

ОБЪЁМНЫЙ РЕЗОНАТОРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С КОАКСИАЛЬНОЙ АПЕРТУРОЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ В МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТАХ

Гордиенко Ю. Е., Шадрин А. А., Полетаев Д. А., Гришковец В. И., Турчин Д. В.
Харьковский национальный университет радиозлектроники
Таверический национальный университет им. В. И. Вернадского
г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина, ХНУРЭ
г. Симферополь, пр. Вернадского, 4, 95007, Украина, ТНУ
тел.: +38-0652-608-260, e-mail: dm1try@tnu.in.ua

Аннотация — Обоснована необходимость применения датчика на основе объёмного резонаторного преобразователя с коаксиальной апертурой для определения влагосодержания в малоразмерных объектах. Проведено численное моделирование основных характеристик измерительного преобразователя данного типа. Осуществлена экспериментальная проверка результатов моделирования на тестовом материале - пшеничной муке.

I. Введение

СВЧ методы широко используются для определения влагосодержания в биообъектах и других средах [1]. Успех их применения обусловлен возможностью проведения экспресс-анализа, а также высокой воспроизводимостью измерений.

В настоящее время в качестве резонаторных измерительных преобразователей (РИП) наибольшее применение нашли коаксиальные и цилиндрические четвертьволновых коаксиальных резонаторов: высокая концентрация поля, возможность внешнего расположения объекта исследований. Вместе с тем, данный тип резонаторов обладает малой собственной добротностью, что затрудняет проведение высокочастотных измерений.

Высокой собственной добротностью обладают цилиндрические резонаторы [3]. Однако, малое провисание поля из апертуры цилиндрического резонатора, не позволяет достичь значительной чувствительности и локальности измерений.

Определение влагосодержания в малоразмерных объектах (например, мазки биологических проб, пыльца растений и др.) требует высокой чувствительности и концентрации электромагнитного поля [1].

Целесообразным является объединение положительных качеств резонаторов обоих типов и исследование данного РИП.

Целью данной работы является исследование характеристик объёмного резонаторного преобразователя с коаксиальной апертурой.

II. Результаты исследования

Наиболее востребованы следующие режимы функционирования объёмного резонатора с коаксиальной апертурой:

1. Коаксиальный вывод резонансно настроен на рабочую частоту и образует совместно с объёмным резонатором систему связанных резонаторов. При внесении образца, резонатор изменяет свою резонансную частоту и добротность, что приводит к соответствующим изменениям резонансной частоты и добротности всей системы.

2. Коаксиальный вывод согласован с объёмным резонатором в области их соединения, но функцио-

нирует в режиме передающей линии, нагруженной образцом. Наличие образца изменяет согласование такой линии с объёмным резонатором, что вызывает изменение добротности и резонансной частоты объёмного резонатора.

Общий вид объёмного резонаторного преобразователя с коаксиальной апертурой представлен на рис. 1. Исходя из максимума дисперсии для воды [3], и общих электродинамических соотношений [2], были выбраны следующие геометрические размеры:

$$h/\lambda = 0,83; R_0/\lambda = 0,5; R_2/\lambda = 0,1; R_1/R_2 = 0,2, \lambda = 3 \text{ см.}$$

Проводимость стенок $\sigma = 58 \cdot 10^5 \text{ См/м.}$

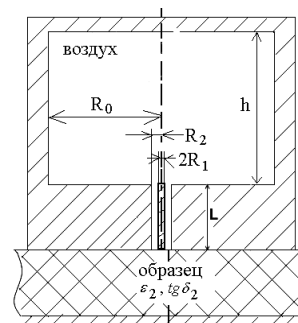


Рис. 1. Объёмный резонаторный преобразователь с коаксиальной апертурой.

Fig. 1. The resonator measuring converter with the coaxial aperture

Руководствуясь физическими соображениями, можно утверждать, что согласование коаксиальной вставки (по рис. 1) с объёмным резонатором осуществляется путем изменения его длины L .

В результате численного решения волнового уравнения с учетом излучательных и активных потерь в стенках резонатора, получены зависимости добротности (рис. 2, а) и чувствительности РИП к изменению тангенса угла диэлектрических потерь (рис. 2, б) от высоты коаксиального волновода, образующего апертуру. Чувствительность определялась исходя из изменения добротности $\delta Q/Q = (Q_1 - Q_2)/Q_1$ для двух образцов: 1- $\epsilon_2 = 3; tg\delta_2 = 0,01$ и 2- $\epsilon_2 = 3; tg\delta_2 = 0,02$. На обоих графиках явно выражен экстремум при $L/\lambda = 0,8$.

III. Интерпретация результатов

Из приведенных зависимостей следует резонансный характер зависимости чувствительности от длины коаксиала. Максимум в зависимости чувствительности от L свидетельствует о необходимости обязательного согласования коаксиальной апертуры с объёмным резонатором.

Для проверки численных расчётов, было проведено экспериментальное исследование зависимости информационных сигналов РИП от влажности пшеничной муки. Длина коаксиальной вставки экспериментального РИП $L/\lambda = 0,8$, остальные размеры аналогичны вышеприведенным.

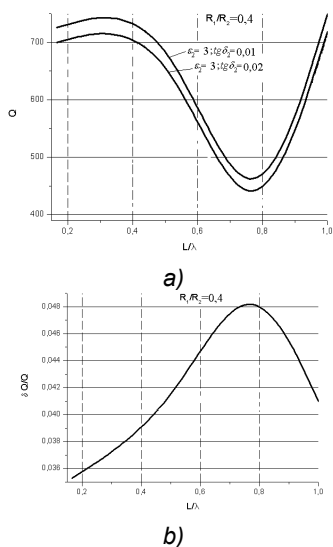


Рис. 2. Зависимость а) добротности; б) чувствительности РИП от величины L .

Fig. 2. Dependence a) quality factor; b) sensitivity vs. L .

Методика проведения эксперимента включала определения добротности и частоты РИП с помощью панорамного измерителя КСВН Р2-61, при измерении проб пшеничной муки с влажностью 0%, 6%, 8% и 12%.

В результате, получены зависимости изменения добротности и резонансной частоты РИП, относительно добротности и частоты ненагруженного РИП, от процентного содержания влаги (рис. 3).

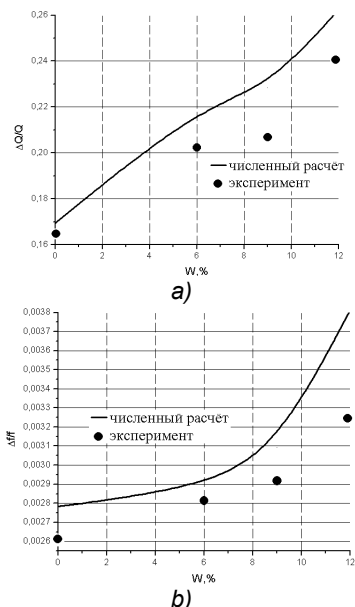


Рис. 3. Зависимость изменения а) добротности; б) частоты от влажосодержания.

Fig. 3. Dependence of change a) quality factor; b) frequencies vs. moisture content

Для численного расчёта использованы вышеприведённые геометрические размеры, величина проводимости металла выбрана $\sigma = 47 \cdot 10^5$ См/м. Электрофизические параметры пшеничной муки различной влажности приведены в [3].

IV. Заключение

Проведено теоретическое исследование основных характеристик РИП и установлена оптимальная длина коаксиального волновода, образующего апертуру объёмного резонатора. Осуществлена экспериментальная проверка чувствительности оптимизированного резонаторного преобразователя.

Различие экспериментальных и теоретических данных не превышает 15%. Отличие обусловлено непостоянством электрофизических параметров муки разных урожаев и погрешностью проведения эксперимента.

V. Список литературы

- [1] Park J., Hyun S., Kim A., Kim T., Char K. Observation of biological samples using a scanning microwave microscope. // Ultramicroscopy. 2005. № 102, Vol. 2. P. 101-106.
- [2] Гордиенко Ю. Е., Петров В. В., Поletaев Д. А. Свойства четвертьволнового коаксиального СВЧ измерительного преобразователя для диагностики материалов // Радиотехника. 2008. № 154. С. 61 – 66.
- [3] Лисовский В. В. Теория и практика сверхвысокочастотного контроля влажности сельскохозяйственных материалов. – Мн.: УОБГАТУ, 2005. – 292 с.

RESONATOR MEASURING CONVERTER WITH THE COAXIAL APERTURE FOR MICROOBJECT AQUAMETRY

Gordienko Yu. Ye., Shadrin A. A., Poletaev D. A.
Grishkovetz V. I., Tourchin D. V.
Kharkiv National University of Radioelectronics
V. I. Vernadsky Tavria National University
14, Lenin Str., Kharkiv, 61166, Ukraine
4, Vernadsky Ave., Simferopol, 95007, Ukraine
tel.: +38-0652-608-260, e-mail: dm1try@tnu.in.ua

Abstract — Numerical modeling and experimental check of resonator sensors are conducted.

I. Introduction

Microwave methods are widely used for aquametry [1]. The success of their application is caused by contactless and indestructible samples when carrying out the measurements.

Characteristics of the resonator measuring converter with the coaxial aperture are studied in this work.

II, III. Main Part

Resonant character of dependence of sensitivity coaxial length follows from the resulted dependences (fig. 2). The maximum in dependence of sensitivity vs. L testifies the necessity of the coaxial aperture and main resonator matching.

IV. Conclusion

It is carried out theoretical research of resonator measuring converter with the coaxial aperture base characteristics, and the optimum length of the coaxial wave guide forming the aperture is found. Experimental check of sensitivity of the optimized gauge is also conducted.