

ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ДОБРОТНОСТИ И РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ МИКРОВОЛНОВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

И.Н. Бондаренко, Ю.С. Васильев
 Харьковский национальный университет радиоэлектроники
 г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина
 тел.: (057) 702-13-62, e-mail: mpu@kture.kharkov.ua

Аннотация – Предлагается метод измерения сдвигов резонансной частоты и изменений добротности резонансных измерительных преобразователей на основе анализа Фурье-компонент импульсно-СВЧ сигнала.

I. Введение

Одним из активно развивающихся в настоящее время методов исследования электрофизических характеристик различных материалов является сканирующая микроволновая микроскопия (СММ). Как правило, в качестве чувствительного элемента в СММ используется резонансный измерительный преобразователь (РИП) с микрозондом [1].

Информация о характеристиках и состоянии исследуемого вещества при использовании РИП с микрозондом содержится в изменениях его резонансной частоты и добротности. Изменения этих параметров при исследовании однокомпонентных структур, как правило, невелики.

Несмотря на большое разнообразие методов измерения добротности и резонансной частоты микроволновых резонаторов, все они должны удовлетворять противоречивым требованиям высокой стабильности частоты измерительного генератора при необходимости его перестройки или частотной модуляции, что ведет к значительному усложнению измерительной схемы [2-5].

Целью работы является разработка метода измерения сдвига резонансной частоты и изменения добротности РИП путем анализа Фурье составляющих спектра амплитудно-манипулированного сигнала измерительного СВЧ генератора, что позволяет упростить измерительную схему и снизить требования к СВЧ генератору.

II. Основная часть

Суть метода заключается в том, что информацию о сдвиге резонансной частоты и изменении добротности РИП можно получать с помощью анализа Фурье составляющих спектра амплитудно-манипулированного сигнала измерительного СВЧ генератора, что позволяет упростить измерительную схему и использовать стабилизированный генератор, настраиваемый на частоту РИП.

Структурная схема устройства, реализующего данный метод, представлена на рис.1. В состав измерительного устройства входят: измерительный СВЧ генератор 1, ферритовые вентили 2, модулятор 3, генератор импульсных сигналов 4, РИП 5, СВЧ детектор 6 и устройство обработки сигналов (УОС) 7.

Сигнал измерительного генератора 1 по максимуму сигнала на детекторе 6 настраивается на резонансную частоту РИП 5. С помощью генератора импульсных сигналов осуществляется амплитудно-импульсная манипуляция СВЧ сигнала.

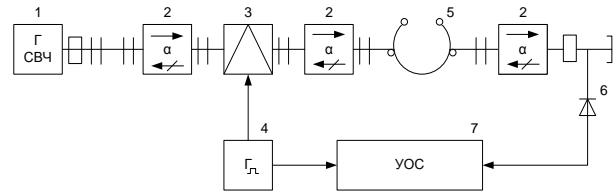


Рис.1 Структурная схема устройства
 Fig. 1 Block diagramme of the device

Для сигнала на выходе детектора $S_{ext}(f)$ можно записать следующее соотношение

$$S_{ext}(f) = s_g(f) \cdot K_m \cdot K_L \cdot K_c \cdot K_d, \quad (1)$$

где $s_g(f)$ – сигнал на выходе генератора 4; K_m – коэффициент преобразования (передачи) модулятора 3; K_L – коэффициент преобразования (передачи) измерительного тракта; K_c – коэффициент преобразования (передачи) РИП 5; K_d – коэффициент преобразования (передачи) детектора 6.

Параметры импульсов, их длительность τ и период T выбираются так, чтобы частота первой боковой составляющей спектра амплитудно-манипулированного сигнала находилась в точке максимальной крутизны преобразования частотных изменений в амплитудные на резонансной характеристике РИП, как это видно на рис. 2.

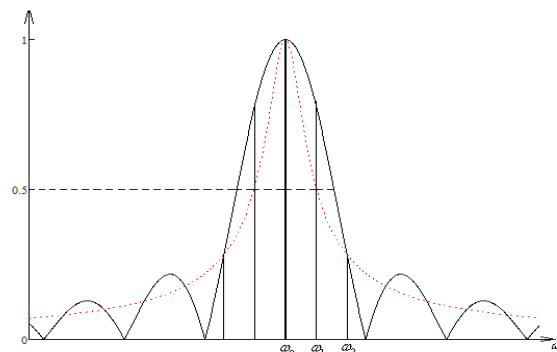


Рис.2 Спектр амплитудно-манипулированного сигнала при заданных параметрах импульсов
 Fig. 2 The spectrum of amplitude-manipulated signal with the given parameters of pulses

Для первых составляющих Фурье-компонент сигнала, прошедшего через резонаторный преобразователь, при равенстве частот измерительного генератора ω_{g1} и резонансной частоты преобразователя ω_c с учетом соотношения (1) можно записать

$$\Phi(t) = \frac{1}{1+a^2} \frac{A \cdot \tau}{T} \cos \omega_{g1} t + \frac{1}{1+a^2} \frac{2 \cdot A \cdot \sin \Omega t \cdot \cos[(\omega_{g1} + \Omega)t]}{T \cdot \tau}, \quad (2)$$

где $a = 2 \cdot Q_L \cdot \Delta\omega / \omega_c$ – обобщенная расстройка; Q_L – добротность РИП; $\Omega = 2\pi/T$.

После детектирования выражение (2) может быть представлено в виде

$$\Phi(t) = \frac{1}{1+a^2} \frac{A \cdot \tau}{T} + \frac{1}{1+a^2} \frac{2 \cdot A \cdot \sin \Omega t}{T \cdot \tau}. \quad (3)$$

Таким образом, из выражений (2) и (3) следует, что в амплитудах и отношениях амплитуд соответствующих составляющих спектра сигнала после прохождения РИП содержится информация о его добротности и разности частот измерительного генератора и преобразователя.

Экспериментальная проверка метода производилась путем анализа характера изменения составляющих спектра сигнала на выходе РИП при вариации его добротности и резонансной частоты. При этом были зафиксированы вариации амплитуд составляющих спектра сигнала и выявлены ограничения по диапазону возможных измеряемых значений (по добротности – не более чем в два раза от номинального значения, по сдвигу частоты – не более полуширины полосы пропускания РИП).

Процесс измерения может быть существенно упрощен и ускорен за счет введения сравнительного программного анализа спектра модулирующего сигнала и сигнала на выходе детектора.

III. Заключение

Предложен метод измерения малых сдвигов резонансной частоты и изменений добротности резонансных измерительных преобразователей на основе анализа Фурье-компонент импульсного СВЧ сигнала.

Возможности предлагаемого метода могут быть существенно расширены за счет использования цифровой обработки результатов измерений.

Импульсный метод измерения малых изменений добротности и резонансной частоты может быть эффективно использован в сканирующей микроволновой микроскопии при анализе квазиоднородных материалов и структур с помощью резонаторных преобразователей.

IV. Список литературы

- [1] Anlage, S. M. Principles of near-field microwave microscopy / S. M. Anlage, V. V. Talanov, A. R. Schwartz // Scanning probe microscopy: electrical and electromechanical phenomena at the nanoscale / edited by S. V. Kalinin, A. Gruverman. – New York: Springer-Verlag, 2007. – V. 1. – P. 215–253.
- [2] Милованов О.С., Собенин Н.П. Техника сверхвысоких частот, М.: Атомиздат, 1980. 464 с.
- [3] Абубакиров Б.А., Гудков К.Г., Нечаев Э.В. Измерение параметров радиотехнических цепей. М.: Радио и связь, 1984. 248 с.
- [5] Petersan P.J., Anlage M. Measurement of resonant frequency and quality factor of microwave resonators: Comparison of methods. // Journal of Applied Physics. – 1998. – v. 84, N6 – P. 3392–3402.

PULSE METHOD FOR MEASURING SMALL CHANGES QUALITY FACTOR AND RESONANT FREQUENCY OF THE MICROWAVE RESONATORS

Bondarenko I.N., Vasiliev Yu.S.

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

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

Abstract – Method is proposed for measuring the resonance frequency shift and changes quality factor of resonant transducers on the basis of Fourier-components analysis of a pulsed microwave signal.

I. Introduction

One of actively developing the current methods for studying the electrical characteristics of different materials is a scanning microwave microscopy (SMM). Typically, as the sensing element used in the SMM resonant transducer (RT) with microprobe.

Information about the characteristics and condition of the substance when used RT with microprobe is contained in changes in its resonant frequency and quality. Changes in these parameters in the study of single-component structures, tend to be small.

The aim is to develop a method for measuring the resonance frequency shift and Q change RT by analyzing the Fourier components of the spectrum amplitude-manipulated signal of the microwave measuring generator that simplifies the measuring circuit and reduce the requirements for the microwave generator.

II. Main Part

The method is that information about the resonance frequency shift and change in the Q RT can be obtained by using Fourier components analysis of the spectrum amplitude-manipulated signal of the measuring microwave generator that simplifies the measuring circuit and a frequency stabilized generator, customizable to the frequency of RT.

Parameters of pulses, their duration τ and period T is chosen so that the frequency of the first lateral component of the spectrum amplitude-manipulated signal is at the point of maximum slope transformation frequency changes in the amplitude at the resonance characteristics of RT, as shown in Fig. 2.

From expressions (2) and (3) is visible that the amplitudes and the ratio of the corresponding components of the signal after passing through the RT contains information about its quality factor and frequency difference between of the measurement generator and transducer.

Experimental verification of the method was performed by analysis of the change in the components of the signal at the output of RT with variations in its quality factor and resonant frequency. At the same time were recorded variations of amplitudes of the signal spectrum and the constraints on the range of possible measured values (on quality factor - not more than twice the nominal value, of frequency shift - no more half-bandwidth RIP).

III. Conclusion

Proposed a method for measuring small shifts of the resonance frequency and Q changes the resonant transducers on the basis of Fourier-components analysis of a pulsed microwave signal.

Capabilities of the proposed method can be significantly enhanced through the use of digital processing of measurement results.

Pulse method for measuring small changes in Q and the resonant frequency can be effectively used in a scanning microwave microscopy for the analysis of a new quasi-homogeneous materials and structures with resonant transducers.