

© Емельянов В. А., Шубин А. В., 2012

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ

Аннотация. В статье рассматривается метод вариации толщины образца для проведения измерений зависимости диэлектрической проницаемости исследуемого жидкого кристалла от температуры на частоте 30 ГГц при атмосферном давлении. Метод основан на измерении коэффициента затухания электромагнитной волны, проходящей через исследуемое вещество, залитое в секцию волновода. Подробно описываются особенности экспериментальной установки и техника проведения эксперимента. Приводится расчет погрешности и контрольные измерения диэлектрической проницаемости бутилацетата и бензола.

Ключевые слова: экспериментальная установка, волноводный метод, стоячая волна, затухание волны, диэлектрическая проницаемость, контрольные измерения.

© V. Emelianov, A. Shubin, 2012

DIELECTRIC PERMITTIVITY MEASURING METHOD FOR NEMATIC LIQUID CRYSTALS IN MICROWAVE FREQUENCY RANGE

Abstract. This article is focused on the method of varying the sample thickness necessary for measuring the way the dielectric permittivity of a studied liquid crystal depends on temperature at 30 GHz and at atmospheric pressure. The method is based on measuring the attenuation coefficient of the electromagnetic wave while it passes through the studied substance which is poured into a section of the wave conductor. The article provides a detailed description of the experimental setup and the procedures, as well as observational error computations and control measurements of the dielectric permittivity of butyl acetate and bensole.

Key words: experimental setup, waveguide method, standing wave, attenuation of the wave, dielectric permittivity, gage.

Выбор метода измерения диэлектрической проницаемости ϵ' зависит от ее величины и величины диэлектрических потерь ϵ'' , диапазона температур и частот, в котором проводятся измерения. В сантиметровом и миллиметровом диапазонах широко используются волноводные методы для измерения ϵ' и ϵ'' жидкостей с большими, средними и малыми потерями [1]. В данной статье рассматривается метод вариации толщины образца [2, с. 191-193, 206-209].

Экспериментальная установка и методика измерения диэлектрической проницаемости на сверхвысоких частотах

Метод основан на измерении коэффициента затухания электромагнитной волны при прохождении через исследуемое вещество. Для проведения измерений зависимости диэлектрической проницаемости исследуемого жидкого кристалла (ЖК) от температуры на частоте 30 ГГц при атмосферном давлении может использоваться установка, схема которой представлена на рис. 1.

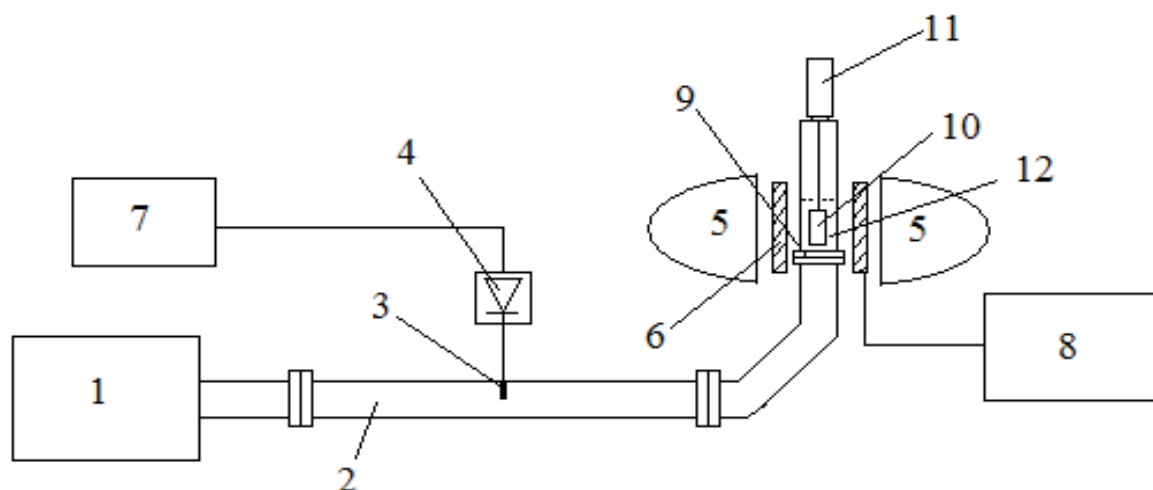


Рис. 1. 1 – генератор сигналов ГЗ-30, 2 – волновод, 3 – зонд, 4 – СВЧ диод зонда, 5 – полюса постоянного магнита, 6 – термостат, 7 – милливольтметр, 8 – терморегулятор, 9 – слюдяная пластинка, 10 – подвижный поршень, 11 – регулятор положения поршня в волноводе, 12 – исследуемое вещество.

В отсутствие исследуемого вещества в волноводе устанавливается чисто стоячая волна с узлами, расположенными на расстоянии друг от друга и от преграды, где λ_0 длина волны в пустом волноводе, связанная с граничной длиной волны λ_g и λ_0 соотношением [2, с. 191-193, 206-209]:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_2}\right)^2}}$$

Исследуемое вещество заливается в секцию волновода, отделенную от воздушной части измерительной установки тонкой слюдяной пластинкой (9).

При помощи зонда (3) и СВЧ-диода, подключенного к зонду, можно регистрировать точки пучностей и узлов стоячей волны. Электромагнитная волна порождает в зонде разность потенциалов, которая измеряется вольтметром (7), соединенным с СВЧ-диодом.

Ориентация молекул ЖК осуществляется с помощью постоянного магнита (5), установленного на платформе, позволяющей поворачивать его относительно волновода.

Необходимая температура ЖК и контроль над ней осуществляются с помощью систем термостатирования (6) и терморегуляции (8). Изменение толщины слоя исследуемой жидкости осуществляется с помощью поршня (10), перемещающегося непосредственно в жидкости, которая свободно проходит между поршнем и стенками волновода. Измерение толщины слоя жидкости, находящейся под поршнем, ведется микрометром (11).

Измерения проводятся следующим образом. Поршень из своего исходного, самого нижнего положения плавно поднимается вверх. В зависимости от толщины слоя жидкости, находящейся между слюдяной пластинкой и нижней поверхностью поршня, показания вольтметра регистрируют максимумы и минимумы напряжения в волноводе. Максимальные показания соответствуют такой толщине слоя, при которой отражения волн

от слюдяной пластинки и поршня совпадают по фазе. Минимальные показания соответствуют толщине слоя, при которой отражения волн от пластинки и поршня находятся в противофазе. Длина волны в волноводе с исследуемым веществом λ_ε измеряется путем определения расстояния между двумя соседними максимумами или минимумами показаний вольтметра [2, с. 191-193, 206-209]. По полученным значениям толщины образца и соответствующих им максимумов и минимумов рассчитывается постоянная затухания:

$$\psi = \frac{\left(\sqrt{I_{\max m}} - \sqrt{I_{\max n}}\right)\left(\sqrt{I_{\min n}} - \sqrt{I_{\min m}}\right)}{\left(\sqrt{I_{\max m}} - \sqrt{I_{\min n}}\right)\left(\sqrt{I_{\max n}} - \sqrt{I_{\min m}}\right)},$$

где

$I_{\max m}$ – показание прибора в максимуме, соответствующее толщине образца r_m , $I_{\max n}$ – показание прибора в максимуме, соответствующее толщине образца r_n , $I_{\min m}$ и $I_{\min n}$ – экстраполированные значения, соответствующие толщине образца r_m и r_n . Экстраполированные значения находились с помощью кривой затухания, построенной по показаниям вольтметра и микрометра. Общий вид кривой затухания изображен на рис. 2.

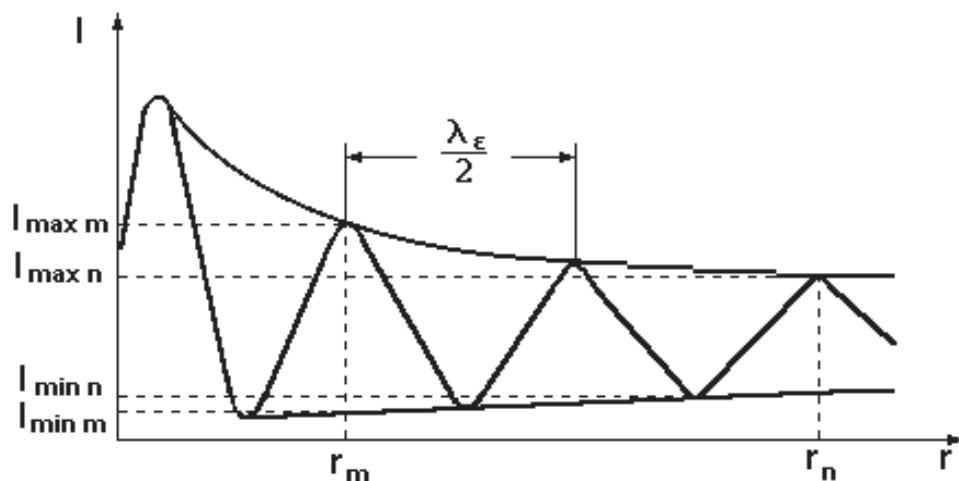


Рис. 2. Общий вид кривой затухания

Действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости определяются из соотношений [2, с. 191-193, 206-209]:

$$\varepsilon' = \left(\frac{\lambda_a}{\lambda_\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\lambda_a}{\lambda_a}\right)^2 - \left(\frac{\varepsilon''\lambda_\varepsilon}{2\lambda_0}\right)^2,$$

$$\varepsilon'' = \frac{\alpha\lambda_\varepsilon}{\pi} \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_\varepsilon}\right)^2,$$

где λ_b – длина волны в пустом волноводе, λ_ε – длина волны в ЖК, находящегося в волноводе, λ_a – граничная длина волны в пустом волноводе, α – постоянная затухания.

Относительная погрешность определения диэлектрических потерь в СВЧ-диапазоне рассчитывалась по формуле:

$$\frac{\delta\varepsilon''}{\varepsilon''} = \frac{\delta\alpha}{\alpha} + \frac{3\delta\lambda_\varepsilon}{\lambda_\varepsilon} + \frac{2\delta\lambda_0}{\lambda_0} + \frac{\partial\varepsilon''}{\varepsilon''\partial T}\delta T + \frac{\partial\varepsilon''}{\varepsilon''\partial B}\delta B + \frac{\partial\varepsilon''}{\varepsilon''\partial\varphi}\delta\varphi,$$

где $\delta\alpha/\alpha$ – погрешность определения постоянной затухания, равная 0,6%. $2\delta\lambda_0/\lambda_0$ – погрешность генератора, равная 4%. $3\delta\lambda_\varepsilon/\lambda_\varepsilon$ – погрешность определения длины волны в ЖК равна 0,9%. $(\partial\varepsilon''/\varepsilon''\partial T)\delta T$ – погрешность, вызванная неточностью измерения температуры, составляет 0,05%. Погрешностями $(\partial\varepsilon''/\varepsilon''\partial B)\delta B$, $(\partial\varepsilon''/\varepsilon''\partial T)\delta T$, как отмечалось выше, можно пренебречь. Таким образом, полная относительная погрешность $\delta\varepsilon''/\varepsilon''$ составляет 5,6%.

При определении ε' волноводным методом относительная погрешность определяется соотношением:

$$\frac{\delta\varepsilon'}{\varepsilon'} = \frac{2\delta\lambda_0}{\lambda_0} + \frac{2\delta\lambda_\varepsilon}{\lambda_\varepsilon} + \frac{\partial\varepsilon'}{\varepsilon'\partial T}\delta T + \frac{\partial\varepsilon'}{\varepsilon'\partial B}\delta B + \frac{\partial\varepsilon'}{\varepsilon'\partial\varphi}\delta\varphi + \frac{2\delta\varepsilon''}{\varepsilon''}$$

Погрешность, вызванная неточной установкой длины электромагнитной волны $2\delta\lambda_0/\lambda_0$, не превышает 4%. $2\delta\lambda_\varepsilon/\lambda_\varepsilon$ – погрешность при определении длины волны в ЖК равна 0,3%. $(\partial\varepsilon'/\varepsilon'\partial T)\delta T$ – температурная погрешность, которая составляет 0,05%. Погрешностями, связанными с неточной установкой ориентации вектора напряженности электромагнитной волны и вектора магнитной индукции, а также с неоднородностью магнитного поля, можно пренебречь, так как эти величины значительно меньше погрешности определения длины волны в исследуемом веществе. Таким образом, суммарная ошибка определения диэлектрической проницаемости на частоте 30 ГГц не превышает 15%.

Для подтверждения достоверности экспериментальных данных были проведены контрольные измерения диэлектрической проницаемости бутилацетата и бензола на частоте 30 ГГц при атмосферном давлении. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Контрольные измерения диэлектрической проницаемости бутилацетата и бензола на частоте 30 ГГц

Вещество	$\varepsilon_{\text{табл}}$	$\varepsilon_{\text{эксп}}$
Бутилацетат	3,58	3,53
		3,56
		3,65
Бензол	2,26	3,49
		2,21
		2,2
		2,29

Сравнение экспериментальных данных со справочными данными показывает их количественное согласие [1].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ахадов Я. Ю. Диэлектрические параметры чистых жидкостей. – М., 1999.
2. Брандт А. А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. – М., 1963.