

УДК. 521. 317

**Федюшко Ю. М.**, к. т. н., доцент ©  
**Коваленко Л.Р.**, к. т. н., старший викладач  
*Таврійський державний агротехнологічний університет,*

## МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІРКИ ІМПУЛЬСНИХ РЕФЛЕКТОМЕТРІВ

*Розроблено метрологічне забезпечення імпульсних рефлектометричних систем для дослідження діелектричних параметрів біологічних об'єктів на надвисоких частотах.*

**Ключові слова:** метрологія, імпульсний рефлектометр, діелектрична проникність, калібрування.

**Вступ.** Основну роль в метрологічному забезпеченні вимірювань виконують, як правило, повірочні схеми, що регламентують засоби, методи і точність передачі розміру одиниці фізичної величини від державного еталону або початкового робочого еталону, робочим засобам вимірювальної техніки [1,2].

В Україні відсутня повірочна схема засобів вимірювань, призначених для вимірювання параметрів елементів ланцюгів з розподіленими постійними.

У зв'язку з цим, через відсутність державного і робочих еталонів необхідних для повірки (калібрування) засобів вимірювальної техніки повного опору в необхідних межах, у всьому діапазоні значень єдність вимірювань не забезпечується.

**Матеріал і методи.** Проведений аналіз характеристик засобів вимірювальної техніки по вимірюванню параметрів елементів ланцюгів з розподіленими постійними, області їх застосування, існуючих методів і засобів вимірювання цих параметрів показав, що цю проблему доцільно вирішити шляхом контролю геометричних розмірів коаксіальних навантажень.

Атестація міри хвильового опору в комплекті імпульсного рефлектометра в цьому випадку зводиться до лінійних вимірювань, методика яких добре розроблена.

Найбільшого поширення набули заходи відображення і неузгодження з КСВ-2; 1; 4. Це відповідає коефіцієнту відображення 0,333 і 0,167 [3]. Еквівалентна схема неоднорідності у вигляді стрибка діаметру центрального провідника зображується схемою із стрибком хвильового опору, ввімкненою паралельно йому ємності, в місці стрибка. У коаксіальному тракці з відношенням діаметрів провідників 7/3,055 стрибок діаметру центрального провідника рівний 0,805 мм для КСВ-1,4 та 1,59 мм для КСВ-2. Ємність в еквівалентній схемі неоднорідної ділянки є такою, яка викликає збільшення коефіцієнта відображення щодо значення в діапазоні частот до 18 ГГц не більше ніж на 2% для КСВ-2 і не більше ніж 0,8% для КСВ-1,4, тому в першому

наближенні нею можна нехтувати, оскільки похибки вимірювальних приладів, які використовують швидке перетворення Фур'є, значно більше.

Фазочастотна характеристика такої міри відображення наближена до лінійної під нахилом, визначеною відстанню від початку зразкової лінії до місця стрибка центрального провідника. Якщо виникає необхідність більш точної атестації системи, ємкість можна врахувати за допомогою кривих, що додаються мірам, або з допомогою коефіцієнта відображення:

$$G(j\omega) = G_0 \left[ 1 - 2j\omega ZC_3 / (1 - Z^2 / Z_1^2) \right],$$

де  $G_0$  – коефіцієнт відображення, без урахування крайової ємкості;

$Z_1$  – змінений хвильовий опір.

При вимірюваннях за допомогою гармонійних сигналів частотний діапазон і частотні властивості міри відображення визначаються застосованим поглиначем. Широкопasmові поглиначі мають незадовільні поглинаючі властивостями на частотах менше 1 ГГц, тому міри відображення на основі труб без заповнювача працюють в діапазоні частот (2...4) - (12...18) ГГц. У діапазоні частот 0...4 ГГц використовують неузгоджені навантаження, які по конструкції аналогічні звичайному узгодженому навантаженню, але виготовлені з високим класом точності, причому опір застосованого резистора відрізняється від хвильового опору тракту на задане значення.

При рефлектометричних імпульсних вимірюваннях з використанням пікосекундних імпульсних сигналів, для виділення відображеного сигналу, можна використовувати тимчасове вікно. При цьому проблема виготовлення якісного поглинача знімається, оскільки сигнал, відображений від місця стрибка діаметру центрального провідника, може бути в часі відокремлений від відображених сигналів, що виникають на вході зразкової лінії і її кінці, якщо стрибок діаметру розташувати в центрі лінії. Із-за граничності розмірів зразкової лінії, нижня робоча частота такої міри відображення, обмежена величиною  $1/T$ , де  $T$  – тривалість тимчасового вікна. Для повітряної лінії довжиною 30 см максимально допустима тривалість тимчасового вікна 1 нс, тому нижня робоча частота такої міри відображення  $f \geq 1 \text{ ГГц}$ .

При використанні міри відображення без поглинача виникає проблема її метрологічної атестації, оскільки існуюча апаратура використовує гармонічні вимірювальні сигнали. Також слід зазначити, що однією з найважливіших вимог при перевірці приладів цієї групи є контроль приєднувальних розмірів СВЧ входів на відповідність вимогам ГОСТ 13317-80.

Включення в ISO/IEC 14763-3 інформації по рефлектометричним вимірюванням указує на велику її затребуваність. Це може розглядатися і як непряме визнання того, що промисловість і розробники почали вирішувати технічні проблеми по створенню вимірювального устаткування широкого частотного діапазону, застосування якого забезпечить необхідну ефективність.

Це відноситься не тільки до забезпечення взаємного механічного поєднання, але і до метрологічно вірного випуску і експлуатації всіх приладів, призначених для аналізу ланцюгів.

#### **Результати досліджень.**

В якості початкового еталона використаний набір мір з розрахунковими параметрами повного і хвильового опору 1-го розряду ЭК9-145 [4,5].

Набір мір по своєму призначенню складається з міри хвильового опору (узгоджене навантаження E9-145) і мір повного опору (неузгоджені навантаження E9-146, Э9-154). Основні параметри початкового еталону ЭК9-145: коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі (КСХН), фази коефіцієнта віддзеркалення, хвильового опору визначаються непрямим методом шляхом вимірювання геометричних розмірів.

Міра хвильового опору E9-145 має наступні метрологічні характеристики:

- значення КСХН не більше 1,007;
- значення хвильового опору  $(50 \pm 0,35)$  Ом;
- межа допустимої похибки вимірювання КСХН не більш  $\pm 0,7\%$ .

Номинальні значення КСХН мір повного опору E9-146, Э9-154:

- $1,25 \pm 0,05$  для навантаження E9-146;
- $1,4 \pm 0,05$  для навантажень E9-147, Э9-150;
- $2,0 \pm 0,05$  для навантажень E9-151, Э9-154.

Межа допустимої похибки вимірювань навантажень E9-146, Э9-154 не перевищує:

- $\pm 1\%$  по КСХН;
- $\pm 1^0$  по фазі коефіцієнта відображення.

Розміри елементів приєднання навантажень відповідають вимогам ГОСТ 13317-89, тип III, варіант 1.

Початковий еталон у вигляді набору мір використовують для повірки (калібрування) засобів вимірювальної техніки методом прямих вимірювань.

#### Засоби вимірювальної техніки, що повіряються.

Як засоби вимірювальної техніки, що повіряються, використовуються:

- вимірювальні лінії P1;
- вимірювачі повного опору P2;
- вимірювачі КСХН панорамні P3;
- вимірювачі комплексного коефіцієнта передачі P4;
- вимірювачі параметрів лінії передачі P5;
- імпульсні рефлектометри.

Межі допустимої відносної похибки засобів вимірювальної техніки по КСХН, залежно від частоти, складає від  $2 \cdot 10^{-2}$  до  $30 \cdot 10^{-2}$  від  $3^0$  до  $20^0$  по фазі коефіцієнта відображення; по хвильовому опору від  $3 \cdot 10^{-2}$  до  $10^{-2}$  Ом.

**Висновки.**

При вимірюванні діелектричної проникності біологічних об'єктів імпульсним рефлектометром з похибкою менше 1%, для його калібрування, необхідно застосовувати еталонні міри вищих розрядів.

Похибка вимірювання діелектричної проникності біологічних об'єктів може складати менше 1% при використанні розроблених алгоритмів калібрування рефлектометричних систем, при застосуванні мір хвильового опору, атестованих за геометричними розмірами.

**Література**

1. Абубакиров Б.А. Образцовые меры для калибровки автоматизированных анализаторов цепей. Техника средств связи / Б.А. Абубакиров. – Львов. – Сер. РИТ. – 1982. – Вып 7. – С. 138 – 141.
2. Набор мер полного и волнового сопротивления 1-го разряда ЭК9-145. Паспорт ДТ2.700.013ПС.
3. Артедьев Б.Г. Справочное пособие для работников метрологических служб в 2-х т / Б.Г. Артедьев, С.М. Голубев. – М.: Стандарты, 1990. – Т. 1. – 5 с.
4. ДСТУ 3741-98. Государственная поверочная схема для средств измерения длины.
5. Каменецкий М.И. Рабочие эталоны единицы волнового сопротивления в коаксиальных волноводах 16/6,95 мм и 7/3,04 мм / М.И. Каменецкий, Э.М. Гутина, Ю.В. Кондаков // Измерительная техника. – 1981. – № 2. – С. 53 – 55.

**Summary****Y. Fediushko, L. Kovalenko****METHODOLOGICAL PROVIDING OF CHECK OF IMPULSIVE REFLEKTOMETRA**

*The metrology providing of the impulsive reflektometric systems is developed for research of dielectric parameters of biological objects over high-frequencies*

**Key words:** *metrological, impulsive reflektometr, dielectric permeability, calibration.*

*Стаття надійшла до редакції 16.09.2010*