+	-	-
35	б	+	-	+	-	-
36	г	-	-	+	-	+
37	д	+	-	+	-	+
38	ж	-	-	+	-	+
39	з	+	-	+	-	+
40	и	-	-	+	-	-
41	й	+	-	+	-	-
42	л	-	-	+	+	-
43	п	+	-	+	+	-
44	у	-	-	+	+	+
45	ф	+	-	+	+	+
46	ц	-	-	+	+	+
47	ч	+	-	+	+	+
48	ш	-	+	+	-	-
49	щ	+	+	+	-	-
50	ь	-	+	+	-	-
51	ы	+	+	+	+	-
52	э	-	+	+	-	+
53	ю	+	+	+	-	+
54	я	-	+	+	-	+
55	#	+	+	+	-	+
56	ѣ	-	+	+	-	-
57	ѣ	+	+	+	-	-



	1	2	3	4	5	6	7
58	+	-	+	+	+	+	-
59	+	+	+	+	+	+	-
60	-	-	+	+	+	-	+
61	+	+	+	+	+	-	+
62	-	-	+	+	+	+	+
63	-	+	-	+	-	+	+

### 8. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема параметрического стабилизатора.
3. Исходные данные.
4. Графическое изображение вольтамперной характеристики стабилизатора.

5. Результаты расчетов, выполненные при подготовке исходных данных.

6. Результаты расчета, распечатка ЦПУ.

7. Графическое изображение области безотказной работы с нанесенными на нее выбранными значениями  $R_{ном}$  и  $E_{ном}$ , а также поле допусков для  $K$  и  $E$ .

8. Выводы и рекомендации по расширению области безотказной работы.

### 9. Контрольные вопросы

1. Какова методика проведения граничных испытаний?
2. Как построить вольтамперную характеристику стабилизатора по паспортным данным?
3. Как построить область безотказной работы?
4. Как выбрать номинальные значения  $E_{ном}$  и  $R_{ном}$  при заданных допусках для обеспечения минимального энергопотребления?
5. Какие возможные причины отказов параметрического стабилизатора?
6. Как учесть требования по обеспечению минимальных габаритов и веса при выборе элементов схемы?