ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 296 1976

ВЛИЯНИЕ ПАРАЗИТНЫХ ЕМКОСТЕЙ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

В. К. ЖУКОВ, П. А. ОВСЯННИКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры информационно-измерительной техники и сектора электромагнитных методов контроля)

Кварцевые резонаторы в настоящее время находят широкое применение во многих областях науки и техники, где требуется поддержание высокой стабильности физических величин и осуществление измерения с большой точностью.

В связи с этим все более ощущается необходимость совершенствования радиоизмерений, связанных с производством кварцевых резонаторов.

Из литературы [1] известно, что наибольшую точность измерения активного сопротивления кварцевого резонатора обеспечивает резонансный метод, при схемном решении которого кварцевый резонатор включается в цепь частотозависимого делителя, составленного из кварцевого резонатора и резистора R (рис. 1).

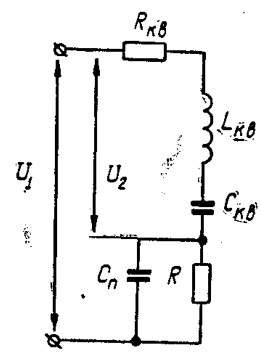

Рис. 1. Схема частотозависимого делителя.

На частоте последовательного резонанса, когда сопротивление кварца чисто активно, напряжение U_2 прямо пропорционально величине этого сопротивления и равно

$$U_2 = U_1 \frac{R_{кв}}{R + R_{кв}} . \tag{1}$$

Экспериментальными исследованиями было обнаружено, что при этом методе измерения погрешность вносит паразитная емкость $C_п$ (рис. 1).

Рассмотрим влияние емкости $C_п$ на погрешность измерения активного сопротивления кварцевого резонатора.

Из рис. 1 следует

$$U_2 = U_1 \left(1 - \frac{\dfrac{R}{1 + j\omega C_п R}}{\dfrac{R}{1 + j\omega C_п R} + j\omega L_{кв} - j\dfrac{1}{\omega C_{кв}} + R_{кв}} \right) . \tag{2}$$

$$U_2 = U_1(1 - K)$$

где

$$K = \frac{\dfrac{R}{1 + j\omega C_п R}}{\dfrac{R}{1 + j\omega C_п R} + j\omega L_{кв} - j\dfrac{1}{\omega C_{кв}} + R_{кв}} \tag{3}$$

После преобразования получаем

$$K = \frac{R\omega C_{кв}}{\omega C_{кв} R + (1 + j\omega C_{п} R)(j\omega^2 L_{кв} C_{кв} - j + \omega C_{кв} R_{кв})}. \quad (4)$$

На частоте последовательного резонанса — ω_0,

$$\omega_0 L_{кв} = \frac{1}{\omega_0 C_{кв}}, \quad (5)$$

откуда

$$L_{кв} = \frac{1}{\omega_0^2 C_{кв}}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (4), получаем

$$K = \frac{R \cdot \omega \cdot C_{кв}}{\omega C_{кв} R + (1 + j\omega C_{п} R)\left[R_{кв}\, \omega C_{кв} - j\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)\right]}. \quad (7)$$

С учетом того, что при малых расстройках

$$\left(\frac{\omega^2}{\omega_0^2} - 1\right) = 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0},$$

выражение (7) преобразовывается к виду

$$K = \frac{R \cdot \omega \cdot C_{кв}}{\omega C_{кв}(R + R_{кв}) - 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\omega C_{п} R + j\left(\omega^2 C_{п} C_{кв} R R_{кв} + 2\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)}. \quad (8)$$

Обозначив $\omega C_{п} R = p_1$ и поставив его в выражение (8), найдем модуль K.

$$|K| = \frac{R \cdot \omega \cdot C_{кв}}{\sqrt{\omega^2 C_{кв}^2 \left[(R + R_{кв})^2 + P_1^2 R_{кв}^2\right] - 4\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\omega C_{кв} R P_1 + 4\frac{\Delta\omega^2}{\omega_0^2}(1 + p_1^2)}}. \quad (9)$$

Разделим числитель и знаменатель в выражении (9) на $\omega C_{кв}$, после чего с учетом (5) получим

$$|K| = \frac{R}{\sqrt{(R + R_{кв})^2 + p_1^2 R_{кв}^2 - 4\frac{\Delta\omega}{\omega_0} R \cdot p_1 \omega_0 L_{кв} + 4\frac{\Delta\omega^2}{\omega^2}\omega_0^2 L_{кв}^2 (1 + p_1^2)}}. \quad (10)$$

Так как $\Delta\omega \ll \omega_0$, то

$$\frac{\omega_0}{\omega} = \left(1 - \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2 = 1. \quad (11)$$

После этого упрощения имеем

$$|K| = \frac{R}{\sqrt{(R + R_{кв})^2 + p_1^2 R_{кв}^2 - 4\Delta\omega R p_1 L_{кв} + 4\Delta\omega^2 L_{кв}^2 (1 + p_1^2)}}. \quad (12)$$

При $C_{п} = 0$ имеем

$$|K_0| = \frac{R}{R + R_{кв}}. \quad (13)$$

Так как $C_{п} \neq 0$, то возникает погрешность измерения

$$\gamma' = \frac{(1 - |K|) - (1 - |K_0|)}{1 - |K_0|}. \quad (14)$$

Подставив вместо $|K|$ и $|K_0|$ их выражения и обозначив $\frac{R_{кв}}{R} = p_2$, найдем

$$\gamma = \frac{1 + p_2 - \sqrt{p_1^2 p_2^2 + (1 + p_2)^2}}{p_2 \sqrt{p_1^2 p_2^2 + (1 + p_2)^2}} . \quad (15)$$

Выражение (15) представлено графически на рис. 2, из которого следует:

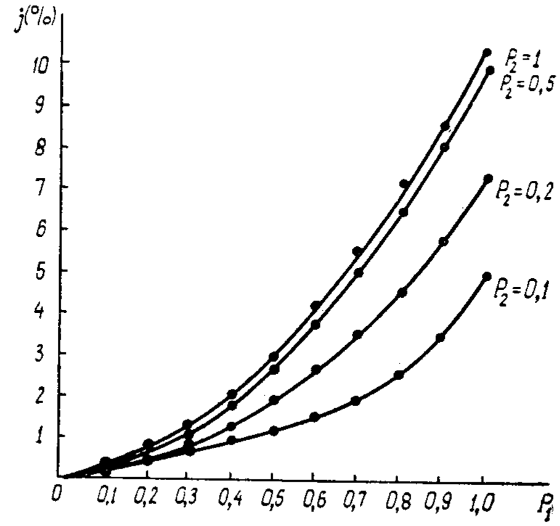

Рис. 2. Зависимость погрешности измерения от параметров P_1 и P_2.

1. При $p_2 = 1$ погрешность измерения получается максимальной.
2. При приближении сопротивления емкости C_n к сопротивлению R погрешность измерения получается максимальной.

В проектируемых приборах для повышения точности измерения активного сопротивления кварцевых резонаторов необходимо искать решения, способствующие уменьшению влияния емкости C_n на погрешность измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Б. Альтшуллер. Управление частотой кварцевых резонаторов. М., «Связь», 1969.