

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 7. IT-технологии и электроника

Сборник научных трудов

XVIII Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

27–30 апреля 2021 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Volume 7. IT-technologies and Electronics

Abstracts

XVIII International Conference of students, graduate students
and young scientists

April 27–30, 2021



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Национальный
исследовательский

Томский
государственный
университет



Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники



ТОМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Томск 2021

УДК 537.226.1

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ЛИСТОВЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ОТКРЫТОМ РЕЗОНАТОРЕ**Н.С. Кайро, Д.Д. Тетерина, К.В. Билинский

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.В. Бадьин

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: nikitakavro@gmail.com**AUTOMATED SYSTEM FOR MEASURING THE ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF SHEET
DIELECTRICS IN AN OPEN RESONATOR**N.S. Kavro, D.D. Teterina, K. V. Bilinskii

Scientific Supervisor: Ph.D. A. V. Badin

National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: nikitakavro@gmail.com

Abstract. *In the article, the results of automation of the setup for measuring the dielectric permittivity of sheet dielectrics in an open resonator are presented. A program to control the positioning mechanism of the object under study, which allows setting the position of the sample with an accuracy of 6.25 μm in the longitudinal direction and 0.225° in the angle, was written in the LabVIEW (National Instruments). For angular position of 30° of sheet dielectrics relative to the longitudinal axis of the open resonator resonance curves are experimentally obtained. Based on the data obtained, the calculation of the dielectric constant of the material is given.*

Введение. При проведении научных исследований электрофизических свойств материалов квазиоптическим резонаторным методом требуется точное позиционирование объекта в пространстве между зеркалами. Ручная регулировка положения с необходимой точностью при исследовании свойств листовых диэлектриков [1], медицинских нитей [2], полимерного филамента [3] для 3D-принтеров и полупроводниковых подложек [4] занимает достаточно длительное время. В связи с этим возникла необходимость создания аппаратно-программного комплекса для измерения параметров листовых диэлектриков в открытом резонаторе.

Экспериментальная часть. Резонаторный метод позволяет измерить параметры листовых диэлектриков с малыми потерями. Данный метод позволяет найти диэлектрическую проницаемость и толщину листовых материалов. Главным преимуществом данного метода является многократное взаимодействие с электромагнитной волны с образцом. Открытый резонатор образован двумя вогнутыми металлическими отражателями с круглой апертурой ($D = 80$ мм) и одинаковой кривизной ($R = 150$ мм), расположенными на расстоянии $L = 185$ мм. В центре отражателей находятся элементы связи в виде узких щелей, осуществляющие связь с внешними волноводными трактами и обеспечивающих поляризацию электрического поля в резонаторе ортогонально щелям. Образец располагается в центре

резонатора (рис. 1а) ортогонально его оси и параллельно вектору электрического поля в его пучности. На рис. 1б представлена блок-схема измерительной системы.

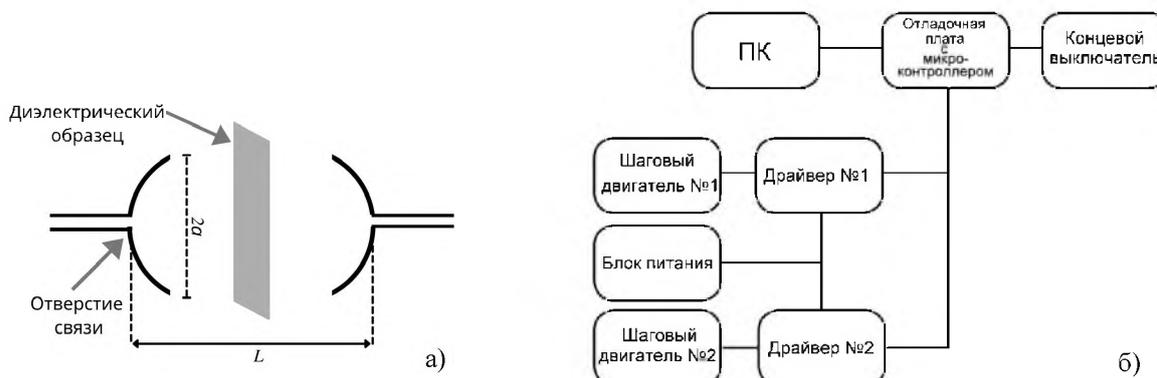


Рис. 1. Открытый резонатор с листовым диэлектриком (а) и блок-схема установки для измерения параметров листовых диэлектриков в открытом резонаторе (б)

Для вычисления диэлектрической проницаемости листового диэлектрика в открытом резонаторе необходимо измерить толщину образца, определить величину межвидового интервала, выбрать поляризацию излучения и угол измерений, после чего измерить сдвиг резонансной частоты или изменение добротности. Вычисление диэлектрической проницаемости производилось согласно методики [5]. В качестве механической части системы была использована каретка с винтовой передачей движения по цилиндрическим направляющим. Для реализации электрической части системы были выбраны: отладочная плата «Arduino Nano» с микроконтроллером Atmega 328p, 2 шаговых двигателя «Nema» (17Hs08-1004S и 17HS4401), драйвер шаговых двигателей (A4988) с дроблением шага 1/8 по углу и DRV8825 с целым шагом для продольного перемещения каретки, оптический концевой выключатель, блок питания постоянного тока с напряжением 12 вольт. Элементы крепежа системы были изготовлены из ABS-пластика методом 3D печати. Программа управления аппаратной частью написана в среде графического программирования LabVIEW от компании National Instruments. С её помощью осуществляется управление перемещением объекта по горизонтали с минимальным шагом 6,25 мкм. Также есть возможность углового перемещения объектов по часовой и против часовой стрелки с минимальным шагом 0,225°. Драйвер № 1 обеспечивает связь микроконтроллера с шаговым двигателем №1, отвечающего за горизонтальное перемещение исследуемого образца. Угловое позиционирование объекта осуществляется микроконтроллером через драйвер шагового двигателя № 2. На рис. 2 приведены измеренные векторным анализатором Agilent E8363B резонансные кривые открытого резонатора с листовыми диэлектриками (пластик и оргстекло), расположенными под углом 30° относительно продольной оси резонатора. На основе экспериментальных данных сдвига резонансной частоты $\delta f_{p,3}$ произведены расчеты диэлектрической проницаемости листовых диэлектриков (Таблица 1).

Результаты. При помещении в открытый резонатор оргстекла уменьшение резонансной частоты составило 460 МГц, для пластика – 290 МГц, соответственно. С помощью методики [5] была найдена диэлектрическая проницаемость, которая составила 2,74 отн. ед. для оргстекла и 2,17 отн. ед. - пластика.

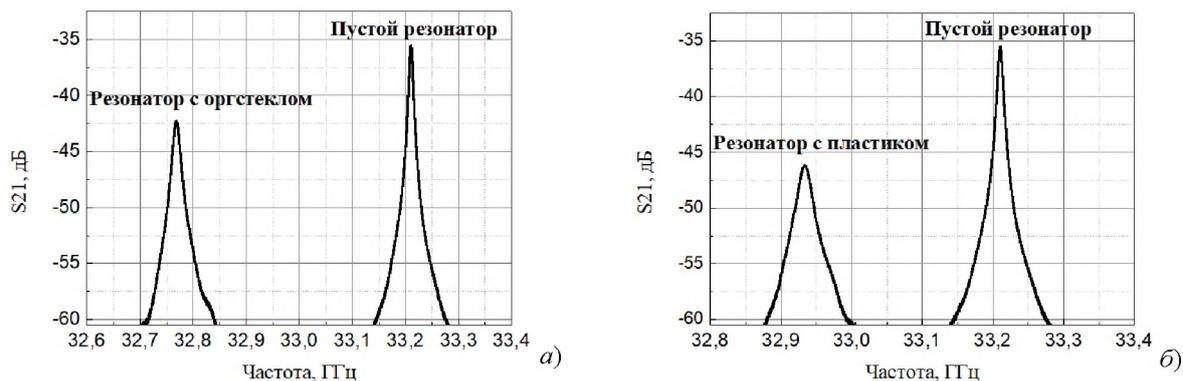


Рис. 2. Экспериментальные резонансные кривые для листовых диэлектриков: оргстекло (а) и пластик (б)

Таблица 1

Характеристики измеренных образцов листовых диэлектриков

№	Название	Толщина, мм	$f_{рез}$, ГГц	$\delta f_{рез}$, МГц	ϵ , отн. ед.
1	Оргстекло	2,9	32,77	-460	2,74
2	Пластик	2,63	32,94	-290	2,17

Заключение. Таким образом, была создана и апробирована автоматизированная система измерения параметров листовых диэлектриков в открытом резонаторе. Проведены измерения диэлектрической проницаемости листовых диэлектриков. Исследование выполнено при поддержке совета по грантам Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-1709.2020.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов Е.В., Дунаевский Г.Е., Суслияев В.И. Исследование и измерение влажности листовых материалов комбинацией радиофизического и суховесового методов // Материалы докладов Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск: В-Спектр, 2011: В 2 ч. – Ч. 2. – С. 166 – 169.
2. Бессонов В.В., Дорофеев И.О. Исследование возможности квазиоптического радиоволнового контроля медицинской нити // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, №. 8-3. – С. 118–120.
3. Тетерина Д.Д., Бадьин А.В., Геринг М.О. Резонаторная СВЧ диагностика композитного филамента с МУНТ для 3D-печати // V Всероссийский научный семинар. – 2019. – С. 79.
4. Dorofeev I. *et al.* Local Quasioptical Resonator Diagnostics of Semiconductor Wafers // MATEC Web of conferences. – 2018. – V. 155. – P. 01051.
5. Измерение диэлектрической проницаемости плоских диэлектриков с помощью квазиоптического открытого резонатора // Учебно–методическое пособие. – 2009. – С. 11.