

2.5. ВИБРОПРОЧНОСТЬ ВЫВОДОВ ЭЛЕМЕНТОВ

При вибрационных нагрузках действующих на РЭС возможны разрушения выводов навесных элементов вследствие усталостных явлений. Установка навесных элементов на печатных платах зависит от конструктивных особенностей этих плат. При двухстороннем печатном монтаже ЭРЭ приподнимают над поверхностью платы, а при одностороннем монтаже корпус элемента прижимают к поверхности платы и закрепляют с помощью клевого соединения. Механические напряжения в выводах элемента могут возникать по двум причинам.

1. За счет возникновения инерционных сил, действующих на установленный элемент приподнятый над поверхностью платы на высоту h (рисунок 2.6).

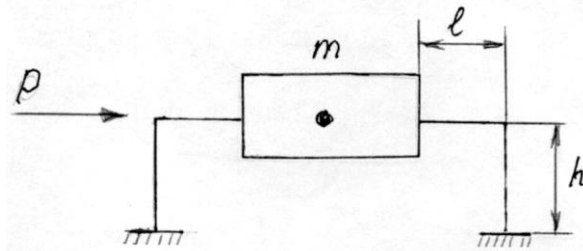


Рис.2.6. Элемент над поверхностью печатной платы

2. За счет деформации печатной платы в условиях возникновения механического резонанса (рисунок.2.7).

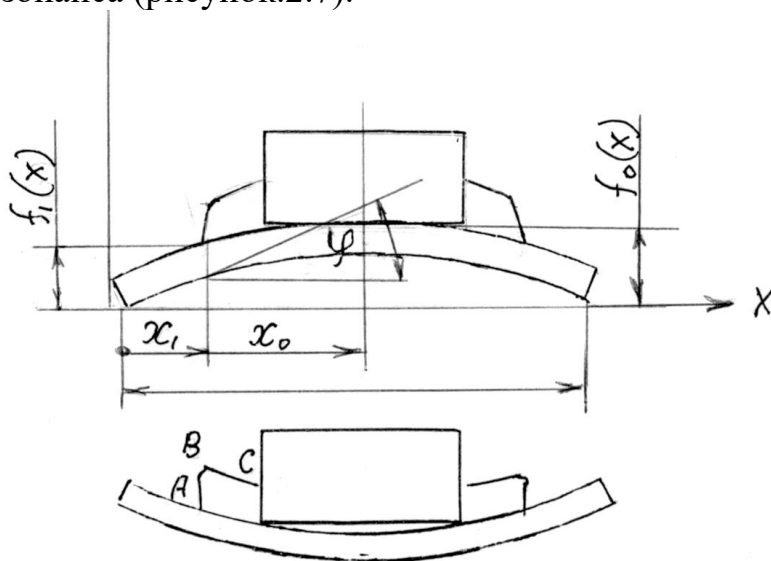


Рис.2.7. Элемент прижат к плате (изгиб выводов ЭРЭ при деформации платы).

Расчет времени до разрушения вывода за счет резонансных явлений ЭРЭ
Установка ЭРЭ над поверхностью печатной платы сводится к расчетной модели представленной на рисунке 2.8.

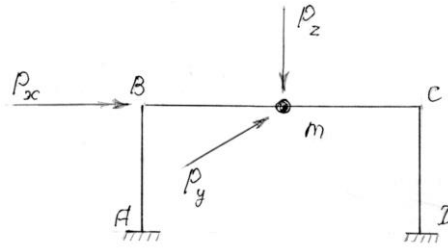


Рис.2.8. Расчетная модель для элемента, установленного над поверхностью печатной платы.

Исходные данные для расчета

m - масса элемента, кг;

d - диаметр вывода элемента, м;

L - длина корпуса резистора, м;

l - расстояние от корпуса элемента до изгиба вывода, м;

h - высота установки ЭРЭ над поверхностью платы, м;

E - модуль упругости материала вывода элемента, Н/м²;

G - модуль сдвига материала вывода элемента, Н/м²;

n_e - пегрузка при вибрационных воздействиях.

1. Находят основную частоту колебаний для сил, действующих по координатам X, Y и Z.

$$\text{По координате X} \quad f_x = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{48EJ}{m \cdot (l)^3 \cdot \left[1 - \frac{9}{8(k+2)} \right]} \right\}^{0.5}$$

$$\text{По координате Y} \quad f_y = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{2}{m} \left[\frac{(2l)^3}{24EJ} + \frac{h^3}{3EJ} - \frac{(2l)^4 GJ}{32EJ(2hEJ + 2lGJ)} \right] \right\}^{0.6}$$

$$\text{По координате Z} \quad f_z = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{24EJ}{mh^3 \left[1 + \frac{3}{6k+1} \right]} \right\}^{0.5}$$

Где J – момент инерции сечения вывода элемента, $J = \frac{\pi d^4}{64}$

G - модуль сдвига материала вывода,
 $k = h/2l$.

2. Определяют логарифмический декремент затухания

$$\Lambda = \frac{\pi}{\sqrt{f_i}}$$

Упрощенно декремент затухания можно найти через коэффициент β_0 . Для механических систем величина $\beta_0 = 0,02 \dots 0,025$ тогда $\Lambda \approx 2\pi\beta_0$.

3. Находят коэффициент передачи при резонансе

$$\eta = \frac{\pi}{\Lambda}$$

3. Находят инерционную силу

$$P = \eta \cdot m \cdot g \cdot n_e$$

Если направление силы P_u не совпадает с какой либо осью координат, то ее необходимо разложить на составляющие P_x , P_y и P_z и провести расчет по всем этим силам.

5. Определяют изгибающие моменты в точках изгиба выводов, (рисунок 2.8).

В направлении X $M_A = M_D = (1 + 3k) \cdot \frac{hP_x}{2(1 + 6k)}$;

.

$$M_B = M_C = 1,5kh \cdot \frac{P}{1 + 6k}$$

в направлении Y $M_A = M_D = \frac{Ph}{2}$;

в направлении Z $M_B = M_C = \frac{Pl}{2(2 + k)}$.

6. Находят напряжения в точках А и В

$$\sigma_A = \sigma_D = \frac{M_A \cdot d}{2J}; \quad \sigma_B = \sigma_C = \frac{M_B \cdot d}{2J}.$$

7. По кривой усталости для медной холоднокатаной проволоки находят число циклов до разрушения (см. рис.2.9)

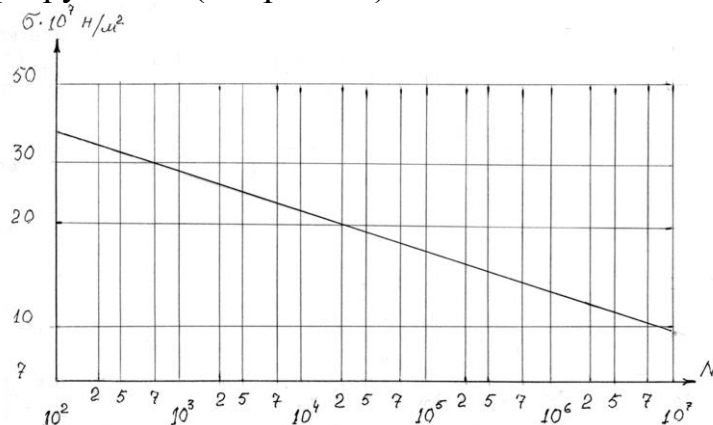


Рис.2.9. Кривая усталости холоднокатаной медной проволоки.

8. Определяют время работы вывода в условиях резонанса до разрушения.

$$t_P = \frac{N}{f_i}.$$

Расчет времени до разрушения вывода ЭРЭ при резонансе печатной платы

Исходные данные.

Корпус элемента приклеен к поверхности платы.

a, b, h – геометрические размеры платы, м;

E_n – модуль упругости материала платы, Н/м²;

μ – коэффициент Пуассона;

z_0 – амплитуда возбуждающих колебаний, м.

Будем считать, что ЭРЭ расположен в центре печатной платы и его ось направлена по координате X. Расположение элемента на плате показано на рис.2.10.

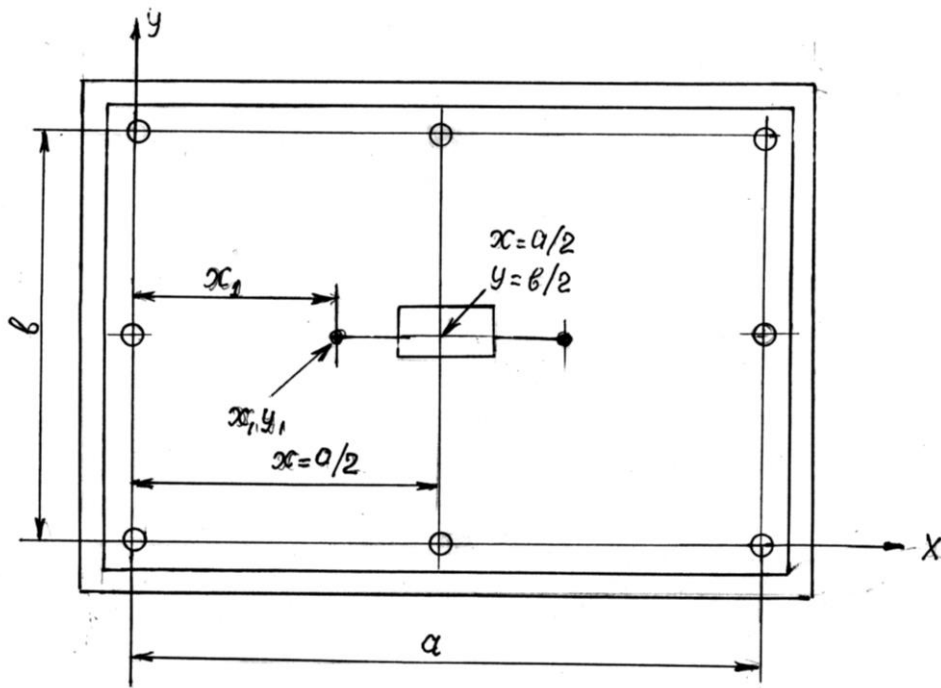


Рис. 2.10. Схема расположения ЭРЭ на плате

1. Определяют собственную частоту колебаний

$$f_1 = \frac{\alpha}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12(1-\mu^2)\rho}};$$

где α – коэффициент, зависящий от способа крепления платы;

a – размер между винтами крепления по большей стороне платы;

b – размер между винтами крепления по меньшей стороне платы;

ρ – плотность материала платы;

μ – коэффициент Пуассона.

2. Находят коэффициент механических потерь

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{f_1}}$$

3. Определяют прогиб в центре платы при резонансе (рисунок 2.11) (при $x=a/2$ и $y=b/2$).

$$W(x) = \frac{K_1(\xi_x, \xi_y)}{\gamma} \cdot Z_0$$

где $K_1(\zeta_x, \zeta_y) = K_1(\zeta_x) \cdot K_1(\zeta_y)$ – параметр формы колебаний. Индекс 1 означает, что в направлениях X и Y наблюдается одна полуволна.

ζ_x и ζ_y – относительные координаты в рассматриваемой точке.

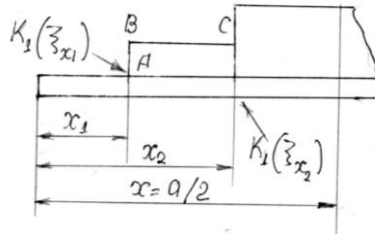


Рис. 2.11. К определению параметров K_1 и K_2

Если ЭРЭ расположен в центре платы, то $\zeta_x = 0,5$ и $\zeta_y = 0,5$.

Коэффициенты формы колебаний при одной полуволне

$\zeta = x/l$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$K_1(\zeta_x)$	0,394	0,749	1,03	1,211	1,273	1,211

4. Находят угол изгиба платы в точке крепления вывода

$$\varphi = W_0 \frac{\pi}{a} \cos \frac{\pi x}{a}$$

5. Определяют деформацию выводов за счет прогиба платы

$$f = \omega_1(x) - \omega_2(x) = \frac{Z}{\gamma} [K_1(\xi_{x1}, \xi_{y1}) - K_1(\xi_{x2}, \xi_{y1})]$$

где $K_1(\xi_{x1}, \xi_{y1})$ и $K_1(\xi_{x2}, \xi_{y1})$ точки крепления вывода и крепления вывода к корпусу ЭРЭ с относительными координатами ξ_x и ξ_y .или

$$f = \frac{Z}{\gamma} [K_1(\xi_{x1}) \cdot K_1(\xi_{y1}) - K_1(\xi_{x2}) \cdot K_1(\xi_{y1})]$$

7. Находят изгибающие моменты в точках А, В и С (рисунок 2.12)

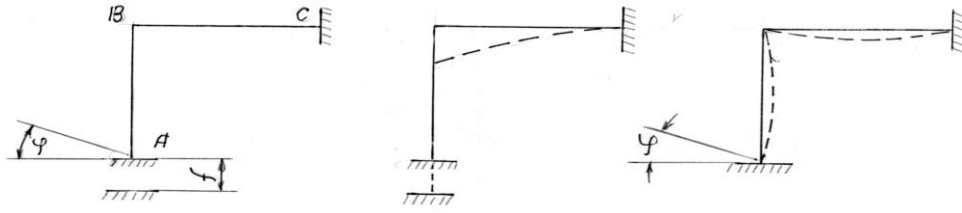


Рис.2.12. Изгибающие моменты в выводе ЭРЭ за счет деформации платы и угла поворота φ .

Изгибающие моменты в точках А, В и С складываются из изгибающего момента за счет линейного перемещения точки А при деформации платы и момента возникающего за счет поворота точки крепления элемента на угол φ .

$$M_A = M_{Af} + M_{A\varphi} = \frac{3EJ_f}{(1+k)hl} + \frac{(3+4k)EJ_\varphi}{(1+k)h};$$

$$M_B = M_{Bf} + M_{B\varphi} = \frac{6EJ_f}{(1+k)hl} + \frac{2EJ_\varphi}{(1+k)l};$$

$$M_C = M_{Cf} + M_{C\varphi} = \frac{3(1+2k)EJ_f}{(1+k)h^2} + \frac{EJ_\varphi}{(1+k)l};$$

7. Для наибольшего момента (M_A, M_B или M_C) находят напряжение в этой

точке
$$\sigma_i = \frac{M_i \cdot d}{2J}$$

8. По кривой усталости (рисунок 2.9) находят количество циклов которые выдержит вывод элемента до разрушения. Время работы элемента в условиях вибрации печатной платы будет

$$t_P = \frac{N_P}{f_1}$$