

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ФУНКЦИЙ ПРОБРАЗОВАНИЯ АДСОРБЦИОННЫХ СВЧ ГИГРОМЕТРОВ

Панченко А. Ю., Слипченко Н. И.
Харьковский национальный университет радиозлектроники
г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина
тел.: (057) 702-13-62, e-mail: panchenko-a-yu@yandex.ru

Аннотация — Создано аналитическое описание электромагнитного поля в резонаторах с влагопоглощающими вставками, с учетом изменяющегося во времени пространственного распределения адсорбированной влаги. Получены и проанализированы результаты численных расчетов параметров резонаторного сенсора при различных формах и размерах влагопоглощающих вставок. Показана практическая ценность результатов и перспективы дальнейшего совершенствования данного типа СВЧ-сенсоров.

I. Введение

Основной проблемой измерения влажности газов является низкая чувствительность приборов, обусловленная разреженностью среды. Один из методов повышения чувствительности состоит в использовании сорбирующих материалов, в которых происходит накопление влаги. Изменение их диэлектрической проницаемости может быть существенно больше, чем изменение диэлектрической проницаемости влажного газа, что позволяет на несколько порядков, повысить чувствительность датчика.

Процессы, проходящие при сорбции влаги, обуславливают изменения физико-химических и электрофизических параметров чувствительного элемента датчика, находящегося в гидротермическом равновесии с парогазовой смесью. Динамика этого процесса зависит от размеров и формы вставки из сорбирующего материала, его свойств, а также условий контакта с исследуемым потоком. Выделение измерительной информации об изменениях диэлектрической проницаемости сорбирующей вставки определяется условиями ее взаимодействия с электромагнитным полем резонатора. Обеспечение оптимальных условий на этом этапе позволяет существенно улучшить качественные показатели датчика и упростить процесс его градуировки [1].

Косвенный характер измерений с помощью сорбционных гигрометров обуславливает необходимость их экспериментальной калибровки. Этот процесс весьма трудоемкий и не всегда достаточно точный. Поэтому актуальной является задача обеспечения теоретической градуировки данного типа устройств на основании известных аналитических соотношений и расчетных зависимостей.

II. Основная часть

При заданных физико-химических свойствах материала вставки общую задачу определения параметров сорбционного гигрометра можно разделить на две последовательные стадии. На первой решается задача о распределении диэлектрической проницаемости при взаимодействии вставки с парогазовой смесью, на второй определяется изменение резонансной частоты и добротности СВЧ резонатора.

Для обеспечения возможности аналитического решения обеих задач необходимо выбрать граничные условия таким образом, чтобы обе задачи имели бы аналитическое решение или допускали бы достоверное численное моделирование. При этом необходимо обеспечить размещение сорбирующей

вставки в пучности электрического поля резонатора и создать ее прямой контакт с исследуемой парогазовой смесью.

Поставленным условиям лучше всего отвечает четвертьволновой коаксиальный резонатор, в открытом конце которого размещается сорбирующая вставка (рис. 1).

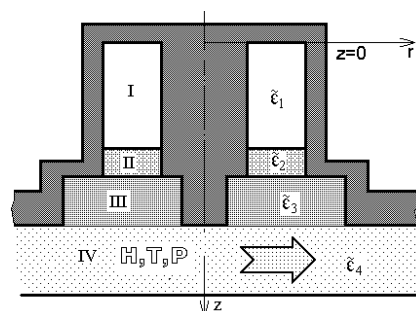


Рис. 1. Резонатор с адсорбционной вставкой.

Fig. 1. The resonator with an adsorbed insert

На рисунке обозначено: I – индуктивная часть резонатора, II – защитная вставка из влагонепроницаемого материала, III – сорбирующая вставка, IV – поток исследуемой парогазовой смеси, в общем случае он может быть ограничен снизу металлом или диэлектриком с плоской поверхностью.

Данная геометрическая схема обеспечивает создание регулярной области для движения влаги в сорбирующем материале. Таким образом, решение на первой стадии сводится к одномерной задаче диффузии на участке, который ограничен с одной стороны непроницаемым экраном, а на другой имеется источник, мощность которого в общем случае изменяется во времени по произвольному закону. Как известно, такая задача имеет аналитическое решение [2]. Заглубленная вставка не создает неоднородности движения в потоке газа, что исключает из рассмотрения гидромеханическую составляющую, которая может существенно усложнить решение. Кроме того, гладкая поверхность границы потока не создает препятствий движению газа, что является дополнительным преимуществом данной схемы.

Электромагнитное поле в коаксиальной области составленной из нескольких регулярных участков также имеет строгое аналитическое представление [3]. В основе его лежит метод частичных областей. При возбуждении резонатора на основной моде (квази-ТЕМ), электрическое поле имеет радиальную и осевую компоненты (E_r , E_z), интенсивность которых увеличивается при приближении к открытому концу. Магнитное поле имеет только азимутальную компоненту (H_ϕ).

Геометрическая структура электродинамической системы выбрана так, чтобы обеспечить равенство тангенциальных компонент электромагнитного поля на плоскостях, разграничивающих отдельные участки резонатора. Представление магнитной компонен-

ты поля в регулярных областях на основании функций Грина уравнений Максвелла при использовании в качестве источника радиальной компоненты электрического поля позволяет алгебраизировать задачу проекционным методом и получить характеристическое уравнение системы [4].

Описание переходного процесса проникновения влаги во вставку требует иного подхода. В этом случае осевое распределение комплексного значения диэлектрической проницаемости сорбирующего материала изменяется вдоль оси. При описании электромагнитного поля в этой области использовано ее разбиение на тонкие слои. Благодаря тому, что радиальные размеры этих слоев одинаковы, собственные числа функций ортогонального базиса для каждого слоя в этой области также одинаковы. Это существенно облегчает аналитическое представление и не приводит к значительным сложностям или недопустимому увеличению необходимого машинного времени при численных расчетах.

Проведено сравнение статических и переходных (по процессу проникновения влаги во вставку) характеристик резонатора при изменении его размеров и свойств материала вставки. Сделаны выводы о возможных путях улучшения метрологических свойств различных вариантов конструкции. В качестве критериев рассматривались чувствительность, диапазон изменений, время установления показаний, технологические особенности изготовления. На рис.2 представлена оптимизированная по чувствительности конструкция резонатора.

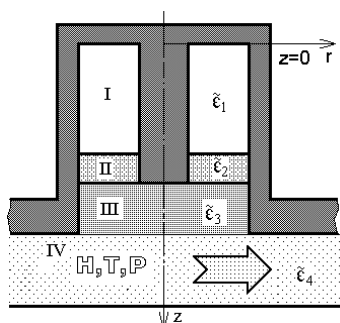


Рис. 2. Оптимизированный резонатор.

Fig. 2. The optimized resonator

Чувствительность устройства несколько повышается, если апертуру закрыть проводящей металлической сеткой. Тогда электрическое поле сильнее сконцентрируется во вставке. В этом случае при заполнении индуктивной части резонатора защитным диэлектриком (II) электродинамическая задача сводится к рассмотренной ранее в [4].

Аналитическое решение задачи не исключает использования современных пакетов численного моделирования, таких как «ANSYS», имеющих мультифизические режимы решения задач. Их использование позволит уточнить формы рабочей области.

Данный тип резонаторов может быть также использован для определения физико-химических и электрофизических свойств сорбционных материалов.

III. Заключение

Проведенные исследования показывают возможности существенного улучшения качественных показателей сорбционных СВЧ гигрометров и расшире-

ния области применения четвертьволновых коаксиальных резонаторов.

IV. Список литературы

- [1] Гордиенко Ю. Е., Петров В. В., Хаммуд Ф. М. Оценка численно-аналитических моделей СВЧ резонаторных сенсоров (датчиков) с коаксиальной измерительной апертурой // Радиотехника. 2005. № 140. С. 156–162.
- [2] Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1972. 736 с.
- [3] Слипченко Н. И. Расчет цилиндрического резонатора с диэлектрической вставкой сложной структуры // Радиоэлектроника и информатика. 2004. № 4. С. 18–20.
- [4] Gordienko Yu. E., Panchenko A. Yu., and Ryabukhin A. A. Theoretical Analysis of a Microwave Toroidal Cavity Transducer // Telecommunications and Radio Engineering. Electromagnetic Field Theory. New York, NY, (USA). 1999. Vol.53, N12. P.34–38.

THEORETICAL DESCRIPTION OF TRANSFORMATION FUNCTION OF ADSORPTION MICROWAVE HYGROMETERS

Panchenko A. Yu., Slipchenko N. I.

Kharkov National University of Radioelectronics

14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine

Ph.:(057)702-13-62, e-mail: panchenko-a-yu@yandex.ru

Abstract — The analytical description of the electromagnetic field in resonators with moisture absorption inserts is created. Variation in time of spatial distribution of the adsorbed moisture is taken into account. Results of numerical calculations of parameters of the resonator sensor with different forms and dimensions of moisture absorption inserts are obtained and analyzed. Practical value of results and prospects of further perfection of the given type of microwave sensors is shown.

I. Introduction

When measuring the humidity of gases an essential increase in sensitivity of resonator microwave hygrometers is required. It is achieved with the help of sorbing inserts. The use of inserts results in difficulties of these devices graduation. Therefore the problem of maintaining theoretical graduation of the given type of devices is an urgent one. Theoretical graduation is carried out on the basis of the known analytical relations and calculation dependences.

II. Main Part

The hygrometric sensor operation includes two physical processes. Accordingly the theoretical problem of calibration the common task can be divided into two consecutive stages. At the first stage the dielectric permeability distribution at interaction of the insert with vapour-gas mixture is determined. At the second stage the variation of the resonant frequency and quality factor of the microwave resonator is calculated.

The type of the resonator and the form of the chamber, in which the sorbing insert is located, are chosen to provide the possibility to solve the analytical decision of the diffusion and electrodynamic problems. Comparison of static and transitive (on the process of the moisture penetration into the insert) characteristics of the resonator is carried out, when changing its dimensions and the insert properties. Conclusions about possibilities to improve the metrological properties of various design versions are made.

III. Conclusion

The performed researches show the possibility to improve substantially the quality indices of sorption microwave hygrometers and expansions of the scope of quarter wave coaxial resonators.