

РАЗДЕЛ II. КОМПОНЕНТЫ И МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-08-98016-р_сибирь_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев С.Ф., Ишков А.В. и др. Виртуализированные измерительные приборы: колл. монография. Кн. 27. / под ред. О.И. Кирикова. - Воронеж: Изд-во ВГПУ, 2010.
2. Дмитриев С.Ф., Ишков А.В. и др. Виртуализированные измерительные приборы для образования и научных исследований. // Мат-лы III Всеросс. н.-п. конф. –Бийск: БГГУ им. В.М. Шукшина, 2010. С. 129-140.
3. Дмитриев С.Ф., Ишков А.В. и др. Особенности реализации аппаратной части виртуализированных измерительных приборов в методе вихревых токов. // Ползуновский вестник, - 2010. -№2. -С. 118-122.
4. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. - СПб.: Питер, 2004.
5. Тамм И.Е. Основы теории электричества. -М.: Высшая школа, 1976.
6. Дмитриев С.Ф., Ишков А.В. и др. Общие подходы при разработке специализированного программного обеспечения виртуализированных измерительных приборов // Ползуновский вестник. -2010. -№2. -С. 199-205.

К.т.н., доцент С.Ф. Дмитриев, д.т.н., профессор А.В. Ишков, аспирант Д.Н. Лященко, тел.: 8-(3852)-62-83-80, e-mail: olg168@rambler.ru - ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет», 656049, г. Барнаул, пр-т Красноармейский, 98.

УДК 537.86, 537.87

СВЧ-ДАТЧИК ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТОГО РЕЗОНАТОРА

Е.В. Емельянов, Г.Е. Дунаевский

В работе рассматривается радиофизический метод контроля и измерения влажности плоскопараллельных листовых материалов, который основан на использовании открытого СВЧ-резонатора в качестве измерительной ячейки. Затронут вопрос корректного расположения исследуемого объекта в рабочей области открытого резонатора.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, влажность, открытый резонатор, измерения на СВЧ, порог перколяции.

Введение

Измерение влажности материалов необходимо для оптимизации технологических процессов и контроля качества конечного продукта [1, 2]. Среди принятых в настоящее время методов контроля влажности выделяют следующие радиофизические методы: кондуктометрические, емкостные, волноводные, резонаторные (объемные, микрополосковые, коаксиальные, диэлектрические и открытые резонаторы). К достоинствам радиофизических относятся: высокая чувствительность, быстродействие, выдача информации в цифровом виде, что позволяет легко автоматизировать процесс сбора и обработки данных. Для контроля влажности листовых, протяженных материалов в качестве измерительной СВЧ ячейки более предпочтительно использовать открытые резонаторы (ОР) [3].

Теория ОР достаточно развита для описания электродинамических характеристик резонатора и их изменений при внесении в его полость диэлектрических образцов различной формы [4]. Обычно предполагается положение образца в полости резонато-

ра строго фиксированным и неподвижным. Использование же ОР позволяет производить контроль влажности в непрерывном технологическом процессе [5].

Данная работа предлагает ознакомиться читателю с компактным СВЧ-датчиком для контроля влажности листовых материалов на основе открытого СВЧ-резонатора.

Описание блок-схемы устройства

Блок-схема лабораторного макета СВЧ-датчика приведена на рисунке. Для проведения исследований использовалось оборудование ЦКП «Центр радиоизмерений ТГУ», аккредитованного в 2009 году на техническую компетентность в области измерения диэлектрической проницаемости на СВЧ. Измерительная установка включает в себя: ЭВМ, векторный анализатор цепей PNA E8363B фирмы Agilent Technology (генератор СВЧ-излучения, детектор, АЦП), 8-мм открытый резонатор, коаксиальные линии связи, а так же волноводно-коаксиальные переходы.

СВЧ-ДАТЧИК ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТОГО РЕЗОНАТОРА

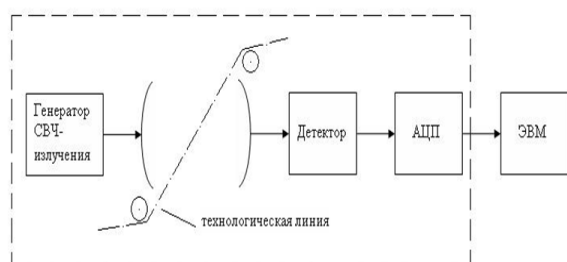


Рисунок 1 - Блок-схема лабораторного макета

Измерения проводились в 8-мм диапазоне длин волн в ОР длиной $L=13,4$ см, образованном вогнутыми зеркалами с диаметром апертуры $2a=12$ см и радиусом кривизны $R=20$ см. Использовался основной тип колебаний, схема измерения «на проход».

Связь резонатора с трактом осуществлялась с помощью волноводов прямоугольного сечения, сходящихся по узкой стенке в щели на зеркалах. При этом, во-первых, потери и сдвиги фаз, вносимые элементами связи, не зависят от положения бумаги; во-вторых, обеспечивается линейная поляризация колебаний ОР (ортогональная плоскости щелей связи [4, 5]), в плоскости, ортогональной плоскости исследуемого образца.

Измерение влажности бумаги

Измерения проводились на писчей бумаге марки ZOOM Extra A4. Размер листа задавался в соответствии с конструкцией резонатора (диаметром пучка поля резонатора), и в нашем случае составлял размер А5.

«Сухой» лист помещался в кювету с дисстилюрованной водой, где смачивался несколько минут до полного промокания. Под термином «сухой» понимается бумага с естественным содержанием влаги, то есть специально вся влага не удалялась (поскольку при полном удалении влаги физические характеристики бумаги изменяются необратимо). Далее для равномерной пропитки водой лист помещался в полиэтиленовый мешок (мультифору) на 10 минут, после чего влажный лист бумаги вертикально размещался в наклоненный под углом ϑ ОР.

Измерения значений коэффициента прохождения резонатора (S_{21}) были проведены в окрестности четырех резонансных частот $f_{рез}$: 27,5 ГГц; 28,6 ГГц; 29,7 ГГц; 30,8 ГГц.

Влияние изменения влажности воздуха в объеме резонатора устранялось дополнительной калибровкой пустого резонатора. Полученные поправочные зависимости статистически обрабатывались и использовались для корректировки конечного результата. В реальных производственных условиях

изменение влажности в рабочей области резонатора не предполагается.

Определение угла наклона образца в резонаторе

Для определения диапазона значений угла ϑ , при которых обеспечивается инвариантность к продольным перемещениям и вибрациям образца, проводились измерения для образцов с одинаковой влажностью при различных углах наклона.

Результаты, представленные на рисунках 2 а,б, показывают уменьшение величины диэлектрической проницаемости с ростом частоты при одной и той же концентрации влаги. Это явление является общеизвестным, предсказывается соотношениями Дебая и теориями композиционной смеси, при этих значениях углов колебания (вибрации) и перемещения образцов не приводили к изменениям значений измеренных резонансных частот и добротностей. На рисунках 2 в,г вышеуказанная закономерность нарушается, существенными становятся малые изменения угла наклона и поперечные колебания образца. Очевидно, что наиболее эффективно устройство диагностики влажности на основе ОР будет работать в диапазоне углов ϑ в пределах 30-50°, когда влияние малых изменений этого угла и поперечных вибраций листа становится несущественным.

Другое приложение предлагаемого устройства - исследование комплексной диэлектрической проницаемости влагосодержащих композитов, которое дает возможность получения новых знаний о физике взаимодействия молекул воды с субстратом, определения степени связанности воды и порога перколяции.

Оценка погрешности

Для оценки статистической погрешности установки были проведены тестовые измерения диэлектрической проницаемости плоских образцов из органического стекла. Толщина используемых образцов составила: от 0,65 мм до 2,65 мм. На основе многократных измерений получены значения для органического стекла $\varepsilon = 3,33 \pm 0,02$. Известно, что статическая диэлектрическая проницаемость данного материала составляет $\varepsilon = 3,5 - 3,9$ [6]. Таким образом, с учетом уменьшения величины диэлектрической проницаемости с частотой электромагнитного излучения, можно считать результаты измерения достоверными. Вычисленная из многократных измерений относительная погрешность не превышает 1%.

РАЗДЕЛ II. КОМПОНЕНТЫ И МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

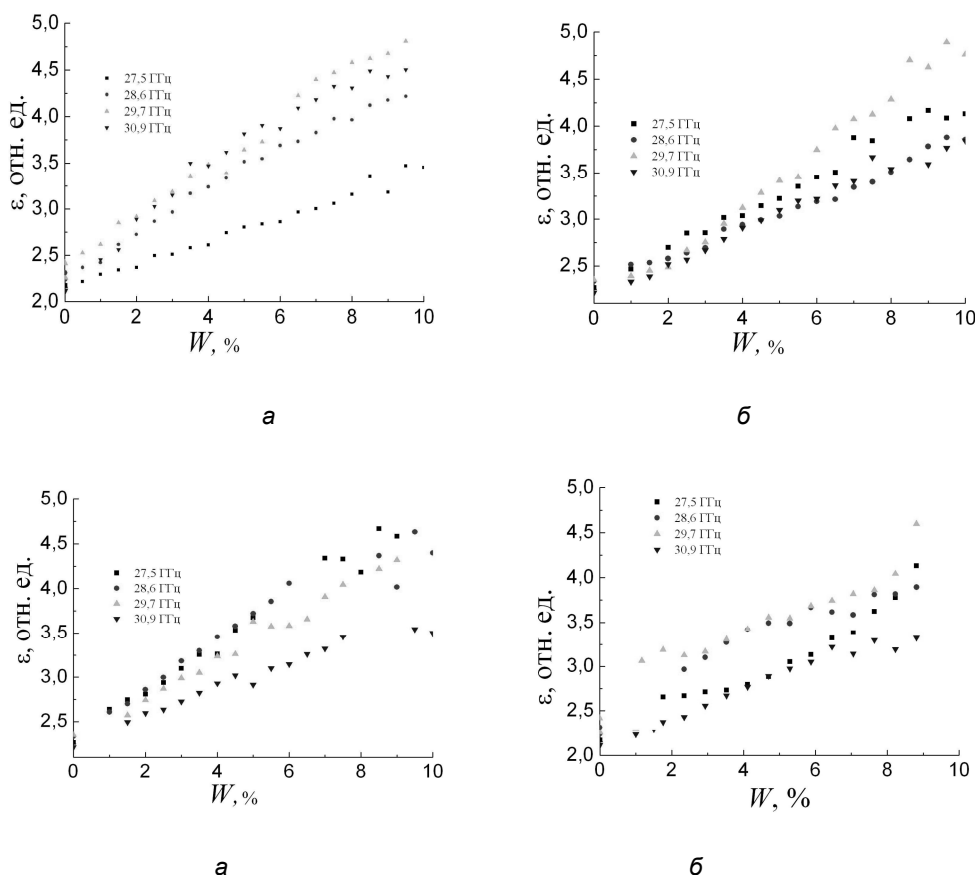


Рисунок 2 – Зависимость измеренных значений диэлектрической проницаемости от влажности листа, угол наклона диэлектрика φ : а) 34° , б) 45° , в) 55° , г) 60°

Заключение

Экспериментально определены значения угла φ , при которых вибрации и перемещение образца вдоль оси резонатора не влияют на электродинамические характеристики резонатора, лежат в пределах от 30° до 50° . Определена статистическая погрешность измерений установки, которая не превышает 1%.

Работа выполнена при поддержке грантов: АВЦП 2.1.1/4513 по проекту «Разработка физических основ создания методов и средств терагерцовой диагностики фундаментальных характеристик материалов искусственного и природного происхождения»; государственный контракт № П 2126 от 05.11.2009 г. «Разработка элементной базы устройств гигагерцового и терагерцового диапазонов на основе квазистатических и квазиоптических подходов»; государственный контракт № П 2476 от 19.11.2009 г. «Многофункциональная аппаратура гигагерцового и терагерцового диапазонов на принципах квазистатических и квазистатических подходов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кричевский Е.С., Волченко А.Г., Галушкин С.С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов. - М.: Энергоиздат, 1987. -136 с.
2. Кухарчик П. Д., Сердюк В. М., Титовицкий И. А. Применение объемных резонаторов с целью в качестве приборов измерения влажности сыпучих материалов // Журнал Антенны. 2006. с.77-82.
3. Завьялов А.С., Дунаевский Г.Е. Измерение параметров материалов на сверхвысоких частотах.- Томск: Изд-во ТГУ, 1985. – 213 с.
4. Дунаевский Г. Е. Открытые резонаторные преобразователи. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 300 с.
5. Дунаевский Г.Е. Открытые резонаторы в радиоволновой диагностике. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006.– 304 с.
6. Ехнович А.С. Справочник по физике. – М.: Изд-во Просвещение, 1990. – 384 с.

Аспирант **Е.В. Емельянов** – resonans@inbox.ru; д.т.н., проф. **Г.Е. Дунаевский** – Томский государственный университет, кафедра радиоэлектроники, (3822)41-39-89.