

УДК 54.08

**МЕТОД ПЕРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ**

**А.Е. Журина, Н.С. Емельянов, Е.А. Печерская**

Пензенский государственный университет,

[gelya.zhurina@mail.ru](mailto:gelya.zhurina@mail.ru), [emelianoff.nikita@gmail.com](mailto:emelianoff.nikita@gmail.com), [pea1@list.ru](mailto:pea1@list.ru)

**Аннотация.** Рассмотрен метод переменной электрической нагрузки для определения электрофизических параметров пьезоэлементов. Выделены преимущества и недостатки данного метода, а так же изложены перспективы улучшения и дальнейшего применения метода переменной электрической нагрузки.

**Ключевые слова:** Пьезоэлектрик, электрофизические параметры, метод переменной электрической нагрузки.

При проектировании измерительных устройств функциональная возможность пьезоэлементов играет важную роль [1, с. 27]. В связи с этим важной задачей является совершенствование методов испытаний и комплексные исследования характеристик пьезокерамических элементов, применяемых в измерительной технике. Это необходимо для более достоверного количественного анализа ожидаемых параметров пьезоэлектрических образцов в рамках пространственных электротермоупругих моделей.

Существует большое количество различных методов определения электрофизических параметров пьезоэлектрических материалов. Методы исследования свойств и определения констант упругости разделены на несколько групп: волновые, тепловые, резонансные, метод затухающих колебаний, фазовые, гистерезисные, маятниковые, квазистатические [2, с. 58]. Некоторые авторы предусматривают разделение методов на две группы: представителем первой группы является метод расчета параметров по величине межплоскостных расстояний семейства кристаллографических плоскостей, которые оцениваются по смещению соответствующего дифракционного максимума под действием электрического поля. Этот метод, хоть и позволяет исключить погрешность от переориентационных эффектов, однако, обладает небольшой чувствительностью [2]. Во вторую группу включены статические, квазистатические и динамические методы. Среди статических наиболее известен метод, использующий процесс снятия механической нагрузки. Измеряется пропорциональная пьезомодулю величина накапливаемого на электродах образца пьезозаряда. К этой же группе может быть отнесен метод, реализованный в устройстве, для определения электрофизических констант пьезоэлектрика, в котором предусмотрена возможность изменения режима нагружения.

В работе [3, с. 110] к методам переменной электрической нагрузки относят все известные методы, по которым измерение констант материала выполняется путем подключения к пьезокерамическому элементу известной электрической нагрузки. Согласно данному методу измеряется сдвиг резонансной частоты при подключении последовательно с пьезокерамическим образцом заданной емкости. При определении констант с последовательной емкостной нагрузкой удобнее определять параметры материала с пьезомягкими модами. Моды в образце можно определить резонансным методом, в котором возбуждаются определенные акустические моды собственных колебаний образца [4]. Комплексная проводимость для пьезомягких мод определяется выражением:

$$Y = j\omega C_0 \left[ 1 + \frac{k^2}{1 - k^2} I_d(\varphi) \right] \quad (1)$$

где  $C_0$  – электрическая емкость пьезокерамического образца,  $I_d(\varphi)$  – функция, определяющая динамическую сторону пьезоматериала,  $k$  – коэффициент электромеханической связи.

Благодаря этому методу, зная частотные и емкостные характеристики, можно определить электрофизические параметры пьезоэлектрического образца.

В работе [5] описан метод, который можно отнести к методу описанному выше. Для оценки свойств пьезоматериала применяется его эквивалентная электрическая схема, содержащая электрическую емкость  $C_0$ , параллельно которой подключена резонансная цепь RLC, отражающая динамические свойства механической колебательной системы. Авторы утверждают, что метод определения динамической емкости эквивалентной электрической схемы одновременно является и методом определения коэффициентов пьезоэлектрического материала. Это создает предпосылки для разработки новых методов определения коэффициентов, в том числе и методов, основанных на измерениях только в области механического резонанса образца.

В целом метод емкостной нагрузки хорошо себя показал, определить параметры пьезоэлектрического образца можно по емкостям и частотным характеристикам. Преимущества этого метода заключаются в исключении дисперсионной погрешности. Однако на результаты влияют конечные размеры и форма образца, так же как и в методе «Резонанс-антирезонанс» полный набор констант,

полученный для образца одной формы, будет отличаться от образца из того же материала, но другой формы. Тем не менее у метода переменной электрической нагрузки есть преимущества, при помощи теории линейных электрических цепей можно расширить возможности технической диагностики пьезоэлементов и разработать новые методы с простой процедурой первичных измерений. Для этого данный метод будет промоделирован при помощи программ Ansys Workbench и COMSOL Multiphysics, модель позволит понять все возможности данного метода, а так же возможные пути модернизация метода измерения, с целью исключения статистической погрешности и увеличения точности результатов. В дальнейшем, возможно, будет разработано измерительное устройство, в котором будет реализовываться метод переменной электрической нагрузки для измерения электрических параметров пьезоэлектрических образцов и автоматизированного определения электрофизических параметров этих образцов.

#### **Список использованных источников**

1. А.А. Бобцов, В.И. Бойков, С.В. Быстров, В.В. Григорьев, П.В. Карев Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 134 с.
2. Методы и алгоритм определения полного набора совместимых материальных констант пьезокерамических материалов / В. А. Акопян, А. Н. Соловьев, С. Н. Шевцов. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2008. – 144 с.
3. Пьезокерамические преобразователи: Справочник/ В.В. Ганопольский, Б.А. Касаткин, Ф.Ф. Легуша, Н.И. Прудько, С.И. Пугачев. – Л.: Судостроение, 1984. – 256 с., ил. (Библиотека инженера-гидроакустика).
4. Гайдуков Ю.П., Данилова Н.П., Сапожников О.А. Моды колебаний изотропного диска, слабо зависящие от его толщины // Акустический журнал. – 1999. – Том 45, № 2. – с. 195-203.
5. Земляков В.Л. Методы и средства технической диагностики пьезокерамических элементов / В.Л. Земляков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2010. – Том 53, №10. – С. 61-65.