

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ε И $tg\delta$ МАТЕРИАЛОВ
С БОЛЬШИМИ ПОТЕРЯМИ

В.И. ЗУБКО, А.И. ЛЕСНИКОВИЧ, Д.В. ЗУБКО
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Важными характеристиками при контроле и диагностике электрических свойств материалов являются относительная диэлектрическая проницаемость ε , удельное электрическое сопротивление ρ и тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$. Однако при контроле электрических свойств материалов, таких как электропроводящие полимерные композиции [1], электропроводящие магнитные дисперсные наносистемы [2] на измерение ε и $tg\delta$ оказывает влияние величина диэлектрических потерь. Существенное влияние диэлектрических потерь сказывается при измерении ε и $tg\delta$ материалов, когда их удельное электрическое сопротивление достигает нескольких десятых единиц $Ом \cdot м$. Это обстоятельство в значительной степени затрудняет контроль и диагностику электрических свойств материалов в диапазоне высоких частот, поскольку на результаты измерений ε и $tg\delta$ оказывает влияние систематическая погрешность, обусловленная индуктивностью и паразитной емкостью подводящих проводов. Анализ и учет этих погрешностей позволяет значительно повысить точность измерения ε и $tg\delta$ материалов с большими потерями.

Известно, что электрические характеристики такие, как ε , ρ и $tg\delta$ материалов рассчитываются по формулам

$$\varepsilon = \frac{C_x}{C_0}, \quad (1)$$

$$\rho = R_x \frac{S}{d}, \quad (2)$$

$$tg\delta = \frac{1}{\omega C_x R_x}, \quad (3)$$

где C_x , R_x – электрическая емкость и активное сопротивление измерительной ячейки с материалом; C_0 – геометрическая емкость; S – площадь пластины электрода; d – расстояние между пластинами и электродами; ω – циклическая (круговая) частота.

Анализ электрических параметров, входящих в формулы (1–3) показал, что наибольшую трудность здесь представляет собой измерение емкости C_x , что связано с влиянием систематической погрешности, обусловленной паразитными индуктивностью подводящих проводов (L_{II}) и емко-

стью (C_{II}) при измерении ε и $tg\delta$ материалов, обладающих большими потерями ($tg\delta \geq 1$). В этой связи рассмотрим особенности измерения C_x с учетом погрешностей, обусловленных влиянием L_{II}

$$R_x = R_3, \Delta C = C_1 - C_2, \Delta C = C_{экр.}, \quad (4)$$

где C_1 – емкость измерительной ячейки с материалом; C_2 – емкость измерительной ячейки без материала. Емкость ΔC является мерой измеряемой емкости C_x при отсутствии влияния паразитной индуктивности и емкости подводящих проводов.

Значение емкости C_x отличается от эквивалентного значения ($C_{экр.}$) по двум причинам: во-первых, только часть измерительного конденсатора заполняется материалом (в этой части электрическое поле однородно), а остальная часть конденсатора является нерабочей и вместе с емкостью подводящих проводов образует паразитную емкость C_{II} , которую из уравнения (4) необходимо вычесть. Во-вторых, так как мы измеряем C_x с относительно малым активным сопротивлением R_x , то необходимо в уравнении (4) учесть влияние систематической погрешности, обусловленной паразитной индуктивностью подводящих проводов. На основе теоретического анализа эквивалентных схем замещения конденсатора материалом нами получена аналитическая формула, позволяющая учитывать влияние паразитной индуктивности при измерении C_x материалов, обладающих большими потерями [3]. Формула представлена в следующем виде

$$C_x \approx C_3 + \frac{L_{II}}{R_x^2}. \quad (5)$$

Формула (5) показывает, что на измерение емкости C_x оказывает влияние систематическая погрешность, обусловленная паразитной индуктивностью подводящих проводов, которая, в свою очередь, существенно зависит от величины активного сопротивления. Так, например, на частоте 1 МГц при $L_{II} = 10^{-7}$ Гн, $R_x = 30$ Ом получим, что

$$\frac{L_{II}}{R_x^2} = 1,1 \cdot 10^{-10} \quad \Phi = 110 \text{ пФ}.$$

Погрешность, определяемая выражением $\frac{L_{II}}{R_x^2}$, была проверена экспериментально для параллельной схемы из известной комбинации C и R с $L_{II} = 10^{-7}$ Гн. Как показывают результаты исследований [3], использование аналитической формулы (5) позволяет существенно повысить точность измерения C_x при контроле электрических свойств материалов, обладающих большими диэлектрическими потерями; с учетом (4) формула (5) имеет следующий вид

$$C_x = C_1 - C_2 + \frac{L_{II}}{R_x^2} - C_{II}, \quad (6)$$

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено, что при измерении C_x , обладающей большими потерями, вносится значительная систематическая погрешность, обусловленная влиянием паразитной индуктивности подводящих проводов, которая, в свою очередь, зависит от величины R_x , и особенно велико при измерении относительно малых значений C_x [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оперативный контроль и диагностика электрических свойств полимерных композиций в зависимости от состава для различных частот электрического поля / И. Н. Ахвердов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006. – № 4. – С. 40–44.
2. **Zubko, V. I.**, Lesnikovich A.I., Zubko D.V. // Influence of the composition and temperature of concentrated magnetic fluids on their electrophysical properties for different frequencies of the electric field.// Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2004. – Vol. 77, №1. – P.193–198.
3. **Зубко, В. И.** Об учете погрешностей при контроле электрических свойств материалов с большими потерями / В. И. Зубко, А. И. Лесникович, Д. В. Зубко // Техническая электродинамика. – 2008. – № 2. – С. 64–68.

E-mail: Zubko@bsu.by