|  |
| --- |
| МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  МОСКОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  **Н.Н. ГРАЧЕВ, И.А. ИВАНОВ, М.В. ПОКРОВСКАЯ, С.У. УВАЙСОВ**  **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫВОДОВ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ**  Методические указания по выполнению лабораторно-конструкторского практикума для студентов, обучающихся по направлению 11.04.03 - Конструирование и технология электронных средств  Москва – 2018 |

УДК 621.3.019.32.

ББК 32.856

И85

Грачев Н.Н. Исследование усталостных характеристик выводов электрорадиоэлементов. [Электронный ресурс]: методические указания / Грачев Н.Н., Иванов И.А., Покровская М.В., Увайсов С.У. — М.: Московский технологический университет (МИРЭА), 2018. — 32 с.  
1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Разработаны в помощь студентам, выполняющим лабораторные работы и практические занятия по изучению характеристик и особенностей применения электрорадиоэлементов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. В состав методических указаний входят: краткие теоретические сведения, описание лабораторной работы и порядок ее выполнения.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 11.04.03 - Конструирование и технология электронных средств

Методические указания издаются в авторской редакции.

Авторский коллектив**:** Грачев Николай Николаевич, Иванов Илья Александрович, Покровская Марина Владимировна, Увайсов Сайгид Увайсович

Рецензент:

Черноверская Виктория Владимировна, к.т.н., доц. кафедры Ки ПР РЭС, МИРЭА

Минимальные системные требования:

Наличие операционной системы Windows, поддерживаемой производителем.

Наличие свободного места в оперативной памяти не менее 128 Мб.

Наличие свободного места в памяти хранения (на жестком диске) не менее 30 Мб.

Наличие интерфейса ввода информации.

Дополнительные программные средства: программа для чтения pdf-файлов (Adobe Reader).

Подписано к использованию по решению Редакционно-издательского совета   
Московского технологического университета от \_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2018 г.

Объем \_\_\_ Мб

Тираж 10

© Грачев Н.Н., Иванов И.А., Покровская М.В., Увайсов С.У., 2018

© Московский технологический университет (МИРЭА), 2018

**Содержание**

[1. Цель работы. 4](#_Toc510528498)

[2. Содержание работы. 4](#_Toc510528499)

[3. Краткие теоретические сведения. 4](#_Toc510528500)

[4. Методические указания 23](#_Toc510528501)

[5. Описание лабораторной работы. 26](#_Toc510528502)

[6. Порядок выполнения работы. 27](#_Toc510528503)

[7. Содержание отчета. 28](#_Toc510528504)

[Список литературы 28](#_Toc510528505)

# 1.Цель работы.

1.1. Изучение методики идентификации параметров модели усталостной прочности выводов ЭРЭ.

1.2. Экспериментальное определение кривых усталости выводов ЭРЭ.

1.3. Экспериментальное исследование механических характеристик выводов ЭРЭ и сравнение с результатами расчета на ЭВМ (вторая часть работы).

# 2. Содержание работы.

2.1. Изучение основных теоретических сведений, необходимых для понимания и оценки явлений, происходящих при усталостных разрушениях выводов ЭРЭ.

2.2. Изучение экспериментальной установки для исследования, усталостной прочности выводов ЭРЭ.

2.3. Экспериментальное исследование усталостных характеристик выводов ЭРЭ при воздействии гармонической вибрации.

2.4. Проведение сравнительного анализа экспериментальных и расчетных результатов.

2.5. Расчет усталостной долговечности выводов ЭРЭ.

2.6. Определение динамических характеристик ЭРЭ

# 3. Краткие теоретические сведения.

Процесс постепенного накопления повреждений материалом под воздействием переменных напряжений, приводящий к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению, называется усталостью, а разрушения вследствие распространения усталостной трещины - усталостным разрушением [1]. Механизм этого процесса связан со структурной неоднородностью материала, отдельные кристаллиты (зерна) которого неодинаковы по форме и размерам, по-разному ориентированы в пространстве, имеют включения, структурные дефекты. В ЭРЭ наиболее подверженными усталостным разрушениям являются выводы.

Время до усталостного разрушения выводов ЭРЭ при гармонической вибрации определяется по формуле [2]:

, (1)

Где  - число циклов напряжений до разрушения;

 - текущая частота колебаний;

Циклом напряжений называют совокупность последовательных значений напряжений за один период их изменения при регулярном нагружении [3]. При этом цикл является симметричным при равенстве абсолютных значений максимального и минимального напряжений цикла.

Число циклов до усталостного разрушения при гармонической вибрации рассчитываются по формуле [2]:

 (2)

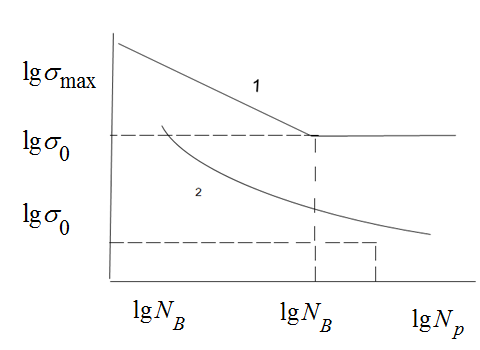
Где - предел усталости материала вывода;

*m* - параметр, зависящий от материала, размеров и формы вывода;

- число циклов

- максимальное механическое напряжение в выводе ЭРЭ.

Параметр *m* характеризует угол наклона кривой усталости. На рис. I приведет полученные экспериментально кривые усталости, так называемые кривые Веллера [2]. Они выражают зависимость амплитуды напряжения в симметричном цикле от числа циклов  до разрушения. Кривая I характерна для сталей малой и средней прочности, а также для титановых сплавов при испытании без воздействия коррозии и при нормальной температуре, кривая 2 для цветных металлов и высокопрочных легированных сталей. Кривая I резкий перелом при чи­сле циклов  , после чего она идет практически параллельно оси абсцисс. Поэтому за базу испытаний для таких материалов прини­мают . Физически это означает, что если  переменного напряжения будет меньше напряжения , соответствующего точке перелома, то усталостное разрушение *не* наступает при неогра­ниченном числе циклов. Это напряжение () и получило название предела усталости материала при симметричном цикле. Некоторые ма­териалы, в частности цветные металлы; многокомпонентные сплавы, нѳ имеют выраженного предела усталости: с увеличенном числа циклов  прочность продолжает падать (кривая 2**)**. Для таких материалов соп­ротивление усталости характеризуют пределом ограниченной выносли­вости при заданной базе (числе циклов )  , которая обычно принимается равной  циклам. Это в полной мере относится к выводам ЭРЭ.



0

Рис. 1. Кривые усталости для различных материалов

Значения параметра m и предела усталости  получить можно только экспериментальным путем. Хотя в справочной литературе [4] и приводятся эти данные для множества металлов и их сплавов, но они определены для машиностроительных конструкций, которые имеют во много раз большие размеры, что существенно влияет на кривую усталости (так называемый масштабный фактор), и в них не учтена конфигурация выводов. Для выводов также, часто используются материалы, для которых нет данных по усталостным характеристикам в справочной литературе.

При автоматизированных расчетах времени до разрушения выводов ЭРЭ необходимую информацию указанным усталостным характеристикам можно получить из базы данных, включенной в методику автоматизированного анализа и обеспечения механических характеристик РЭC. В настоящее время туда записана информация для широкой номенклатуры ЭРЭ, которая поступает как из справочной литературы (в основном приближенная), так и по результатам экспериментальных исследований выводов ЭРЭ.

Таким образом, при появлении ЭРЭ c новым материалом и новой конфигурацией выводов, не предусмотренными ранее в базе данных, необходимо решать задачу идентификации параметров модели усталостной прочности выводов ЭРЭ. В широком смысле идентификация - это установление соответствия между объектом, предоставленным некоторой совокупностью экспериментальных данных о его свойствах, и моделью объекта [6]. В нашем случае нужно по результатам сравнения экспериментально полученных данных, и данных полученных результате математического моделирования, определить параметры кривой усталости материалов выводов ЭРЭ  и m.

Блок-схема решения задачи идентификации приведена на рис. 2. Здесь х –геометрические и физико-механические параметры ЭРЭ; блок 1 - экспериментальное определение числа циклов до разрушения выводов  и их ускорение (А) и пере отчет полученных ускорений в напряжения по формулам для выводов различной конфигураций, приведенным в [2] (В) ; блок 2 - получение ускорений, напряжений в выводах ЭРЭ и числа циклов до усталостного разрушения путем математического моделирования на ЭВМ ; блок 3 - сравнение полученных расчетных и экспериментальных значений и ; блок 4 - получение параметров кривых усталости материалов выводов ЭРЭ  и m по экспериментальным данным методом наименьших квадратов, если разность не стремится к нулю; при этом в качестве первоначальных  и m значений при математическом моделировании берутся значения параметров из базы данных для ЭРЭ по материалам выводов и их конфигурации.

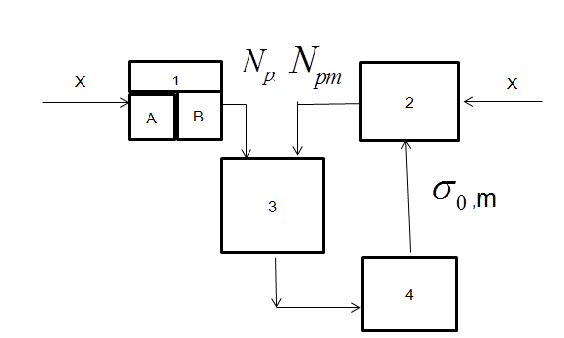


Рис.2. Блок-схема решения задачи индикации параметров модели усталостной прочности выводов ЭРЭ.

Если разность  то считается, что данные взятые из базы данных, соответствуют полученным экспериментально.

Однако задача экспериментального получения кривых усталости сама по себе сложная и трудоемкая. Для ЭРЭ она еще более усложня­ется. Это связано о тем, что ЭРЭ и их вывода обладают относительно малой массой (относительно, например, элементов машиностроительных конструкций) и имеют очень высокие резонансные частоты (ЭРЭ - до 10 кГц, вывода свыше 10 кГц). В связи о этим время до разрушения в обычном диапазоне частот (до 2-3 кГц) может быть настолько большим, что может растянуться на дни, недели и даже месяцы (нужно учесть, что испытания проводятся для партии изделий, определенной специальными стандартами). Такие испытания неудобны и невозможны. Кроме того, вывода имеют настолько малые размеры в сечении (поряд­ка 1 мм), что затруднено использование современных датчиков напряжения (тензодатчиков). Если даже и использовать тензодатчики , то нужна особо точная аппаратура. Это увеличивает материальные затра­ты, и трудоемкость работ еще больше возрастает.

Для решения поставленной задачи о минимальные затраты сде­лан ряд предложений, которые легли в основу разработанной методики идентификации параметров модели усталостной прочности выводов ЭРЭ.

Чтобы не выводить ЭРЭ и их выводы в резонанс, но добиться аналогичного эффекта, предлагается зажать корпус ЭРЭ в тисках, а вывода укрепить на столе вибратора и подвергать, таким образом, колебаниям сами вывода. При этом корпус остается неподвижным. В результате получаем колебания, аналогичные резонансным. Только в данном случае перемещается не корпус относительно основания, например, платы), а перемещается основание относительно корпуса. Ме­няя амплитуду гармонической вибрации, мы изменяем амплитуда напря­жений в выводах и, тем самым, число циклов до их усталостного разрушения. Таким образом, можно получить кривую Веллера для дан­ного вывода за минимальные сроки.

Чтобы не измерять величину напряжения в выводе, используются модели в виде балок и рам, для которых известен точный расчет ме­ханического напряжения в любой точке вывода при любой нагрузке. [2] Проведение испытаний реальных ЭРЭ, а не образцов материалов позволило исключить влияние масштабного фактора. Это потребовало разработки и изготовление специальной испытательной установки, позволяющей имитировать вибрационный режим ЭРЭ.

**Пример задачи на определение долговечности выводов резистора ее решение**

Определить долговечность выводов резистора ОМЛТ при резонансных колебаниях на первой собственной частоте. Резистор закреплен на плате, расчетная модель соответствует Рис. \*\*. Масса резистора 3·10-3 кг, размеры выводов d = 1·10-3 м, l = L/2 = 2·10-3 м, h = 5,3·10-3 м. Выводы выполнены

из холоднотянутой медной проволоки с модулем упругости Е=1,23·1011 Н/м2.

Ускорение вибровозбуждения ξ = 10g.

Решение. Находим



По формуле табл. 4 находим первую собственную частоту колебаний



Определяем логарифмический декремент колебаний по формуле



и коэффициент передачи при резонансе



Находим инерционную силу



Используя табл. 3, находим изгибающие моменты для характерных точек:





Так как при рассматриваемой схеме награждения напряжения от продольных сил в стержнях отсутствуют, находим





Таким образом, в точках пайки выводов к плате  = 3,89⋅108 Н/м2. По кривой усталости для медной холоднокатаной проволоки, показанной на Рис. 2., находим число циклов до разрушения =104

**РАСЧЕТ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВЫВОДОВ ЭРЭ**

Расчет максимальных напряжений. Максимальные механические напряжения в конструкциях выводов типа рам рассчитываются по формуле

 (14)

Где - максимально изгибающий момент;

- диаметр круглого вывода или больше сторона сечения вывода прямоугольного сечения;

-момент инерции сечения.

В табл. [5] приведены возможные способы крепления ЭРЭ, действующие силовые факторы, расчетные схемы и формулы изгибающих моментов в наиболее опасных сечениях выводов. Наибольший из расчетных изгибающих моментов в опасных точках принимается .

Силовые факторы обычно обусловлены резонансными колебаниями ЭРЭ, закрепленными на выводах, резонансными колебаниями самих выводов и печатных плат. Особенно опасен резонанс ПП на первой собственной частоте.

В формулах табл. 9.4 Qx и Qy углы изгиба платы в направлениях осей

X и Y, определяются по формулам

 (15)

 (16)

Где,  

 (17)

 (18)

Балочные функции *W(x*) и *W(y)* рассчитываются по формуле (18), а параметры *Bx* и *By* – по формуле (17). Параметр λ, коэффициенты А, В, С и интегралы вида ∫*W(x)dx* и *∫W( y)dy* , *∫W2 (x)dx* и *∫W 2( y)dy* берутся из табл. П.2 и П.3 в зависимости от способа крепления краев.

В формулах табл.3.

*N* – число выводов ЭРЭ; *Pi* – сила инерции; *a* – амплитуда виброускорения мест крепления платы; γ – удельный вес материала проводника; *g* – ускорение силы тяжести; m – масса ЭРЭ.

Таблица 3. Изгибающие моменты в опасных сечениях вывода.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Способ  крепления ЭРЭ | Виды ЭРЭ и дополнительные условия | Виды  резонанса | Расчетные  формулы |
| C:\Users\Admin\Downloads\Export.png | 1. Резисторы, конденсаторы, диоды, интегральные микросхемы  2. На ЭРЭ действует сила инерции Р с частотой вибрации | C:\Users\Admin\Downloads\Export (6).png |  |
| C:\Users\Admin\Downloads\Export (1).png | 3. Ось ЭРЭ совпадает направлением изгиба | C:\Users\Admin\Downloads\Export (7).png |  |
| C:\Users\Admin\Downloads\Export (2).png | 4. Конденсаторы,  транзисторы, интегральные микросхемы  5. На ЭРЭ действует сила инерции с частотой вибрации | C:\Users\Admin\Downloads\Export (8).png |  |
| C:\Users\Admin\Downloads\Export (3).png | 6. Резисторы, конденсаторы, диоды, интегральные микросхемы  7. Корпус ЭРЭ жесткое соединен с платой | C:\Users\Admin\Downloads\Export (9).png |  |
| C:\Users\Admin\Downloads\Export (4).png | 8. Резисторы, конденсаторы  9. На ЭРЭ действует  сила инерции Р с частотой вибрации | C:\Users\Admin\Downloads\Export (10).png |  |
| C:\Users\Admin\Downloads\Export (5).png | 10. Транзисторы  11. Корпус ЭРЭ жестко связан с платой  12. Плоскость, в которой расположен вы-  вод, совпадает с направлением изгиба платы | C:\Users\Admin\Downloads\Export (11).png |  |

Таблица 4. Собственная частота колебаний.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип крепления | Расчетная схема и вид деформации | Собственная частота |
| C:\Users\Admin\Downloads\Export (12).png | C:\Users\Admin\Downloads\Export (13).png |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | C:\Users\Admin\Downloads\Export (14).png |  |

**Определение динамических характеристик элементов РЭС**

Исходя из определения выборочности и анализа динамических процессов, протекающих в элементах и конструкциях РЭС при вибрациях, можно определить следующие условия обеспечения вибропрочости:

 - отсутствие в конструкции механических резонансов;

-  ограничение амплитуды виброперемещения;

- допустимые значения виброперегрузок в диапазоне частот внешних воздействий.

При расчете частот собственных колебаний конструкцию РЭС условно заменяют эквивалентными расчетными схемами. Основное условие замены заключается в том, чтобы расчетная модель как можно точнее описывала реальную конструкцию и имела минимальное число степеней свободы.

При проектировании РЭС необходимо хотя бы приближенно определить частоты собственных колебаний радиоэлементов и конструкции РЭА. Начинать расчет целесообразно с радиоэлементов, затем переходить к печатным платам, панелям, блокам и т.д.

На практике часто требуется определить будет ли собственная частота конструкции РЭА превышать частоту возмущающего воздействия в 1,5-2 раза. Если условия выполняется, то жесткость такой системы обеспечена и более точного расчета производить не следует. Если же расчет показал, что собственная частота не превышает заданную частоту, то следует не уточнять расчет, а изменить конструкцию устройства с целью повышения собственной частоты.

Рассмотрим наиболее типичные расчетные модели, которые используются при проектировании и конструировании электронной аппаратуры.

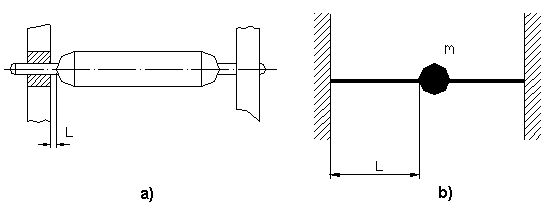


Рис. 3 Элемент, установленный в модуле и его расчетная модель

а) – элемент, установленный в модуле; b) – расчетная модель

Собственная частота колебаний любого элемента конструкции, замененного эквивалентной схемой балки определяется по формуле:

 (19)

Максимальный изгибающий статический момент под действием массы:

 (20)

C:\Users\Admin\Pictures\4.tifC:\Users\Admin\Pictures\3.tif

Рис.4 Установка элемента на печатной плат

Максимальный статический прогиб под собственным весом:

 (21)

*Kf,* *Kм*, *K*z –безразмерные коэффициенты, зависящие от вида конструкции и способа закрепления

*L* – длина пролета балки, м;

*EJ* – жесткость материала, Нм2;

*m*- приведенная погонная масса, кг/м.;

*E* – модуль упругости материла, Н/м2;

*J* – момент инерции, м4;

*J* = π*d*4/64, м4 – момент инерции для стержня круглого сечения;

*Jх* = *bh*3/12, м4 – момент инерции для стержня прямоугольного сечения вдоль оси Х;

*Jу* = *hb*3/12, м4 – момент инерции для стержня прямоугольного сечения вдоль оси Y;).

К балочным элементам относятся упругие тела призматической формы, высота (толщина) которых много меньше по сравнению с длиной.

Жесткость корпуса элементов значительно выше жесткости выводов и деформацию корпуса можно не учитывать.

При изогнутых выводах заделку можно считать шарнирной и жесткой при прямых выводах. Сварку и пайку выводов приравнивают к жесткому способу крепления.

Если расчетная модель с распределенной нагрузкой содержит и сосредоточенную массу, то приведенная распределенная масса будет определяться

по формуле:

(22)

где,

*ms* – сосредоточенная масса;

*ks* – коэффициент приведения;

сосредоточенной массы к равномерно распределенной

*so* – число сосредоточенных масс.

C:\Users\Admin\Pictures\5.tif

Рис.5 Схема приведения сосредоточенной массы к распределённой

Таблица 5. Поправочные коэффициенты для сосредоточенной  нагрузки.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Эскиз** | **Kf** | **Kм** | **Kz** | **Ks** |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image018.gif | 2,21 | 0,125 | 5,2·10-3 | 0,52 |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image020.gif | 1,52 | 0,187 | 9,1·10-3 | 2,09 |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image022.gif | 0,55 | 1 | 330·10-3 | 0,46 |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image024.gif | 1,1 | 0,25 | 21·10-3 | 2,00 |

Таблица 6. Поправочные коэффициенты для распределенной  нагрузки.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Эскиз** | **Kf** | **Kм** | **Kz** |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image026.gif | 3,53 | 0,083 | 2,6·10-3 |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image028.gif | 2,47 | 0,125 | 5,4·10-3 |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image030.gif | 1,58 | 0.125 | 13·10-3 |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image032.gif | 0,56 | 0,5 | 125·10-3 |

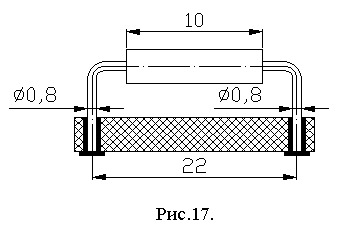
Таблица 7. Коэффициенты приведения ks сосредоточенной массы к распределенной

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Эскиз закрепления балки | Отношение Xs/Xl | | | | | | | | |
| 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image018.gif | 0,04 | 0,037 | 1,2 | 2,12 | 0,52 | 2,12 | 1,2 | 0,37 | 0,04 |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image020.gif | 0,31 | 1,07 | 1,86 | 2,27 | 2,09 | 1,16 | 0,72 | 0,21 | 0,02 |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image024.gif | 0,19 | 0,62 | 1,31 | 1,81 | 2,0 | 1,81 | 1,31 | 0,62 | 0,19 |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image022.gif | 0 | 0,02 | 0,08 | 0,21 | 0,46 | 0,85 | 1,38 | 2,1 | 2,97 |

**Пример задачи и е решение**

Определить частоту свободных колебаний резистора массой 2,7гр., установленного на печатной плате так, как показано на рис.

Исходные данные для расчета:

 E = 1,32·1011H/м2 – модуль упругости для меди;

ρCu = 8,96г/см3 = 8,96·103кг/м3 –плотность материала меди;

Lэрэ = 10мм = 10·10-3м длина корпуса резистора;

Lобщ = 22мм = 22·10-3м– длина радиоэлемента с выводами.

*Ms* = 2,7гр = 2,7·10-3кг –масса резистора.

Решение: Рис.6 Резистор на печатной плате

1.      Определяем длину пролета балки

L = Lобщ-Lэрэ = 22·10-3-10·10-3 = 12·10-3м.

2.      Масса выводов резистора:

Mв = ρsL= ρL πd2/4 = 8,96·103·3,14·(0,8·10-3)2·12·10-3/4=54·10-6кг=0,054 гр.

3.      Определяем погонную массу выводов:

Mo = mв/L = 5 4·10-6/ 12·10-3 = 4,5·10-3кг/м.

4.      Определяем приведенную распределенную массу корпуса резистора.

5.      Отношение Xs/Xl=0,5 для схемы закрепления балки ks=2,0 mк = ks· ms/L= 2,0·2,7·10-3/12·10-3 = 0,45 кг/м;

6.      Суммарная приведенная распределенная масса: m= mo+ mк=4,5·10-3+0,45=0,454 кг/м.

7.      определяем момент инерции для стержня круглого сечения:

J = πd4/64 = 3,14·(0,8·10-3)4/64 = 0,0201·10-12м4.

8.      Определяем жесткость выводов: EJ =1,32·1011·0,0201·10-12 = 2,7·10-3Н·м2.

9.      Определяем частоту свободных колебаний резистора: ,Гц

Коэффициент kf = 1,58 для модели



Рис.7 Схема нагруженной рамы

В условиях внешних механических воздействий в элементах РЭА, приводимых к модели балки, возникают продольные, крутильные  и изгибные колебания. Жесткость выводов на изгиб ниже жесткости на растяжение и кручение. Поэтому на практике чаще определяют жесткость выводов на изгибающий момент.

Частота свободных колебаний рамы зависит от параметров модели и от направления внешнего воздействия.

Характерным видом отказов радиоэлементов является усталостное разрушение выводов.

 Усталостные явления наиболее часто наблюдаются при резонансных колебаниях как самого радиоэлемента, так и при резонансных колебаниях печатной платы.

В случае вибрации на резонансной частоте на радиоэлемент действует инерционная сила Ри, которая может быть разложена на составляющие Рх, Ру, Рz. Инерционная сила, действующая на элемент, определяется по формуле:

*Р*и = μ*mgn*в, Н

где,

μ – коэффициент динамичности; m – масса радиоэлемента; nв- вибрационная перегрузка; g – ускорение силы тяжести.

Коэффициент динамичности на резонансной частоте μ=π/λ, где λ – логарифмический декремент затухания.

Численное значение λ можно найти через частоту свободных колебаний fo или коэффициент затухания δо:

http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image040.gif

Механические напряжения в характерных точках сечения определяют по формуле:

σ = Ми/Wи,

где, Ми – изгибающий момент в сечении.

Таблица 8.

|  |  |
| --- | --- |
| Схема рамы и нагрузка | Изгибающие моменты в сечениях |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image042.gif | http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image043.gif    http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image044.gif |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image046.gif | http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image047.gif    http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image048.gif |
| http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image050.gif | http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image051.gif  http://polos-k.narod.ru/units/U5T1.files/image052.gif |

Wи – момент сопротивления изгибу; *W*и =*Jx*/*Y*max; *Jx* – момент инерции сечения относительно оси, перпендикулярной плоскости изгиба; Ymax – расстояние от нейтральной линии сечения до поверхности упругого элемента.

Для максимального напряжения по кривой усталости материала находят число циклов нагружения до разрушения выводов *Np*.

C:\Users\Admin\Pictures\6.tif

Рис. 8. Кривая усталости для медной проволоки

Время работы радиоэлемента до отказа определяется по формуле:

*Tp = Np/fo*, с наиболее опасными являются резонансные колебания на основной частоте платы. На вывод будет действовать изгибающий момент, обусловленный поворотом сечения платы, а также линейная сила, определяемая деформацией.

# 4.Методические указания

Методика индикации параметров модели усталостной прочности выводов ЭРЭ выглядит следующим образом.

1. Для построения кривой усталости и преодоления предела усталости  и параметра *m* испытывают не менее 15 одинаковых образцов [6]. Это связано с возможным разбросом параметров образцов.

2. Необходимо приемлемым образом выбрать частоту, на которой будут проводиться испытания. Для выбора приемлемого варианта нужно проделать следующее.

2.1 Учитывая, что максимальное напряжение должны лежать в пределах



где - предел текучести материала, можно получить диапазон возможных перемещений W конца вывода



где -перемещение конца вывода соответствующее напряжению ;

- перемещение конца вывода, соответствующее напряжению ;

По формулам, полученным на основе моделей ЭРЭ и их выводов.

 (3)

 (4)

Где - длина вывода ; d- длина вывода ; Е – модуль упругости.

Длина вывода  берется прядка 6 мм. Значение  и  берутся из справочника для меди. Значение модуля упругости берется также для меди.

2.2. Зная возможный частотный диапазон, который можно получить на экспериментальной установке, нужно выбрать максимальную амплитуду виброускорения  и частоту колебания f из соотношений:

 (5)

 (6)

Соотношение (5) получено из известной формулы



Где – ускорение;

*W* – перемещение;

- круговая частота.

Соотношение (6) получено из формулы (1) при .

Для решения поставленной задачи подставим в (5) полученную величину перемещения  и вместо - верхнее значение ускорения из возможного диапазона. Полученное значение частоты  подставляем в (6) и смотрим, удовлетворяет ли нас время . Если не удовлетворяет, то необходимо повысить частоту  . Удовлетворительным является время порядка 1 -2 минут при верхнем значении ускорения. Это вызвано необходимостью ограничить максимальное время испытаний одного вывода до 1-2 часов (при базовом числе циклов), чтобы не делать перерывов в работе установки, так как вибростенд перегревается при непрерывной работе более 2-х часов и при этом также из-за вынужденных перерывов придется определять коэффициент накопления усталостных повреждений и пересчитывать результаты экспериментов, что представляет собой достаточно сложную задачу.

3. Испытываем каждый образец на выбранной частоте, уменьшая при этом каждый раз амплитуду ускорения. При этом нужно получить точки для кривой усталости вплоть до .

4. Для каждого 1-го образца экспериментально получаем число циклов до усталостного разрушения на заданной частоте  я при ускорении и заполняем табл.I (=1,n, где n – общее число образцов)

Таблица 9

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № П/П | , () |  |
| 1  2  .  .  .  .  N |  |  |

5. Максимальное напряжение в выводах получаем расчетным путем по формулам [2], например, для консоли

 (7)

Заполняем таблицу 2

6. Рассчитываем на ЭВМ по подсистеме анализа и обеспечения механических характеристик инструкций РЭС число циклов до усталостного разрушения выводов ЭРЭ

Таблица 10

|  |  |
| --- | --- |
| № П/П | , |
| 1  2  .  .  .  .  N |  |

7. Сравниваем экспериментально полученные значения числа циклов до разрушения выводов и значения, полученные путем математического моделирования. Если  то решение задачи завершается ,если нет – выполняется п.8.

8. Для статической обработки результатов усталостных испытаний в работе используется аппарат регрессионного анализа. В качестве уравнений эмпирической линии регрессии используем выражение вида



Где -математическое ожидание величины для заданного значения напряжения , в качестве которого используем величина 

Оценка параметров уравнения линии регрессии производится по формулам, вытекающим из метода неимениях квадратов [7]:

 (9)

 (10)

 (11)

где k-число уровне напряжения:

- значение 1-го уровня напряжения ();

-математическое ожидание долговечности выводов на 1-м уровне напряжения ();

-математическое ожидание величины напряжения , в качестве которого используется ;

-математическое ожидание величины долговечности выводов,  в качестве которого используется ;

a,b –коэффициенты уравнения регрессии.

В результате регрессивного анализа определяются параметры уравнения кривой усталости (2), которое может быть представлено в логарифмических координатах:

 (12)

Откуда:

 (13)

Величина  определяется по графику уравнения регрессии – левой части кривой усталости (см.рис.1)

# 5. Описание лабораторной работы.

Лабораторная установка (см.рис.3) включает в себя вибростенд, состоящий из задающего генератора ГЗ-33  , усилителя мощности 2 вибратора 3 и виброизмерителя ВВВ-302 2.

К столу вибратора 4 жестко прикреплён металлический уголок 5, к которому, в свою очередь, прикреплена печатная плата 6. В плате просверлено отверстие, в которое запаян испытуемый вывод ЭРЭ 7. Корпус ЭРЭ 8 жестко зажат в тисках 9, в которые , в свою очередь, жестко закреплены на неподвижной раме 10.

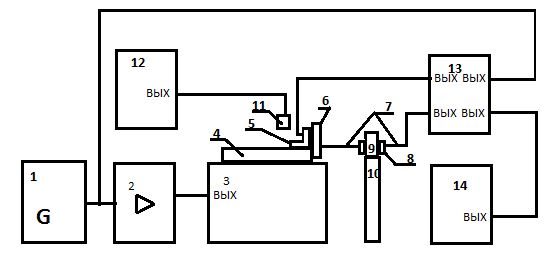


Рис.9 Схема установки для исследования усталости прочности выводов ЭРЭ

Измерение виброперемещения уголка 5 производится с помощью бесконтактного датчика 11, соединенного с вибризмерителем 12.

К выводам ЭРЭ 7 подключена схема регистрации обрыва вывода 13 которая при образовании трещины в выводе отключает счётчик циклов вибрации 14 и формирует звуковой сигнал.

# 6.Порядок выполнения работы.

6.1. Ознакомиться о краткими теоретическими сведениями.

6.2. Изучить методику идентификации параметров модели устало­стной прочности выводов ЭРЭ.

6.3. Изучить описание применения подсистемы анализа и обеспе­чения механических характеристик конструкций РЭС АСОКИКА-М Г83.

6.4. Изучить инструкцию по эксплуатации вибростенда и принцип его работы.

6.5. Провести испытания выводов ЗРЗ и обработку результатов согласно методике идентификации.

6.6. Испытать ЭРЗ, для которого идентифицированы в п.6.5 па­раметры модели усталостной прочности выводов, но с длиной вывода, отличной от первоначальной. Определить время до усталостного раз­рушения вывода.

6.7. Испытать ЭРЗ с материалом вывода как у ЗРЗ в п.6.5, но с другим диаметром. Определить время до усталостного разрушения.

6.8 Рассчитать на ЭРЭ по подсистеме АСОНИКА-М время до раз­рушения выводов для ЗРЗ, испытанных к п.6.7.

6.9 На основании сравнения расчетных и экспериментальных ре­зультатов сделать выводы о возможных расхождениях результатов.

# 7.Содержание отчета.

Отчет выполняется на отдельных листах формата 210×297 мм и представляются на защиту а не переплетом виде. Отчет должен содер­жать:

7.1 Схему лабораторной установки и порядок выполнения основных этапов экспериментальных исследований к расчетным оценкам.

7.2 Графики кривых усталости, выполненные на миллиметровой бумаге.

Результаты идентификации параметров модели усталостной прочности ЭРЭ

7.3 Результаты расчета усталости прочности выводов ЭРЭ на ЭВМ в виде распечаток.

Выводы по результатам расчета и эксперимента.

# Список литературы

1. Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств: учебное пособие / Г. М. Алдонин, А. К. Дашкова, Ф. В. Зандер [и др.]. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019. - 372 с. - ISBN 978-5-7638-4106-0. - Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1830738 (дата обращения: 17.11.2018). – Режим доступа: по подписке.
2. Схиртладзе, А. Г. Сопротивление материалов: в 2 ч. Ч. 2.: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Чеканин, В.В. Волков. — Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2018. — 192 с. - ISBN 978-5-906923-67-7. - Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/933947 (дата обращения: 17.11.2018). – Режим доступа: по подписке.
3. Кофанов Ю.Н., Грачев Н.Н., Шалумов А.С. Математическое моделирование в задачи защиты РЭС от механических воздействий: учебное пособие. – М: изд. МИЭМ,1992. - 93 С.
4. Кочегаров, И.И. ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ В ДВУХМЕРНЫХ ЗАДАЧАХ / И.И. Кочегаров, Г.В. Таньков, Н.К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. — 2015. — № 2. — С. 13-22. — ISSN 2307-4205. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/journal/issue/298226 (дата обращения: 07.11.2018). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Иосилевич, Г. Б. Прикладная механика: Для студентов втузов: учебное пособие / Г. Б. Иосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев. — Москва: Машиностроение, 2012. — 576 с. — ISBN 978-5-217-03518-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/5794 (дата обращения: 17.11.2018). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин, О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 412 с. — ISBN 978-5-8114-3240-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/109618 (дата обращения: 17.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Физико-механические свойства. Испытания металлических материалов / Л. В. Агамиров, М. А. Алимов, Л. П. Бабичев, М. Б. Бакиров. — Москва: Машиностроение, [б. г.]. — Том II-1 — 2010. — 852 с. — ISBN 978-5-217-03469-7. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/789 (дата обращения: 17.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
8. Жаднов В.В., Сарафанов А.В.Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств Издательство "СОЛОН-Пресс" **Ч. 4. М.:** НИИ Автоэлектроника ,2000. С. 117.