

КОАКСИАЛЬНЫЙ РЕЗОНАТОРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ СВЧ ВЛАГОМЕТРИИ

Гордиенко Ю. Е., Старостенко В. В., Шадрин А. А., Полетаев Д. А.
 Харьковский национальный университет радиоэлектроники
 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 — В работе предложена численная модель коаксиального резонаторного измерительного преобразователя с запредельной частью для СВЧ влагометрии. Определена чувствительность резонаторного преобразователя для разных рабочих длин волн. Установлено, что добротность определяется только параметрами пробы, при изменении длины запредельной части, заполненной материалом, от $0,04\lambda$ до $0,4\lambda$.

I. Введение

Современная влагометрия широко использует СВЧ методы [1], благодаря их экспрессности и воспроизводимости. Наибольшей чувствительностью обладают резонаторные СВЧ методы.

В настоящее время, широкое применение нашли датчики на основе коаксиальных резонаторных измерительных преобразователей (КРИП) [2]. Преимущество использования четвертьволновых коаксиальных резонаторов очевидны: возможность внешнего расположения объекта исследования, регулировка чувствительности измерительного преобразователя путём выбора апертуры.

Конструкция датчика на основе КРИП с запредельной частью (рис. 1) позволяет уменьшить излучательные потери электромагнитной энергии, что позволяет увеличить нагруженную добротность. Положительной чертой данного измерительного преобразователя также является отсутствие паразитного влияния воздушного зазора между торцом резонатора и образцом на информационные сигналы КРИП.

Рабочая частота КРИП определяется максимумом дисперсии воды [3], а также размером отдельного зерна материала (различают, например, крупно- и мелкодисперсные).

Целью работы является изучение электродинамических характеристик КРИП при изменении длины запредельной части, заполненной исследуемым материалом, и частоты.

II. Результаты исследования

Общий вид КРИП с запредельной частью приведен на рис. 1. КРИП включает коаксиальный резонатор, высотой H и запредельную часть, общей длиной h_z ; h — длина запредельной части, содержащая исследуемую пробу с электрофизическими параметрами $\varepsilon, tg\delta$, относительной диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь, соответственно. Для исключения проникновения исследуемого материала в коаксиальный резонатор, последний отделён от запредельной части разделительной вставкой, электрофизические параметры которой идентичны параметрам воздуха.

Одномодовый режим Т-волны коаксиальной линии обеспечивается на частотах [4]:

$$f < c/\pi(R_1 + R_2). \quad (1)$$

Резонансная частота четвертьволнового резонатора определяется формулой [4]:

$$f_0 = c(2n - 1)/(4H), \quad (2)$$

где c — скорость света.

Низший тип волны круглого волновода — Н₁₁. Критическая длина волны данного типа равна [4]:

$$\lambda_{H11} = 3,41\sqrt{\varepsilon}R_2, \quad (3)$$

где ε — относительная диэлектрическая проницаемость вещества, заполняющего круглый волновод.

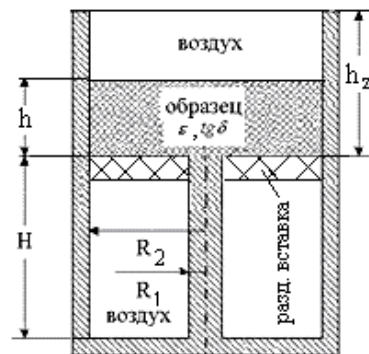


Рис. 1. КРИП с запредельной частью.

Fig. 1. The resonator measuring converter with an evanescent-mode waveguide part

Руководствуясь базовыми выражениями (1) – (3), а также размерами зерна сыпучего материала и удобством использования, были выбраны следующие геометрические размеры:

- 1: $R_2/\lambda = 0,07$; $R_1/R_2 = 0,17$; $H/\lambda = 2,75$; $\lambda = 22$ см — для крупно- и мелкодисперсных материалов;
- 2: $R_2/\lambda = 0,05$; $R_1/R_2 = 0,2$; $H/\lambda = 2,25$; $\lambda = 10$ см;
- 3: $R_2/\lambda = 0,08$; $R_1/R_2 = 0,2$; $H/\lambda = 2,25$; $\lambda = 3$ см — только для мелкодисперсных материалов.

Добротность и резонансная частота получены из прямого численного решения волнового уравнения, с учётом тепловых потерь в стенках резонатора (проводимость металла $\sigma = 58 \cdot 10^6$ См/м).

Зависимость добротности от h_z (рис. 2) получена при воздушном заполнении запредельной части, нагруженной на свободное пространство.

Чувствительность определялась исходя из изменения добротности $\Delta Q/Q = (Q_1 - Q_2)/Q_1$ для двух образцов: 1- $\varepsilon = 7; tg\delta = 0,001$ и 2- $\varepsilon = 7; tg\delta = 0,01$.

Графики зависимости добротности и чувствительности от длины запредельной части приведены на рис. 3.

III. Интерпретация результатов

Как видно из графика на рис. 2, изменение добротности резонаторного преобразователя практически прекращается, при $h_z/\lambda \geq 0,4$ для всех указанных длин волн. Целесообразно ограничить длину запредельной части величиной $h_z/\lambda = 0,4$. Дальнейшие численные расчёты будут проводиться при данной длине запредельной части.

Как видно из графиков на рис. 3, КРИП с запредельной частью обладает высокой добротностью и чувствительностью к изменению параметров материала. Из графика на рис. 3, а видно, что добротность резонаторного преобразователя определяется только параметрами пробы и практически не зависит от длины запредельной части h , заполненной исследуемым материалом, при изменении последней от $0,04\lambda$ до $0,4\lambda$. Этот факт позволяет упростить проведение практических измерений с применением описанного КРИП.

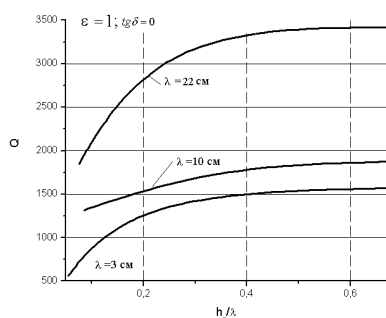


Рис. 2. Зависимость добротности от длины запредельной части.

Fig. 2. Dependence of quality factor vs. evanescent waveguide's length

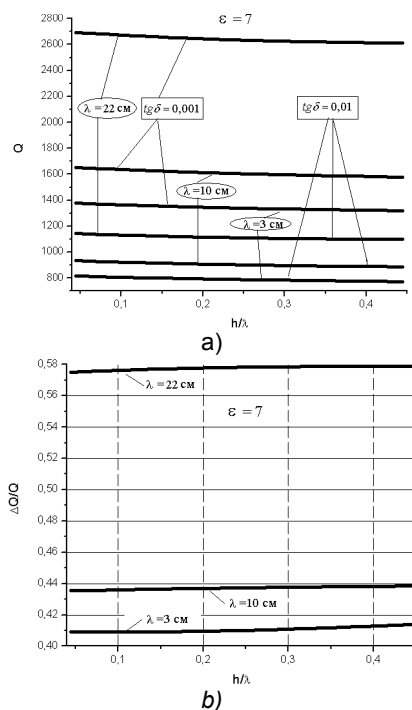


Рис. 3. Зависимость а) добротности; б) чувствительности от длины запредельной части, заполненной исследуемым материалом.

Fig. 3. Dependence of a) quality factor; b) sensitivity vs. h_z

Наибольшая чувствительность достигается при большей длине волны (рис. 3, б). Физическая интерпретация состоит в том, что СВЧ поле с меньшей длиной волны глубже проникает в запредельный волновод. Таким образом, для повышения точности измерения параметров мелкодисперсных диэлектриков, следует увеличивать длину волны.

IV. Заключение

Проведено теоретическое исследование основных электродинамических характеристик КРИП с запредельной частью и установлено, что добротность резонаторного преобразователя определяется только параметрами пробы, при изменении длины запредельной части, заполненной материалом, от $0,04\lambda$ до $0,4\lambda$.

Результаты работы позволяют обоснованно проектировать датчики на основе коаксиальных резонаторных измерительных преобразователей для определения влагосодержания сыпучих сред разной дисперсности.

V. Список литературы

- [1] Лисовский В. В. Теория и практика сверхвысокочастотного контроля влажности сельскохозяйственных материалов. – Мн.: УОБГАТУ, 2005. – 292 с.
- [2] Гордиенко Ю. Е., Петров В. В., Полетаев Д. А. Свойства четвертьволнового коаксиального СВЧ измерительного преобразователя для диагностики материалов // Радиотехника. 2008. № 154. С. 61 – 66.
- [3] Chen L. F., Ong C. K., Neo C. P. and other. Microwave Electronics Measurement and Materials Characterization. – Southern Gate: John Wiley & Sons Ltd, 2004. – 537 p.
- [4] Кураев А. А., Попкова Т. Л., Синуцын А. К. Электродинамика и распространение радиоволн. – Мн.: Бестпринт, 2004. – 358 с.

THE COAXIAL RESONATOR MEASURING CONVERTER FOR MICROWAVE AQUIMETRY

Gordienko Yu. Ye., Starostenko V. V., Shadrin A. A. Poletaev D. A.

Kharkiv National University of Radioelectronics
V. I. Vernadsky Tavrida 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 of the coaxial resonator measuring converter with an evanescent waveguide is carried out.

I. Introduction

The purpose of work is study of electrodynamic characteristics of the coaxial resonator measuring converter with an evanescent waveguide.

II, III. Main Part

The general view of coaxial resonator measuring converter with an evanescent waveguide is brought on fig. 1.

Plots of dependence of quality factor and sensitivity vs. evanescent waveguide length values are shown on fig. 2, 3.

IV. Conclusion

Theoretical research of the coaxial resonator measuring converter basic characteristics with an evanescent waveguide is carried out.