

ЧАСТОТНЫЕ СПОСОБЫ УСТАНОВКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОТРАНСФОРМАТОРА

Александр Хмелев, Ангелина Хмелева, Владимир Потапов (Беларусь)

Аннотация. Согласно эквивалентной электрической схеме пьезотрансформатора, получено выражение для определения механической добротности пьезотрансформатора по его частотной характеристике. Предложенная методика позволила уменьшить погрешность определения добротности и повысить оперативность измерений добротности.

Для оценки резонансных свойств пьезотрансформаторов (ПТ) используют значение его механической добротности Q_M [1]. Наиболее распространенный метод определения добротности заключается в том, что находится частота резонанса ω_p и резонансный промежуток контура $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ на уровне половины от максимального значения [2]. В работе предлагается метод, позволяющий без ущерба для точности определения добротности, уменьшить объем измерений.

Использование электромеханических аналогий и понятия электромеханического трансформатора [1, 2] позволяет заменить ПТ его эквивалентной электромеханической схемой с сосредоточенными параметрами.

С механической стороны ПТ характеризуются динамической емкостью C_m и индуктивностью L_m , сопротивлением механических потерь R_m , а с электрической – входной емкостью C_i , выходной эквивалентной емкостью C_p и выходным эквивалентным сопротивлением электрической нагрузки R_p . Для исключения влияния выходной емкости и нагрузки на характеристики механической ветви ПТ его выходные зажимы замыкаются (рис. 1).

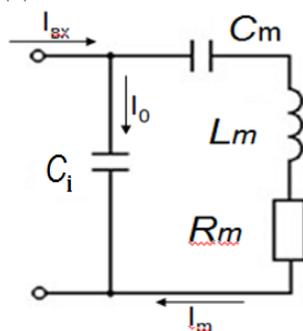


Рисунок 1. Схема замещения ПТ в режиме короткого замыкания.

Отношение действующих значений входных токов, для двух значений частоты (резонансной и произвольной), имеет вид:

$$\frac{I_{mp}}{I_m} = \frac{U_1 / Z_{1p}}{U_1 / Z_1} = \frac{\sqrt{R_m^2 + (X_L - X_C)^2}}{R_m}, \quad (1)$$

где I_m и I_{mp} – действующие значения токов (рис. 1) при произвольной частоте ω_1 и при резонансной ω_p соответственно; U_i – напряжение питания ПТ; Z_1 и Z_{1p} – модуль полного сопротивления механической ветви ПТ; R_m –

сопротивление механических потерь; $X_L = \omega L_m$ и $X_C = \frac{1}{\omega C_m}$ реактивные сопротивления, обусловленные индуктивностью L_m и емкостью C_m .

Для модуля полного сопротивления ПТ выражение преобразовывается

$$Z_1 = \sqrt{R_m^2 + \frac{(\omega_1^2 L_m C_m - 1)^2}{\omega_1^2 C_m^2}} = R_m \sqrt{1 + \frac{(\omega_1^2 L_m C_m - 1)^2}{R_m^2 \omega_1^2 C_m^2}}. \quad (2)$$

С учетом того, что частота резонанса $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_m C_m}}$, а добротность ПТ

$Q = \frac{1}{\omega_p R_m C_m}$, выражение (2) представляется в виде:

$$Z_1 = R_m \sqrt{1 + Q^2 \frac{(\omega_1^2 - \omega_p^2)^2}{\omega_1^2 \omega_p^2}} = R_m \sqrt{1 + Q^2 \lambda^2}, \quad (3)$$

где $\lambda = \left| \frac{\omega_1^2 - \omega_p^2}{\omega_p \omega_1} \right|$, при введении безразмерной частоты $k = \frac{\omega_p}{\omega_1}$, $\lambda = \left| \frac{1 - k^2}{k} \right|$.

Подстановкой (3) в (1) формируется выражение для определения добротности

$$Q = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\left(\frac{I_{mp}}{I_m} \right)^2 - 1}. \quad (4)$$

Полученное выражение позволяет вычислить, по нескольким произвольно взятым точкам частотной характеристики несколько независимых значений добротности, а затем усреднить их и тем самым уменьшить погрешность определения добротности. Средняя квадратичная погрешность серии из n измерений в \sqrt{n} раз меньше, чем погрешность отдельного измерения.

При определении добротности по (4) нет необходимости фиксировать резонансный промежуток контура на уровне 0,5, что уменьшает погрешность определения добротности, упрощает процедуру измерения, увеличивает оперативность проводимых измерений и уменьшает объем памяти вычислительного устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Земляков, В.Л. Методы и средства измерений в пьезоэлектрическом приборостроении: Монография. / В.Л. Земляков // Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ. 2009. – 180 с.

2. Паэрэнд, Ю. Э. Влияние емкостной составляющей нагрузки на коэффициент трансформации пьезотрансформатора // Ю. Э. Паэрэнд, В.Д. Потапов, П.В. Охрименко // Материалы XV МНПК «Современные информационные и электронные технологии» Украина, г. Одесса. 2014. Т. 2. С. 71–72.