



УДК 621.3.035.222.7

**МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ
СИЛЬНО ПОГЛОЩАЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ****С. Р. Касимова***кандидат физико-математических наук, доцент,
e-mail: sevda.gasimova@yahoo.com,
Азербайджанский технический университет,
г. Баку, Азербайджан***METHOD OF MEASUREMENT OF MAGNETIC PROPERTIES
OF STRONGLY ABSORBING SUBSTANCES AT ULTRAHIGH FREQUENCIES****S. R. Kasimova***Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor,
e-mail: sevda.gasimova@yahoo.com,
Azerbaijan Technical University,
Baku, Azerbaijan*

Abstract. A method is proposed for measuring the magnetic properties of highly absorbing substances at ultrahigh frequencies from the reflection of electromagnetic radiation incident on it. It is based on the application in the measurement circuit of a quarter-wave non-absorbing dielectric plate located at an adjustable distance from the surface of the measured substance.

Keywords: absorbing substance; magnetic permeability; magnetic losses.

Известны методы определения магнитной проницаемости μ' и магнитных потерь μ'' поглощающих жидких веществ на сверхвысоких частотах, которые основаны на анализе экспериментальной зависимости отраженного электромагнитного излучения от толщины слоя вещества; но они могут оказаться невостребованными при величинах тангенса угла потерь измеряемого вещества больше 0.6 [1]. В этих случаях допускается определение μ' и μ'' вещества с использованием в качестве трансформатора сопротивлений четвертьволновой не поглощающей диэлектрической пластины, расположенной на регулируемом расстоянии от измеряемого вещества [2]. Однако, такая методика измерения приемлема при измерениях магнитных свойств вещества только в свободном пространстве или коаксиальных направляющих система.

Рассмотрим отражение плоской поляризованной электромагнитной волны от слоя жидкого или твердого сильно поглощающего магнетика при наличии на его входе регулируемой по своему положению четвертьволновой не поглощающей диэлектрической пластины. Плоская четвертьволновая пластина с диэлектрической проницаемостью ϵ расположена на расстоянии l от поверхности магнетика. Толщина слоя измеряемого вещества обеспечивает полное поглощения в нем падающего излучения, а его комплексная величина магнитной проницаемости равна $\hat{\mu} = \mu' - i\mu''$, где μ' – магнитная проницаемость, μ'' – магнитные потери, i – мнимая единица. Комплексная величина коэффициента отражения волны $\hat{\rho}$ от такой слоистой системы определяется следующим уравнением:



$$\hat{\rho} = \frac{Z_{BX} - Z_0}{Z_{BX} + Z_0}, \quad (1)$$

где: $\frac{Z_{BX}}{Z_0} = E + iF = \frac{Z_1^2}{Z_0^2} \cdot \frac{Z_0 + Z_1 \operatorname{th}(\gamma_0 l)}{Z_1 + Z_0 \operatorname{th}(\gamma_0 l)}$ – комплексная величина входного сопротивления слоистой системы; Z_0, Z_1, Z – соответственно волновые сопротивления свободного пространства, материала пластины и измеряемого вещества; $\gamma_0 = i2\pi/\lambda_d$, λ_d – постоянная распространения и длина волны в пустом волноводе.

Волновые сопротивления $Z_1 = Z_0/n_1$ и $Z = Z_0/(n-i\chi)$, где n, χ – коэффициенты преломления и гашения волны исследуемого вещества; n_1 – коэффициент преломления материала пластины. Оптические параметры измеряемого магнетика и вещества пластины связаны с их магнитными свойствами μ', μ'' и диэлектрической проницаемости ε_1 известными соотношениями:

$$\mu' = n^2 - \chi^2 ; \mu'' = 2n\chi ; \varepsilon_1 = n_1^2. \quad (2)$$

Из уравнения (1) следуют выражения для входного сопротивления и модуля ко-

эффициента отражения волны слоистой системы:

$$Z_{\text{вх}} = \frac{(1 + an_M y_M - n_M n_1^2) + i[an_M - n_1^2(a - n_M y_M)]}{(1 + an_M y_M + n_M n_1^2) + i[an_M + n_1^2(a - n_M y_M)]}; \rho = \sqrt{\frac{P-Q}{P+Q}}; \quad (3)$$

где: $P = 1 + 2an_M y_M(1 - n_1^4) + a^2[n_M^2(1 + y_M^2) + n_1^4] + n_1^4 n_M^2(1 + y_M^2)$; $Q = 2n_1^2 n_M(1 + a^2)$; $a = \operatorname{tg} 2\pi x$; $x = l/\lambda$.

$$\frac{l_2}{\lambda} = \frac{1}{4\pi} \cdot \operatorname{arctg} \frac{2\chi}{1 - n^2 - \chi^2}, \quad Z_{BX} = E_0 = \frac{n}{n_1^2} \cdot \frac{1}{1 - \operatorname{nyctg} 2\pi x} \quad (4)$$

Из совместного решения уравнений (3) и (4) имеем, что:

$$y = \frac{1}{n} \sqrt{\left(n - \frac{1}{n_1^2 E_0}\right) (n_1^2 E_0 - n)}. \quad (5)$$

Так как $\rho = (\eta - 1) \cdot (\eta + 1)$, где η – коэффициент стоячей волны, то из сравнения этого выражения для ρ с уравнением (4) следует, что в экстремальных точках

зависимости $\rho(l)$ величина E_0 определяется одним из соотношений:

$$\eta_{\text{Э}} = \begin{cases} E_0 \\ 1/E_0 \end{cases}. \quad (6)$$





Из уравнений (1) и (4) следует, что экстремальные значения ρ_{Δ} реализуются при положениях регулируемой пластины $l_{\Delta} < m\lambda/4$, где m – порядковый номер экстремума ρ_{Δ} . При этом нечетным номе-

рам m экстремумов функций $\rho(l)$ соответствуют минимальные значения ρ_{Δ} . Для удобства дальнейшего рассмотрения введем параметр:

$$\Delta = \frac{m}{4} - \frac{l_{\Delta}}{\lambda}. \quad (7)$$

Величина Δ положительна и одинакова для положения любого экстремума. Из совместного рассмотрения уравнений (5) и (6) с учетом принятого обозначения (7)

следует, что значения η_{\max} и η_{\min} соответственно в точках максимумов и минимумов функции $\rho(l)$ равны:

$$\eta_{\max} = \frac{1}{E_0} ; \quad \eta_{\min} = \begin{cases} E_0 \\ 1/E_0 \end{cases}. \quad (8)$$

Во избежание двузначности в определении n , y и, следовательно, μ' , μ'' исследуемого вещества ограничимся использованием экспериментально измеряемых

значений η_{\max} и Δ . Решим совместно уравнения (6) и (7) с учетом принятых обозначений:

$$n_M^2(1 + y_M^2) - 1 = 2n_M y_M B ; \quad n_M^2(1 + y_M^2) + 1 = n_M A \quad (9)$$

где: $A = \beta + 1/\beta$, $B = \text{ctg } 2\pi\Delta$, $\beta = 1/n_1^2 E$.

$$y = \frac{1}{2}(\beta + 1/\beta) \sin 4\pi\Delta \quad (10)$$

При определении n , y , μ' , μ'' исследуемого магнетика, наряду с измеряемыми параметрами η_{\max} и Δ зависимостей ρ от l может быть при необходимости использована величина η_0 , соответствующая зна-

чению коэффициента стоячей волны в случае, когда $l = 0$. Величина η_0 связана с искомыми значениями n , y следующими уравнениями, вытекающими из выражений (1) при условии $l = 0$:

$$n = \frac{2}{(\beta + 1/\beta) - \cos 4\pi\Delta(\beta - 1/\beta)} ; \quad n_1^4 n^2 (1 + y^2) + 1 = n_1^2 n C \quad (11)$$

где: $C = \eta_0 + 1/\eta_0$



Если в качестве измеряемых параметров используются значения η_0 и Δ , то из совместного решения уравнений (9) - (11) следует, что:

$$y = \frac{BC}{2(T_1^2 + B^2)} \left[T_1 \sqrt{\frac{B^2 + 1}{B^2} - 4 \frac{T_1^2 + B^2}{C^2 B^2}} - T_2 \right]; \quad n = \frac{n_1^4 + 1}{n_1^2 (C - 2n_1^2 y B)}. \quad (12)$$

где: $T_1 = \frac{1 + \bar{n}_1^4}{2\bar{n}_1^2}$, $T_2 = \frac{1 - \bar{n}_1^4}{2\bar{n}_1^2}$.

Если в качестве измеряемых параметров используются значения η_0 и η_{\max} , то из совместного решения уравнений (9) и (11) следует, что:

$$n = \frac{n_1^4 - 1}{n_1^2 (n_1^2 A - C)}; \quad y = \frac{1}{n} \sqrt{nA - 1 - n^2}; \quad (13)$$

Определяемые величины n и y в дальнейшем используются для вычисления значений μ' и μ'' .

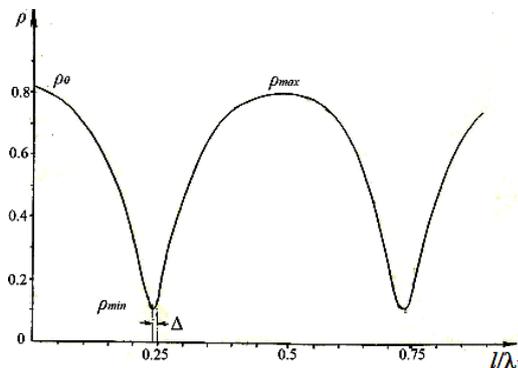


Рисунок. Зависимость коэффициента отражения волны ρ от толщины слоя вещества l .

Библиографический список

1. Poley J. Ph. The Computation of the Complex Dielectric Constant from Microwave Impedance Measurements // Appl.Sci.Res. 1955. V.B4. № 5. p. 337.
2. Касимов Р. М. Вариационный метод измерения диэлектрических постоянных полярных жидкостей на СВЧ // Измерительная техника, 1970, № 10. – С. 48.
3. Касимов Р. М. Методика измерения диэлектрических коэффициентов полярных жидкостей по отражению электромагнитных волн от регулируемого слоя жидкости // Метрология. 1987. – № 7. – С. 45–51.
4. Каджар Ч. О., Касимова С. Р. Измерение диэлектрических коэффициентов полярных жидкостей по отражению микроволн при наличии трансформатора сопротивлений // Известия



- АН Азербайджана. – 2001. – Т. 20. – № 5. – С. 29–32.
5. Харвей А. Ф. Техника сверхвысоких частот. – М. : Сов. Радио, 1965. т. 1. – 784 с.
3. Kasimov R. M. Metodika izmereniya dielektricheskikh koef-fici-entov polyarnyh zhidkostej po otrazheniyu elektromagnitnyh voln ot reguliruemogo sloya zhidkosti // Metrologiya. 1987. – № 7. – S. 45–51.

Bibliograficheskij spisok

1. Poley J. Ph. The Computation of the Complex Dielectric Constant from Microwave Impedance Measurements // Appl.Sci.Res. 1955. V.B4. № 5. p. 337.
2. Kasimov R. M. Variacionnyj metod izmereniya dielektricheskikh postoyannyh polyarnyh zhidkostej na SVCh // Izmeritelnaya tehnika, 1970, № 10. – S. 48.
4. Kadzhar Ch. O., Kasimova S. R. Izmerenie dielektricheskikh koef-ficientov polyarnyh zhidkostej po otrazheniyu mikrovoln pri nalichii transformatora soprotivlenij // Izvestiya AN Azerbajdzhana. – 2001. – Т. 20. – № 5. – S. 29–32.
5. Harvej A. F. Tehnika sverhvysokih chastot. – М. : Sov. Radio, 1965. т. 1. – 784 с.

© Касимова С. Р., 2018.