

Borodyansky Yuriy Mihailovich
Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Educational Establishment
of Higher Vocational Education «Southern Federal University»

E-mail: borodyansky@yandex.ru

Glod Olga Denisovna

Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Educational Establishment
of Higher Vocational Education «Southern Federal University»

E-mail: glod@tsure.ru

УДК 621.315.434.001

В.Л. Земляков, С.Н. Ключников, А.И. Кулинич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЬЕЗОМОДУЛЯ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОБРАЗЦАХ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОРМЕ ДИСКА

Получены приближенные формулы, позволяющие уменьшить объем первичных измерений и упростить процедуру определения пьезомодуля пьезокерамических материалов в динамическом режиме на образцах элементов в форме диска.

Пьезокерамические материалы; пьезомодуль; диск; коэффициент Пуассона; аппроксимации; метод наименьших квадратов.

V.L. Zemlyakov, S.N. Kliuchnikov, A.I. Kulinich

THE PIEZOMODULE DETERMINATION FOR PIEZOCERAMIC MATERIALS ON ELEMENT SAMPLES IN THE FORM OF DISK

The approximate formulas which allow to reduce the amount of initial measurements and to simplify the piezomodule determination of piezoceramic materials in dynamic mode on element samples in the form of disk are derived.

Piezoceramic materials; piezomodule; disk; Poisson's ratio; approximation; least-squares method.

Для определения параметров пьезокерамических материалов чаще всего используют пьезокерамические элементы (ПКЭ) в форме столбика, стержня и диска. Для первых двух типов ПКЭ измерения осуществляются достаточно просто. Для элементов в форме диска ситуация более сложная, поскольку необходимо дополнительно проводить измерения частоты первого обертона f_{p1} (отношение частоты этого обертона к частоте резонанса f_{p1}/f_p обычно лежит в интервале 2,54 – 2,57), затем рассчитывать коэффициент Пуассона σ , а также находить наименьший корень частотного уравнения, содержащий функции Бесселя нулевого и первого порядков по таблицам. Формула для расчетов получается громоздкой и не удобной для инженерных расчетов.

В работе [1] уже рассматривалась возможность приближенного вычисления коэффициента электромеханической связи пьезоматериала на образцах ПКЭ в форме диска. Другим важным параметром является пьезомодуль. Возможность его определения по приближенным формулам и рассматривается в данной работе.

Будем использовать следующие исходные соотношения [2]:

$$\sigma = \frac{5,33 - 1,86(f_{p1}/f_p)}{0,633(f_{p1}/f_p) - 0,2}; \quad (1)$$

$$S_{11}^E = \frac{\eta^2}{\rho(\pi d f_p)^2 (1 - \sigma^2)} ; \quad (2)$$

$$k_p = \sqrt{\frac{\eta^2 - 1 - \sigma^2}{2(1 + \sigma)} \frac{f_a^2 - f_p^2}{f_a^2}} ; \quad (3)$$

$$d_{31} = k_p (\varepsilon_{33}^m S_{11}^E (1 - \sigma) / 2)^{1/2} , \quad (4)$$

где S_{11}^E – упругая податливость, ρ – плотность, d – диаметр диска, η – наименьший положительный корень частотного уравнения, k_p – планарный коэффициент электромеханической связи пьезокерамического материала, f_a – частота антирезонанса, d_{31} – пьезомодуль, ε_{33}^m – диэлектрическая проницаемость.

С учетом выражений (2) и (3), преобразуем (4) к виду

$$d_{31}^2 = \left(\frac{\eta^2 - 1 - \sigma^2}{2(1 + \sigma)} \frac{1 - \sigma}{2} \frac{\eta^2}{(1 - \sigma^2)} \right) \cdot \varepsilon_{33}^m \frac{f_a^2 - f_p^2}{f_a^2} \frac{1}{\rho(\pi d f_p)^2} . \quad (5)$$

Обозначим

$$F = \frac{\eta^2 - 1 - \sigma^2}{2(1 + \sigma)} \frac{1 - \sigma}{2} \frac{\eta^2}{(1 - \sigma^2)} . \quad (6)$$

Видно, что расчеты по (5) являются сложными и неудобными для практического использования. Поэтому представляет интерес более простая аналитическая запись для d_{31} . Ее можно получить, упростив выражение (6).

Сформулированная задача, как и в [1], решалась путем графического построения зависимости F от σ . Затем методом наименьших квадратов выполнялась аппроксимация данных.

График зависимости F от σ , построенный по (6), показан на рис.1 линией 1 и по внешнему виду близок к прямой.

Поэтому для аппроксимации использовалась функция вида $F = a\sigma + b$ и была получена следующая аппроксимирующая функция:

$$F = -0,4\sigma + 2,03 . \quad (7)$$

Результаты расчетов по формуле (7) приведены на рис.1 линией 2 и практически совпадают с линией 1.

Подстановка (7) вместо (6) дает следующую формулу:

$$d_{31}^2 = (-0,4\sigma + 2,03) \cdot \varepsilon_{33}^m \cdot \frac{f_a^2 - f_p^2}{f_a^2} \cdot \frac{1}{\rho(\pi d f_p)^2} . \quad (8)$$

Поскольку функция F меняется незначительно, то ее можно приближенно заменить константой, равной 1,88 (линия 3 на рис.1). Методическая погрешность определения пьезомодуля при таком приближении не превысит 2%, поскольку

$$\sqrt{1,93} = 1,39, \quad \sqrt{1,88} = 1,37, \quad \sqrt{1,83} = 1,35,$$

а формула (5) будет иметь простой вид

$$d_{31}^2 = 1,88 \cdot \varepsilon_{33}^m \frac{f_a^2 - f_p^2}{f_a^2} \frac{1}{\rho(\pi d f_p)^2} . \quad (9)$$

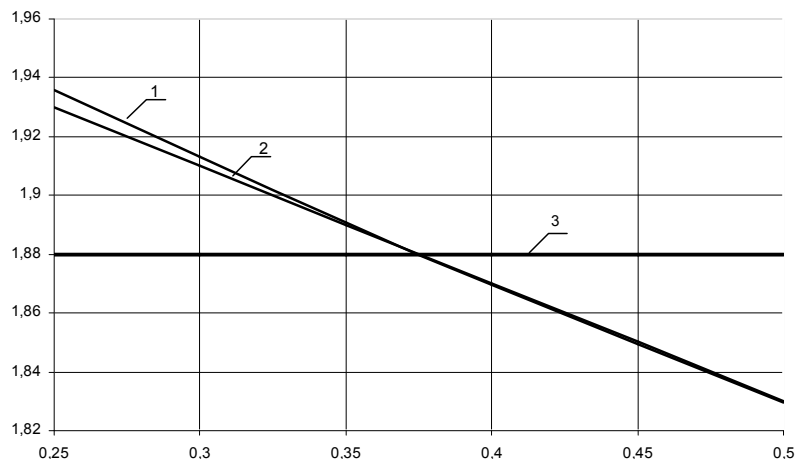


Рис.1. Зависимость F от σ :
 1 – формула (6), 2 – формула (7), 3 – $F = 1,88$

Последняя формула позволяет сделать вывод о том, что в практике измерений пьезомодуля иногда можно вообще отказаться от измерений частоты первого обертона f_{p1} и определения σ , а расчет d_{31} вести по приближенной формуле (9), в которой коэффициент 1,88 соответствует среднему значению при изменении σ от 0,24 до 0,5. При этом дополнительная погрешность определения d_{31} на краях диапазона изменения σ не будет превышать $\pm 2\%$. В середине же этого диапазона, что чаще всего встречается на практике, дополнительная погрешность составляет доли процента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Земляков В.Л. Определение параметров пьезокерамических материалов на образцах элементов в форме диска // Измерительная техника. 2003. № 12. С. 52–53.
2. Смажеская Е.Г., Фельдман И.Б. Пьезоэлектрическая керамика. – М.: Советское радио, 1971. – 182с.

Земляков Виктор Леонидович

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»

E-mail: kaf_sau@mail.ru

344090, Ростов-на-Дону, ул. Мельчакова, 10

Тел.: +7(8632)696991

Ключников Сергей Николаевич

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»

E-mail: kaf_sau@mail.ru

Кулинич Анна Ивановна
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»

E-mail: decanat@fvt.sfedu.ru

Zemlyakov Victor Leonidovich
Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»

E-mail: kaf_sau@mail.ru

10, Melchikova street, Rostov-on-Don, 344090

Phone: +7(8632)696991

Kliuchnikov Sergey Nikolaevich
Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»

E-mail: kaf_sau@mail.ru

Kulinich Anna Ivanovna
Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»

E-mail: decanat@fvt.sfedu.ru

УДК 621.3.019.1

С.Н. Галий, И.В. Гусенко

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ
СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМА РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЯ ЗАРЯДА**

Развитие компьютерных программ моделирования в последние десятилетия открывает новые возможности для изучения аналоговой и аналого-цифровой схемотехники.

Компьютерное моделирование; САПР; аналоговая электроника.

S.N. Galiy, I.V. Gusenko

**APPLICATION OF THE COMPUTER SIMULATION PROGRAM FOR
RESEARCH OF PARAMETERS AND AN OPERATING MODE OF THE
CHARGE AMPLIFIER**

Development of the computer simulation program in few last decades offers new opportunity for studying analogue and analogue - digital circuitry.

Computer simulation program; CAD; analog electronics.

Разработка любого современного радиоэлектронного устройства сопровождается физическим или математическим моделированием. Физическое моделирование связано с большими материальными и временными затратами, поскольку требует изготовления макетов и их трудоемкого исследования характеристик. Часто физическое моделирование просто невозможно из-за чрезвычайной сложности электронного устройства.

Использование программ моделирования находит широкое применение не только при разработке радиоэлектронных устройств, но и в учебном процессе вуза. Так, например студенты ЮФУ факультета высоких технологий, изучая курс