ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВИБРОУСТОЙЧИВЫХ ЯЧЕЕК РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ

Ухин В. А.

Эксплуатация радиотехнических устройств (РТУ) в условиях повышенного воздействия вибраций, действующих в широком диапазоне частот, может привести к возникновению резонансных колебаний основной несущей конструкции электронной аппаратуры – печатной платы. Для борьбы с резонансом часто применяют методы частотной отстройки. Одним из них является применение ребер жесткости [1]. Существующая формула определения собственных частот колебаний (СЧК) ячеек с ребрами предназначена для способа крепления, который редко встречается на практике (свободное опирание по контуру). Для более сложных способов крепления расчетные формулы отсутствуют. Рассмотрим возможность их создания численными методами.

В соответствии с энергетическим методом частота ячейки с ребрами жесткости может быть представлена в виде [2]:

$$\omega^2 = {(\Pi_n + \Pi_p)}\Big/{(K'_n + K'_p)}, \qquad (1)$$

где Π_p - потенциальная энергия ребер жесткости, Π_n - потенциальная энергия платы, $K_n{}' = K_n/\omega^2$, $K_p{}' = K_p/\omega^2$, K_n - кинетическая энергия платы, K_p - кинетическая энергия ребра.

Ребро жесткости должно устанавливаться так, чтобы его концы находились в непосредственной близости с закрепленной стороной или точками крепления самой платы [1]. Из этого можно заключить, что способ крепления ребра жесткости не зависит от способа закрепления самой ячейки, поэтому выражения для $K_p{}'$ и Π_p можно использовать при любом способе крепления ячейки. Используя соотношения $\omega_p{}^2 = \Pi_p/K_p{}'$, $\omega_n{}^2 = \Pi_n/K_n{}'$ и выражение (1) запишем:

$$K_p{}' = {(\omega^2 - \omega_n{}^2)\cdot K'_n}\Big/{(\omega_p{}^2 - \omega_n^2)}, \qquad (2)$$

где ω_p - СЧК ребра жесткости при способе крепления соответствующем креплению ребра на печатной плате, ω - СЧК платы с ребром жесткости, ω_n - СЧК платы.

Параметры ω_n и $K_n{}'$, входящие в это выражение, могут определяться по известным формулам [3], например, для ячейки свободно опертой по контуру:

$$\omega_n{}^2 = \frac{\pi^4 ab}{8} D\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}\right)\Big/ K_n{}', \qquad (3)$$

где $K_n{}' = \rho hab/8$, a, b -длина и ширина платы, D - цилиндрическая жесткость, ρ - плотность материала, h -толщина печатной платы. Ребро жесткости, как и печатная плата, выполнены из стеклотекстолита.

Неизвестные величины ω_p и ω можно определить с помощью любой системы конечно-элементного анализа или экспериментально. Математическую модель разработаем с помощью метода Брандона [3]. Величина $K_p{}'$ зависит от высоты (H), длины (l), ширины (h_p) ребра жесткости, поэтому:

$$K_p{}' = \overline{K}_p{}' \cdot \varphi(H)\cdot\varphi(l)\cdot\varphi(h_p), \qquad (4)$$

где $\bar{K}_p'$ - среднее значение величины K_p', $\varphi(H) = K_p'(H) / \bar{K}_p'$, $\varphi(l) = K_p'(l) / \varphi(H)\cdot\bar{K}_p'$, $\varphi(h_p) = K_p'(b) / \varphi(H)\cdot\varphi(l)\cdot\bar{K}_p'$. Частные функции $\varphi(H)$, $\varphi(l)$ и $\varphi(h_p)$ можно определить любым численным методом, например методом наименьших квадратов или через интерполяционный многочлен Лагранжа.

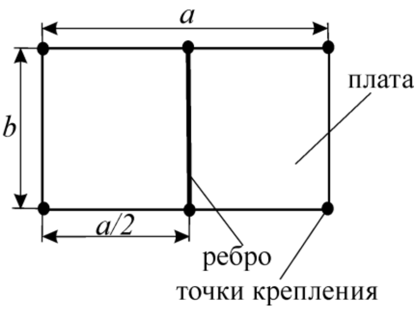
Применяя соотношение $\omega_p^2 = \Pi_p / K_p'$, найдем потенциальную энергию ребра. Для этого необходимо определить математическое выражение СЧК ребра жесткости. Модель также определяется с помощью метода Брандона [3]. СЧК ребра зависит от его габаритных размеров, поэтому математическое выражение будем искать в виде:

$$\omega_p = \overline{\omega_p}\cdot\varphi_1(H)\cdot\varphi_1(l)\cdot\varphi_1(h_p).$$

Частные функции $\varphi_1(H)$, $\varphi_1(l)$, $\varphi_1(h_p)$ находятся с помощью численных методов.

Используя, полученные выражения для K_p' и Π_p можно получить формулы для более сложных способов крепления ячеек. Для этого необходимо определить зависимости Π_n и K_n' от габаритных размеров платы (толщина (h_n), длина (a), ширина (b)). Методика получения математических формул для Π_n и K_n' аналогична представленной выше.

Таким образом, используя численные методы можно определить математические модели ячеек РТУ с ребрами жесткости. Например, для конструкции, показанной на рисунке,



СЧК определяется по выражению (1), где математические модели для величин K_p', Π_p, K_n' и Π_n имеют вид:

$$K_p' = 0.37\cdot 10^{-12} H^{-4}\cdot e^{531\cdot H}\cdot(5.744\cdot 10^{10}\cdot l^{7.68}\cdot e^{-50\cdot l} - 8)\cdot(0.89 + 2314\cdot h_p),$$

$$\Pi_p = (980.4\cdot 10^{-12}\cdot\pi\cdot H^{1.9542}\cdot e^{-229\cdot H}\cdot e^{-10.72 l}\cdot h_p^{0.018})^2\cdot K_p',$$

$$K_n' = 0.0036\cdot e^{16.24\cdot a}\cdot 10^{26}\cdot b^{22} e^{-117.363\cdot b}\cdot(2.8 + 826\cdot h_n),$$

$$\Pi_n = (2\cdot\pi\cdot 591.8\cdot(1.888 - 4.44\cdot a)\cdot e^{-9.92\cdot b}\cdot(0.165 + 666\cdot h_n))^2\cdot K_n'.$$

Отклонение результатов расчета по данной формуле от экспериментальных значений составляет 5-9%.

Список литературы.

1. Талицкий Е.Н. Защита электронных средств от механических воздействий. Теоретические основы: Учеб. пособие/ Владим. Гос. Ун-т. Владимир, 2001.-256 с.
2. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем.- М.: Машиностроение, 1970.-734 с.
3. Вержбицкий В. М. Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения): Учеб. Пособие для вузов. – М.: Высш. Шк.,2001.-382 с.