

## УДК 53.083.2

### ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПЬЕЗОКОЭФФИЦИЕНТОВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПВДФ ПЛЕНОК

Исхакова Эльвина Рустамовна

*Студент 4 курса*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: К.М. Мусеев,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

В настоящее время одним из наиболее перспективных классов сегнетоэлектрических материалов являются поливинилиденфторид (ПВДФ) и его сополимеры. Они характеризуются высокими значениями пьезоэлектрических коэффициентов – параметром, который описывает количество заряда, возникшего на единице поверхности материала при приложении к нему единицы давления.

Во всех известных методиках пьезомодуль измеряется косвенно, его расчет часто нестандартен, и нет строго определенного порядка действий, по которому можно его точно определить. Каждый метод измерения имеет свои особенности и сложности, поэтому их изучение является актуальной задачей.

Целью данной работы является анализ динамических методов измерения пьезомодуля сегнетоэлектрических полимерных пленок ПВДФ.

Все существующие методы измерения пьезоэлектрического коэффициента можно разделить на три группы: динамические, статические и квазистатические [1]. Основное различие в методах определено временем внешнего воздействия.

В статических методах измерения время воздействия велико, длина волны значительно превышает любой геометрический параметр пленки. В методах обычно измеряют заряды, возникающие при наложении или снятии нагрузки.

Квазистатические методы позволяют определять статические пьезоконстанты с наименьшими по сравнению с другими методами погрешностями, причем основная часть их возникает из-за трудно учитываемых утечек пьезозаряда [2].

В динамических методах длина волны используемых колебаний сравнима хотя бы с одним из размеров образца. Данные методы основаны на измерении частотной характеристики проводимости в области резонанса и связаны с возбуждением в образцах упругих колебаний и распространением акустических волн.

Динамические методы измерения констант отличаются от статических методов большими частотами нагружающих воздействий, диапазон значений которых варьируется от единиц герц до  $10^6 \dots 10^7$  Гц.

К динамическим методам измерения пьезомодуля относят:

- Метод резонанса-антирезонанса;
- GBW метод (метод коэффициента усиления ширины полос частот);
- Метод «трансформатора».

В методе резонанса-антирезонанса измерения проводятся в трех частотных областях: в области резонанса, в области антирезонанса и на низкой частоте 1 кГц. Измерение частот резонанса и антирезонанса достигается путем изменения частоты подаваемого на образец переменного электрического напряжения. Напряжение максимально на частоте резонанса и минимально на частоте на антирезонанса [3].

GBW метод является развитием метода круговых диаграмм для комплексной проводимости. Его применение связано с измерением частотной зависимости активной составляющей проводимости. В методе требуется определять резонансный промежуток, т.е. разность двух наибольших значений частот.

В методе «трансформатора» один и тот же измеряемый образец работает одновременно в режиме прямого и обратного пьезоэффекта [4]. Измерения проводятся в области резонанса и области низких частот. С помощью данного метода измеряются пьезокоэффициенты  $d_{31}$  и  $d_{32}$ .

Для определения наиболее реализуемого на практике метода составлена таблица (таблица 1), где 1 – минимальный результат, 10 – максимальный.

Таблица 1 – Сравнение методов

	Простота реализации	Математический аппарат	Набор пьезоэлектрических коэффициентов	Автоматизация измерений	Итого
Метод резонанса-антирезонанса	8	8	10	6	<b>32</b>
Метод «трансформатора»	10	10	10	5	<b>35</b>
GBW - метод	3	4	10	8	<b>25</b>

Анализируя таблицу, можно сделать вывод, что все методы позволяют рассчитать полный набор пьезоэлектрических коэффициентов образца. Учитывая простоту реализации и количество диапазонов измерений, метод «трансформатора» является наиболее подходящим для дальнейшей его реализации в рамках лаборатории.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSN-2022-0007).

## Литература

1. Кэди У. Пьезоэлектричество и его практическое применение: Учебник. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1949. – 721 с.
2. Акопьян В.А. Методы и алгоритм определения полного набора совместимых материальных констант пьезокерамических материалов / В.А. Акопьян, А.Н. Соловьев, С.Н. Швецов. – Изд-во ЮФУ, 2008. – 144 с.
3. Земляков В. Л. Новые средства измерения параметров пьезокерамических элементов и пьезоматериалов / В. Л. Земляков, Н. М. Иванов, Ю. К. Милославский. – М. Приборостроение, 2010. – С. 61-65.
4. Rezvani B., Linvill J.G. Measurement of piezoelectric parameters versus bias field strength in polyvinylidene fluoride (PVF2). Applied Physics Letters 34.12, 1979: 828-830.