

УДК 623.407

В.Пісьціо, І. Бєлякова, В.Медвідь,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ОПТИМІЗАЦІЯ ВЛАСНОЇ ФОРМИ КОЛИВАНЬ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

V.Piscio, I.Belyakova, V.Medvid

OPTIMIZING OWN FORMS OF VIBRATIONS OF A PIEZOELECTRIC TRANSFORMER

Розглянемо задачу оптимізації форми плоского п'єзотрансформатора струму (ПТ) з поляризацією за товщиною пластини. Нехай пластинка має товщину h , її середня площина співпадає з площиною xOy , а матеріал має густину ρ .

Припустимо, що бічні поверхні п'єзотрансформатора вільні від електродів, а верхня і нижня поверхні покриті системою електродів, зазор між якими наближається до нуля. Для зменшення втрат енергії п'єзотрансформатор, зазвичай, закріплюють так, щоб його поверхні не передавали зусилля на закріплення. Така умова приводить до граничної умови: $\sigma_{ij}n_j = 0$, де n_j - вектор зовнішньої нормалі. У випадку одномірних коливань по довжині (координаті x) з коловою частотою ω при змінній ширині $b(x)$ п'єзотрансформатора та симетрії ПТ відносно осі Ox , рівняння, що описують його, можуть бути записані у вигляді:

$$\frac{d}{dx}(b\sigma_{11}) + \rho\omega^2 b u_1 = 0;$$
$$\frac{d}{dx} u_1 = s_{11}\sigma_{11} + \frac{d_{31}}{h \cdot b} \int_{-b/2}^{b/2} \varphi(x, y) dy,$$

де $\varphi(x, y)$ - різниця потенціалів між верхнім і нижнім електродами ПТ, залежна, в загальному випадку, від двох координат. Так як п'єзотрансформатор найчастіше працює у режимі, близькому до резонансу, можна вважати, що розподіл напружень у трансформаторі буде такий самий, як при власній формі коливань.

Тоді система рівнянь спроститься і може бути записана у вигляді одного рівняння другого порядку:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{b} \frac{d}{dx} (b\sigma_{11}) \right) + \rho\omega^2 s_{11}\sigma_{11} = 0$$

У випадку оптимальної форми ПТ, напруження σ_{11} у матеріалі ПТ наближаються до $[\sigma]$, а форма ПТ має наближатись до такої, що описується наступним рівнянням:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{b} \frac{d}{dx} (b[\sigma]) \right) + \rho\omega^2 s_{11}[\sigma] = 0.$$

Цю залежність можна вважати диференціальним рівнянням відносно b , що має загальний розв'язок, котрий може бути записаний у вигляді:

$$b(x) = B \exp \left(-\frac{\rho\omega^2 s_{11} x^2}{2} + A \cdot x \right).$$

Невідома стала A лише призводить до переміщення п'єзотрансформатора по осі x , а при $A = 0$ невідома стала B визначається необхідною потужністю ПТ.

Як легко зрозуміти, дефект такої оптимальної форми полягає в тому, що оптимальна форма п'єзопластини має мати нескінчену довжину, так як у протилежному випадку напруження σ_{11} ніколи не досягнуть нульового значення. Але, якщо примусово задати при $|x| > l_r$ ширину $b(x)$, рівну $b(l_r)$, довжина такої ділянки має бути

такою, щоб напруження у матеріалі спали до нуля. Отримана форма ПТ буде близькою до оптимальної, і тим ближче до оптимальної, чим більше I_r .

Графік залежності коефіцієнту використання матеріалу від I_r для п'єзотрансформатора із матеріалу ЦТС-19 із робочою частотою 40 кГц зображений на рис. 1. Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою:

$$K_m = \frac{\int \sigma_{11} dV}{V \cdot [\sigma]}$$

де $[\sigma]$ - максимально допустимі механічні напруження у матеріалі, V - об'єм п'єзотрансформатора.

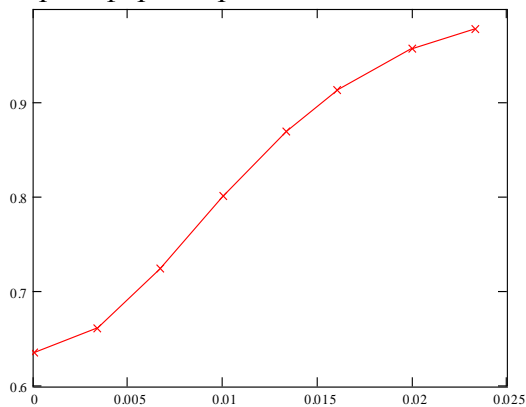
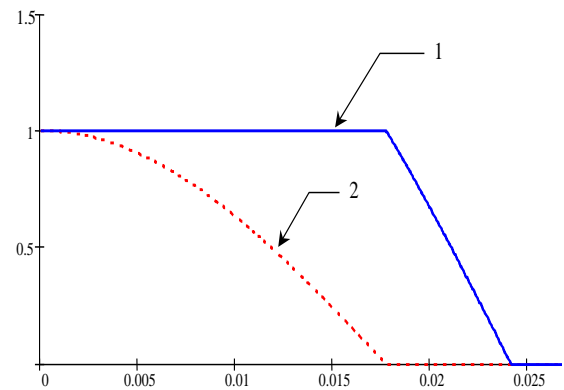


Рис. 1. Залежність коефіцієнта використання матеріалу від I_r



**Рис. 2. Розподіл напружень у матеріалі п'єзотрансформатора у долях від $[\sigma]$
1 - запропонований п'єзотрансформатор, 2 - стандартний п'єзотрансформатор постійної ширини**

Ескіз відповідної форми п'єзотрансформатора із матеріалу ЦТС-19М представлений на рис. 3 ($I_r = \frac{1}{4 \cdot f \cdot \sqrt{\rho \cdot s_{11}}} = 0.018$). Пунктирними лініями зображено п'єзотрансформатор "класичної" форми поперечно-поперечного типу із таким самим значенням електричних параметрів.

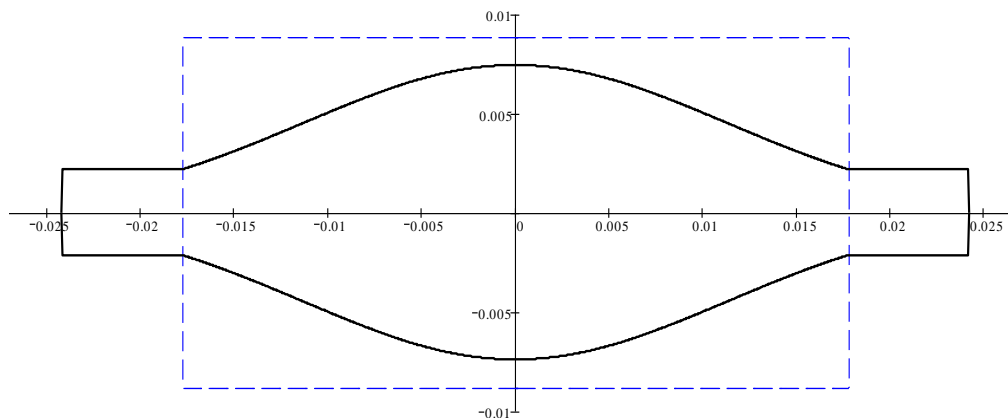


Рис. 3. Форма п'єзотрансформатора, що пропонується у порівнянні із класичним
Розподіл механічних напружень (у долях $[\sigma]$) у п'єзотрансформаторі зображений на рис. 2.

Із графіка видно, що напруження у матеріалі запропонованого п'єзотрансформатора близькі до максимально допустимих практично по всьому матеріалу ПТ, крім прикінцевих областей, вклад котрих у загальну роботу матеріалу не значний.