

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАНСНЫХ СИСТЕМ

С.Н. Ключников

Рассмотрены известные методы определения добротности резонансных систем. Указаны недостатки известных методов и предложен новый метод определения добротности по амплитудным измерениям. Представлены экспериментальные расчеты.

**Ключевые слова:** резонансные системы; добротность; динамические измерения; характерные точки; АЧХ.

Добротность является одной из основных характеристик резонансных систем (РС). Рассмотрим для примера пьезоэлектрические элементы (ПКЭ), которые являются механическими РС. Основными параметрами ПКЭ как РС, являются частота механического резонанса  $f_p$  или  $\omega_p = 2\pi f_p$  и механическая добротность  $Q_M$ .

Использование электромеханических аналогий, позволяет заменить рассмотренное реальное ПКЭ рассмотрением его эквивалентной электрической схемы с сосредоточенными параметрами, которая имеет вид, показанный на рисунок 1. [1]:

Введены обозначения:  $C_0$  - емкость заторможенного ПКЭ;  $C$ ,  $L$ ,  $R$  - соответственно динамическая емкость, индуктивность, сопротивление потерь. Тогда частота резонанса и добротность определяются формулами:  $\omega_p = 1/\sqrt{LC}$ ,  $Q = \omega_p L / R$ .

Практически все применяемые методы определения добротности являются динамическими, связанными с частотными измерениями в области резонанса.

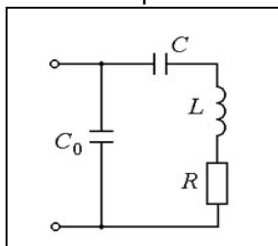


Рисунок 1 - Эквивалентная электрическая схема ПКЭ

Первый метод заключается в том, что находится частота резонанса  $\omega_p$  и ширина резонансной кривой  $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$  на уровне 0,5 от максимального значения активной составляющей проводимости (рисунок 2). Далее добротность находится по формуле:

$$Q_{M1} = \omega_p / \Delta\omega. \quad (1)$$

Метод, предложенный в [2] заключается в том, что осуществляется дифференцирование амплитудно-частотной характеристики по частоте, определяются частоты максимума  $\omega_{\max}$  и минимума  $\omega_{\min}$  производной. Далее эти частоты отождествляются с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , а добротность определяется по формуле (2):

$$Q_{M2} = \omega_p / (\omega_{\min} - \omega_{\max}). \quad (2)$$

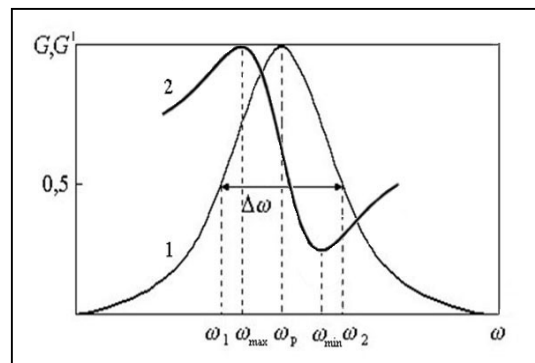


Рисунок 2 - Определение добротности по активной составляющей проводимости

Нахождение добротности этим методом позволяет увеличить скорость измерений и облегчить поиск характерных точек на частотной характеристике. Однако точность измерений не будет высокой, поскольку на самом деле экстремумы производной не соответствуют частотам  $\omega_1, \omega_2$ , что иллюстрирует рисунок 2: линия 1 - активная составляющая проводимости, линия 2 - ее производная. Оба графика нормированы на свои максимальные значения.

Для повышения точности, в работе [3] предложен метод определения добротности по амплитудным измерениям. Показано, что добротность определяется формулой:

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ИНТЕГРАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ИСТОЧНИКОВ ОПОРНЫХ КОЛЕБАНИЙ

$$Q_{M3} = \frac{\pi \omega_p G^l(\omega_{max})}{4 G(\omega_p)}, \quad (3)$$

в которой  $G(\omega_p)$  - максимум активной составляющей проводимости на частоте резонанса, а  $G^l(\omega_{max})$  - максимальное значение производной от активной составляющей проводимости на частоте  $\omega_{max}$ . Следовательно, для нахождения значения добротности РС должны быть найдены максимумы активной составляющей проводимости и ее производной, а также их отношение.

Результаты нахождения добротности по формулам (1) и (3) для разных образцов ПКЭ, представлены в таблице 1. Видно хорошее совпадение результатов.

Таблица 1.

	1	2	3	4
$Q_{M1}$	50	100	200	400
$Q_{M3}$	50,8	100,3	200,53	399,26

УДК 621.373.5

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ИНТЕГРАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ИСТОЧНИКОВ ОПОРНЫХ КОЛЕБАНИЙ**

А.В. Косых, С.А. Завьялов, К.В. Мурасов

В статье представлены результаты работы по моделированию интегрального датчика температуры, предназначенного для последующего внедрения в систему на кристалле. Рассматриваются модели биполярных транзисторов для осуществления моделирования. Проводится анализ линейности и крутизны характеристики выходного сигнала.

**Ключевые слова:** датчик температуры, операционный усилитель, биполярный транзистор.

**Введение**

Возрастающие требования по миниатюризации в современной электронике приводят к необходимости разработки большого количества устройств в интегральном исполнении. При разработке источников опорных колебаний проблема миниатюризации стоит особенно остро, поскольку одновременно ужесточаются противоречащие друг другу требования по габаритным размерам и по стабильности частоты.

Основным фактором нестабильности частоты кварцевых генераторов является температурная зависимость частоты. Известны два метода для минимизации темпера-

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Земляков В.Л. Методы и средства измерений в пьезоэлектрическом приборостроении: Монография. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ. 2009. – 180 с. (Пьезоэлектрическое приборостроение. Т. 5)
2. Патент РФ 2059202 МПК G01H3/12 Способ измерения добротности объекта и устройство для его осуществления/ Дороднов Е.И., Ерыхов Б.П.– Оpubл. 27.04.1996.
3. Земляков В.Л., Ключников С.Н. Определение параметров пьезокерамических элементов по амплитудным измерениям. // Измерительная техника, 2010, № 3, с. 38–40.

*С.Н. Ключников Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет». E-mail: sartmat557@mail.ru. 344090, г.Ростов-на-Дону, ул. Зорге 28/2, общежитие 5«Б». Тел.: +79094021924.*

турной нестабильности: термостатирование и термокомпенсация. В зависимости от предъявляемых требований по энергопотреблению, точностью поддержания частоты, габаритным размерам и времени выхода на режим целесообразно применение одного из методов температурной компенсации. В мобильном оборудовании связи с малым энергопотреблением широкое применение находят термокомпенсированные кварцевые генераторы [1,2].

Дальнейшее уменьшение размеров источника опорных колебаний при сохранении и увеличении достижимой стабильности частоты осуществимо при объединении на одном