

УДК 621.317.335.3

**ИЗМЕРЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
ПОЛЯРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПО ОТРАЖЕНИЮ МИКРОВОЛН  
ОТ РЕГУЛИРУЕМОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ  
ТРАНСФОРМАТОРА СОПРОТИВЛЕНИЙ**

**Ч.О.КАДЖАР, С.Р.КАСИМОВА**

*Институт фотоэлектроники АН Азербайджана  
370141, Баку, ул. Ф.Агаева 555 квартал*

Показано, что ввод в измерительную цепь трансформатора сопротивлений из непоглощающих четвертьволновых плоских пластин улучшает точность и обеспечивает однозначность результатов определения диэлектрических свойств жидких веществ методом, основанном на измерении коэффициента стоячей волны и толщины слоя жидкости, при которой отражение волны минимально.

Для определения диэлектрических свойств полярных жидкостей в диапазоне микроволн находит применение метод, основанный на измерении двух информативных параметров: коэффициента стоячей волны  $\eta$  и толщины  $l$  отражающего регулируемого слоя жидкости в короткозамкнутой на конце измерительной ячейки, при которой минимальна амплитуда, отраженного от нее электромагнитного излучения [1,2]. Данный метод ускоряет и упрощает процедуру нахождения диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  и диэлектрических потерь  $\epsilon''$  жидкости с точностью, определяемой в основном точностью измерения  $\eta$  и  $l$  [2,3]. Однако, его применение приводит к появлению двухзначности в определении  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  и необходимости, в случае измерения сильнопоглощающих жидкостей, проведения дополнительной оценки правильности выбираемого решения. Кроме того, конструктивная ограниченность толщины прокладки, используемой в измерительных ячейках для разделения жидкости от воздушной части направляющей системы, приводит к появлению систематических ошибок в измерениях  $\eta$  и  $l$ , которые могут оказаться существенными в коротковолновой части диапазона микроволн. Устранение указанных недостатков рассматриваемого метода измерения  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  возможно, если в качестве разделительной прокладки использовать трансформатор сопротивлений, содержащий один или несколько плоских четвертьволновых слоев из различных непоглощающих материалов.

При наличии трансформатора сопротивлений между регулируемым слоем измеряемой жидкости и воздушной частью направляющей системы модуль коэффициента отражения волны  $\rho$  от такой слоистой системы равен

$$\rho = \left| \frac{kZ_{th}\gamma l - Z_0}{kZ_{th}\gamma l + Z_0} \right|, \quad (1)$$

где:  $k = \left[ \frac{Z_0 Z_2 Z_4 \dots}{Z_1 Z_3 Z_5 \dots} \right]^2$ ,  $y = \frac{2\pi}{\lambda_d} (1 - iy)$ ,  $y = \text{tg} \Delta / 2$ ,  $\Delta = \text{arctg} \epsilon'' / (\epsilon' - p)$ ,  $p = (\lambda / \lambda_0)^2$ . Здесь  $k$  –

коэффициент трансформации входного сопротивления измерительной ячейки с жидкостью,  $Z_0, Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_m$  – волновые сопротивления направляющей системы, заполненной соответственно воздухом, измеряемой жидкостью и материалом  $m$  последовательно прилегающих к жидкости слоев трансформатора сопротивлений,  $\gamma$  – постоянная распространения волны в

направляющей системе, заполненной жидкостью,  $y$  – фактор диэлектрических потерь,  $\lambda$ ,  $\lambda_d$  – длина волны соответственно в свободном пространстве и в направляющей системе, заполненной измеряемой жидкостью,  $\lambda_c$  – критическая длина волны, определяемая размерами направляющей системы [4].

Используя ту же процедуру вывода, что и в работе [1,2], имеем выражение для толщины  $l_m$  слоя, соответствующей положению минимума зависимости  $\eta$  от  $l$

$$\frac{l_m}{\lambda_b} = \frac{x(1+y^2)}{k\sqrt{R_1 R_2}}, \quad (2)$$

где:  $R_1 = th2\pi xy - ytg2\pi x$ ,  $R_2 = cth2\pi xy + yctg2\pi xy$ ,  $x = l_m / \lambda_d$ ,  $\lambda_b = \lambda\sqrt{1-p}$  – длина волны в пустой направляющей системе.

Так как  $\eta = (1+\rho)/(1-\rho)$ , то, подставляя в это соотношение выражения (1) и (2), имеем, что при толщине  $l_m$  слоя жидкости коэффициент стоячей волны  $\eta_m$  в точке минимума функции  $\rho(l)$  определяется одним из уравнений вида

$$\eta_m = \begin{cases} \sqrt{R_1 / R_2} & \text{при } x < x_1; y > y_1 \\ \sqrt{R_2 / R_1} & \text{при } x > x_1; y < y_1 \end{cases}, \quad (3)$$

где  $x_1$ ,  $y_1$  находятся из граничного условия

$$y_1 \operatorname{sh} 4\pi x_1 y_1 + \sin 4\pi x_1 = 0, \quad (4)$$

соответствующего случаю  $\eta_m = 1$  [2].

Так как

$$\varepsilon' = p + (\lambda/\lambda_d)^2(1-y^2), \quad \varepsilon'' = 2(\lambda/\lambda_d)^2 y, \quad (5)$$

то, с учетом выражения (2), имеем для минимальных точек зависимости  $\eta$  от  $l$

$$\varepsilon_1 = k^2 R_1 R_2 \frac{1-y^2}{(1+y^2)^2}, \quad \varepsilon_2 = k^2 R_1 R_2 \frac{2y}{(1+y^2)^2}, \quad (6)$$

где:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon' - p}{1-p}, \quad \varepsilon_2 = \frac{\varepsilon''}{1-p}$$

Уравнения (2), (3) и (6) содержат лишь функции двух вспомогательных параметров  $x$  и  $y$  и, следовательно, могут быть использованы для установления связи между искомыми значениями  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  и экспериментально измеряемыми величинами  $\eta_m$  и  $l_m$  в точках минимума зависимости  $\eta$  от  $l$ . Они отличаются от аналогичных выражений для  $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon''$ ,  $\eta_m$  и  $l_m$ , полученных в [2,3], наличием в некоторых из них постоянного множителя  $k$ . Очевидно, что для достижения тождественности сравниваемых систем уравнений достаточным является введение в уравнения (2) и (6) приведенных параметров  $\varepsilon_1^* = \varepsilon_1/k^2$ ,  $\varepsilon_2^* = \varepsilon_2/k^2$  и  $\vartheta_m^* = l_m k/\lambda_b$ . Тогда для нахождения искомого значений  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  может быть использован тот же, данный в [3], алгоритм итерационной процедуры поиска  $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon''$  при заданных значениях  $\eta_m$ ,  $l_m$  и универсальные расчетные номограммы; в последнем случае номограммы сохраняют свой вид, но уже в приведенной системе координат  $[\varepsilon_1^*, \varepsilon_2^*]$  и с заменой параметра  $\vartheta_m = l_m/\lambda_b$  на его приведенное значение  $\vartheta_m^*$  (см.рис.).

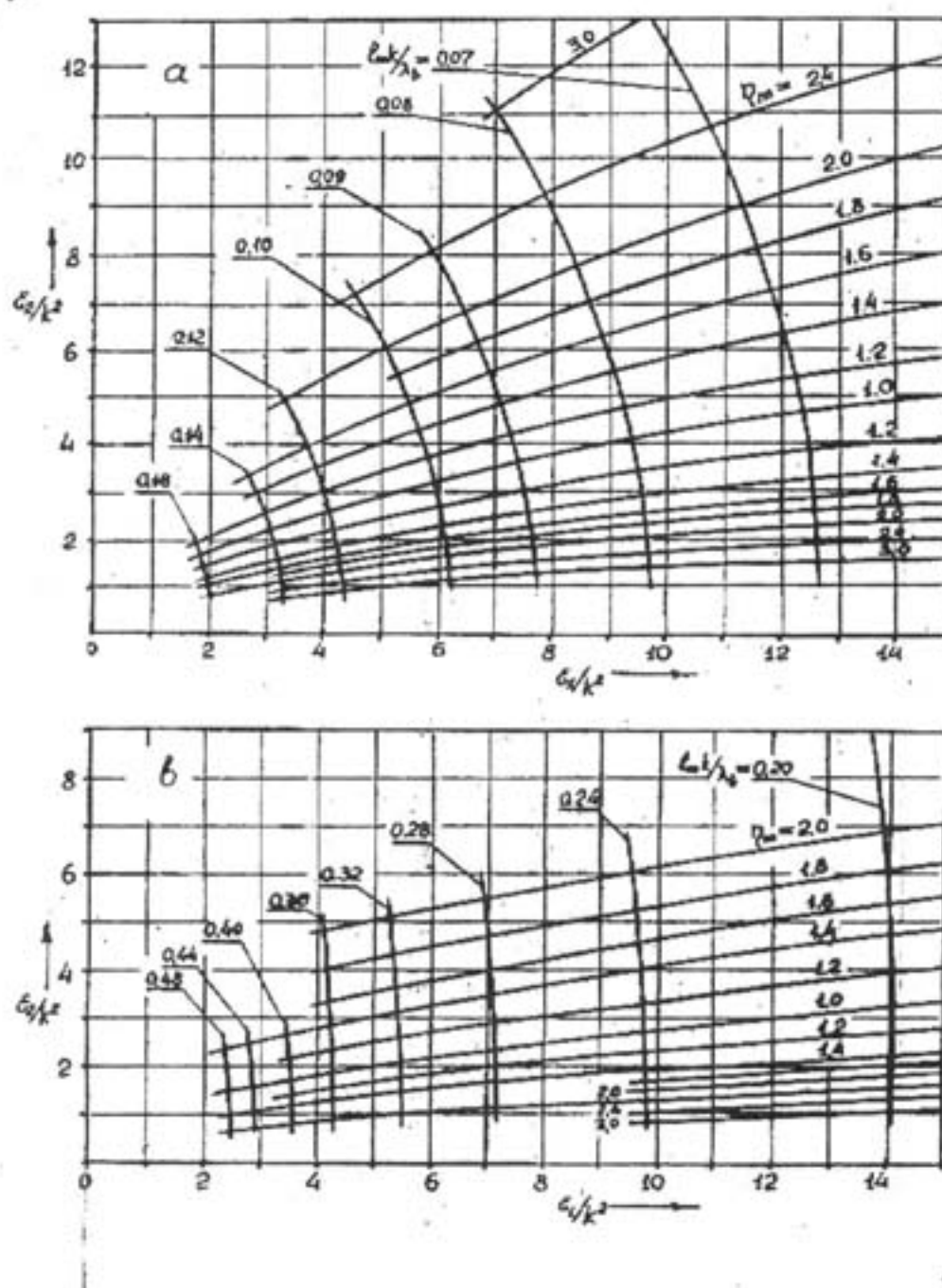


Рис.1

Номограммы для расчета приведенных значений диэлектрической проницаемости  $\epsilon_1$  и диэлектрических потерь  $\epsilon_2$  полярных жидкостей по данным измерения коэффициента стоячей волны  $\eta$  и толщины  $l$  слоя жидкости в точке первого (а) и второго (б) минимумов функции  $\eta(l)$ .  $\lambda_0$  – длина волны в направляющей системе,  $k$  – коэффициент трансформации.

При известных величинах  $\lambda_0$ ,  $\lambda_0$  и коэффициента трансформации  $k$  процедура определения  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  по этому алгоритму и номограммам сводится к нахождению координаты точки пересечения двух кривых, соответствующей экспериментально

найденным и вычисленным значениям  $\eta_m$  и  $\vartheta_m^* = l_m k / \lambda_b$  для выбранного номера  $N$ , минимума функции  $\eta(l)$ . Абсцисса этой координатной точки будет соответствовать приведенному значению диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_1^* = k^2(\varepsilon' - p)/(1 - p)$ , тогда как ордината – приведенному значению диэлектрических потерь  $\varepsilon_2^* = k^2 \varepsilon''/(1 - p)$ . По ним вычисляются затем искомые значений  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$ .

Таким образом, введение в измерительный тракт трансформатора сопротивлений, состоящего, в общем случае, из нескольких плоских четвертьволновых слоев из различных непоглощающих материалов, не изменяет существующую методику определения  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$ . Вместе с тем применение таких вставок приводит к ряду положительных явлений, способствующих улучшению точности и достоверности получаемой информации. Прежде всего, с вводом разделительного трансформатора сопротивлений устраняется необходимость учета систематических погрешностей в измерениях  $\eta_m$ , вызываемых паразитными отражениями от используемых ранее разделительных прокладок. Кроме того, при определенном подборе коэффициента трансформации  $k$ , можно, смещением рабочей точки в координатной плоскости  $[\varepsilon_1^*, \varepsilon_2^*]$ , устранить двухзначность в оценке величин  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$ . Из получаемой пары значений  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  одна может быть легко отброшена, как не имеющая физического смысла. В частности, при измерениях диэлектрических свойств сильнопоглощающих полярных жидкостей, однозначность получаемых результатов достигается применением разделительного трансформатора сопротивлений с  $k > 1$ , например, использованием в нем только одного четвертьволнового слоя непоглощающего диэлектрика. В случае применения трансформатора сопротивлений с  $k < 1$  создается возможность, за счет снижения величин первых минимумов зависимости  $\eta(l)$ , использования рассматриваемого метода и при измерениях слабопоглощающих веществ.

1. Р.М. Касимов, *Измерительная техника*, №10 (1970) 48.
2. Р.М. Касимов, *Метрология*, №7 (1987) 45.
3. Р.М.Касимов, Я.С. Абдуллаев, *Депонировано в ВИНТИ*, N 5443-B87 (1987) 14.
4. А.Ф. Харвей, *Техника сверхвысоких частот*, М. Сов.радио, 1 (1965).

## MÜQAVİMƏTLƏRİN TRANSFORMATORI OLDUQDA TƏNZİM EDİCİ MAYE LAYINDAN MİKRODALĞA ŞÜALARINI ƏKS ETMƏKLƏ POLYAR MAYENİN DIELEKTRİK ƏMSALININ ÖLÇÜLMƏSİ

Ç.O.QACAR, S.R.QASIMOVA

Göstərilmişdir ki, maye maddələrin dielektrik əmsalının ölçülməsində, dalğa əks etməsi minimum olduqda maye qatının qalınlığına və durğun dalğa əmsalının ölçülməsinə əsaslanan üsulun nəticəsini dəqiqləşdirmək və birmənalı etmək məqsədilə ölçmə zəncirində udmayan dördü bir dalğalı yastı laylı müqavimətlərin transformatoru istifadə edilir.

## THE MEASUREMENT of DIELECTRIC COEFFICIENTS of POLAR LIQUIDS by the REFLECTION of MICROWAVES from REGULATED LIQUID'S LAYER at the PRESENCE TRANSFORMER of RESISTANCE

CH.O.QAJAR, S.R.KASIMOVA

It was shown that the insertion of the transformer of resistance from non-absorbing quarter-wave plates in measurement chain improves accuracy and provides unambiguous results of determination of the dielectric properties of substances by the method based on the measurement of standing wave coefficient and thickness of the liquid layer at which the wave reflection is minimal.