

## 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).

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

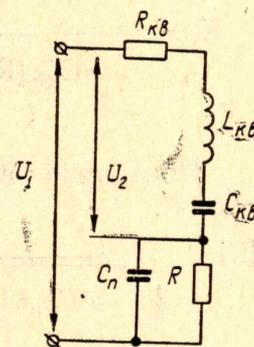


Рис. 1. Схема частотозависимого делителя.

$$U_2 = U_1 \frac{R_{кв}}{R + R_{кв}} \quad (1)$$

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

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

Из рис. 1 следует

$$U_2 = U_1 \left( 1 - \frac{\frac{R}{1 + j\omega C_n R}}{\frac{R}{1 + j\omega C_n R} + j\omega L_{кв} - j \frac{1}{\omega C_{кв}} + R_{кв}} \right) \quad (2)$$

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

$$\text{где } K = \frac{\frac{R}{1 + j\omega C_n R}}{\frac{R}{1 + j\omega C_n R} + j\omega L_{кв} - j \frac{1}{\omega C_{кв}} + R_{кв}} \quad (3)$$

После преобразования получаем

$$K = \frac{R \omega C_{KB}}{\omega C_{KB} R + (1 + j \omega C_{\Pi} R) (j \omega^2 L_{KB} C_{KB} - j + \omega C_{KB} R_{KB})}, \quad (4)$$

На частоте последовательного резонанса —  $\omega_0$ ,

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

откуда

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

Подставляя (6) в (4), получаем

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

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

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

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

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

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

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

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

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

При  $C_{\Pi} = 0$  имеем

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

Так как  $C_{\Pi} \neq 0$ , 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:

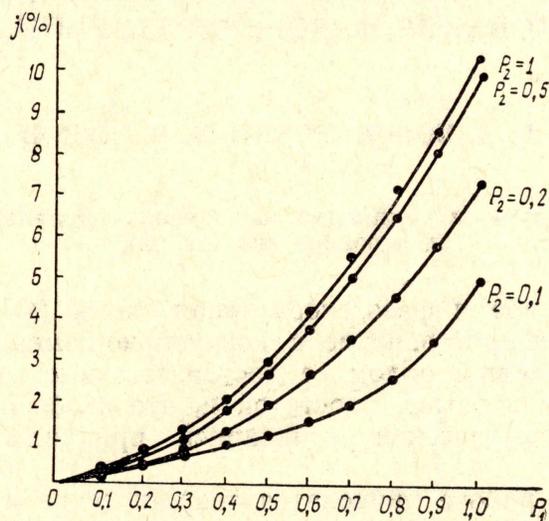


Рис. 2. Зависимость погрешности измерения от параметров  $P_1$  и  $P_2$ .

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.