

РЕЗОНАТОРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ ТИПОВЫХ ОБЪЕМНЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Бондаренко И. Н., Васильев Ю. С., Проказа А. М., Троицкий С. И.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166, Украина
тел.: (057) 7021362, e-mail: term@kture.kharkov.ua

Аннотация — Приведены результаты исследований свойств резонаторных измерительных преобразователей на основе призматических и цилиндрических резонаторов, возбуждаемых на видах колебаний H_{10n} и H_{011} , предназначенных для использования в сканирующей микроволновой микроскопии.

I. Введение

Принцип действия зондового сканирующего микроволнового микроскопа (СММ) с резонаторным измерительным преобразователем (РИП) основывается на формировании информационных сигналов в виде изменений резонансной частоты и добротности РИП, обусловленных характером взаимодействия поля микрозондовой структуры с исследуемым объектом [1—2]. Чувствительность измерений при этом будет определяться величиной добротности РИП.

Геометрические размеры и форма микрозондовых структур также во многом определяют функциональные и метрологические возможности СММ в целом.

В связи с этим возникает задача создания таких РИП, которые при доступной и достаточно простой технологии изготовления обеспечивают высокую исходную добротность и эффективное сопряжение резонаторной и микрозондовой частей.

Целью работы является разработка и исследование характеристик РИП на основе типовых резонаторных структур (отрезков регулярных волноводов и цилиндрических резонаторов).

II. Основная часть

Функционально РИП для СММ можно представить в виде следующих элементов: резонатора, элементов связи резонатора с измерительной схемой, отрезка коаксиальной линии, имеющим с одной стороны элемент связи с резонатором, а с другой — зондовую структуру для формирования требуемого распределения поля, взаимодействующего с локальным участком исследуемого объекта. Соответственно характеристики РИП в целом будут определяться параметрами и конструкцией его элементов, а также методами сопряжения и согласования их друг с другом.

Рабочая добротность РИП главным образом будет зависеть от добротности резонатора.

Наиболее высокодобротным видом колебаний в объемных резонаторах является вид колебаний H_{01n} в цилиндрическом резонаторе ($Q_0 \sim 3 \cdot 10^4$ на частоте 10 ГГц), однако при его использовании в составе РИП возникают проблемы устранения сопутствующего ему вида колебаний E_{11n} и непростое конструктивное исполнение перехода от объемного цилиндрического резонатора к зондовой коаксиальной структуре [3].

Расчеты, проведенные для медных призматических резонаторов, возбуждаемых на видах колебаний H_{10n} , показывают возможность достижения достаточно высоких значений добротности

($Q_0 \sim (0,5 \dots 1,6) \cdot 10^4$ на частоте 10 ГГц) [4]. Максимальные значения добротности имеют кубические резонаторы, но резонаторы на основе отрезков стандартных регулярных волноводов также позволяют обеспечить их высокие значения. Достоинством таких резонаторов является простота изготовления и сопряжения с волноводными линиями передачи.

Для исследований была выбрана конструкция призматического резонатора, возбуждаемого на виде колебаний H_{103} . Резонатор представляет собою отрезок стандартного прямоугольного волновода сечением 23×10 мм, длиной 60 мм. Связь с линией передачи осуществляется через диафрагмы толщиной 0,1 мм с круглыми отверстиями в центре. Коаксиальный проводник зондовой структуры вводится в резонатор через отверстие в центре широкой стенки резонатора. Зондовая структура представляет собой коаксиальную линию длиной равной нечетному числу четвертей длин волн, центральный проводник которой с одной стороны входит внутрь резонатора, а с другой заканчивается выступающим за край линии острием.

На рис. 1,а приведено распределение полей, на рис.1,б — внешний вид преобразователей на частотах 10 и 36 ГГц, возбуждаемых соответственно на видах колебаний H_{103} и H_{107} .

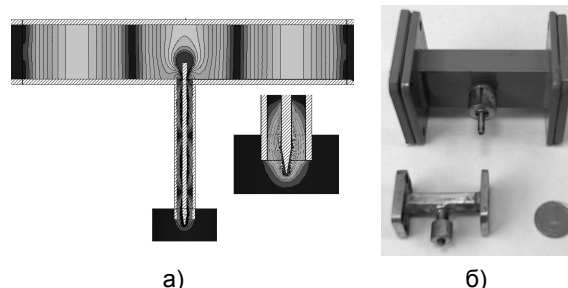


Рис. 1. Распределение полей (а) и внешний вид (б) РИП на отрезках волноводов.

Fig. 1. Distribution of fields and appearance of the RMT

Значения добротностей, вычисленные для данных РИП составили величины от $0,5 \cdot 10^3$ до $6 \cdot 10^3$.

Измерения характеристик экспериментальных образцов РИП на частотах ~ 10 ГГц и ~ 36 ГГц показали возможность обеспечения на практике исходных рабочих добротностей порядка $(1,6 \dots 1,8) \cdot 10^3$ и $(1,8 \dots 2,0) \cdot 10^3$, соответственно, что коррелирует с расчетными данными.

Был проведен также анализ элементов и структуры РИП на основе цилиндрического резонатора, возбуждаемого на виде колебаний H_{011} .

Рассмотрение проводилось для конструкции РИП с зондовой структурой, подключаемой к резонатору через цилиндрическую стенку. Конструкция и внешний вид РИП приведены на рис. 2. Длина коаксиальной части зондовой структуры для РИП на частоту ~ 10 ГГц составляла $(3/4) \cdot \lambda_k$.

При анализе РИП с элементами связи (петлями), расположенными на расстоянии 1 мм от полости резонатора со стороны торцевой крышки, длине изогнутой части элемента связи резонатора с зондом – 3 мм, глубине погружения изогнутой части в полость резонатора в середине его боковой цилиндрической поверхности — 2 мм, наружного конца зонда в виде открытой коаксиальной линии с размерами $D/d = 3 \text{ мм}/0,8 \text{ мм}$ получено значение добротности $\sim 2 \cdot 10^4$ на частоте $\sim 10 \text{ ГГц}$ без образца.

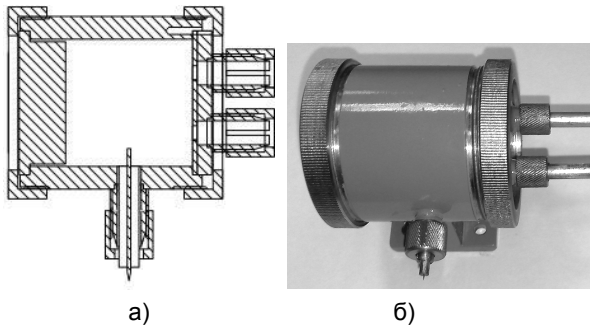


Рис. 2. Конструкция (а) и внешний вид (б) РИП на виде колебаний H_{011} .

Fig. 2. Design (a) and appearance (б) of RMT for oscillation mode H_{011}

Проведена оптимизация параметров элементов связи с резонатором и конструкции зондовой структуры с целью получения максимальной добротности при сохранении преобразовательных свойств.

При экспериментальном исследовании РИП, изготовленного из латуни, конструкция и внешний вид которого показаны на рис. 2, на частоте 9,9955 ГГц была получена добротность ~ 9520 .

III. Заключение

Показана возможность реализации преобразовательных резонаторных устройств с коаксиальными зондами на основе использования в их резонаторной части отрезков регулярных волноводов и цилиндрических резонаторов.

Для предварительной отработки конструкций и элементов РИП использовались методы численного моделирования с последующим изготовлением и исследованием экспериментальных образцов.

Исходная рабочая добротность исследованных РИП достигает величин 10^4 .

IV. Список литературы

- [1] *Microwave Electronics, Measurements and Materials Characterization* / L. F. Chen, C. K. Ong, C. P. Neo et al. John Wiley & Sons, Ltd., 2004. 537p.
- [2] *Anlage S. M., Talanov V. V., Schwartz A. R. Principles of near-field microwave microscopy // Scanning probe microscopy: electrical and electromechanical phenomena at the nanoscale.* 2007. V. 1. P. 215—253.
- [3] *Измерительный преобразователь на основе цилиндрического резонатора на виде колебаний H_{011}* / И. Н. Бондаренко, Ю. С. Васильев, А. А. Камышан, С. И. Троицкий // Радиотехника и информатика. 2011. № 2. С. 3—5.
- [4] *Измерительные преобразователи на основе резонансных волноводных регулярных структур* / И. Н. Бондаренко, Ю. С. Васильев, А. М. Проказа, С. И. Троицкий // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2011. Вып. 167. С. 129—134.

RESONANT MEASURING TRASDUCERS ON THE BASIS OF TYPICAL CAVITY RESONATORS

Bondarenko I. N., Vasiliev Yu. S., Prokaza A. M., Troitskiy S. I.

Kharkov National University of Radioelectronics
14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine

Ph.: (057) 702-13-62, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Abstract—The results of researches of properties of resonant measuring transducers on the basis of the prismatic and cylindrical resonators excited in oscillation modes H_{10n} and H_{011} , intended for use in the scanning microwave microscopy are resulted.

I. Introduction

The operating principle of a probe scanning microwave microscope (SMM) with a resonant measuring transducer (RMT) is based on formation of an intelligence signal in the form of changes of a resonant frequency and quality of RMT, caused by character of interacting of a microprobe structure field with an investigated object [1-2]. Sensitivity of measurements will be determined by a magnitude of RMT quality.

In this connection there is a problem of creating such RMT which at accessible and rather simple manufacturing methods provides high initial quality and effective mating of cavity and microprobe parts.

The work purpose is development and research of characteristics of RMT on the basis of typical cavity structures (pieces of regular waveguides and cylindrical resonators).

II. Main Part

The most high-Q oscillation mode in cavity resonators is oscillation mode H_{01n} in the cylindrical resonator ($Q_0 \sim 3 \cdot 10^4$ on frequency of 10 GHz), however its use in RMT composition provokes problems of elimination of E_{110} oscillation mode accompanying it and an uneasy design of transition from the volume cylindrical resonator to coaxial structure of probe [3]. The calculations performed for copper prismatic resonators, excited on H_{10n} oscillation modes, show possibility of achievement rather high values of quality ($Q_0 \sim (0.5... 1.6) \cdot 10^4$ at frequency of 10 GHz) [4]. The maximum values of quality have cubic resonators, but resonators on the basis of pieces of standard regular waveguides also allow providing their high values. Advantage of such resonators is simplicity of manufacturing and mating with waveguide transmission lines.

Fig. 1,a shows fields distribution, Fig. 1,b - appearance of RMT at frequencies of 10 and 36 GHz excited accordingly in oscillation modes H_{103} and H_{107} .

Measurements of characteristics of experimental samples RMT at frequencies $\sim 10 \text{ GHz}$ and $\sim 36 \text{ GHz}$ showed maintenance possibility in practice of initial working qualities of an order $(1.6... 1.8) \cdot 10^3$ and $(1.8... 2.0) \cdot 10^3$, accordingly, that correlates with calculated data.

The analysis of elements and structure RMT on the basis of the cylindrical resonator excited in H_{011} oscillation mode has been also carried out.

Optimization of parameters of communication elements with the cavity and probe structures for the purpose of reception of the maximum quality at conservation of converting properties is carried out.

At experimental research of RMT, whose design and appearance are shown on Fig. 2, Q-factor of ~ 9520 has been gained at frequency of 9.9955 GHz.

III. Conclusion

Possibility of implementation of converting resonance devices with coaxial probes on the basis of use of pieces of regular waveguides and cylindrical resonators in their resonator part is shown.

Initial working quality of RMT under study reaches values of the order about 10^4 .