

УДК 621.317.73

**М.Р. Леськів,
Є.В. Походило**, д-р техн. наук

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ІМІТАНСНИХ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Проаналізовано вплив індуктивності з'єднувальних дротів на результат кондуктометричних, діелькометричних та імпедансометричних вимірювань. Наведено активна та реактивна складові комплексної провідності імітансного сенсора за спрощеними схемами заміщення.

Ключові слова: електрофізичні параметри, активна і реактивні складові, схема заміщення, первинний перетворювач.

**M.R. Leskiv,
J.V. Pokhodylo**, ScD.

ANALYSIS OF IMMITTANCE PRIMARY CONVERTERS PARAMETERS

The influence of the inductance connecting wires on the result of conductometry, dielectric-type and impedancemetric measurements is analyzed. By the simplified schemes of replacement, active and reactive components of the complex conductivity of immittance sensor are instructed.

Keywords: electrical parameters, active and reactive components, scheme of replacement, primary transformer.

**М.Р. Леськів,
Є.В. Походило**, д-р техн. наук

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ИМИТАНСНЫХ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Проанализировано влияние индуктивности соединительных проводов на результат кондуктометрических, диелькометрических и импедансометрических измерений. Приведены активная и реактивная составляющие комплексной проводимости имитансного сенсора по упрощенным схемам замещения.

Ключевые слова: электрофизические параметры, активная и реактивная составляющие, схема замещения, первичный преобразователь.

Використання електричних методів вимірювання для визначення електрофізичних параметрів об'єктів неелектричної природи забезпечує, як відомо, оперативність, об'єктивність та високі метрологічні та експлуатаційні характеристики відповідних засобів. Одним із таких є узагальнений імітансний метод [1], який частково в практиці реалізується як кондуктометричний, діелькометричний або імпедансометричний. Відомо, що для кондуктометричних вимірювань інформативним параметром об'єкта контролю (дослідження) є опір, для діелькометрії – це ємність, а для імпедансометрії – складові комплексного опору (провідності). У всіх випадках вимірювальний засіб містить первинний перетворювач (у загальному випадку – імітансний перетворювач) та вимірювальний засіб його інформативного параметра (параметрів).

Найпоширенішим у практичних вимірюваннях електрофізичних параметрів рідин або сипких матеріалів є перетворювач ємнісного типу, який приєднується до вимірю-

вального засобу. Переважно це вимірювачі Імітансу або CLR-метри [2]. Оскільки у даному разі інформативні параметри є однаковими за характером з параметрами неінформативними (паразитні ємності, індуктивності, провідності чи опори), то останні можуть вносити істотні зміни в результат вимірювання. Залежатиме це від значення вимірюваного параметра та частоти, на якій здійснюються вимірювання.

Метою даної роботи є аналіз впливу неінформативного параметра приєднувальної схеми, зокрема індуктивності з'єднувальних дротів на результат вимірювання з урахуванням приелектродної ємності перетворювача [3]. Для цього авторами аналізуватиметься активна та реактивна складові комплексної провідності імітансного сенсора за спрощеними схемами заміщення в частотному діапазоні тестового сигналу для кондуктометричних, діелькометричних та імпедансометричних вимірювань.

У разі кондуктометричних вимірювань електрофізичних параметрів рідин з урахуванням зазначеного вище схема заміщення первинного перетворювача має вигляд, зображений на рис. 1.

© Леськів М.Р., Походило Є.В., 2012

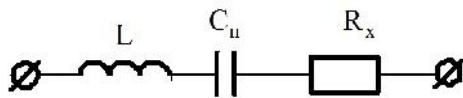


Рис.1. Схема заміщення кондуктометричного перетворювача

Відповідно до наведеної схеми комплексний опір описується

$$Z = j\omega L + \frac{1}{j\omega C_n} + R_x, \quad (1)$$

де ω – кругова частота тестового сигналу; L – індуктивність з'єднувальних дротів; C_n – приелектродна ємність (ємність подвійного шару); R_x – опір об'єкта дослідження.

Оскільки кондуктометри вимірюють переважно провідність об'єкта контролю, то у даному разі та в подальшому розглядати-мемо складові провідності.

Відповідно до (1), комплексна провідність описуватиметься формулою:

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{j\omega C_n}{1 - \omega^2 LC_n + j\omega C_n R_x}, \quad (2)$$

звідки її активна $\text{Re}(Y)$ та реактивна $\text{Im}(Y)$ складові відповідають виразам

$$\text{Re}(Y) = \frac{\omega^2 C_n^2 R_x}{(1 - \omega^2 LC_n)^2 + (\omega C_n R_x)^2} \quad (3)$$

$$\text{Im}(Y) = \frac{\omega C_n - \omega^3 C_n^2 L}{(1 - \omega^2 LC_n)^2 + (\omega C_n R_x)^2} \quad (4)$$

Аналіз виразу (3) показує, що за умови $\omega^2 LC_n \gg 1$

$$\text{Re}(Y) = G_x \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega L}{R_x}\right)^2}, \quad (5)$$

при цьому зі зростанням частоти тестового сигналу провідність збільшується, а при $\omega L = R_x$ $G_x \rightarrow \infty$, тобто опір стає рівним нулю. Із подальшим зростанням частоти опір приймає від'ємне значення.

Разом з тим, за умови $\omega^2 LC_n = 1$ активна складова

$$\text{Re}(Y) = G_x, \quad (6)$$

де $G = \frac{1}{R_x}$.

Тобто при певній частоті тестового сигналу та сталих значеннях індуктивності та приелектродної ємності усувається вплив останніх на результат вимірювання.

Аналізуючи вираз (4), очевидно, що реактивна складова змінює знак за умови $\omega^2 LC_n > 1$, а при $\omega^2 LC_n = 1$ вона приймає нульове значення.

Для діелькометричних вимірювань схема первинного перетворювача має вигляд, зображений на рис.2., а її загальний опір

$$Z = j\omega L + \frac{1}{j\omega C_n} + \frac{1}{j\omega C_x}. \quad (7)$$

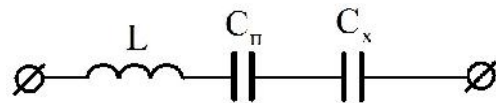


Рис. 2. Схема заміщення діелькометричного перетворювача

Відповідно провідність

$$Y = \frac{1}{Z} = j\omega C_x \cdot \frac{1}{1 + \frac{C_x}{C_n} - \omega^2 LC_x}. \quad (8)$$

У даному разі маємо лише реактивну складову, яка за умови $\omega^2 LC_x > 1 + \frac{C_x}{C_n}$ також змінює знак на протилежний. При $\omega^2 LC_x = \frac{C_x}{C_n}$ реактивна складова визначатиметься лише інформативним параметром C_x та частотою тестового сигналу.

Розглянемо імпедансометричні вимірювання електрофізичних параметрів об'єктів. У даному разі первинний перетворювач має схему, наведену на рис. 3.

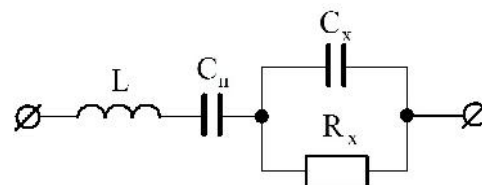


Рис. 3. Схема заміщення імпедансометричного перетворювача

Для такої схеми активна та реактивна складові комплексної провідності визначаються

$$\operatorname{Re}(Y) = G_x \frac{\omega^2 C_n^2 (1 - \omega^2 LC_x)}{B}, \quad (9)$$

$$\operatorname{Im}(Y) = j\omega C_x \frac{\frac{C_n}{C_x} + \omega^2 C_n^2 R_x^2 \left(1 + \frac{C_x}{C_n}\right)}{D} -$$

$$- j\omega C_x \frac{\omega^2 C_n^2 R_x^2 \left(\frac{1}{C_x R_x^2} + \omega^2 C_x\right) L}{D}, \quad (10)$$

де

$$B = \left(\frac{1 - \omega^2 CL}{R_x}\right)^2 + \omega^2 (C_x + C_n - \omega^2 C_x C_n L)^2;$$

$$D = (1 - \omega^2 LC_n)^2 + \omega^2 R_x^2 C_x^2 \left(1 + \frac{C_n}{C_x} - \omega^2 LC_n\right)^2.$$

У даному разі як активна, так і реактивна складові комплексної провідності мають широкий частотний діапазон. Активна складова (9) за наявності індуктивності зі зростанням частоти спадає, а за умови $\omega^2 LC_x = 1$ має нульове значення. Подальше зростання частоти приводить також до зміни знаку активної складової.

Реактивна складова (10) змінює знак за умови

$$\frac{L}{C_x R_x^2} + \omega^2 C_x L > 1 + \frac{C_x}{C_n} + \frac{1}{\omega^2 C_x C_n R_x^2}. \quad (11)$$

На основі отриманих результатів аналізу можна зробити наступні висновки.

1) В процесі вимірювання можна визначити частоту тестового сигналу, при якій вплив індуктивності з'єднувальних дротів мінімальний.

2) За зміною знаку складових при різних вимірюваннях можна визначити інформативний параметр, використавши для цього вимірювач складових імітансу.

3) Якщо використати зразкову індуктивність та $L_0 \gg L$, можна застосувати резонансний метод вимірювання складових, де інформативним параметром і є частота тестового сигналу.

Список використаної літератури

1. Походило Є. В. Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імітансу об'єктів кваліметрії: Автореф. дис.

д-ра техн. наук: 05.11.05 / Національний ун-т «Львівська політехніка». – Львів, 2004. – 40 с.

2. Походило Є. В. Вимірювачі CLR з перетворенням «імітанс-напруга»: монографія / Є. В. Походило, В. В. Хома. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 292 с.

3. Григорчак І. І. Імпедансна спектроскопія: навчальний посібник / І. І. Григорчак, Г. В. Понеділок. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 352 с.

Отримано 15.05.2012

References

1. Pokhodylo J.V. Development of the theory and principles construction of measurement qualimetry objects of immitance / J. V. Pokhodylo Author. Dissertation. Dr. techn. Sciences: 05.11.05 // National University of "Lviv Polytechnic". Lviv, 2004. – 40 p. [in Ukrainian].

2. Pokhodylo J. V. CLR-meters with transformation of "immittance-voltage" / J. V. Pokhodylo, V. V. Khoma // Monograph. – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2011. – 292 p. [in Ukrainian].

3. Grygorchak I. I. Impedance spectroscopy / I. I. Grygorchak., H. V. Ponedilok // Tutorial. – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2011. – 352 p. [in Ukrainian].



Леськів Марта Романівна, аспірантка каф. Метрології, стандартизації, сертифікації» нац. ун-ту «Львівська політехніка», тел.: (096)2069077. Email: marta88leskiv@gmail.com



Походило

Євген Володимирович, д.т.н., проф. каф. Метрології, стандартизації, сертифікації» нац. ун-ту «Львівська політехніка», тел.: (067)3034820. Email: evgenp@meta.ua