

ЗАСТОСУВАННЯ ПОСТІЙНИХ ЖОРСТКОСТІ В МОДЕЛЮВАННІ П'ЄЗОКВАРЦЕВИХ РЕЗОНАТОРІВ

к.т.н. С.В. Хуторненко, В.М. Савченко
(подав д.т.н., проф. В.Г. Ягуп)

Аналізується застосування постійних жорсткості з урахуванням їх збільшення під дією п'єзоефекту до моделювання п'єзокварцевих резонаторів (КР). На прикладі обчислення температурних коефіцієнтів частоти і ТЧХ Y-поворотних зрізів визначено, що відомі постійні, отримані за допомогою непрямих вимірювань, є п'єзоелектрично зжощені. Отримані значення вільних постійних для основних Y-поворотних зрізів п'єзокварцу.

Фундаментальним аспектом моделювання КР є значення постійних п'єзокристалу, які визначають кінцеве значення його параметрів. Основними постійними є жорсткість (вільна чи п'єзоелектрично зжощена), щільність, п'єзоелектричні та діелектричні постійні, теплові коефіцієнти лінійного розширення матеріалу (ТКЛР), а також коефіцієнти чутливості параметрів різних порядків до дії дестабілізуючих впливів (наприклад, температури). Найбільший вплив на значення параметрів КР мають величини постійних жорсткості, щільності та ТКЛР. При цьому значення останніх добре відомо для п'єзокварцу (3 постійних), а постійні жорсткості (6 незалежних постійних) визначаються достатньо складно з застосуванням методу непрямих вимірювань і відрізняються у різних авторів (наприклад, c_{12}^E – на 28,5 % у Р. Бехмана [1] та У. Мезона [2]). Крім того постійні дані для нульового кута зрізу п'єзокристалу, а для реального КР повинні бути перераховані, що не завжди зручно.

У визначенні постійних жорсткості найбільше поширення отримав метод непрямих вимірювань за значенням резонансної частоти кристалу спеціальних кутів зрізу. За відомими значеннями геометричних параметрів кристалічного елемента і щільності (маса коливальної системи (КС) m) та кругової резонансної частоти ω визначають жорсткість КС c_{ij} за відомою залежністю

$$\omega = \sqrt{c_{ij} / m} . \quad (1)$$

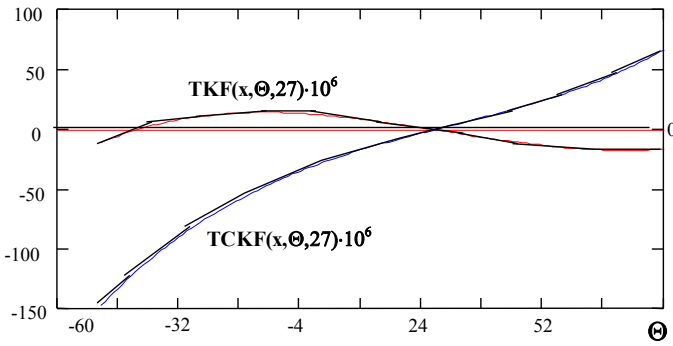
На відміну від механічної КС у КР є електромеханічний зв'язок між механічною КС пластини кристалу та електричною КС, яка утворена зарядами, що індукуються у пластині за допомогою п'єзоефекту. Урахування останнього прийнято проводити введенням поправки до

значення жорсткості – п'єзоелектрично зжощеної жорсткості. Так, для товщинно – зсувних коливань вона дорівнює [1]:

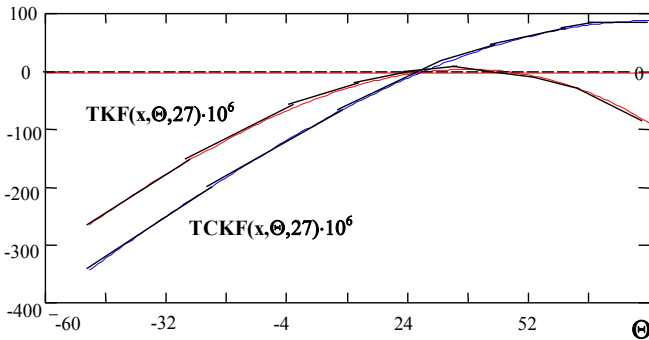
$$c_{1jkl}' = c_{1jkl} + e_{11j} e_{11k} / \epsilon_{11} , \quad (2)$$

де c_{1jkl} – постійна звичайної жорсткості; e_{11j} , ϵ_{11} – п'єзо- та діелектричні постійні кристалу.

В спрощених моделях поправку не вносять, використовують звичайну постійну жорсткості (вільну). Відповідно, в залежності від моделі (1) чи (2) результат непрямих вимірів жорсткості та результати моделювання будуть різними (рис.1,а – АТ - зріз; рис.1,б – ВТ - зріз).



а)



б)

Рис. 1. Температурні коефіцієнти частоти першого порядку з використанням постійних жорсткості – зжощеної (верхня крива) та звичайної

З урахуванням того, що постійні жорсткості визначені у 1943 [2] – 1958 рр. [1] і до цього немає уточнення, виникає питання про те, які це

постійні і як їх коректно застосовувати.

Видимо простішим шляхом вирішення цього питання є обрахунок температурних коефіцієнтів частоти першого – третього порядків і ТЧХ КР Y-поворотних зрізів п'єзокварцу, з використанням значень звичайної та п'єзоелектрично зжощеної жорсткості, і порівняння результатів розрахунків з відомими експериментальними та розрахунковими даними [3] (табл.1, рис. 2).

Таблиця 1

Температурні коефіцієнти частоти n порядку $T_f^{(n)}$

Кут зрізу $\chi \lambda$, °	Розраховані за c_{ij} вільною			Розраховані за c_{ij} зжощеною			Розраховані [3] (експериментальні [3])		
	$T_f^{(1)}$, $10^{-3}K^{-1}$	$T_f^{(2)}$, $10^{-9}K^{-2}$	$T_f^{(3)}$, $10^{-12}K^{-3}$	$T_f^{(1)}$, $10^{-3}K^{-1}$	$T_f^{(2)}$, $10^{-9}K^{-2}$	$T_f^{(3)}$, $10^{-12}K^{-3}$	$T_f^{(1)}$, $10^{-3}K^{-1}$	$T_f^{(2)}$, $10^{-9}K^{-2}$	$T_f^{(3)}$, $10^{-12}K^{-3}$
+35°15'	-0,57	-0,81	108,8 6	0,9	-1,39	148,7	0 (0)	-0,6 (0,40)	109 (109)
+30	27	23	113	39	29	154			
0	97,5	52,1	0,16	99	50,7	0,01	92,5 (92,5)	-57,5 (-)	-5,8 (-)
-45	12	-32	-123	9,7	-17	-73			
-49°13'	0,26	-43	-129	2,7	-23	-76	0 (0)	-39,6 (-40)	-128 (-128)
-60	-20	-61	-137	-9	-33	-78			

Як видно з даних табл. 1, постійні жорсткості [1, 2] насправді є постійними п'єзоелектрично зжощеної жорсткості, що необхідно враховувати у моделюванні.

Таблиця 2

Постійні жорсткості $c_{\lambda\mu}^E \cdot 10^9 \text{ Н м}^{-2}$

$\lambda\mu$	Орієнтація зрізу $\chi \lambda / \beta$					
	-60° (BC)	-49° (BT)	-45° (RS)	0° (Y)	+30° (AC)	+35° (AT)
11	86,75	86,75	86,75	86,75	86,75	86,75
12	-4,831	-7,943	-8,46	6,99	23,731	25,512
13	23,731	26,843	27,36	11,91	-4,831	-6,612
14	-11,085	-4,929	-2,46	17,91	11,085	8,297
33	80,147	90,454	94,47	107,2	131,398	125,325
44	54,138	45,297	42,53	57,94	54,138	49,883
66	68,844	67,682	66,539	39,147	28,578	28,787

В окремих випадках у моделюванні використовуються постійні звичайної жорсткості. Ці постійні розраховані за даними [1] та залежністю (2)

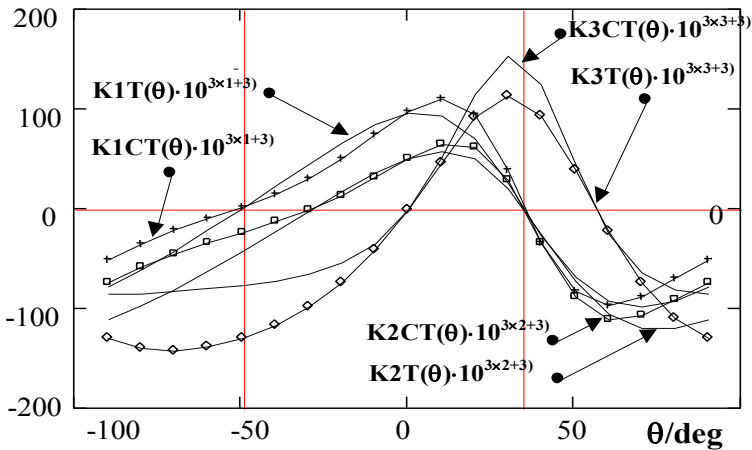


Рис. 2. Залежність температурних коефіцієнтів частоти 1-3 порядку від кута зрізу при застосуванні постійних жорсткості – п'єзоелектрично зжощених (пунктир) та вільних

для найбільш поширених Y- зрізів з урахуванням перетворення постійних при зміні кута зрізу [1] (табл. 2).

ЛІТЕРАТУРА

1. Зеленка И. Пьезорезонаторы на объемных и поверхностных акустических волнах: Материалы, технология, конструкция, применение: Пер. с чешск. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
2. Мэзон У. Пьезоэлектрические кристаллы и применение их в ультразвуке. Пер. с англ. / Под ред. А.В. Шубникова и С.Н. Ржевкина. – М.: Изд. иностр. лит., 1952. – 448 с.
3. Смагин А.Г., Ярославский М.И. Пьезоэлектричество кварца и кварцевые резонаторы. – М.: Энергия, 1970. – 488 с.

Надійшла до редколегії 28.09.2001