

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени С. П. КОРОЛЕВА

ИСПЫТАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Лабораторные работы

КУЙБЫШЕВ 1982

ИСПЫТАНИЯ РЭА НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Цель работы — ознакомиться с испытаниями на воздействие температурных изменений, видами и методикой их проведения; устройством испытательных камер, методами измерения, поддержания и регистрации температуры; получить навык работы с испытательным оборудованием.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

1.1. 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 электронизоляционных 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

$$\rho = \rho_0^B T \text{ (Ом-см)},$$

где ρ_0 и B — постоянные величины, характерные для данного диэлектрика; T — абсолютная температура.

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

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1.8 \cdot 10^{12}}{\varepsilon f} \gamma_0 e^{-\frac{A}{T}},$$

где f — частота, Гц; γ_0 — удельная объемная проводимость

$[0 \text{ м} \times \text{см}]^{-1}$ при нормальной температуре; A — постоянная величина, характерная для данного диэлектрика.

Величина пробивного напряжения в зависимости от температуры изменяется по экспоненциальному закону

$$U_{\text{пр}} = k d e^{-\frac{a}{2} t},$$

где k — постоянная величина, характеризующая свойство данного диэлектрика при определенной частоте подводимого напряжения;

a — температурный коэффициент электрической проводимости;

d — толщина диэлектрика;

t — температура, $^{\circ}\text{C}$.

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:

$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha (t - t_0)],$$

где ρ_t и ρ_0 — величины удельных сопротивлений при температурах t и t_0 соответственно; величина α является температурным коэффициентом удельного сопротивления.

Очень сильно изменяется электропроводность полупроводниковых материалов при температурных изменениях.

Изменение параметров диэлектриков, проводников и полупроводников приводит к изменению параметров элементов конструкции РЭА, из которых они изготовлены, а следовательно, к изменению выходных параметров самой РЭА.

1.2. Влияние температуры на конструктивные элементы РЭА

Различие температурных коэффициентов расширения различных материалов, применяемых в РЭА, приводит к деформации деталей и узлов аппаратуры, растрескиванию, обрывам электрических цепей, появлению каналов проникновения влаги в материалы и приборы, образованию на границе раздела разнородных металлов интерметаллических соединений, разрушению 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 РЭА.

Понижение температуры отрицательно влияет на паяные соединения и швы. Обычная модификация олова: белое олово устойчиво при температурах $-13 \dots +100^\circ\text{C}$. При температурах ниже -13°C белое олово медленно переходит в серое. По мере снижения температуры до -50°C скорость разрушения олова возрастает. Это явление часто называют «оловянной чумой». В процессе перехода белого олова в серое металл 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 токо съемников из-за их обледенения.

При циклических изменениях окружающей температуры на поверхности и внутри РЭА конденсируется влага, которая, абсорбируясь через микротрещины, поры и зазоры между деталями, проникает в РЭА. Термоциклирование сопровождается разрушением паяных, сварных, клепаных 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 РЭА на воздействие температурных изменений

Для определения способности РЭА 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.

2 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА

Испытание на воздействие температурных изменений проводится в специальном испытательном оборудовании. В ГОСТ 10370-71 дается перечень оборудования, которое позволяет проводить следующие испытания: камера шкафная 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 КТХБ; камера сундучная для испытаний на воздействие тепла или холода.

Основные технические характеристики таких камер:

номинальный рабочий объем, м³;

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°С находится в твердом состоянии. В среде с температурой выше —78,5°С двуокись углерода испаряется, превращаясь 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 си-

стема). 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, термопары, термокарандаши и термокраски.

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 встроены 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 для 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. Основным 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 проводов, соединенных на одном конце пайкой, сваркой или скручиванием. Если поместить это соединение в место измерения температуры, а противоположные концы в нормальные условия или в ванну с тающим льдом, то между концами образуется разность температур, которая вызывает ток в замкнутой цепи. Термопары позволяют измерять температуры в любом требуемом диапазоне с погрешностью не более 1% от измеряемой величины.

Измерение температуры с помощью термокрасок и термокарнашай 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. Камера позволяет производить испытания на воздействие сухого тепла в диапазоне температур от 40 до 200°C с точностью поддержания заданной температуры $\pm 1^\circ\text{C}$. Градиент температуры по объему камеры не превышает 2°C. Постоянство заданной температуры в камере поддерживается с помощью терморегулятора, в состав которого входит ртутный контактный термометр.

В лабораторной работе в качестве испытуемой РЭА используется симметричный мультивибратор с коллекторно-базовыми связями, схема которого показана на рис. 1. Для такого мультивибратора период генерируемых им импульсов определяется формулой

$$T = 2C_0 R_0 \ln \frac{2E_K + I_{K0} R_0 + I_{K0} R_K}{E_K + I_{K0} R_0},$$

$$\text{т. е. } T = \varphi(C_0, R_0, E_K, I_{K0}, R_K),$$

а передний фронт импульсов определяется формулой

$$t_{\text{фн}} = 2,3 C_0 R_K.$$

Как видно из приведенных формул, такие параметры мультивибратора, как период T и передний фронт $t_{\text{фн}}$ являются функциями параметров элементов схемы мультивибратора C_0 , R_0 , R_K и I_{K0} . Эти параметры при изменении температуры окружающей среды изменяются, в результате чего изменяются и выходные параметры

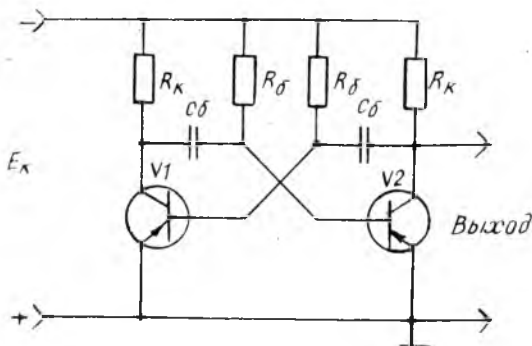


Рис. 1. Принципиальная схема симметричного мультивибратора

мультивибратора T и $t_{\text{фп}}$. Как изменяются эти выходные параметры при изменении температуры, необходимо исследовать в процессе выполнения работы.

Для измерения выходных параметров испытуемого мультивибратора в процессе испытаний в лабораторной работе используется осциллограф С1-15 и частотомер электронный ЧЗ-7. С помощью частотомера измеряется значение частоты генерируемых мультивибратором импульсов, а с помощью осциллографа — длительность переднего фронта импульсов.

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 изготавливаются элементы конструкции 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 в испытательных камерах?
9. Из каких составных частей состоит лабораторная установка? Характеристика каждой составной части.

6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

1. Расположить в рабочем объеме камеры испытываемое устройство (симметричный мультивибратор).
2. Включить осциллограф С1-15 и частотомер ЧЗ-7 и дать им проработать в течение 15 мин.
3. Подключить выходной кабель, идущий от испытуемого мультивибратора, ко входу частотомера и осциллографа, обращая внимание на то, чтобы вилки кабеля с обозначением «корпус» были включены в соответствующие гнезда осциллографа и частотомера, а вилки выхода мультивибратора — в соответствующие входные гнезда осциллографа и частотомера. Включить тумблер питания мультивибратора, установленный с левой нижней стороны на испытательной камере.

4. Установить на осциллографе С1-15 ручки:
 ДЛИТЕЛЬНОСТЬ — в положение $20 \mu S/cm$;
 множитель длительности — в положение $\times 1$;
 ЗАПУСК — в положение V ;
 СИНХРОНИЗАЦИЯ (внешняя) — в положение ИССЛЕД.
 СИГНАЛ;
 УСИЛЕНИЕ — в положение $2 V/cm$.
5. Ручками СИНХРОНИЗАЦИЯ (центральная) и ПОДСТРОЙКА СИНХРОНИЗАЦИИ добиться устойчивого изображения генерируемых мультивибратором импульсов на экране осциллографа, соответствующего тому, которое изображено на рис. 2.

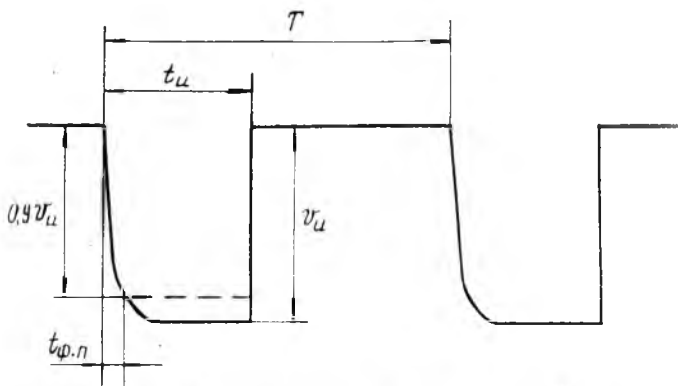


Рис 2. Осциллограмма выходных импульсов

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 $0,1-200 V$;
 тумблер режима работы в положение ИЗМ.
8. Произвести измерение частоты генерируемых мультивибратором импульсов и длительности переднего фронта их в нормальных условиях. Полученные данные занести в табл. 1.
9. Закрыть дверцу камеры. Установить на ртутном контактном термометре температуру $+40^\circ C$ и включить камеру. Дать выдержку до установления в камере температуры $+40^\circ C$ и еще 10 мин.
10. Произвести измерения частоты и переднего фронта импульсов мультивибратора.

11. Установить в камере последовательно температуру $+50^{\circ}\text{C}$, $+60^{\circ}\text{C}$, $+70^{\circ}\text{C}$, каждый раз давая выдержку по 10 мин после установки в камере заданного температурного режима и измерения частоту и длительность переднего фронта мультивибратора. Полученные данные занести в табл. 1.

Таблица 1

Измеряемый параметр	Температура					Примечание
	нормальные условия	$+40^{\circ}\text{C}$	$+50^{\circ}\text{C}$	$+60^{\circ}\text{C}$	$+70^{\circ}\text{C}$	
Частота, кГц						
Длительность фронта, мкс						

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Краткое описание лабораторной установки.
3. Данные измерений: таблица, графики зависимости.
4. Выводы о характере полученных зависимостей.

Литература

1. Малинский 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.: Знание, 1971.
3. ГОСТ 16962-71, ГОСТ 10370-71.

ИСПЫТАНИЕ РЭА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

Цель работы — ознакомиться с видами испытаний на воздействие повышенной влажности, методами их проведения, устройством испытательных камер, методами измерения влажности, получить навык работы с испытательным оборудованием.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

1.1. Влияние влажности на РЭА

Для лучшего понимания явлений, связанных с влажностью, необходимо уяснить некоторые свойства молекулы воды.

Как известно, молекула воды является асимметричной и состоит из двух положительно заряженных атомов водорода, связанных с отрицательно заряженными атомами кислорода. Благодаря такой структуре, молекула воды обладает «полярными характеристиками», влияющими на ее электрические свойства. Объемное сопротивление абсолютно чистой воды составляет примерно 20 МОм/см³. Однако вода является интенсивным растворителем и легко загрязняется. Вследствие этого сопротивление поверхности пленок изменяется в широких пределах. Диэлектрическая постоянная воды равна приблизительно 80 и почти не изменяется с изменением частоты, с ростом температуры значительно падает.

Тангенс угла потерь недистиллированной воды зависит от температуры и от частоты. На частотах выше 10 МГц молекула воды вследствие ее полярности начинает поглощать энергию электрических 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 парообразном состоянии относятся 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, содержащейся в воздухе при насыщении, изменяется с температурой в соответствии с тем же законом, что и давление паров. При понижении температуры насыщенного парами воздуха, пар частично конденсируется и превращается в жидкость.

Для оценки степени влажности наряду с понятием абсолютной влажности применяется понятие относительной влажности, равное отношению фактического давления паров к давлению паров в насыщенном состоянии.

Высокая влажность окружающего воздуха, особенно в сочетании с повышенной температурой среды, способствует быстрому разрушению аппаратуры. Как показывает опыт, при одновременном воздействии температуры и влажности интенсивность отказов радиоэлектронного и электротехнического оборудования выше, чем при любых иных воздействиях.

При работе аппаратуры во влажной атмосфере влага обволакивает ее снаружи и проникает внутрь. Водяная пленка на поверхности деталей и материалов быстро загрязняется и ионизируется, вследствие чего увеличивается ее проводимость. Появляются проводящие каналы, возникает емкостный эффект, обусловленный высоким значением диэлектрической постоянной. Емкостный эффект проявляется в изменении сопротивления изоляции, поверхностного сопротивления, индуктивности и емкости, коэффициента рассеяния и добротности, а также в уменьшении пробивного напряжения.

Пленка воды закорачивает между собой выводы элементов электронной аппаратуры.

Проникновение влаги в изделие сопровождается корродированием материалов, изменением размеров деталей, узлов и элементов конструкции, понижением в ряде случаев механической прочности, короткими замыканиями в электрических цепях, уменьшением объемного сопротивления изоляторов, изменением коэффициента усиления полупроводниковых устройств и коэффициента потерь диэлектриков с частотой, повышением диэлектрической постоянной материалов, появлением токов утечки и разрушением внутрисхемной разводки у полупроводниковых устройств и т. д. При высокой влажности среды увеличивается поглощение парами воды электромагнитной энергии.

1.2. Принципы получения испытательных режимов

Необходимая влажность воздуха может быть достигнута следующими способами: открытым — когда воздух соприкасается с открытой водной поверхностью; закрытым — когда влажность

достигается путем циркуляции воздуха через закрытое увлажнительное устройство.

Открытый способ, воспроизводящий природные условия увлажнения воздуха, хотя и прост, но практическое его применение ограничивается необходимостью строго поддерживать постоянство разности температур воздуха и воды, а также точности регулирования температуры в пределах психрометрической 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 цикле и степени его подогрева.

2 МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

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

Психрометрический метод основан на измерении так называемой психрометрической разности, т. е. разности между показаниями обычного сухого термометра, на баллон которого падает батис, смоченный водой. Психрометрическая 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 психрометрическом 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, животной 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 пятиоксида фосфора. Применяется для измерения влажности в очень широком диапазоне абсолютной влажности от $0,005 \text{ г/см}^3$ до 100 г/см^3 ;

сорбционно-весовой метод — определяется масса влаги M , содержащаяся в известном объеме V . Отношение этих величин дает абсолютную влажность $a = \frac{M}{V}$. 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. та 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 измерения давления взятой пробы газа в результате поглощения водяного пара сорбентом или вымораживания. Применяется в лабораторных условиях. Этот пар при необходимости подается в камеру для увеличения влажности.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В лабораторной работе в качестве испытуемой РЭА 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 колеба-

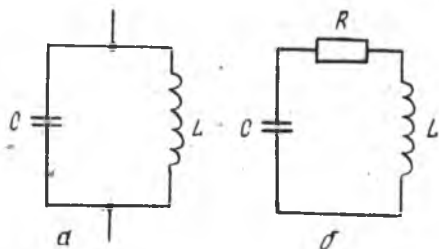


Рис. 3. Принципиальная (а) и эквивалентная (б) схемы колебательного контура

тельного контура определяется формулой

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

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

$$Q = \frac{r}{r} = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{r} = \frac{1}{2\pi f_0 C r}$$

где r — эквивалентное активное сопротивление элементов колебательного контура, Ом.

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 исследовать 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 испытуемого колебательного контура в процессе испытаний в лабораторной работе используется Q -метр типа УК-1.

С помощью Q -метра измеряется и резонансная частота и добротность колебательного контура.

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 приводит повышенная влажность окружающей среды?

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

5. Какие существуют методы измерения влажности воздуха?

6. В чем суть психрометрического метода измерения влажности воздуха?

7. В чем суть сорбционного метода измерения влажности воздуха? Назовите разновидности сорбционных методов.

8. На каких принципах базируются диффузионный и конденсаторный методы измерения влажности воздуха?

9. 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 МНОЖИТЕЛЬ 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 верньера ЕМКОСТЬ выставить на нуль.

2. Произвести измерение резонансной частоты и добротности колебательного контура при нормальных условиях. Для этого поворотом вправо ручек МНОЖИТЕЛЬ Q добиться того, чтобы стрелки приборов « Q » и МНОЖИТЕЛЬ Q находились на рабочей части шкал, затем медленным поворотом ручки частота МГц добиться максимального отклонения вправо стрелки прибора « Q ». При этом по приборам « Q » и МНОЖИТЕЛЬ Q определить добротность колебательного контура путем переключения значений показаний этих приборов и резонансную частоту по шкале частоты. Полученные значения частоты и добротность записать в табл. 2.

Таблица 2

Температура «сухого» термометра, °С				
Температура «мокрого» термометра, °С				
Относительная влажность				
Резонансная частота, МГц				
Добротность				

Психрометрическая таблица для температур от 0° до +45° по влажному термометру

Разность показаний сухого и влажного термометра

Показания влажного термометра С	Разность показаний сухого и влажного термометра																				
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
0	100	90	81	73	64	57	50	43	36	31	26	20	16	11	7	3					
1	100	90	82	74	66	59	52	45	39	33	29	23	19	16	11	7					
2	100	90	83	75	67	61	54	47	42	35	31	26	23	18	14	10					
3	100	90	83	76	69	63	56	49	44	39	34	29	26	21	17	13	10				
4	100	91	84	77	70	64	57	51	46	41	36	32	28	24	20	16	14	11			
5	100	91	85	78	71	65	59	54	48	43	39	34	30	27	23	19	17	13	10		
6	100	92	85	78	72	66	61	56	50	45	41	35	33	29	26	22	19	16	13	10	
7	100	92	86	79	73	67	62	57	52	47	43	39	35	31	28	25	22	18	15	12	11
8	100	92	86	80	74	68	63	58	54	49	45	41	37	33	30	27	25	21	18	15	14
9	100	93	86	81	75	70	65	60	55	51	47	43	39	35	32	29	27	24	21	18	17
10	100	94	87	82	76	71	66	61	57	53	48	45	41	38	34	31	28	26	23	21	19
11	100	94	88	82	77	72	67	62	58	55	50	47	43	40	36	33	30	28	25	23	20
12	100	94	88	82	78	73	68	63	59	56	52	48	44	42	38	35	32	30	27	25	22
13	100	94	88	83	78	73	69	64	61	57	53	50	46	43	40	37	34	32	29	27	24
14	100	94	89	83	79	74	70	66	62	58	54	51	47	45	41	38	36	34	31	29	26
15	100	94	89	84	80	75	71	67	63	59	55	52	49	46	43	41	37	35	33	31	28
16	100	95	90	84	80	75	72	67	64	60	57	53	50	48	44	42	39	37	34	32	30
17	100	95	90	84	81	76	73	68	65	61	58	54	52	49	46	44	40	39	36	34	31
18	100	95	90	85	81	76	74	69	66	62	59	56	53	50	47	45	42	40	37	35	33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
19	100	95	91	85	82	77	74	70	66	63	60	57	54	51	48	46	43	41	39	37	34
20	100	95	91	86	82	78	75	71	67	64	61	58	55	53	49	47	44	43	40	38	36
21	100	95	91	86	83	79	75	71	68	65	62	59	56	54	51	49	46	44	41	39	37
22	100	95	91	87	83	79	76	72	69	65	63	60	57	55	52	50	47	45	42	40	38
23	100	96	91	87	83	80	76	72	69	66	63	61	58	56	53	51	48	46	43	41	39
24	100	96	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	68	65	63	59	58	54	52	50	47	45	44	42
26	100	96	92	88	85	81	78	74	71	68	65	63	60	58	55	53	51	49	46	45	43
27	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	66	64	61	59	56	54	51	50	47	46	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	96	93	89	85	83	80	77	74	72	69	67	64	61	59	57	55	54	51	50	48
32	100	97	93	89	87	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	89	87	83	81	79	76	74	71	69	67	65	62	60	58	56	55	52	51
36	100	96	93	89	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	69	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	68	66	65	63	61	59	58	56	54
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	57

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

5. По мере увеличения влажности производить измерение относительной влажности и соответствующего значения резонансной частоты и добротности колебательного 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_0 и Q от относительной влажности.
4. Выводы о характере полученных зависимостей

Литература

1. *Малинский 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.

Составитель *Христюк Виктор Алексеевич*

ИСПЫТАНИЕ РЭА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Лабораторная работа № 1

Редактор Л. Соколова
Техн. редактор Н. Каленюк

Сдано в набор 16.02.82 г. Подписано в печать 10.03.82 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага оберточная белая. Высокая печать. Литературная гарнитура.
Уч.-изд. л. 0,98. Усл. п. л. 1,16. Тираж 300 экз. Заказ № 154. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт
имени С. П. Королева, г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.

Цель работы — ознакомиться с испытаниями на воздействие вибрационных нагрузок, видами и методами их проведения, устройством вибростендов, методами измерения вибрационных нагрузок, получить навык работы с испытательным оборудованием.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

1.1. Механические воздействия на РЭА

В зависимости от назначения и места установки РЭА может подвергаться различным механическим воздействиям, к которым относятся вибрации, удары, линейное (центробежное) ускорение, звуковое давление.

Влияние механического удара на изделие выражается в приложении к его конструкции нагрузки, уровень которой близок, а порой превосходит допустимый для данного изделия. Величина перегрузки при ударе, характер и скорость распространения напряжений по изделию определяются силой удара, продолжительностью, характером изменения ускорения во времени и собственной частотой колебаний деталей и элементов конструкции. Совпадение собственных частот колебаний обуславливает резонансные явления, которые приводят к возникновению больших усилий, разрушающих изделие. В большинстве случаев под воздействием удара наступает механическое разрушение конструкций изделий.

Вибрация, создаваемая двигателями, энергетическими установками, винтами, лебедками и различным электрическим оборудованием, вызывает короткое замыкание и обрыв электрических цепей элементов аппаратуры, выход из строя крепежных приспособлений, разгерметизацию, разрушение конструкции изделия усталостного характера.

Акустический шум отрицательно влияет на относительно крупные изделия. Полупроводниковые приборы, изделия микроэлектро-

ники мало подвержены разрушительному воздействию звукового давления. Действие акустического шума на аппаратуру не зависит от степени ее амортизации и способа крепления или монтажа. Основную роль в этом случае играет величина усилия, которая определяется уровнем звукового давления и площадью изделия.

При акустических испытаниях механизмы разрушительного воздействия вибрации и звукового давления аналогичны рассмотренным.

К изделиям, предназначенным для функционирования в условиях воздействия механических нагрузок, предъявляют требования по прочности и устойчивости при воздействии этих нагрузок. К изделиям, не предназначенным для функционирования в условиях воздействия механических нагрузок, предъявляют требования только по прочности при воздействии этих нагрузок. Наиболее часто РЭА испытывает воздействие вибрации, которая может возникать при транспортировании, работе различных механизмов, а также при эксплуатации аппаратуры на подвижных объектах.

1.2. Виды испытаний РЭА на воздействие вибрационных нагрузок

Согласно ГОСТ 16962-71 предусматриваются следующие виды испытаний на воздействие вибрационных нагрузок:

на обнаружение резонансных частот, которое проводят с целью определения резонансных частот изделий или их отдельных деталей и узлов;

на виброустойчивость, которое проводится с целью проверки способности изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах значений, указанных в стандартах, в условиях вибрации в заданном диапазоне частот и ускорений;

на вибропрочность длительное;

на вибропрочность кратковременное.

Последние два испытания проводятся с целью проверки способности изделий противостоять разрушающему действию вибрации и сохранять свои параметры в пределах значений, указанных в стандартах после ее воздействия.

Испытание на воздействие вибрационных нагрузок производится на вибростендах.

Основные технические характеристики вибростендов:

диапазон частот вибраций, Гц;

амплитуда вибрации на низких частотах, мм;

ускорение вибрации в единицах, g ;

максимально допустимый вес испытываемого изделия, кг.

1.3. Принципы построения вибростендов

Существует большое количество конструкций вибростендов. Наибольшее распространение получили вибростенды, использующие механические и электромеханические приводы.

Механические используются главным образом двух типов: центробежные и эксцентрикные.

В вибростенде с центробежным приводом (рис. 1) вибрация получается в результате действия центробежной силы, возникающей от вращения дисбалансов, которые закреплены на валах под разными радиальными направлениями. Обуславливаемая этим неуравновешенность приводит к возникновению центробежных сил. Горизонтальные составляющие взаимно компенсируются, а вертикальные складываются. Суммарная составляющая изменяется по синусоидальному закону и создает вибрацию.

Величина амплитуды вибрации устанавливается и регулируется величиной угла разбаланса.

Частота колебаний такого стенда регулируется скоростью вращения вала и устанавливается посредством редуктара.

Центробежные вибростенды позволяют получить вибрацию с частотой до 200 Гц при ускорении до 25 g и амплитуде 0,05—3 мм.

Принцип действия эксцентрикного вибростенда виден из рис. 2.

Частота вибрации определяется скоростью вращения вала, а амплитуда — эксцентриситетом. Из-за сильного износа при больших скоростях вращения стенды такой конструкции используются для получения вибрации до 60 Гц при ускорении до 15 g и амплитуде 0,4—2 мм.

Наибольшее распространение в последние годы получили электродинамические стенды.

Вибростенд подобного типа (рис. 3) представляет собой электромагнитную систему, состоящую из постоянного магнита и подвижной звуковой катушки. Стол вибростенда, связанный со звуковой катушкой, подвешен на мембранах. При протекании тока звуковой частоты по обмотке подвижной катушки от взаимодействия магнитных полей возникает сила, которая заставляет подвижную

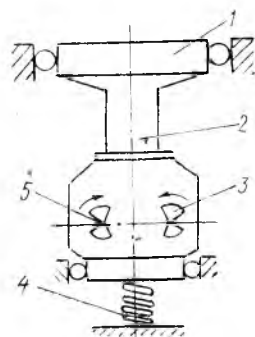


Рис. 1. Принципиальная схема вибростенда с центробежным приводом: 1 — рабочий стол; 2 — шток; 3 — секторы (дисбалансы); 4 — пружина; 5 — валы вращения секторов

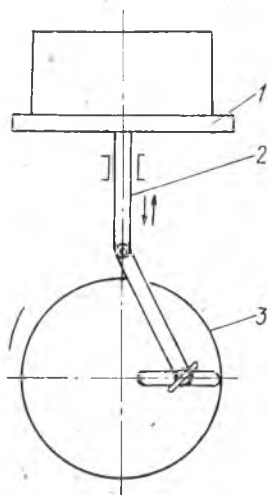


Рис. 2. Принципиальная схема вибростенда с кривошипно-шатунным (эксцентриковым) приводом: 1 — рабочий стол с испытуемым объектом; 2 — шток; 3 — эксцентрик с переменным эксцентриситетом

катушку, а с нею и стол вибростенда вибрировать с частотой, равной частоте тока в обмотке катушки. Такие стенды обеспечивают вибрацию свыше 20 кГц при ускорении до 100 g и максимальную амплитуду смещения до 20 мм.

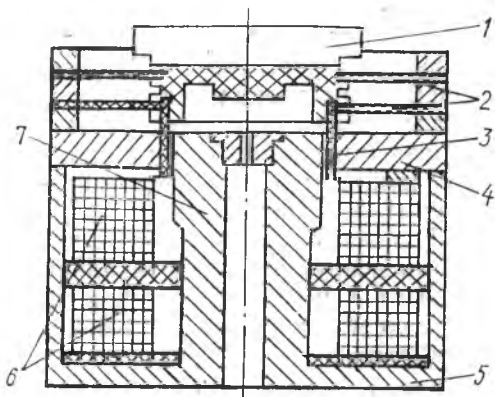


Рис. 3. Электродинамический вибростенд: 1 — рабочий стол; 2 — мембрана; 3 — звуковая катушка; 4 — крышка; 5 — корпус; 6 — катушка электромагнита; 7 — керн

2 ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ

В испытательной технике под контролем вибрации понимается в первую очередь измерение частоты, амплитуды (размаха) колебаний и вибрационного ускорения. Существует много способов контроля вибрации. В зависимости от метода измерения параметров вибрации виброизмерительную аппаратуру можно разделить на три класса: 1 — электрических, 2 — механических, 3 — оптических приборов.

Применение электронных схем, состоящих из датчика, усилителя и регистрирующего устройства, позволяет получать наиболее полную информацию о колебательном процессе.

В качестве датчиков у подобных систем широко применяют пьезоэлектрические, электродинамические, электромагнитные, индуктивные, трансформаторные, реостатные и емкостные преобразователи.

Простейшая конструкция электродинамического датчика представлена на рис. 4, а.

Создано большое количество типов таких датчиков. Все они

имеют низкую собственную частоту и достаточно высокую чувствительность.

Электромагнитный датчик принципиально выглядит так, как показано на рис. 4, б. Вибрация, действуя на магнитопровод, прижатый к вибрирующей поверхности, вызывает изменение магнитного потока, которое обуславливает появление в катушке э.д.с. пропорциональной скорости вибрации.

Большим недостатком таких датчиков является зависимость точности измерения от правильности ориентации и степени прижатия шупа.

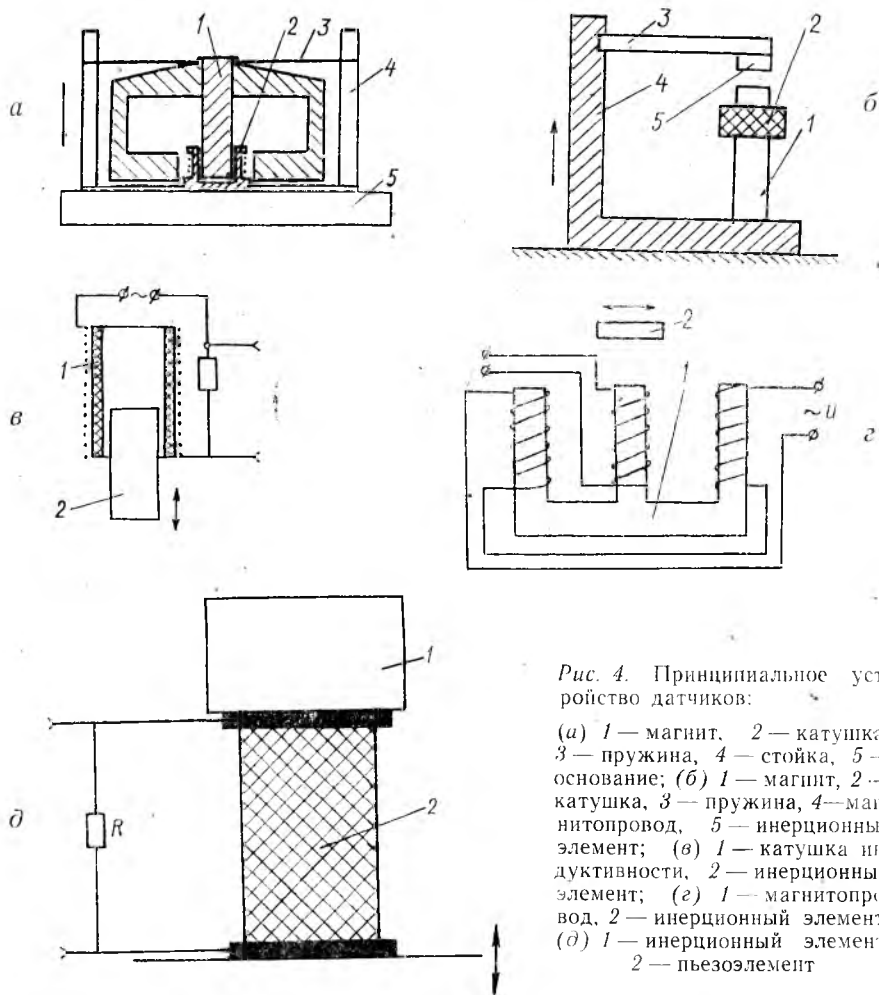


Рис. 4. Принципиальное устройство датчиков:

- (а) 1 — магнит, 2 — катушка, 3 — пружина, 4 — стойка, 5 — основание; (б) 1 — магнит, 2 — катушка, 3 — пружина, 4 — магнитопровод, 5 — инерционный элемент; (в) 1 — катушка индуктивности, 2 — инерционный элемент; (г) 1 — магнитопровод, 2 — инерционный элемент; (д) 1 — инерционный элемент, 2 — пьезоэлемент

Существуют другие конструкции электромагнитных датчиков, лишенные указанных недостатков.

Электромагнитные датчики так же, как и электродинамические, обладают рядом таких достоинств, которые выделяют их из числа других: простота конструкции, высокая чувствительность и надежность, широкий диапазон рабочих частот и амплитуд.

Главным недостатком их является ограниченность диапазона измеряемых частот (при сохранении тех же габаритов и чувствительности): 5—7 Гц снизу и несколько тысяч герц сверху.

Индуктивный датчик представляет собой устройство, в котором под действием вибрации в электрической схеме регистрирующего блока изменяется индуктивность. На рис. 4, в показана принципиальная схема индуктивного датчика.

Индуктивные датчики малочувствительны к внешним условиям и очень экономичны. Во многих случаях сигнал, вырабатываемый этими преобразователями, нет необходимости усиливать.

Основными недостатками этих датчиков являются: малый линейный участок амплитудной характеристики; зависимость чувствительности преобразователя от емкости проводов и нестабильности несущей частоты; нестабильность нуля, обуславливаемая разбалансировкой плеч и др.

Трансформаторный дифференциальный датчик Ш-образной формы состоит из трех катушек, две из которых питаются переменным током, а в цепь третьей включен измерительный прибор. Когда датчик находится в состоянии покоя, якорь пребывает в нейтральном положении и ток в цепи катушки отсутствует. При смещении якоря в какую-либо сторону под действием вибрации нарушается симметрия и в цепи измерителя течет ток, частота которого определяется частотой питающего напряжения. Если якорь является инерционным элементом, то при вибрации в цепи измерительной катушки образуются модулированные колебания.

Для датчиков такого типа характерна ограниченность измеряемого частотного диапазона сверху, поскольку частота вибрации должна быть значительно меньше несущей частоты, питающей мост. Снизу частотный диапазон не ограничен.

Датчики с изменяющимся сопротивлением представляют собой приборы, чувствительный элемент которых — омическое сопротивление — изменяет свою величину соответственно колебаниям исследуемого объекта, связанного с этим сопротивлением. При этом в цепи изменяется ток, и шлейф осциллографа записывает колебания тока, величина которых пропорциональна вибрации.

Изменение сопротивления достигается: изменением активной длины сопротивления при помощи скользящего контакта, сочлененного с вибрирующей поверхностью, — реостатные датчики; изменением величины сопротивления металлических проводников при их

деформации — тензодатчики или проволочные датчики сопротивления.

Тензодатчики просты, компактны, практически безынерционны и дешевы. Их чувствительность не зависит от частоты.

Недостатками этих датчиков являются температурная зависимость, зависимость от направления деформации (перпендикулярное к измеряемому) и неудобство, связанное с наклейкой.

Пьезоэлектрический датчик основан на использовании пьезоэффекта, который присущ веществам, имеющим кристаллическую структуру с ионными решетками.

Пьезоэффект наиболее ярко выражен у сегнетоэлектриков: сегнетовой соли, титаната бария, цирконата титаната свинца и др. Эти материалы характеризуются диэлектрическим гистерезисом и очень большой диэлектрической проницаемостью, зависящей от напряженности внешнего электрического поля.

Принципиальное устройство пьезодатчика показано на рис. 4, д. С сопротивления R снимается напряжение, пропорциональное деформации пьезоэлемента.

Наибольшее распространение получили пьезоэлектрические датчики. Этому способствует их простота, миниатюрность, прочность и надежность, высокая частота собственных колебаний.

К электрическим датчикам относятся также механотроны и акселетроны. Принцип действия их основан на измерении характеристик электронных и ионных ламп при относительном перемещении их электродов.

Механотрон представляет собой электронную лампу с подвижным анодным электродом. При вибрации этот электрод, укрепленный на гибкой пружине внутри баллона, под действием инерционной силы смещается, и анодный ток становится функцией контролируемого ускорения.

Изменение расстояния между электродами при постоянном напряжении на них обуславливает изменение анодного тока лампы. Чувствительность по току у этих датчиков достигает 100 мА на миллиметр смещения анода, а по напряжению — десятых долей вольта на микрон.

Характерной особенностью такого датчика является высокая чувствительность к напряжению и экономичность. Приборы потребляют незначительную мощность. С помощью механотронов можно измерять вибрацию в диапазоне частот от 1 до 800 Гц при ускорении до 25 g .

К недостаткам датчиков этого типа относится низкая вибропрочность, трудность создания центрированной конструкции, необходимость высокого анодного напряжения и предварительного прогрева прибора, а также заметный дрейф нуля.

Из механических и оптических приборов, в той или иной степени используемых в настоящее время при механических испытаниях

изделий, следует назвать ручной виброграф, ручной амплитудомер, виброизмеритель с круговой шкалой, мерный клин, стробоскоп, зрительную трубу (микроскоп) и различные фотоустановки.

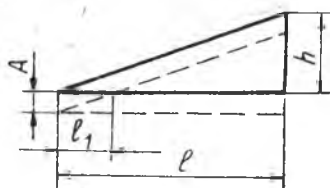


Рис. 5. Мерный клин

Мерный клин (рис. 5) применяют для ориентировочного определения амплитуды прямолинейной вибрации. Метод базируется на способности глаза различать разные положения клина при вибрации. Основание клина градуируется, и по нему определяется амплитуда вибрации. Таким методом можно измерить амплитуды до 0,1 мм. Чтобы использовать этот метод, достаточно вычертить на бумаге мерный клин и наклеить его на испытуемое изделие.

точно вычертить на бумаге мерный клин и наклеить его на испытуемое изделие.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В лабораторной работе в качестве испытуемой РЭА используются две радиостанции типа 43 РЗ, предназначенные для осуществления симплексной, бесподстроечной и беспоисковой связи. Радиостанции работают в ультракоротковолновом диапазоне частот (148...174 мГц) с частотной модуляцией сигнала и имеют три фиксированных канала с разномом частот между ними 75 кГц. Мощность передатчика, выделяемая на эквиваленте антенны (активное сопротивление 75 Ом), не менее 4 Вт.

Одна из радиостанций устанавливается на вибростенде и работает в режиме передачи, а вторая — вне вибростенда и работает в режиме приема. В процессе испытаний на радиостанцию, установленную на вибростенде, воздействуют вибрацией определенной частоты и амплитуды, при этом передатчик ее находится во включенном состоянии, и на вход его подается модулирующий сигнал звуковой частоты. О воздействии вибрации на работу передатчика судят по изменению сигнала на выходе приемника радиостанции, установленной вне вибростенда.

В качестве испытательного оборудования в лабораторной работе используется вибростенд электродинамического типа.

Основные технические характеристики:

диапазон частот	20...60 Гц;
диапазон амплитуд	0... ±8 мм;
диапазон ускорений	
при холостом ходе	0...10 g;
при нагрузке 5 кг	0...4 g;
максимальный вес испытуемого объекта	5 кг;

Вибростенд выполнен в виде двух конструктивно обособленных частей: электродинамической приводной системы и шкафа обслуживания.

На шкафу обслуживания расположены все органы управления вибростендом и органы индикации его состояния. Внутри шкафа размещены блоки электропитания катушки электромагнита и звуковой катушки электродинамической приводной системы. Для измерения величины вибрационного воздействия на радиостанцию используется прибор для измерения ускорения ПИУ-1М с пьезоэлектрическим датчиком и виброизмерительный прибор ВИП-2 с вибродатчиком.

В качестве источника модулирующего сигнала передатчика испытываемой радиостанции используется звуковой генератор ЗГ-10.

О воздействии вибрации на радиостанцию судят по характеру изменения напряжения на выходе приемника радиостанции, установленной вне вибростенда. Это напряжение наблюдается на экране осциллографа С1-19Б.

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К РАБОТЕ

1. Какова цель работы?
2. Какое воздействие на РЭА оказывают удары?
3. К каким вредным последствиям может привести воздействие на РЭА вибрации?
4. В чем отличительная особенность воздействия на РЭА акустического шума? К каким вредным последствиям приводит это воздействие?
5. Какие существуют разновидности испытаний на воздействие механических нагрузок?
6. Какие принципы построения вибростендов получили наибольшее распространение?
7. Назвать принципы построения датчиков для измерения параметров вибрации.
8. Параметры вибрационного воздействия. В каких случаях задается амплитуда вибрации? Величина ускорения? Почему?
9. Каковы основные технические характеристики вибростенда, используемого в лабораторной работе?
10. Из каких составных частей состоит лабораторная установка? Дайте характеристику каждой составной части.

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

1. Включить звуковой генератор ЗГ-10 и произвести его настройку, для этого установить тумблер включения сети в положение ВКЛ.; переключатель МНОЖИТЕЛЬ в положение « $\times 10$ »; ручку шкалы частоты на деление 100; ручкой РЕГ. ВЫХ. НАПР. по шкале вольтметра напряжение 12 В.

Остальные органы управления генератора ЗГ-10 в процессе выполнения работы и после ее окончания трогать *воспрещается*.

2. Соединить выход звукового генератора со входом передатчика радиостанции, установленной на вибростенде.

3. Включить радиостанцию, установленную на вибростенде, в режиме передачи. Для этого на блоке питания этой радиостанции тумблер включения сети переключить в верхнее положение—ВКЛ.

4. Включить радиостанцию, установленную вне вибростенда, в режиме приема. Для этого на блоке питания этой радиостанции тумблер включения сети переключить в верхнее положение—ВКЛ. Ручкой РЕГ. ГРОМК. установить необходимую громкость сигнала в динамике радиостанции.

5. Включить осциллограф С1-19Б и произвести его начальную настройку. Для этого:

тумблер СЕТЬ установить в верхнее положение;

ручками ЯРКОСТЬ и ФОКУС отрегулировать необходимую яркость и четкость развертки луча на экране;

ручками вертикального смещения « \updownarrow », горизонтального смещения « \leftrightarrow » и УСИЛЕНИЕ X установить развертку луча так, чтобы она проходила по горизонтальной оси, симметрично вертикальной и вся находилась в пределах экрана осциллографа;

ручку УСИЛЕНИЕ У установить в среднее положение;

внутренний переключатель СИНХРОНИЗАЦИЯ переключить в положение ПЕР.;

ручку ДЛИТ. РАЗВЕРТКИ плавно установить в среднее положение.

Остальные органы управления осциллографа в процессе выполнения работы и после ее окончания трогать *воспрещается*.

6. Подсоединить вход осциллографа С1-19Б к выходу приемника радиостанции (гнезда КОНТРОЛЬ), установленной вне вибростенда.

7. Ручкой УСИЛЕНИЕ У осциллографа добиться того, чтобы величина развертки сигнала на экране лежала в пределах десяти клеточек. Внутренний переключатель СИНХРОНИЗАЦИЯ, переключить в положение ЖД. и ручкой УРОВЕНЬ СИНХР. добиться устойчивой развертки сигнала. Ручкой ДЛИТ. РАЗВЕРТКИ ПЛАВНО добиться того, чтобы на экране осциллографа развертывалось порядка десяти периодов входного сигнала.

8. Включить вибростенд. ВНИМАНИЕ! Перед включением вибростенда ручки регулятора амплитуды и установки частоты установить в нулевое положение. Для включения вибростенда необходимо проделать следующие манипуляции:

переключатель ВКЛ. --ВЫКЛ. установить в положение ВКЛ.;

нажать зеленую кнопку ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ;

тумблер **ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ** установить в верхнее положение; с интервалом в 15 с произвести включение трехступенчатого переключателя, расположенного справа на передней вертикальной стенке шкафа обслуживания;

тумблер **ПИТАНИЕ МАГНИТА** переключить в верхнее положение;

ручкой **ГРАДУИРОВАТЬ** добиться нулевых биений стрелки прибора, расположенного над ручкой;

ручкой **ЧАСТОТА** установить частоту вибраций 20 Гц.

9. Включить виброизмерительный прибор ВИИ-2, для этого: переключатель **ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ** установить на деление « $\frac{100}{1000}$ » ;

тумблер **СЕТЬ** на блоке питания установить в верхнее положение;

переключатель **РОД РАБОТЫ** установить в положение **КОНТР. ПИТАНИЯ**, при этом стрелка прибора должна установиться на треугольной отметке прибора (цифра 8), что свидетельствует о нормальной величине напряжения питания;

переключатель **РОД РАБОТЫ** переключить в положение «*п*».

10. Прикоснуться щупом вибродатчика к платформе вибростенда, медленно вращая ручку регулятора амплитуды вибростенда, установить размах вибросмещения, равный 1 мм по показаниям виброизмерительного прибора ВИИ-2.

11. Продолжая воздействовать вибрацией с частотой 20 Гц и размахом 1 мм на радиостанцию, зафиксировать характер изменения сигнала, наблюдаемого на экране осциллографа, после чего ручку регулятора амплитуды вибростенда установить на нуль.

12. Ручкой **ЧАСТОТА** вибростенда установить частоту вибраций 200 Гц.

13. Включить прибор для измерения ускорения ПИУ-1М, для чего:

тумблер **ВКЛЮЧЕНО** переключить в верхнее положение;

переключатель **ДИАПАЗОНЫ** установить в положение **К** и вращением ручки **КАЛИБРОВКА** добиться установки стрелки прибора на риску **К**;

переключатель **ДИАПАЗОНЫ** переключить в положение «15».

14. Медленным вращением ручки регулятора амплитуды вибростенда установить ускорение вибрационного воздействия 10 *g* по показаниям ПИУ-1М.

15. Продолжая воздействовать вибрацией с частотой 200 Гц и ускорением 10 *g* на радиостанцию, зафиксировать характер изменения сигнала, наблюдаемого на экране осциллографа, после чего ручку регулятора амплитуды вибростенда установить на нуль.

16. Выключить вибростенд в последовательности, обратной включению,

17. Выключить радиостанции, звуковой генератор, осциллограф, виброизмерительный прибор и прибор для измерения ускорения переключением тумблера включения питания в нижнее положение.

6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Краткое описание лабораторной установки.
3. Данные измерений.
4. Выводы о характере полученных данных.

Литература

1. *Малинский В. Д.* Контроль и испытания радиоаппаратуры. М.: Энергия, 1970.
2. *Кельман И. Г.* Воздействие факторов внешней среды на аппаратуру и элементы. Методы климатических и механических испытаний. М.: Энергия, 1971.
3. ГОСТ 16962-71.

Составитель *Христюк Виктор Алексеевич*

ИСПЫТАНИЕ РЭА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ

Лабораторная работа № 2

Редактор Л. Соколова
Техн. редактор Н. Каленюк

Сдано в набор 16.02.82 г. Подписано в печать 10.03.82 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага оберточная белая. Литературная гарнитура. Высокая печать.
Усл. п. л. 0.7. Уч.-изд. л. 0.65. Тираж 300 экз. Заказ № 155. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт
имени С. П. Королева. г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Заметки

Цель работы: ознакомление с методами исследования функциональной надежности узлов РЭА с помощью физического моделирования.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

На начальных этапах разработки конструкции РЭА для определения возможности ее функционирования при воздействии некоторых объективных эксплуатационных факторов широко применяются испытания методами моделирования, основа которых состоит в следующем.

Как известно, выходные параметры РЭА, которые можно рассматривать как m -мерный вектор $Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_i, \dots, y_m)$, связаны с параметрами элементов конструкции, которые можно рассматривать как n -мерный вектор $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n)$, определенной функциональной связью

$$Y = F_x(X). \quad (1)$$

В технических требованиях на РЭА обычно указываются допустимые пределы изменения выходных параметров $y_{i,н}$ и $y_{i,в}$, которые определяют работоспособность РЭА. РЭА считается работоспособной, если выполняются условия работоспособности

$$y_{jн} < y_i < y_{iв} \quad (2)$$

для всех m -выходных параметров.

Каждый параметр элементов конструкции РЭА можно рассматривать как сумму, состоящую из двух слагаемых

$$x_i = \bar{x}_i + \Delta x_i, \quad (3)$$

где \bar{x}_i — номинальное значение параметра элемента — величина неслучайная, априорно известная, так как задается в ТУ на элемент;

Δx_i — отклонение от номинального значения, которое получается вследствие воздействия на элемент объективных эксплуатационных факторов.

Из всех объективных эксплуатационных факторов на параметры элементов наибольшее влияние оказывают такие факторы как начальный технологический разброс параметров элементов, температурные изменения в процессе эксплуатации и процессы старения материалов, из которых изготавливаются элементы.

Каждый из этих факторов вызывает соответствующее изменение параметра элемента. Следовательно, отклонение $\Delta \bar{x}_i$ можно представить в виде суммы

$$\Delta x_i = \Delta x_i t_0 + \Delta x_i t^0 + \Delta x_i t, \quad (4)$$

где $\Delta x_i t_0$, $\Delta x_i t^0$, $\Delta x_i t$ — изменения, вызванные воздействием начального технологического разброса, температурных изменений и процессов старения соответственно.

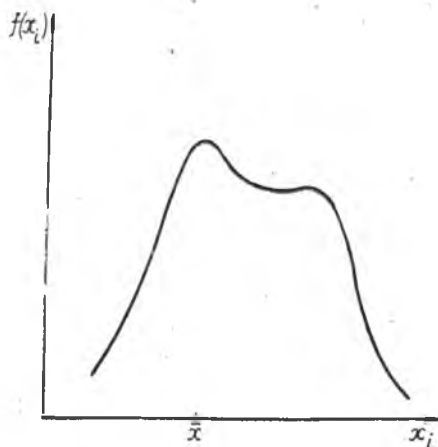


Рис. 1. Плотность распределения случайной величины x_i

Как известно, все эти факторы носят случайный характер. Следовательно, отклонение от номинального значения Δx_i , а также значение x_i (в соответствии с выражением (3)) будут случайными величинами, зависящими от времени, $\Delta x_i(t)$ и $x_i(t)$. В любой фиксированный момент времени параметр элемента будет характеризоваться некоторой плотностью распределения (рис. 1). Местоположение плотности распределения $f(x_i)$ на оси x_i определяется номинальным значением \bar{x}_i , а сама кривая плотности распределения определяется

плотностью распределения случайного приращения Δx_i .

Учитывая функциональную зависимость (1) и то, что x_i величины случайные, можно утверждать, что вектор Y будет также случайным. Следовательно, условия работоспособности (2) будут выполняться только с некоторой вероятностью

$$P(t) = P(y_{j_n} < y_i < y_{j_n}; t). \quad (5)$$

Вероятность (5) принято называть вероятностью безотказной работы.

Составляющие x_i n -мерного вектора X можно рассматривать также как координаты случайной точки B в n -мерном пространстве. В процессе эксплуатации РЭА при случайном изменении со-

ставляющих вектора X точка B будет перемещаться случайным образом в n -мерном пространстве. В этом пространстве можно выделить область S_p , выход случайной точки за пределы которой приводит к нарушению условия работоспособности хотя бы по одному выходному параметру. Такое событие называется отказом.

Таким образом, вероятность безотказной работы можно определить как многократный (n -кратный) интеграл по области S_p от совместной плотности распределения параметров элементов

$$P(t) = \frac{\int \dots \int_{S_p} f(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1, dx_2, \dots, dx_n}{S_p} \quad (6)$$

Область S_p называют областью работоспособности (ОР) или областью безотказной работы (ОБР).

Учитывая выражение (3), выражение (6) можно записать в следующем виде:

$$P(t) = \frac{\int \dots \int_{S_p} f(\bar{x}_1 + \Delta x_1, \bar{x}_2 + \Delta x_2, \dots, \bar{x}_n + \Delta x_n) dx_1, dx_2, \dots, dx_n}{S_p} \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что вероятность безотказной работы зависит не только от случайной составляющей параметров элементов Δx_i , но и от неслучайного номинального значения \bar{x}_i .

Возможен и другой подход к определению $P(t)$. Зная совместную плотность распределения параметров элементов $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и функциональную связь между векторами X и Y (1), можно найти совместную плотность распределения составляющих вектора Y

$$f(y_1, y_2, \dots, y_m) = F[f(x_1, x_2, \dots, x_n)]. \quad (8)$$

При известной совместной плотности распределения выходных параметров вероятность безотказной работы может быть найдена путем многократного интегрирования этой плотности в пределах, определяемых выражениями (2):

$$P(t) = \int_{y_{m1}}^{y_{m2}} \dots \int_{y_{21}}^{y_{22}} \int_{y_{11}}^{y_{12}} f(y_1, y_2, \dots, y_m) dy_1, dy_2, \dots, dy_m. \quad (9)$$

В общем виде ни выражение (7), ни выражение (9) решения не имеют. Поэтому вопросы исследования надежности РЭА в процессе разработки решаются путем испытаний методами физического и математического моделирования. Различают 3 вида испытаний методами моделирования: граничные, матричные и статистические.

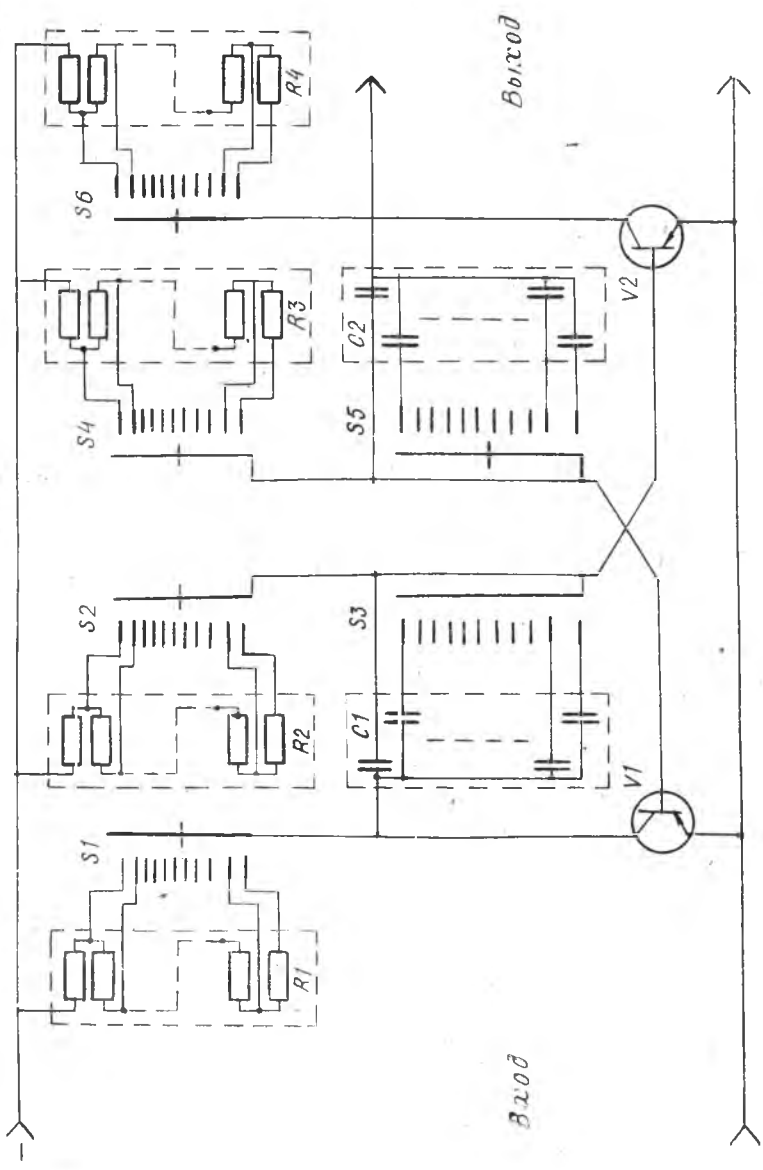


Рис. 2. Принципиальная схема исследуемого функционального узла

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка для испытания функционального узла РЭА методами граничных испытаний и матричных испытаний состоит из макета исследуемого функционального узла РЭА (мультивибратора) и осциллографа.

Принципиальная схема исследуемого функционального узла представлена на рис. 2. Узел представляет собой несимметричный мультивибратор с коллекторно-базовыми связями, собранный на транзисторах $V1$ и $V2$, конденсаторах $C1$ и $C2$ и резисторах $R1, R2, R3, R4$. Схема модели функционального узла отличается тем, что пассивные элементы ее $R1, R2, R3, R4, C1, C2$ представлены набором резисторов и конденсаторов, соединенных между собой и дающих возможность с помощью переключателей $S1, S2, S3, S4, S5, S6$ ступенчато, через 5%, изменять значения $R1, R2, R3, R4, C1, C2$.

Максимально возможное изменение параметров элементов схемы составляет $\pm 50\%$.

Питание модели мультивибратора осуществляется от сетевого источника питания, установленного в самой модели.

Выход модели соединяется со входом осциллографа, с помощью которого измеряются выходные параметры исследуемой модели. Такими параметрами являются период следования T , длительность τ_0 и отрицательный фронт τ_{ϕ} импульсов (рис. 3).

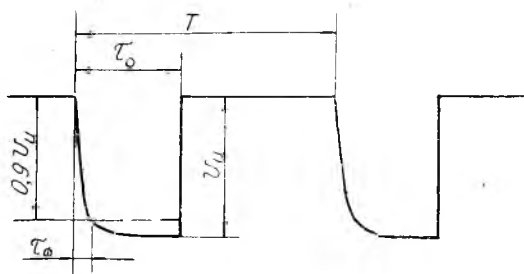


Рис. 3. Осциллограмма выходных импульсов

Ручки переключателей модели выведены на ее лицевую панель и имеют маркировку, соответствующую обозначениям элементов на принципиальной схеме.

Порядок измерения параметров выходных сигналов

1. Выход модели РЭУ соединить с входом осциллографа. Включить питание модели и осциллографа и дать им прогреться в течение 15 мин.

2. Установить переключатели модели в такие положения, чтобы

параметры элементов схемы мультивибратора имели номинальные значения.

3. Измерить номинальные выходные параметры мультивибратора: $T_{\text{ном}}$, $\tau_{0 \text{ ном}}$, $\tau_{\text{ф ном}}$ в следующей последовательности.

4. Установить на осциллографе С1-15/1 органы управления в следующие положения:

- УСИЛЕНИЕ — 5 В/см,
- ДЛИТЕЛЬНОСТЬ — 200 μ S/см \times 1,
- ЗАПУСК — «+»,
- СИНХРОНИЗАЦИЯ — исслед. сигн.

5. Установить на осциллографе ручки ЯРКОСТЬ, ФОКУС, АСТИГМАТИЗМ в такие положения, чтобы на экране был виден тонкий яркий луч, а ручками ПОДСТРОЙКА СИНХРОНИЗАЦИИ, УРОВЕНЬ СИНХРОНИЗАЦИИ, СМЕЩЕНИЕ X, СМЕЩЕНИЕ Y добиться устойчивого изображения двух импульсов, начало развертки совместить с левой крайней отметкой на сетке экрана.

6. Для вычисления значения T умножить длительность периода в см на значение положения переключателя ДЛИТЕЛЬНОСТЬ.

7. Измерить длительность импульса и его фронтов, для чего установить переключатель ДЛИТЕЛЬНОСТЬ в положение «20 μ S \times 1», а ЗАПУСК — в положение «—». На экране должен быть виден один импульс.

3. ОПИСАНИЕ ГРАНИЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Граничные испытания представляют собой испытания физической модели РЭА, в результате которых можно получить область работоспособности (ОР) РЭА в одномерном или двухмерном пространстве.

Физическая модель РЭА отличается от самой РЭА только тем, что в ней предусматривается возможность изменять параметры элементов. Проводятся граничные испытания следующим образом.

В физической модели плавно или дискретно изменяется параметр какого-либо элемента x_i . В процессе его изменения контролируются значения выходных параметров y_j . Устанавливаемые значения изменяемого параметра элемента и соответствующее ему значение выходных параметров записываются в таблицу.

Изменение параметра элемента x_i в ту и другую сторону от номинала производят до тех пор, пока не будет нарушено условие работоспособности (2) хотя бы по одному выходному параметру y_j .

По данным таблицы строятся графики зависимостей $y_j = f(x_i)$ (рис. 4.). Рис. 4 дан для выходного параметра y_j , по которому имело место нарушение условия (2).

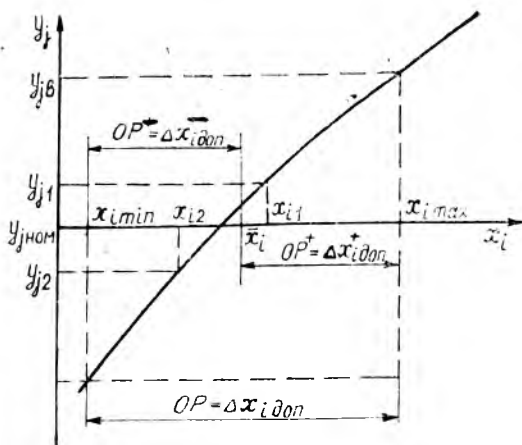


Рис. 4. Построение зависимости $y_j = f(x_i)$ в области работоспособности (ОР)

На оси y_j откладывается верхний $y_{jв}$ и нижний $y_{jн}$ допустимые значения y_j , строится кривая $y_j = f(x_i)$.

Через точки $y_{jв}$ и $y_{jн}$ проводятся прямые параллельно оси x_i . Если из точек пересечения этих прямых с кривой $f(x_i)$ опустить перпендикуляры на ось x_i , то их пересечения с этой осью дадут $x_{i \min}$ и $x_{i \max}$, определяющие область работоспособности в одномерном пространстве. Такие испытания называют еще однофакторными испытаниями.

Из анализа полученных графиков по данным можно получить следующую полезную информацию:

1. Допустимые пределы изменения x_i в сторону уменьшения $\Delta x_{i \text{ доп}}^- = \bar{x}_i - x_{i \min}$ и в сторону увеличения $\Delta x_{i \text{ доп}}^+ = x_{i \max} - \bar{x}_i$, которые не приводят к нарушению условий работоспособности (2).

2. Определить степень влияния изменения x_i на выходной параметр y_j

$$k_{ij} = \frac{y_{j1} - y_{j2}}{y_{j \text{ ном}}} : \frac{x_{i1} - x_{i2}}{\bar{x}_i} \quad (10)$$

где k_{ij} — коэффициент влияния i -го параметра элемента на j -й выходной параметр.

3. Сопоставить полученные части области работоспособности OP^- и OP^+ с возможными отклонениями \bar{x}_i в сторону уменьшения Δx_i^- и в сторону увеличения Δx_i^+ . В результате такого сопоставления может оказаться, что $OP^- < \Delta x_i^-$ или $OP^+ < \Delta x_i^+$ при $OP > \Delta x_i$. В этом случае для обеспечения безотказной работы не-

обходимо изменить значение \bar{x}_i с таким расчетом, чтобы при $OP > \Delta x_i$ выполнялись также неравенства

$$OP > \Delta x_i^- \text{ и } OP^+ > \Delta x_i^+.$$

Может оказаться, что k_{i1} для двух параметров элементов значительно превышают значения для всех остальных. В этом случае целесообразно построить ОР в двухмерном пространстве. Для этого проводятся граничные испытания для двухмерного пространства, которые называются двухфакторными. Такие испытания осуществляются следующим образом.

Выделяются параметры элементов x_1 и x_2 с наибольшими коэффициентами влияния k_{1j} и k_{2j} . Задается какое-то дискретное значение параметру x_{11} и изменяется значение параметра x_2 в ту и другую сторону относительно \bar{x}_2 до получения отказа РЭА (нарушение условий работоспособности).

Значения x_2 , при которых произошли отказы, фиксируются в таблице.

В ней же фиксируется значение x_{11} . Затем параметру x_1 задается новое значение x_{12} и вновь изменяется значение x_2 в ту и другую сторону от \bar{x}_2 до получения отказов. Значения x_2 , при которых произошли отказы, и значение x_{12} также фиксируются в таблице и т. д.

Полученные сочетания значений x_1 и x_2 , при которых имели место отказы, являются координатами точек границы ОР (рис. 5). Эти точки откладываются на плоскости в системе координат x_1 и x_2 . Путем соединения точек строится область работоспособности в двухмерном пространстве.

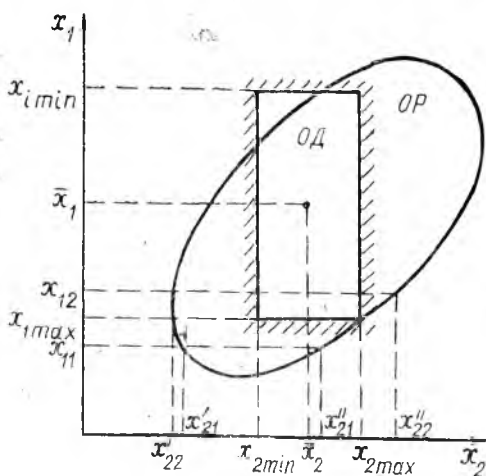


Рис. 5. Построение области работоспособности (ОР) и области допусков (ОД) для двух внутренних параметров

В системе координат x_1 и x_2 можно построить и область допусков ОД возможных сочетаний значений x_1 и x_2 .

Сопоставление ОР и ОД дает информацию о возможности или невозможности отказов РЭА. Если ОД вписывается в ОР — РЭА будет функционировать безотказно, в противном случае будут иметь место отказы.

Возможно также наметить мероприятия по устранению возможности отказов. Одно из таких мероприятий состоит в изменении номинальных значений \bar{x}_1 и \bar{x}_2 с целью смещения ОД относительно ОР. Такое мероприятие целесообразно проводить, если ОД можно вписать в ОР смещением ее относительно ОР. В противном случае необходимо проводить мероприятия по уменьшению Δx_i (уменьшению пределов $x_{i \min} \div x_{i \max}$ изменения x_i).

Из рассмотренного выражения (4) видно, что уменьшить Δx_i возможно, уменьшая его составляющие: $\Delta x_i t_0$ — применяя элементы с меньшим допусковым разбросом (например, резисторы не десяти, а пятипроцентные); $\Delta x_i t^p$ — применяя элементы с меньшим температурным коэффициентом; $\Delta x_i t$ — применяя элементы более устойчивые к воздействию процессов старения.

Если окажется, что k_{ij} значительны для трех и более параметров элементов, граничные испытания не могут дать достаточно полезной информации для проведения мероприятий с целью повышения надежности РЭА, так как положение ОР относительно ОД в двухмерном пространстве, а также сама конфигурация ОР будет зависеть от значений третьего и других параметров элементов. В таких случаях судить о степени работоспособности РЭА можно по результатам матричных испытаний.

Проведение граничных испытаний

1. Снять зависимости $T = f(R2)$, $T = f(R3)$, $\tau_\phi = f(R4)$, $\tau_o = f(R2)$, $T = f(C1)$, $T = f(C2)$, $\tau_o = f(C1)$, $\tau_\phi = f(C2)$. Зависимости снимать при номинальных значениях всех остальных элементов схемы: $R1 = 2$ кОм, $R2 = 200$ кОм, $R3 = R4 = 20$ кОм, $C1 = C2 = 10000$ пФ. Результаты измерений записать в табл. 1.

При изменении параметров схемы $C1$, $C2$, $R2$, $R3$, $R4$ убедиться в отсутствии влияния изменения $C1$ и $R2$ на величину τ_ϕ ; $C2$ — на τ_o ; $R3$ — на τ_o и τ_ϕ ; $R4$ — на T и τ_o . При номинальных значениях всех элементов изменить значение $R1$ и убедиться, что его изменение не приводит к изменению ни одного выходного параметра схемы.

2. Построить графики зависимостей $T = f(C2)$, $\tau_o = f(C1)$, $\tau_\phi = f(C2)$, $T = f(C1)$, $T = f(R2)$, $T = f(R3)$, $\tau_o = f(R2)$, $\tau_\phi = f(R4)$ при составлении отчета (во внеаудиторное время). Начало координат должно быть в точке номинальных значений параметров элементов схемы.

Таблица 1

Изменяемый элемент схемы	Выходной параметр, мкс	Отклонение параметра элемента схемы, %										
		-50	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+50
C1	τ_0											
	T											
C2	τ_{Φ}											
	T											
R2	T											
	τ_0											
R3	T											
R4	τ_{Φ}											

3. Вычислить коэффициент влияния параметров элементов схемы на выходные параметры в окрестностях номинальных значений параметров элементов (при изменении величины элемента на $\pm 10\%$) по формуле (10)

$$k_{ij} = \frac{y_{i1} - y_{i2}}{y_{i \text{ ном}}} \cdot \frac{x_{j1} - x_{j2}}{x_j}$$

Значение вычисленных коэффициентов влияния записать в табл. 2.

Таблица 2

Выходной параметр y_i , мкс	Параметр элемента схемы x_j				
	C1	C2	R2	R3	R4
T					
τ_0					
τ_{Φ}					

4. Снять зависимость $T = f(C2, R3)$, $\tau_0 = f(C1, R2)$, $\tau_{\Phi} = f(C2, R4)$ при номинальных значениях параметров остальных элементов схемы. Изменение переменных параметров элементов схемы производить до тех пор, пока не произойдет отказ схемы. За отказ принять выход значения T за пределы $\pm 10\%$ от номинального, τ_0 — за пределы $\pm 5\%$ и τ_{Φ} — за пределы $\pm 15\%$.

Снятие зависимости $T = f(C2, R3)$ производить в следующей последовательности. При номинальном значении C2 постепенно

увеличивать с помощью переключателя на модели значение резистора R_3 , а затем уменьшать его до появления отказа схемы. Занести координаты этих 2 точек в табл. 3. Увеличить значение C_2 на 5% и снова изменять R_3 в сторону увеличения, а затем уменьшения до появления отказа схемы. Занести координаты точек, в которых произошел отказ, в табл. 3. Таким же образом изменять R_3 и при всех остальных значениях C_2 до появления отказа.

Таблица 3

Значение приращения C_2 , %	-50	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+50
Значение приращения R_3 , %	-										
	+										

Аналогично снять зависимости $\tau_0 = f(C_1, R_2)$ и $\tau_\phi = f(C_2, R_4)$ и занести данные измерений в табл. 4 и 5 соответственно.

Таблица 4

Значение приращения C_1 , %	-50	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+50
Значение приращения R_2 , %	-										
	+										

Таблица 5

Значение приращения C_2 , %	-50	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+50
Значение приращения R_4 , %	-										
	+										

По полученным данным построить области работоспособности ОР для параметров C_2 и R_3 , C_1 и R_2 . На полученном графике определить оптимальные номинальные значения параметров C_2 , R_3 , R_2 , C_1 , а также допустимые пределы их отклонения.

4 ОПИСАНИЕ МАТРИЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Матричные испытания позволяют исследовать ОР в n -мерном пространстве при изменении всех параметров элементов (такие испытания носят название многофакторных).

Для проведения матричных испытаний диапазон изменений параметров элементов ($x_{i \min} \div x_{i \max}$) делится на некоторое количество k_i дискретных значений, которые называют квантами. Из по-

лученных квантов составляют матрицу состояний, которая состоит из n строк (по числу параметров элементов) и k_i столбцов (по числу дискретных значений параметров элементов):

$$\begin{pmatrix} x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k_1} \\ x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2k_2} \\ \dots \\ x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nk_n} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Состояние РЭА, при котором все параметры элементов имеют определенное значение, отличное от других хотя бы одним квантом, называется ситуацией или опытом.

Для проведения испытаний составляется матрица ситуаций (опытов). Например, при $n = 2$ и $k = 3$ матрица состояний имеет вид:

$$\begin{pmatrix} x_{11}, x_{12}, x_{13} \\ x_{21}, x_{22}, x_{23} \end{pmatrix}$$

Соответствующая ей матрица ситуаций будет иметь вид:

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{21} \\ x_{12} & x_{21} \\ x_{13} & x_{21} \\ x_{11} & x_{22} \\ x_{12} & x_{22} \\ x_{13} & x_{22} \\ x_{11} & x_{23} \\ x_{12} & x_{23} \\ x_{13} & x_{23} \end{pmatrix} \quad N = k^n = 3^2 = 9.$$

В общем случае число ситуаций (опытов) определяется выражением

$$N = \prod_{i=1}^n k_i, \quad (12)$$

а при одинаковом числе квантов для всех x_i :

$$N = k^n. \quad (13)$$

Если из общего числа опытов N выделить количество опытов Z , при значении параметров элементов в которых имело место нарушение условий работоспособности (2), т. е. имели место отказы, то отношение $\frac{N-Z}{N}$ дает некоторую оценку вероятности безотказной работы РЭА.

Эта оценка будет более точной, если вероятности ситуаций,

№ опыта	Значение приращения, %				№ опыта	Значение приращения, %			
	R2	R3	C1	C2		R2	R3	C1	C2
1	-15	0	0	0	42	-15	+15	+15	-15
2	0	0	0	0	43	-15	-15	+15	-15
3	+15	0	0	0	44	0	-15	+15	-15
4	+15	+15	0	0	45	+15	-15	+15	-15
5	0	+15	0	0	46	+15	0	-15	-15
6	-15	+15	0	0	47	0	0	-15	-15
7	-15	-15	0	0	48	-15	0	-15	-15
8	0	-15	0	0	49	-15	+15	-15	-15
9	+15	-15	0	0	50	0	+15	-15	-15
10	+15	0	+15	0	51	+15	+15	-15	-15
11	0	0	+15	0	52	+15	-15	-15	-15
12	-15	0	+15	0	53	0	-15	-15	-15
13	-15	+15	+15	0	54	-15	-15	-15	-15
14	0	+15	+15	0	55	-15	0	0	+15
15	+15	+15	+15	0	56	0	0	0	+15
16	+15	-15	+15	0	57	+15	0	0	+15
17	0	-15	+15	0	58	+15	+15	0	+15
18	-15	-15	+15	0	59	0	+15	0	+15
19	-15	0	-15	0	60	-15	+15	0	+15
20	0	0	-15	0	61	-15	-15	0	+15
21	+15	0	-15	0	62	0	-15	0	+15
22	+15	+15	-15	0	63	+15	-15	0	+15
23	0	+15	-15	0	64	+15	0	+15	+15
24	-15	+15	-15	0	65	0	0	+15	+15
25	-15	-15	-15	0	66	-15	0	+15	+15
26	0	-15	-15	0	67	-15	+15	+15	+15
27	+15	-15	-15	0	68	0	+15	+15	+15
28	+15	0	0	-15	69	+15	+15	+15	+15
29	0	0	0	-15	70	+15	-15	+15	+15
30	-15	0	0	-15	71	0	-15	+15	+15
31	-15	+15	0	-15	72	-15	-15	+15	+15
32	0	+15	0	-15	73	-15	0	-15	+15
33	+15	+15	0	-15	74	0	0	-15	+15
34	+15	-15	0	-15	75	+15	0	-15	+15
35	0	-15	0	-15	76	+15	+15	-15	+15
36	-15	-15	0	-15	77	0	+15	-15	+15
37	-15	0	+15	-15	78	-15	+15	-15	+15
38	0	0	+15	-15	79	-15	-15	-15	+15
39	+15	0	+15	-15	80	0	-15	-15	+15
40	+15	+15	+15	-15	81	+15	-15	-15	+15
41	0	+15	+15	-15					

где отказ происходит и где его нет, одинаковы. В противном случае оценка будет неточной. На практике чаще имеет место второй случай, а поэтому оценка получается неточной.

Это один из существенных недостатков матричных испытаний. Второй недостаток — необходимость большого количества опытов (например, при $k = 5$ и $n = 8$, $N = 5^8 \approx 391000$). Этих недостатков лишены статистические испытания.

Проведение матричных испытаний

1. Провести испытания согласно матрице состояний, приведенной в табл. 6, в следующей последовательности.

Переключателями на модели изменять значения элементов $R2$, $R3$, $C1$, $C2$ в пределах — 15%, 0, +15%, последовательно устанавливая все возможные сочетания значений этих элементов. В процессе измерения отметить те состояния, при которых произошел отказ схемы по какому-либо из выходных параметров T , τ_0 , τ_{ϕ} (критерий отказа приведен в п. 3).

2. Подсчитать суммарное количество опытов (ситуаций) Z , когда произошел отказ схемы мультивибратора. Вычислить вероятность безотказной работы модели

$$P(t) = \frac{N-Z}{N}.$$

Общее количество проведенных опытов $N = 81$.

5. ОПИСАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Статистические испытания отличаются от матричных тем, что моделирование ОР РЭА осуществляется не при всех возможных ситуациях, а только при более вероятных, путем случайного перебора их по заданным случайным законам распределения параметров элементов.

Для проведения испытаний составляется матрица состояний с соответствующими каждому кванту вероятностями:

$$\begin{array}{|l} x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k_1} \\ p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1k_1} \\ x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2k_2} \\ p_{21}, p_{22}, \dots, p_{2k_2} \\ \cdot \\ \cdot \\ x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nk_n} \\ p_{n1}, p_{n2}, \dots, p_{nk_n} \end{array} \quad (14)$$

Затем производится случайный перебор ситуаций, при котором частота появления каждого кванта p^*_{il} ($l = 1, 2, \dots, k_i$) в ситуациях стремится к его вероятности ($p^*_{il} \rightarrow p_{il}$) при неограниченном возрастании числа опытов ($N \rightarrow \infty$).

При каждой случайной ситуации измеряются значения выходных параметров модели и фиксируются.

Произведя статистическую обработку этих значений, можно получить статистическую плотность $f^*(y)$ или статистическую функцию $F^*(y)$ распределения выходных параметров.

Полученные $f^*(y)$ и $F^*(y)$ будут тем меньше отличаться от теоретических $f(y)$ и $F(y)$, чем большее число опытов N будет произведено.

Полученная после статистической обработки результатов испытаний плотность распределения $f(y)$ позволяет определить вероятность безотказной работы РЭА по формуле (9).

При матричных и статистических испытаниях диапазон возможных изменений параметров элементов ($x_{i \min} \div x_{i \max}$) делится, как упоминалось выше, на некоторое количество дискретных значений (квантов).

При этом стоит задача выбора величины шага квантования. Решается она следующим образом.

На графиках $y_i = f(x_i)$ допустимые изменения выходных параметров ($y_{i \min} \div y_{i \max}$) разделяются на отрезки одинаковой длины Δy_i . Величина этих отрезков выбирается, исходя из точности, с которой возможно и необходимо измерять выходные параметры.

Затем находят соответствующие этим отрезкам значения x_{il} ($l = 1, 2, \dots, k_i$), как показано на рис. 6.

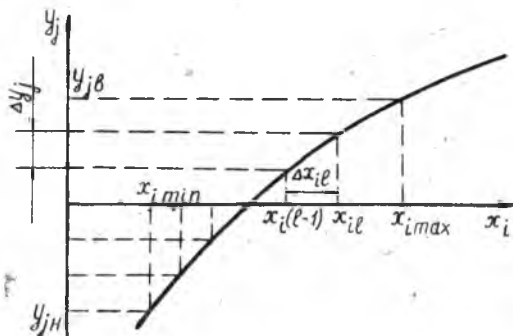


Рис. 6. Определение шага квантования x_i

Отрезки $\Delta x_{il} = x_{il} - x_{i(l-1)}$ и представляют собой шаги квантования x_i .

Как видно из примера рис. 6, шаг квантования неравномерный.

Равномерным он может быть только при линейной зависимости y_j от x_i .

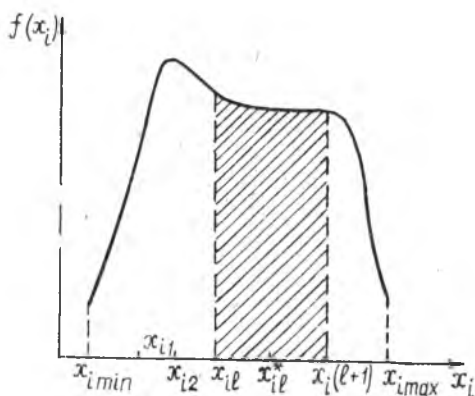


Рис. 7. Определение вероятностей квантов p_{il}

Для проведения статистических испытаний необходимо знать не только шаг квантования, но и вероятности появления каждого кванта.

Эти вероятности p_{il} определяются по известной плотности распределения параметров элементов $f(x_i)$ следующим образом (рис. 7). На оси x_i откладываются полученные шаги квантования Δx_{il} . За представителя кванта $x_{i l}^*$ выбирается среднее значение в каждом шаге.

Вероятность каждого такого значения определяется как интеграл в пределах шага квантования

$$p_{il} = \int_{x_{il}}^{x_{i(l+1)}} f(x_i) dx_i. \quad (15)$$

Из полученных таким образом значений квантов $x_{i l}^*$ и их вероятностей составляется матрица статистических испытаний (14).

По результатам статистических испытаний можно определить вероятность безотказной работы как отношение

$$P(t) \approx \frac{N_c - Z_c}{N_c},$$

где N_c — общее количество опытов; Z_c — количество опытов, при которых наблюдались отказы при статистических испытаниях.

Измеряя значение y_j в процессе статистических испытаний и производя их статистическую обработку, как отмечалось выше, можно получить статистические плотности распределения выходных параметров $f^*(y_j)$, которые будут отображать теоретические с заданной точностью ϵ и достоверностью $p(\epsilon) = 1$, если количество опытов было определено по формуле критерия согласия Колмогорова [1].

Сопоставляя полученные плотности распределения $f(y_j)$ с допустимыми изменениями выходных параметров ($y_{jn} \div y_{jn}$), можно получить следующую полезную информацию:

1. Укладываются или не укладываются кривые плотности распределения $f(y_i)$ в заданные поля допусков $(y_{iн} \div y_{iв})$.

2. Если кривая плотности распределения $f(y_i)$ выходит за пределы полей допусков, то надо определить оптимальность взаимного расположения $f(y_i)$ и $(y_{iн} \div y_{iв})$. Оптимальность такого расположения определяется по максимуму вероятности безотказной работы $P(t)$. Этот максимум будет иметь место при условии, что $f(y_{iн}) = f(y_{iв})$. Справедливость такого утверждения легко доказать графически (рис. 8).

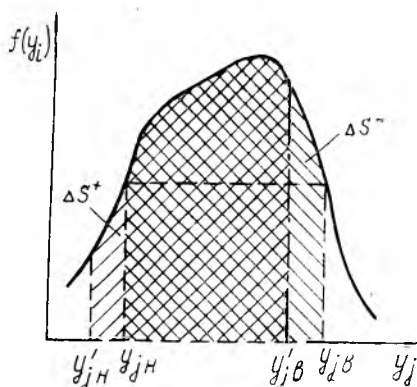


Рис. 8. Зависимость $p(t)$ от взаимного расположения $f(y_i)$ и $(y_{iн}, y_{iв})$

На рис. 8 исходное положение $f(y_i)$ и $(y_{iн}, y_{iв})$ такое, что $f(y_{iн}) = f(y_{iв})$.

Если границы $y_{iн}$ и $y_{iв}$ окажутся смещенными влево относительно исходного состояния (это равносильно смещению $f(y_i)$ вправо относительно исходного состояния), то площадь ΔS^- , которая отнимется от первоначальной

$$S_{и} = \int_{y'_{iн}}^{y'_{iв}} f(y_i) dy_i,$$

будет больше площади, которая прибавится ΔS^+ , следовательно,

$$S_{и} = \int_{y'_{iн}}^{y'_{iв}} f(y_i) dy_i \text{ будет меньше } S_{и}.$$

Точно такое же положение получается при смещении $f(y_i)$ относительно $(y_{iн}, y_{iв})$ в обратную сторону. Следовательно, $P(t) = S_{и} = \max$ при $f(y_{iн}) = f(y_{iв})$, что и требовалось доказать.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Осциллограмма выходных импульсов мультвибратора, их параметры при номинальных значениях элементов схемы.
3. Понятие отказа мультвибратора.
4. Результаты измерений (табл. 1—6).
5. Графики зависимостей $T = f(C2)$, $T = f(R3)$, $\tau_0 = f(R2)$, $\tau_{\phi} = f(R4)$, $T = f(C1)$, $T = f(R2)$; $\tau_0 = f(C1)$, $\tau_{\phi} = f(C2)$.

6. Расчет коэффициентов влияния элементов C_1, C_2, R_2, R_3, R_4 .
7. Области работоспособности для параметров C_2, R_3 и C_1, R_2 и допустимые пределы их отклонения. Выбор их оптимальных номинальных значений.
8. Расчет вероятности безотказной работы по результатам матричных испытаний.
9. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какова теоретическая основа исследований функциональной надежности методами физического моделирования?
2. В чем суть граничных испытаний при однофакторном и двухфакторном эксперименте?
3. Что такое матричные испытания, матрица состояний и матрица ситуаций? Как определяется количество опытов при матричных испытаниях? Недостатки матричных испытаний.
4. Отличительные особенности статистических испытаний.
5. Что представляет собой лабораторная установка?
6. Чем отличается модель от самого функционального узла?
7. Какие параметры исследуемого узла будут исследоваться в работе?

Литература

1. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. М.: Наука, 1969.

Составители: *Виктор Алексеевич Христюк,*
Ирина Андреевна Ухова

ИСПЫТАНИЕ РЭА С ПОМОЩЬЮ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ

Лабораторная работа 3

Редактор Л. Соколова
Техн. редактор Н. Каленюк

Сдано в набор 16.02.82 г. Подписано в печать 22.03.82 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага оберточная белая. Высокая печать. Литературная гарнитура.
Усл. п. л. 1,16. Уч.-изд. л. 0,98. Тираж 300 экз. Заказ № 156. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт
им. С. П. Королева, г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.