

В. Г. АНДРОСОВА, П. Г. ПОЗДНЯКОВ, В. И. БИРЮКОВ

## О ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ СДВИГА КВАРЦЕВЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

(Представлено академиком Н. В. Беловым 19 II 1974)

В работе <sup>(1)</sup> впервые были описаны результаты исследований колебаний сдвига прямоугольных кварцевых стержней и показана возможность достижения малой зависимости частоты от температуры для срезов, у которых длина стержня совпадает с направлением электрической (X) оси кварца (косые срезы семейства  $YXl/\beta$ ).

В стержнях такой ориентации возбуждается два сдвиговых колебания: низкочастотное и высокочастотное, частотные коэффициенты которых близки к значениям 1700 и 2550 кгц·мм и мало зависят от угла среза  $\beta$ . Для угла среза  $\beta = -45^\circ$  и определенных отношений размеров поперечника кривые зависимости частоты от температуры имеют вид квадратичных парабол. Для низкочастотных колебаний сдвига эти параболы достаточно пологи и крутизна их характеризуется квадратичным коэффициентом, примерно равным  $-0,015 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-2}$ .

Достаточно малая зависимость частоты от температуры определила практическое использование стержней среза  $\beta = -45^\circ$  и позволила создать

новый тип резонаторов (тип АП) для диапазона частот 300–1000 кгц. Отличные электрические характеристики резонаторов типа АП, их однородность и простота производства стимулировали дальнейшие исследования колебаний сдвига стержней с целью большего уменьшения зависимости частоты от температуры. Использование угла среза  $\beta = -45^\circ$  для пьезоэлементов типа АП определялось преимущественно тем, что небольшие изменения отношения поперечных размеров

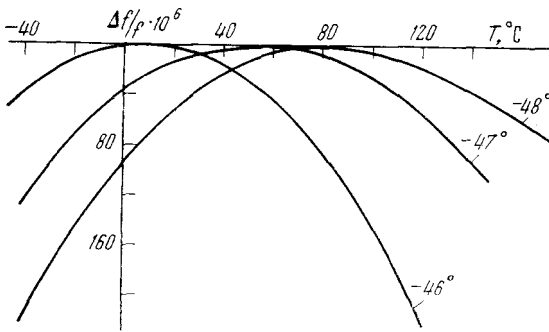


Рис. 1. Температурная зависимость частоты колебаний сдвига стержней одинаковых размеров среза  $YXl/\beta$  для различных значений  $\beta$

стержня позволяли в очень широких пределах изменять положение точки  $T_0$  нулевого, температурного коэффициента частоты (т.к.ч.), соответствующей вершине параболы. Можно было ожидать, что для других значений  $\beta$  и соответствующих отношений размеров стержня крутизна температурных кривых окажется меньше, чем в случае  $\beta = -45^\circ$ .

Исследования стержней с углами среза  $\beta$ , несколько большими  $-45^\circ$ , показали, что их температурные кривые более пологи и несколько асимметричны, правые ветви парабол имеют меньшую крутизну по сравнению с левыми. Используя стержни с углами среза  $47-48^\circ$ , можно получить заметно меньшие изменения частоты от температуры, чем в случае среза  $-45^\circ$ . Однако с увеличением угла  $\beta$  зависимость положения точки  $T_0$  от соотношения поперечных размеров стержня заметно уменьшается и при углах, больших  $-48^\circ$ , эффективное управление оказывается невозможным.

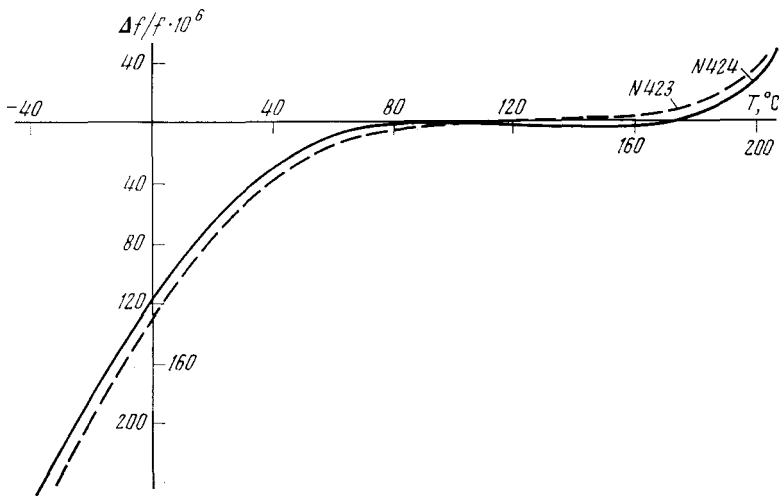


Рис. 2. Температурная зависимость частоты колебаний сдвига стержней среза  $YXl/-50^\circ$  для оптимального отношения толщины к ширине, равного 0,528 (резонаторы типа АП-50)

На рис. 1 показаны температурные кривые стержней с различными углами среза, иллюстрирующие их асимметрию и уменьшение крутизны. Если зависимость частоты от температуры представить функцией в виде степенного ряда, то, очевидно, что по мере увеличения угла среза  $\beta$  влияние квадратичного члена уменьшается и больший вес начинает приобретать кубический член. Измерения в более широком интервале температур подтвердили это обстоятельство. На рис. 1 изображена одна такая кривая. Ее форма сходна с формой кривых АТ-среза и отличается лишь положением экстремальных точек, соответствующих более высоким температурам.

Для стержней с углом среза  $\beta = -50^\circ$  были исследованы температурные зависимости частоты для различных отношений размеров поперечного сечения. Были найдены такие отношения этих размеров, при которых частота очень мало зависит от температуры в широком интервале (2). Типичные кривые для этого случая приведены на рис. 2.

В интервале температур  $\sim 100^\circ\text{C}$  изменение частоты может не превышать  $5 \cdot 10^{-6}$  и даже быть менее  $1 \cdot 10^{-6}$ . Иными словами, средний т.к.ч. резонаторов с такими пьезоэлементами может быть менее  $5 \cdot 10^{-8}/^\circ\text{C}$  (2).

Интервал малого т.к.ч. расположен между температурами 60 и  $180^\circ\text{C}$ , что несколько ограничивает широкое использование нового среза, который предложено называть АП-50. При изменении отношения поперечных размеров наблюдается изменение формы температурных кривых подобно

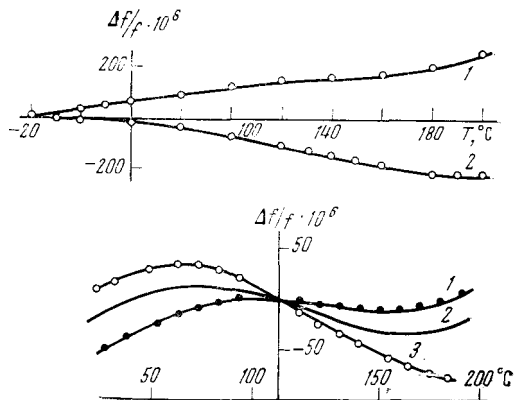


Рис. 3. Влияние отношения размеров стержня среза  $YXl/-50^\circ$  на зависимость частоты от температуры. Вверху — кривые для различных отношений толщины к ширине: 1 — 0,558, 2 — 0,432; длина и ширина в обоих случаях одинаковы. Внизу — кривые для различных отношений ширины к длине: 1 — 0,082, 2 — 0,093, 3 — 0,137; толщина и ширина во всех случаях одинаковы

Таблица 1

Номер резонатора	Частота, кГц	$R_K$ , ом	$L_K$ , гн	$Q \cdot 10^{-3}$	$C_0/C_K$
421	402,4	7,5	6,6	2200	500
422	402,4	18,0	6,6	920	480
423	402,5	11,0	6,6	1660	520
424	402,5	75,0	6,5	220	520

Примечание. Размеры пьезоэлемента: толщина — 50,4 мм, ширина — 4,166 мм, толщина — 2,03 мм.

тому, как это происходит при изменении угла среза у пластин АТ-среза. На рис. 3 изображено семейство кривых частота — температура для различных значений отношения размеров стержня, соответствующих оптимальным значениям этих отношений.

Резонаторы типа АП-50 характеризуются высокими значениями добротности и практически постоянством ее при изменениях температуры. В табл. 1 приведены значения основных параметров резонаторов на частоту около 400 кГц.

Резонаторы типа АП-50 с пленочным нагревателем, функцию которого выполняет один из электродов пьезоэлемента, в режиме нерегулируемого подогрева показывают весьма высокую температурную стабильность частоты порядка  $1 \cdot 10^{-6}$  в интервале температур от  $-60^\circ$  до  $+150^\circ$  С (<sup>3</sup>, <sup>4</sup>). Целесообразно использовать описываемые резонаторы на частотах от 300 до 1000 кГц.

Поступило  
14 II 1974

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Г. Андросова, П. Г. Поздняков, ДАН, т. 212, № 2 (1973). <sup>2</sup> В. Г. Андросова, П. Г. Поздняков, Описание к авт. свид. на изобр. № 390655 от 1971; Бюлл. изобр. № 30 (1973). <sup>3</sup> П. Г. Поздняков, И. М. Федотов, ДАН, т. 205, № 6, 1339 (1972). <sup>4</sup> П. Г. Поздняков, И. М. Федотов, Электронная техника, сер. IX, в. 4, 27 (1971).