

УДК.621.317.:621.396.

ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСІВ ПІКОСЕКУНДНОЇ ТРИВАЛОСТІ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАТЕРІАЛІВ І БІОРЕЧОВИН

Федюшко Ю.М., д.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-23-41

Анотація - проведений аналіз методів і засобів вимірювання електрофізичних параметрів матеріалів та біоречовин при використанні імпульсів пікосекундної тривалості.

Ключові слова - діелектрична проникність, резонатори, хвилеводні системи, імпульсна рефлектометрія.

Постановка проблеми. Вимірювання електрофізичних параметрів матеріалів й біоречовин є основним завданням в області контролю складу і властивостей біоречовин та матеріалів. Крім того, вимірювання електрофізичних параметрів в області електромагнітної біології, що несе інформацію про фізичні і біофізичні властивості речовин і їх залежність від різних фізичних факторів в широкій полосі частот, вимагає проведення аналізу існуючих методів і засобів вимірювання [1,2,3].

Аналіз останніх досліджень. З метою вивчення діелектричних властивостей матеріалів та біооб'єктів в електромагнітному полі (ЕМП), визначення їх структури й складу, вимірювання ϵ' і ϵ'' проводяться в широкому діапазоні частот (від 0 до 10^{13} Гц). Такий широкий частотний діапазон не можна охопити єдиним методом вимірювань.

Слід зазначити, що методу стоячої хвилі властиві такі недоліки: вимірювання тільки на фіксованій частоті, складність автоматизації процесу вимірювань.

Метод рухомої хвилі, ґрунтується, на тому, що всякий ефект, безпосередньо залежний від довжини хвилі (наприклад, зрушення фази прохідної хвилі), може бути використаний для створення способу точного вимірювання ϵ' , а після того, як визначено ϵ'' , всякий ефект, пов'язаний з поглинанням потужності (наприклад, зміна амплітуди хвилі, що проходить), дозволяє визначити ϵ'' , оскільки параметри речовини є функціями постійної розповсюдження

$$\gamma = j\omega(\mu\varepsilon)^{1/2} = \alpha + j\beta, \quad (1)$$

де α - коефіцієнт поглинання;
 β - фазова постійна хвилі, що проходить через середовище.

У цьому випадку вимірюються зміна фази і амплітуди хвилі, що проходить через діелектрик. Метод рухомої хвилі дає можливість отримати точні результати, важко реалізується, практично через незручності, пов'язані з підбором для кожного досліджуваного матеріалу узгодженого навантаження на кінці лінії.

На практиці широке застосування для вимірювання діелектричної проникності (ДП) речовин знайшли об'ємні резонатори. Перевагами об'ємних резонаторів в порівнянні з системами відкритого типу є високе значення добротності і повне екранування від зовнішніх перешкод, використання яких, дозволяє досліджувати діелектрики з достатньо малими значеннями втрат [1, 2].

Частотний діапазон, що перекривається комплектом таких резонаторів, знаходиться в межах від 50 до 3000 МГц, при порівняно точності вимірювань - близько 2...3% для ε' і 10...15% для $tg\delta$.

Вказана точність вимірювань ε' досягається для зразків з проникністю від 1 до 20-30. Для вищих значень проникності точність вимірювань істотно знижується із-за порушення умови квазістаціонарності зазору торця, ємність якого на цих частотах вже не можна рахувати рівній ємності, зміряної на низькій частоті.

Застосування резонансних методів ґрунтується на результатах вирішення рівнянь ЕМП для конкретного типу робочої хвилі і конструкції резонатора з урахуванням впливу на поле вимірюваного зразка, поміщеного в резонатор. Розрахунок і вимірювання відносної ДП ε' і тангенса кута діелектричних втрат $tg\delta$ виконуються через виміряні резонансну частоту f_0 і добротність Q_0 резонатора без зразка, f_1 і Q_1 резонатора із зразком.

Перевагами резонансних методів є простота вимірювань, малі габарити, прийнятна похибка ε' - близько 1,5%, а ε'' - 3.5%, мала кількість матеріалу, необхідного для вимірювання.

До недоліків цих методів можна віднести відсутність серійних резонаторів, витрати для їх виготовлення, необхідність забезпечення стабільності генератора коливань і неможливість вимірювань ε' і $tg\delta$ матеріалів з великими втратами.

У роботах [2, 6] запропонований метод вимірювання діелектричних параметрів матеріалів в НВЧ області за допомогою S - параметрів чотириполюсників. Для цього методу падаюча, відображена і прохідна хвилі зв'язані між собою комплексною матрицею розсіяння:

$$S = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

де S_{11} і S_{22} - комплексні коефіцієнти відображення входу і виходу чотириполосника;

S_{21} і S_{12} - комплексні коефіцієнти передачі в прямому і зворотному напрямі відповідно.

До недоліків цього методу слід віднести складність виготовлення, труднощі при обробці вимірювальної інформації, калібруванні приладу та високу вартість.

Формування мети статті. Метою даної статті є проведення аналізу методів та технічних засобів вимірювання електрофізичних параметрів матеріалів і біоречовин при використанні імпульсів пікосекундної тривалості

Основна частина. Апаратурна реалізація розглянутих методів вимірювання ДП матеріалів і біологічних речовин є складними радіотехнічними пристроями, які містять велику кількість різних вузлів та елементів: джерела сигналів на необхідний діапазон частот; перетворювачі частоти; направлені відгалужувачі, мости, вентиля; пристрої індикації; блоки живлення. Основною проблемою при створенні апаратури такого класу є відсутність широкосмугових джерел сигналу. В даний час ця проблема вирішується методом набору необхідної кількості генераторів, що забезпечують необхідний діапазон частот [3]. Такий комплект має значні габаритно-масові характеристики, споживану потужність, але головний недолік - відсутність необхідної швидкодії при перебудові частоти і зміні приладів, що приводить до втрати інформації. Найістотнішим недоліком розглянутих методів вимірювання ДП біологічних речовин є принципова неможливість вимірювання ДП із-за нелінійних властивостей біооб'єктів.

Усунути вказані недоліки дозволяє метод імпульсної рефлектометрії. Суть методу полягає в тому, що матеріали біологічних речовин поміщаються в спеціальну хвилеводну направляючу систему, через яку пропускаються імпульси пікосекундної тривалості.

Відображені сигнали, що пройшли через зразок, поступають на зчитуючий пристрій стробоскопічного осцилографа, де проводиться спеціальна обробка інформації, з метою отримання даних про електрофізичні властивості матеріалу.

Використання імпульсів пікосекундної тривалості дозволить забезпечити безперервний спектр в широкій смузі частот. Імпульси прямокутної форми описуються виразом [3, 4]:

$$x(t) = \begin{cases} A & \text{при } -\frac{\tau_u}{2} \leq t \leq \frac{\tau_u}{2} \\ 0 & \text{при } t < -\frac{\tau_u}{2} \text{ и } t > \frac{\tau_u}{2} \end{cases}, \quad (3)$$

де A – амплітуда імпульсу;
 τ_u – тривалість імпульсу.

Використовуючи перетворення Фур'є, отримаємо

$$x(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt. \quad (4)$$

Підставивши (3) в (4), спектральну щільність сигналу отримаємо в наступному вигляді

$$x(j\omega) = A \cdot \tau_u \left[\frac{\sin(\omega \cdot \frac{\tau_u}{2})}{\omega \cdot \frac{\tau_u}{2}} \right]. \quad (5)$$

З виразу (5) видно, що $x(j\omega)$ – безперервна функція у всьому діапазоні частот.

При розтяганні імпульсу відстань між нулями функції $x(j\omega)$ скорочується, що рівносильно звуженню спектру. При укороченні (стискуванні) імпульсу, навпаки, відстань між нулями функції $x(j\omega)$ збільшується (спектр розширюється). У межі при $\tau_u \rightarrow 0$ $A = (const)$

точки $\omega = \pm \frac{2\pi}{\tau_u}$, відповідні двом першим нулям функції $x(j\omega)$ відда-

ляються в нескінченність і спектральна щільність стає рівномірною в смузі частот від $-\infty$ до $+\infty$. У разі прямокутного імпульсу смуга час-

тот визначається з умови $\Delta F = \frac{1}{\tau_u}$. Вона містить 90% всієї енергії сиг-

налу. Це одна з переваг імпульсних методів рефлектометрії в порівнянні з вимірюваннями на безперервних сигналах. Крім того, метод імпульсної рефлектометрії дозволяє досліджувати нелінійні стохастичні системи. Функціональна модель стохастичної нелінійної системи може бути представлена паралельним з'єднанням елементарних динамічних систем з складними нелінійностями, властивості яких описуються імпульсними характеристиками.

Представимо сигнал імпульсного рефлектометра $x(j\omega)$ у вигляді ряду Вольєрра, який діє на вході з імпульсною характеристикою $h(t)$, то відгук системи $y(t)$, обумовлений цим сигналом збудження визначається згорткою [4, 5]

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t - \tau) \cdot h(\tau) d\tau. \quad (6)$$

При переході з часової області в частотну, згортка трансформується в операцію множення

$$Y(j\omega) = X(j\omega) \cdot H(j\omega), \quad (7)$$

де $Y(j\omega)$, $X(j\omega)$, $H(j\omega)$ – частотні форми функцій $y(t)$, $x(t)$, $h(t)$.

Тоді, частотна характеристика матиме вигляд

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}. \quad (8)$$

У ідеальному випадку, за наявності точної інформації про функції $y(t)$ і $x(t)$ можна з великою точністю виконати операцію звернення згортки і обчислити $h(t)$, як в часовій, так і частотній областях.

Висновки. Таким чином, приведена вище методика, дає можливість використовувати переваги часового методу (роздільне отримання відображених сигналів від окремих неоднородностей досліджуваного об'єкту) для отримання частотних характеристик, як окремих нелінійностей, так і всього об'єкту в цілому, визначити коефіцієнти розсіяння чотириполіусників по зміряних імпульсних сигналах.

Література

1. Бензарь В.К. Техника СВЧ влагометрии / В.К. Бензарь. – Минск : Высш. школа, 1974. – 349 с.
2. Абубакиров Б.А. Измерение параметров радиотехнических цепей / Б.А. Абубакиров. – М. : Сов. радио, 1984. – 245 с.
3. Радиоизмерительные приборы. – М. : НИИ ЭКОС, 1992. – 159 с.
4. Федюшко Ю.М. Аналіз сучасних методів обробки візуальної інформації / Ю.М. Федюшко, В.О. Мунтян, О.С. Лисенко // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження. – Львів : Нац. аграрн. ун-т., 2008. – Т.2, № 12. – С. 660 – 663.

5. Пупков К.А. Функциональные ряды в теории нелинейных систем / К.А. Пупков, В.И. Капалин, А.О. Ющенко. – М. : Наука, 1976. – 448 с.

6. Nicolson A.M. Broadband microwave transmissions characteristics from a single measurement of the transient response / A.M. Nicolson // IEEE. – 1968. – V. 1. – № 4. – P. 377 – 382.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ ПИКОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ И БИОВЕЩЕСТВ

Федюшко Ю.М.

Аннотация - проведен анализ методов и средств измерения электрофизических параметров материалов и биовеществ при использовании импульсов пикосекундной длительности.

USING OF IMPULSES OF PIKOSEKUNDNOY OF DURATION IS FOR MEASURING OF ELECTRO-PHYSICAL PARAMETERS OF MATERIALS AND BIORECHEVIN

Y.Fediushko

Summary

The analysis of methods and facilities of measuring of electro-physical parameters of materials and biorechevin is conducted at the use of impulses of pikosekundnoy duration.