

СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В РЕЗОНАТОРНОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Бондаренко И. Н.¹, Гордиенко Ю. Е.¹, Ларкин С. Ю.²
¹Харьковский национальный университет радиозлектроники
 пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166, Украина
 тел.: (057) 702-13-62, e-mail: meru@kture.kharkov.ua
²Научно-производственный концерн НАУКА
 пр. 50-летия Октября, 26, г. Киев, 03148, Украина
 тел.: +38-044-4820511

Аннотация — Рассмотрены и проанализированы способы формирования информационных сигналов в микроволновой микроскопии при использовании в качестве измерительных преобразователей резонаторных систем с микрондами. Предложены и исследованы схемные решения систем формирования информационных сигналов, приведены соотношения, описывающие их работу, проведены сравнительные количественные оценки сигналов.

I. Введение

В ближнеполевой микроволновой сканирующей микроскопии (МСМ) пространственная разрешающая способность метода определяется размерами зонда и его расстоянием от поверхности, а чувствительность — величиной коэффициента преобразования изменений электрофизических характеристик исследуемого материала в изменения характеристик резонатора и точностью измерения этих изменений [1, 2].

Основными измеряемыми характеристиками резонаторов являются резонансная частота и добротность. Исходя из диапазона измеряемых значений добротности, резонансной частоты и имеющихся технических возможностей можно выбрать наиболее подходящий способ измерения.

Применительно к МСМ необходимая измерительная информация содержится в изменениях резонансной частоты и добротности от начальных или заданных значений.

Целью работы является обоснование способов измерения сдвигов резонансной частоты и изменений добротности применительно к МСМ.

II. Основная часть

В ходе выполнения работы были апробированы несколько вариантов формирования сигналов сканирования, которые различаются функционирова-

нием СВЧ устройства МСМ и последетекторной обработкой.

Первый вариант системы (представленный нижним каналом схемы, приведенной на рис.1) построен на основе генератора с АПЧ по резонансному измерительному преобразователю (РИП) (система АПЧ выделена на схеме пунктирной линией).

При этом сигнал сканирования, связанный с $\delta f/f_0$, выделяется в виде сигнала ошибки после фазового детектора 7.

Величина его в общем случае определяется выражением

$$\frac{\delta f}{f_0} \cong \frac{\delta f_a}{f_0} \cong \frac{\delta U(\delta f_0) \cdot S}{f_0}, \quad (1)$$

где $\delta U(\delta f_0)$ — напряжение сигнала ошибки, используемое для подстройки частоты измерительного генератора; S — крутизна перестройки частоты измерительного генератора.

Сигнал, связанный с $\delta Q/Q$, выделяется в виде напряжения на СВЧ детекторе на частоте 2Ω , усиливается узкополосным услителем и далее поступает на систему обработки.

Напряжение сигнала на СВЧ детекторе на частоте 2Ω будет описываться следующим выражением:

$$U_o^{2\Omega} \approx A_0 \cdot 2 \frac{Q_n^2 (\Delta\omega_d)^2}{\omega_0^2}, \quad (2)$$

где $A_0 = \frac{4\beta_1\beta_2 \cdot J_0^2(m) \cdot P_c \cdot K_c \cdot S_d \cdot R_d}{(1 + \beta_1 + \beta_2)^2}$; $J_0(m)$ — функция

Бесселя первого рода от аргумента m ; $m = \Delta\omega_d/\Omega$ — индекс частотной модуляции; $\Delta\omega_d$ — девиация частоты измерительного генератора; Ω — частота моду-

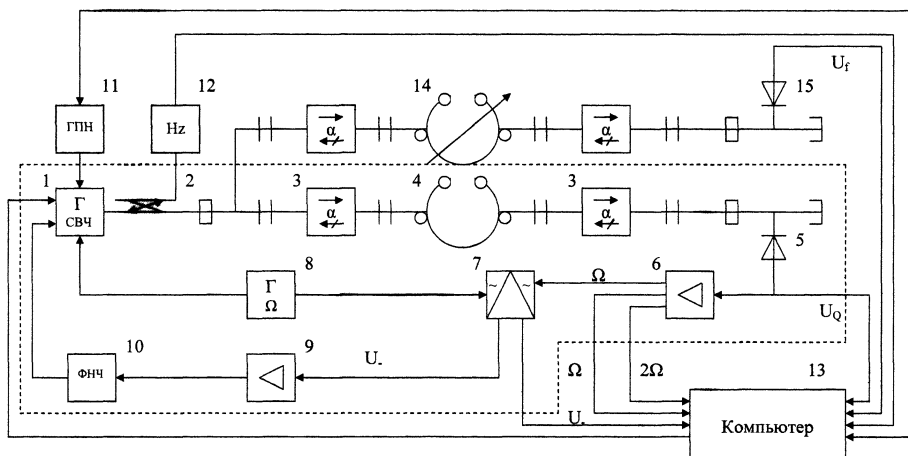


Рис. 1. Функциональная схема СВЧ системы на основе генератора с АПЧ по РИП.

Fig. 1. Microwave measuring system on the basis of the generator with AFC on cavity measuring transformer

ляции; β_1, β_2 — коэффициенты связи; P_e — мощность измерительного СВЧ генератора; K_c — коэффициент передачи согласующих устройств; S_d — коэффициент преобразования детектора; R_d — сопротивление детекторного диода в рабочей точке.

АПЧ измерительного генератора снижает влияние на информационный сигнал шумов, обусловленных частотными флуктуациями генератора, использование сигнала 2Ω позволяет уменьшить составляющую шума детектора, пропорциональную $1/f$, а селективное усиление — полосу усиливаемых шумов.

При $\beta = \beta_1 = \beta_2 = 0,5$; $P_e \approx 1$ мВт; $K_c \approx 0,9$; $J_0^2(m) \approx 0,96$ (при $m = 0,3$); $S_d \sim 1$ мА/мВт; $R_d \sim 10^3$ Ом для амплитудного коэффициента A_0 получим соответственно $\sim 0,215$ В.

Сигнал ошибки на постоянном токе, связанный с величиной δf , пропорционален $(2Q_i \Delta\omega_d / \omega_0)^2$. Оценивая эту величину при $Q_n \sim 10^3$, $\omega_0 \approx 2\pi \cdot 10^{10}$, $\Delta\omega_d \approx 2\pi \cdot 10^3$ получим $\delta U_f \sim 0,8 \cdot 10^{-8}$ В.

Такого же порядка величину можно получить для U_Q , а для δU_Q соответственно $U_Q(\Delta Q/Q)$ В на частоте 2Ω .

В рассматриваемой схеме можно также формирование сигнала $\delta Q/Q$ осуществлять по изменению коэффициента передачи РИП в резонансе.

При этом система АПЧ по РИП используется для поддержания равенства частот измерительного генератора и РИП, а информационный сигнал получается из вариации амплитуды сигнала, проходящего через РИП и детектируемого детектором 5. Информационный сигнал, связанный с величиной δQ , будет значительно больше, чем в первом случае.

Для второго варианта измерительной схемы при тех же технических параметрах, что и в первом случае, получаем $\delta U_f \sim 0,8 \cdot 10^{-8}$ В, $\delta U_Q \sim 5 \cdot 10^{-2} \cdot (\Delta Q/Q)$ В.

Третий вариант формирования сигналов $\delta f/f$ и $\delta Q/Q$ реализуется на основе всей схемы (рис. 1).

Определение величины δQ осуществляется с помощью нижнего канала схемы как в первом случае, а $\delta f/f$ определяется по изменению коэффициента передачи дополнительного настраиваемого высокодобротного резонатора, используемого как дискриминатор.

При этом сигнал, пропорциональный δU_Q , будет порядка $0,8 \cdot 10^{-8}$ В при использовании для анализа сигнала 2Ω (как в первом варианте) и $\sim 5 \cdot 10^{-2} \cdot (\Delta Q/Q)$ В при анализе изменения величины коэффициента передачи (второй вариант измерительной схемы), а сигнал $\delta f \sim 0,4 \cdot 10^{-4}$ В.

III. Заключение

Анализ, проведенный для различных режимов работы рассмотренных схем формирования информационных сигналов резонаторных МСМ, позволяет сформулировать требования к их узлам и элементам, а также к аппаратуре последующей обработки получаемых сигналов.

IV. Список литературы

- [1] Chen L. F., Ong C. K., Neo C. P. et al. Microwave Electronics. Measurements and Materials Characterization. John Wiley & Sons, Ltd., 2004. — 537p.
- [2] Rosner B., Van der Weide D. V. High-frequency near-field microscopy. Review of Scientific Instruments. 2002. v. 73, N 7. p. 2505 — 2525.

SYSTEMS OF INFORMATION SIGNALS SHAPING IN CAVITY MICROWAVE MICROSCOPY

Bondarenko I. N.⁽¹⁾, Gordienko U. E.⁽¹⁾, Larkin S. J.⁽²⁾

⁽¹⁾Kharkov National University of Radioelektronika

Lenin av., 14, Kharkov, 61166, Ukraine

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

⁽²⁾Scientific and industrial concern NAUKA

2-B, 50-richya Zhowtnya Av., Kyiv, 03148, Ukraine

Ph.: +380-044-236-10-85

Abstract — Ways of formation of intelligence signals in microwave microscopy are considered and analyzed with the use as measuring transmitters of cavity systems with microprobes. Circuit designs of systems of training of intelligence signals are offered and investigated, formulas describing their work are formulated, and comparative quantitative assessments of signals are made.

I. Introduction

In microwave scanning microscopy (MSM) spatial resolution is defined by the sizes of a probe and its distance from the surface, and its sensibility — by the conversion factor of changes of electrophysical characteristics of investigated material in changes of cavity characteristics and accuracy of measurements of these changes. With reference to MSM the necessary measuring information is contained in the changes of resonant frequency and in the Q-factor of initial or present values

II. Main Part

By way of execution of work some variants of formation of scanning signals, which distinguish by functioning of microwave device MSM and post-detection processing, are put to an evaluation test.

At the first system the scanning signal connected with $\delta f/f_0$, is pointed out in the form of error signal after the phase detector.

$$\frac{\delta f}{f_0} \approx \frac{\delta f_a}{f_0} \approx \frac{\delta U(\delta f_0) \cdot S}{f_0}$$

The signal connected with $\delta Q/Q$, is allocated on the detector on frequency 2Ω , is amplified by the narrow-band amplifier and proceeds in storage and transmission system.

$$U_{\delta}^{2\Omega} \approx A_0 \cdot 2 \frac{Q_n^2 (\Delta\omega_d)^2}{\omega_0^2}$$

The error signal on a direct current, linked with value δf , is in proportion to $(2Q_i \Delta\omega_d / \omega_0)^2$. Estimating it at $Q_n \sim 10^3$, $\omega_0 \approx 2\pi \cdot 10^{10}$, $\Delta\omega_d \approx 2\pi \cdot 10^3$ we deduce $\delta U_f \sim 0,8 \cdot 10^{-8}$ В. The same order of magnitude can be obtained for U_Q , and accordingly for $\delta U_Q - U_Q(\Delta Q/Q)$ В on frequency 2Ω .

At the considered scheme, it is possible to carry out the formation of $\delta Q/Q$ signal by the changing of transfer factor of CMT at a resonance.

For the second variant of the measuring scheme with the same technical parameters, we receive $\delta U_f \sim 0,8 \cdot 10^{-8}$ В, $\delta U_Q \sim 5 \cdot 10^{-2} \cdot (\Delta Q/Q)$ В.

The third variant of the signal formation of $\delta f/f$ and $\delta Q/Q$ is realized on the basis of the whole scheme (fig. 1).

Definition δQ is carried out by the means of the basal channel of the scheme as in the first case, and $\delta f/f$ is defined by the changing of transfer factor of high-Q resonator used as discriminator.

III. Conclusion

The carried out analysis for various operating modes of considered schemes of formation of intelligence signals of cavity MSM, allowed formulating of requirements to their knots and elements, and to the equipment of the subsequent processing of received signals.