

## ОСОБЛИВОСТІ ВІБРАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОННИХ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

*Горошко А. В., Зембицька М. В.  
Хмельницький національний університет*

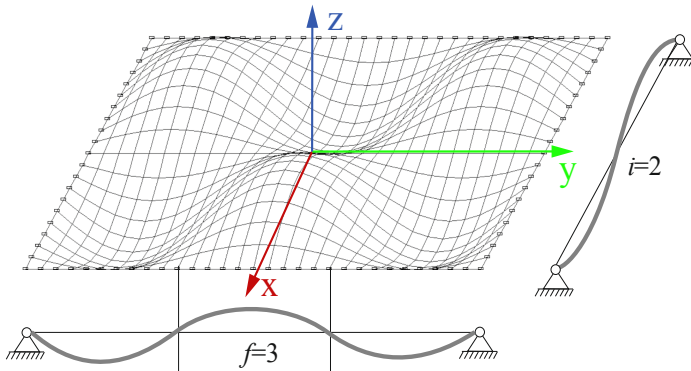
Зовнішній вібраційний вплив є одним з вагомих дестабілізуючих факторів, що призводять до відмов електронної авіа- та космічної апаратури. Такі вироби електронної техніки (ВЕТ) під час експлуатації піддаються вібраціям з частотою 20–2000 Гц з віброприскоренням до 20g. Суттєвим недоліком скінченноелементних деталізованих моделей друкованих плат є їх вузька спеціалізація. На жаль, через великий діапазон вхідних даних (типи компонентів, товщини друкованих плат та навантаження) ці моделі не володіють бажаною універсальністю. Аналітичні методи не мають таких недоліків і мають набагато ширшу застосовність. Результати різних авторів свідчать про достатню складність моделювання вібраційних процесів у друкованих платах, що проявляється у відхиленні розрахованих значень критичних частот і значень, отриманих експериментально за допомогою вібростендів. Головними причинами цього у відомих аналітичних методах є неможливість повного точного врахування зосереджених мас і пружно-демпфувальних характеристик окремих електронних компонентів плати, її кріплень та корпусів пристроїв, що, у свою чергу, призводить до появи зв'язаних коливань.

Згідно з теорією коливань прямокутних пластин, власні частоти коливань шарнірно опертої по периметру плати (див. рис. 1) аналітично можна знайти як:

$$\omega_0 = \pi^2 \left[ (i/a)^2 + (f/b)^2 \right] \cdot \sqrt{D/\rho H} ,$$

де  $a, b$  – довжина і ширина плати;  $i, f$  – кількість напівхвиль синусоїди в напрямі осей  $X$  і  $Y$ ,  $D = EH^3 / [12(1 - \mu^2)]$  – циліндрична жорсткість,  $E$  – модуль пружності матеріалу плати;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона;  $H$  – товщина плати,  $\rho$  – густина матеріалу плати.

Розглянутий метод визначення власної частоти коливань може застосовуватись і коли плата вільно опирається на двох протилежних краях, що відповідає найпоширенішому способу закріплення плат у Т-подібних напрямних (в етажеркових конструкціях), при наближеному розв'язанні диференціальних рівнянь. У випадках, коли умови закріплення не задовольняють таким вимогам, застосовують наближені методи Релея, Релея–Рітца, Бубнова–Галеркіна та ін.



**Рис. 1.** Розрахункова схема плати і можливі форми її коливань

На практиці власні частоти коливань плат часто не збігаються з величинами, знайденими розрахунковим шляхом через низку причин: присутність навісного монтажу на платах і нерівномірного його розподілу по площі; присутність струмопровідних доріжок, що призводить до зміни характеристик жорсткості плати; неможливість врахування зусиль затягування при закріпленні плат у до корпусу блока тощо. Окрім того, через зв'язність коливань, при резонансах одні елементи втягують у коливання інші, що викликає зміну і маси, і жорсткості. Отже, знайдені розрахунковими методами значення власних частот коливань матимуть наближене значення, а більш точні їх значення можна отримати лише експериментально. Така значна розбіжність вказує на необхідність пошуку точніших методів вібраційного аналізу.

Найчастіше застосовувані дослідниками методи моделювання, що базуються на методі скінченних елементів, не враховують жорсткісні і демпфувальні характеристики компонентів та їх розташування, моделюючи друковану плату як пластину. У цій роботі автори здійснювали імітаційне моделювання у середовищі *Matlab* засобами *Simscape Multibody*, в основі якого лежать чисельні методи. Друкована плата моделювалась як гнучка пластина, на якій розміщуються електронні компоненти. Середовище 3D-моделювання *Simscape Multibody* дає можливість змоделювати друковану плату як багатотільну механічну систему з врахуванням типу закріплення плати, обмеження відповідних шарнірів, інерційних та пружно-демпфувальних властивостей усіх елементів системи.

Для моделювання був вибраний найпоширеніший на сьогодні матеріал для виготовлення друкованих плат – армований скловолоконном епоксидний ламінат FR-4. Це композиційний матеріал на основі

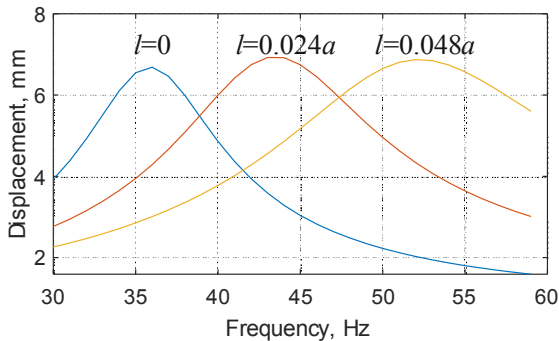
тканинного скловолокна, зв'язаного речовиною на основі епоксидної смоли з вогнетривкою властивістю. У таблиці 1 подані основні механічні характеристики FR-4, які були взяті для моделі. Матеріал має різні властивості у перпендикулярних напрямках: LW – повздовжньому, за напрямом основних ниток і CW – поперечному.

Таблиця 1

Густина	Модуль Юнга		Коефіцієнт Пуассона		Коеф. задухання
	LW	CW	LW	CW	
$\rho=1850 \text{ кг/м}^3$	$E=24 \text{ ГПа}$	$E=21 \text{ ГПа}$	$\mu=0,136$	$\mu=0,118$	0,017

Дослідженню підлягала друкована плата з наступними характеристиками:  $H = 1,22 \text{ мм}$ ;  $a = b = 200 \text{ мм}$ . Маса пустої плати – 115 г, маса плати з компонентами – 142 г. Для отримання частотних характеристик моделі здійснювалась її симуляція у діапазоні частот збудження першої, найбільш небезпечної форми коливань з амплітудою 1 мм. Вимушені коливання передавались на стінки корпусу, які вважались абсолютно жорсткими, через ідеальні шарнірні опори.

На рис. 2 представлені частотні характеристики коливань центра плати (максимальні прогини) при різних варіантах розміщення компонентів на платі: зміщення центра ваги відсутнє  $l = 0$ , зміщення дорівнює  $l = 0,024a$  та  $l = 0,048a$ , де  $a$  – сторона плати.



**Рис. 2. Частотні характеристики плати залежно від зміщення  $l$  центра ваги**

Отримані результати свідчать, що власна частота плати істотно залежить від положення її центра ваги і різко збільшується при наближенні до краю плати. Цей факт необхідно враховувати при компоновці на етапі проектування плати.