

УДК 621.317.73

Є.В. Походило, П.Г.Столярчук

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра “Метрологія, стандартизація та сертифікація”**ІМІТАНСНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ**

© Походило Є.В., Столярчук П.Г., 2002

Запропоновано оцінювати рівень якості продукції за електричними параметрами багатоелементного комплексного двополюсника (імітансу), який відображає сукупність одиничних показників об’єктів порівняння.

The product quality through their multielements immitance electrical parameters, which are depended on the compared objects individual indexes estimation is discussed in this paper.

Для оцінювання якості продукції її показники порівнюють з базовими показниками продукції відомої якості, значення яких наводяться в нормативній документації. На підставі порівняння можна зробити висновок про якість продукції за прийнятими в кваліметрії шкалами [1]. Визначають одиничні показники залежно від їх виду різними методами [2]. Однак найоб’єктивнішим вважається експериментальний метод. Він є найпоширенішим у всіх галузях. Особливо широко він застосовується в промисловості [3]. В літературі його ще називають інструментальним методом, тобто таким, який реалізується з використанням технічних засобів (інструментів). Переваги такого методу полягають в тому, що він усуває суб’єктивні похибки, дає можливість створювати гнучкі вимірювальні системи і комплекси, автоматизувати контроль якості та впливати на окремі показники якості як під час виробництва, так і під час зберігання і транспортування, забезпечуючи високу продуктивність та точність вимірювання. Завдяки таким істотним перевагам інструментальний метод вважається пріоритетним порівняно з іншими та повинен, якщо це можливо і економічно доцільно, використовуватися завжди. Інструментальний метод передбачає виконання вимірювальних операцій (реалізація вимірювальних методів) або суто хімічного експерименту. Як відомо з метрології, вимірювальний метод може бути реалізований прямими та непрямими вимірюваннями [4].

Залежно від виду продукції, одиничні показники якості можуть характеризувати електричні, фізико-хімічні та інші параметри окремо або разом. Вимірюють електричні показники якості вимірювачами електричних величин безпосередньо. Показники, що відповідають неелектричним властивостям продукції, вимірюють, перетворюючи фізико-хімічні властивості речовин та матеріалів у електричний сигнал за допомогою різних первинних перетворювачів (сенсорів) [5]. Найширше застосовуються параметричні сенсори, а саме імітансні сенсори. Для цього об’єкт дослідження (речовина чи матеріал), поміщений в електричне коло, розглядається як комплексна пасивна величина (імітанс). Таке описування більшості вимірювальних об’єктів є змістовнішим від описування за допомогою передавальних функцій або часових характеристик [6]. Особливо це стосується оцінювання якості речовин та матеріалів. Зумовлено це тим, що для оцінювання якості продукції важливішим є відображення не інтегральних властивостей, а її внутрішньої структури. Такий об’єкт у колі змінного струму подають певною схемою заміщення [7]. Електричною вихідною величиною імітансних перетворювачів в загальному випадку є імітанс ємнісного

чи індуктивного характеру. В частковому випадку це активні опір або провідність, ємність або індуктивність, реактивні опір (провідність) або співвідношення між активними та реактивними складовими імітансу (добротність чи тангенс кута втрат).

Відповідно для вимірювання параметрів імітансних перетворювачів доцільно використовувати, якщо це допустимо, відомі методи та засоби вимірювання параметрів імітансу [8,9,10]. Якщо неможливе пряме застосування таких методів та вимірювальних засобів, необхідно розвивати як теорію, так і практику їх побудови відповідно до умов контролю якості продукції.

В загальному випадку комплексний показник якості продукції

$$P = F_1(q_1, Q_1, q_2, Q_2, \dots, q_n, Q_n), \quad (1)$$

де Q_1, Q_2, \dots, Q_n – одиничні показники якості продукції; q_1, q_2, \dots, q_n – коефіцієнт вагомості одиничного показника.

Якщо речовина чи матеріал подані двополюсником, то комплексна провідність її в об'ємі чутливого елемента сенсора залежить від електричних параметрів двополюсника. При сталих значеннях частоти, форми та амплітуди тестового сигналу провідність

$$Y = F_2(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (2)$$

де X_1, X_2, \dots, X_n – електричні параметри комплексної провідності, поданої відомою схемою заміщення.

Якщо відома залежність між електричними параметрами та одиничними параметрами продукції, тобто

$$X_1 = F_3(Q_1); \quad X_2 = F_4(Q_2); \dots, \quad X_n = F_n(Q_n), \quad (3)$$

то можна записати

$$P = F(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (4)$$

Отже, показник якості продукції визначається сукупністю електричних параметрів двополюсника, що дає змогу використовувати імітансний контроль якості. Тобто для оцінювання якості може бути реалізований інструментальний метод.

Суть імітансного контролю полягає в тому, що виміряні параметри електричної моделі (схеми заміщення) речовини чи матеріалу (параметри імітансного сенсора) необхідно порівнювати з відповідними параметрами такої самої моделі базового зразка. Електричні величини відображають відповідні неелектричні одиничні показники (домішки, концентрацію, вологість, жирність, октанове число тощо) та зв'язані з ними певною залежністю. Виходячи з цього, кожний вид продукції повинен мати свій базовий зразок у вигляді комплексного двополюсника, що подається стандартною схемою заміщення. Значення електричних параметрів такої схеми повинні відповідати встановленому рівню якості того чи іншого продукту і доповнювати технічні вимоги щодо одиничних показників нормативно-технічної документації. Однак в нормативно-технічній документації на такі види продукції сьогодні таке подання базових зразків відсутнє. Базовий зразок переважно характеризують одиничними показниками неелектричних параметрів. Разом з тим, впродовж останніх років все ширше залучаються до вимірювання одиничних показників якості електричні методи, зокрема частотно-дисперсійний метод.

За частотно-дисперсійним методом аналізу речовин та матеріалів [11] базовий зразок описують у вигляді амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик. Для визначення відхилень таких характеристик об'єктів порівняння для оцінювання якості необхідна

реєстрація всієї характеристики у широкому діапазоні тестового сигналу, визначення екстремальних значень ординат та розрахунок нерівномірності за наведеними формулами. Практична реалізація такого методу зводиться, в основному, до вимірювання одиничного показника продукції на частоті, на якій його електричні параметри проявляються найбільше [12, 13, 14].

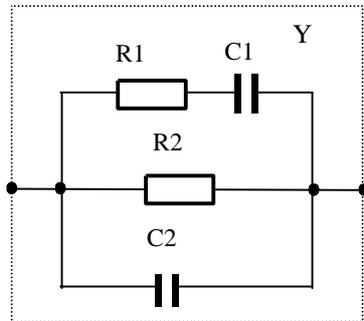


Рис. 1. Схема заміщення неоднорідної фізичної величини

Якщо схема заміщення невідома, то послідовно або паралельно в часі зондують об'єкт дослідження та аналогічний базовий зразок тестовим сигналом. Вимірюють активну та реактивну складові комплексної провідності, якою подана речовина (матеріал), що оцінюється, та базовий зразок. Виконують такі вимірювання на відомих фіксованих частотах. Отримані значення порівнюють та опрацьовують результати. Для визначення схеми заміщення необхідні додаткові експериментальні дослідження.

Практичну реалізацію імітансного контролю якості пояснимо на прикладі найпоширенішої схеми заміщення неоднорідної величини (рис. 1), якою подано певний вид продукції.

Комплексна провідність такого двополюсника

$$\dot{Y} = \frac{\frac{1}{R_1} \left[1 + \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \omega^2 C_2^2 R_2^2 \right] + j\omega C \left(1 + \frac{C_2}{C_1} + \omega^2 C_2^2 R_2^2 \right)}{1 + \omega^2 C_2^2 R_2^2} \quad (5)$$

Оскільки маємо чотири невідомі параметри схеми, то необхідно здійснити стільки ж вимірювань. Використавши засіб вимірювання імітансу для роздільного вимірювання складових комплексної величини, достатньо виконати вимірювання на двох фіксованих частотах. Отримаємо відповідно значення активних та реактивних складових комплексної провідності, які аналітично описуються залежностями

$$\operatorname{Re}(\dot{Y})_1 = \frac{1}{R_1} \frac{1 + \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \omega_1^2 R_2^2}{1 + \omega_1^2 C_2^2 R_2^2} ; \quad \operatorname{Im}(\dot{Y})_1 = j\omega_1 C \frac{1 + \frac{C_2}{C_1} + \omega_1^2 C_2^2 R_2^2}{1 + \omega_1^2 C_2^2 R_2^2} \quad (6)$$

$$\operatorname{Re}(\dot{Y})_2 = \frac{1}{R_1} \frac{1 + \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \omega_2^2 R_2^2}{1 + \omega_2^2 C_2^2 R_2^2} ; \quad \operatorname{Im}(\dot{Y})_2 = j\omega_2 C \frac{1 + \frac{C_2}{C_1} + \omega_2^2 C_2^2 R_2^2}{1 + \omega_2^2 C_2^2 R_2^2} \quad (7)$$

де $\operatorname{Re}(\dot{Y})_1$, $\operatorname{Re}(\dot{Y})_2$, $\operatorname{Im}(\dot{Y})_1$, $\operatorname{Im}(\dot{Y})_2$ – відповідно активна та реактивна складові комплексної провідності на частотах ω_1 , ω_2

За наведеними рівняннями (6), (7) знаходять параметри R_1, R_2, C_1, C_2 схеми заміщення (рис. 1). Отримані значення цих параметрів порівнюють з відповідними параметрами базового зразка аналогічної схеми заміщення. Для встановлення залежності (якщо така відсутня) між електричними параметрами та властивостями продукції для відомої схеми заміщення необхідні експериментальні дослідження. Для цього змінюють в продукції

відомого рівня якості той чи інший одиничний параметр і знаходять значення електричних параметрів. Водночас можна знайти відповідність між електричними параметрами та одиничними показниками якості продукту. За результатами таких експериментальних досліджень можна побудувати математичну модель за відомим алгоритмом [15].

Порівнюючи показники якості продукції, яка оцінюється за базовими показниками (відносні показники – це відношення значень об'єктів порівняння), можна виділити різні варіанти:

- варіант 1 – всі відносні показники якості більші від або дорівнюють одиниці;
- варіант 2 – всі відносні показники якості менші від або дорівнюють одиниці;
- варіант 3 – частина показників більша від, частина менша від, а частина дорівнює одиниці.

За результатами оцінювання варіанта 1 можна однозначно встановити відповідність продукції базовому зразку, а саме: продукція відповідає рівню якості базового зразка. За результатами оцінювання двох інших варіантів однозначної відповіді дати не можна, а тому необхідно використовувати інші алгоритми опрацювання результатів порівняння. Побудова вимірювальних засобів для імітансного контролю якості можлива за двома напрямками.

Перший напрям. Модель продукції (схема заміщення), якість якої оцінюється, відома. У нормативній документації наведені номінальні значення електричних параметрів та їх допустимі відхилення для певного рівня якості матеріалу чи речовини. У такому разі для оцінювання якості може бути використана структура вимірювального засобу, яка наведена на рис. 2.

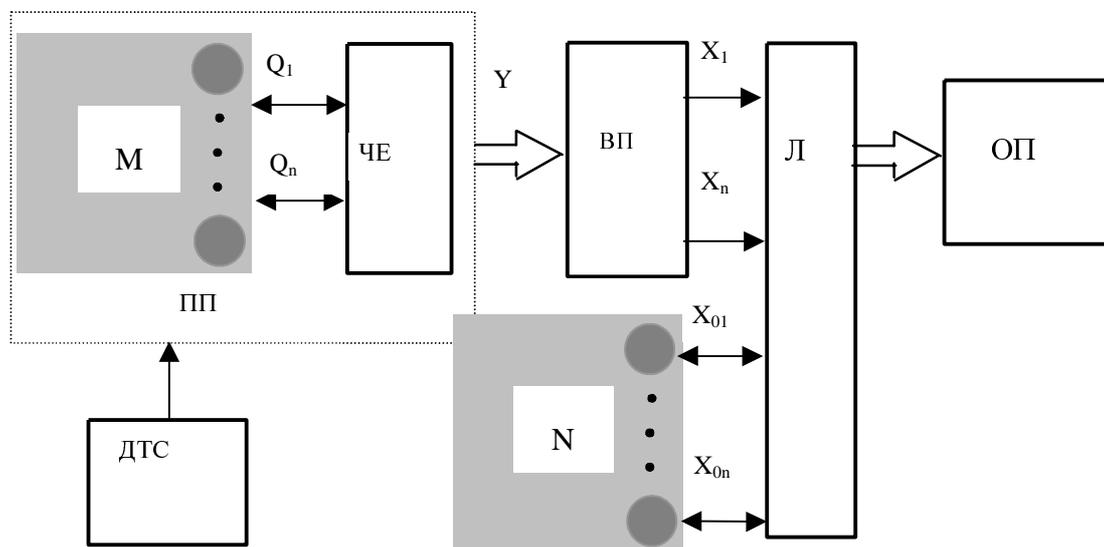


Рис. 2. Структура вимірювального засобу оцінювання якості за відомою моделлю базового зразка

Вона містить об'єкт дослідження **М** з одиничними показниками (Q_1, \dots, Q_n) та аналогічний йому базовий зразок **Н** з електричними параметрами (X_{01}, \dots, X_{0n}), джерело тестового сигналу (ДТС), первинний імітансний перетворювач ПП, вимірювальний пристрій ВП, логометр Л, обчислювальний пристрій ОП. ДТС формує синусоїдальний сигнал фіксованих частот та рівня, який подається на первинний перетворювач. Останній містить продукцію, якість якої оцінюється, та чутливий елемент ЧЕ. Провідність **У** імітансного перетворювача

вимірюється ВП. Логометром порівнюються параметри (X_1, \dots, X_n), що характеризують об'єкт дослідження, з аналогічними параметрами (X_{01}, \dots, X_{0n}) базового зразка. За результатами порівняння обчислювальним пристроєм визначається рівень якості продукції.

Другий напрям. Модель продукції, якість якої оцінюється, невідома.

Структура вимірювального засобу має вигляд, наведений на рис. 2.

У такому разі почергово досліджується як продукція, якість якої оцінюється, так і базова продукція. Вимірювальні операції виконуються в однакових умовах і тими самими засобами. Призначення окремих вузлів такої структури аналогічне. Вимірювальним пристроєм почергово вимірюються параметри провідностей Y_X, Y_N імітансного первинного перетворювача. Логометром порівнюються значення електричних параметрів X та X_0 відповідно продукції M , якість якої оцінюється, та базового зразка N .

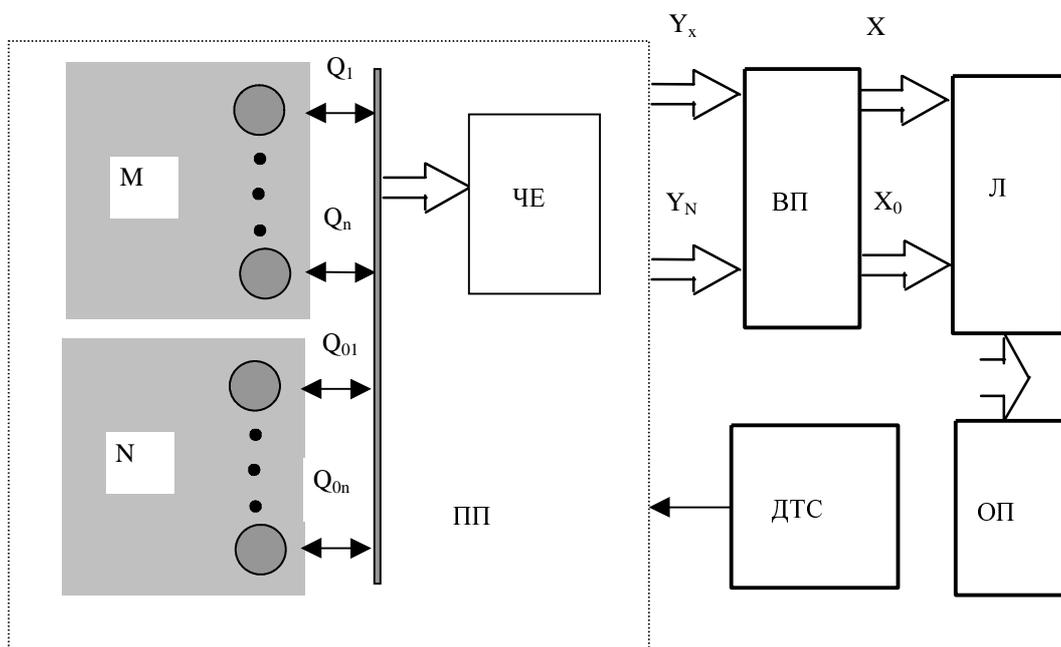


Рис. 3. Структура вимірювального засобу оцінювання якості при невідомій моделі базового зразка

Запропонований імітансний метод контролю якості продукції та наведені схеми його реалізації можуть застосовуватися для оцінювання якості матеріалів та речовин, які можна подати комплексною провідністю чи опором (імітансом). Для деяких видів продукції така сукупність одиничних показників може бути визначальною в оцінюванні якості. Однак для багатьох речовин чи матеріалів не всі основні одиничні показники можуть бути охоплені двополусною структурою (схемою заміщення). В такому разі оцінюється тільки груповий показник певного рівня ієрархічної структури, що охоплює виміряні одиничні показники, еквівалентні електричним параметрам двополусника. За результатами такого контролю якості та результатами вимірювання показників іншими методами визначають комплексний показник якості.

1. Шишкин И.Ф. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества. – М., 1987. 2. Комплексная оценка качества промышленной продукции / Под ред. А.В. Гличева. – М., 1975. 3. Измерение в промышленности // Справ. изд. В 3 – х кн. Пер. с нем. / Под ред.

- П. Профоса. – М., 1990. 4. Електричні вимірювання електричних і неелектричних величин / Під ред. Є. С. Поліщука. – К., 1978. 5. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин. – Львів, 2000. 6. Дубицкий Л.Г. Радиотехнические методы контроля изделий. – М., 1963. 7. Кнеллер В. Ю., Березовский Л.П. Определение параметров многоэлементных двухполюсников. – М., 1986. 8. Гаврилюк М.А., Соголовский Е.П. Электронные измерители CLR. – Львов. 1979. 9. Кнеллер И. Ю. Автоматическое измерение составляющих комплексного сопротивления – М. – Л., 1967. 10. Гриневич Ф.Б. Автоматические мосты переменного тока. – Новосибирск, 1964. 11. Головка Д.Б., Скрипник Ю.О. Методи та засоби частотно – дисперсійного аналізу речовин та матеріалів: Фізичні основи. – К., 2000. 12. Головка Д.Б., Скрипник Ю.О. Методи та засоби частотно – дисперсійного аналізу речовин та матеріалів: Вимірювальні схеми та прилади. – К., 2000. 13. Берлинер М.А. Измерение влажности / Изд. 2-е, перераб. и доп. – М., 1973. 14. Високочастотні засоби вимірювання фізичних величин із самоналагоджуванням і автокорекцією похибок: Навч. посіб. / П.М. Таланчук, Ю.О. Скрипник, В.О. Дубровний. – К., 1996. 15. Засименко В.М. Основи теорії планування експерименту: Навч. посіб. – Львів, 2000.

УДК 536.53

І.П. Микитин, Б.І. Стадник

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра “Інформаційно-вимірювальна техніка”

ЗАСТОСУВАННЯ ОДНОКАНАЛЬНОГО ТА КОРЕЛЯЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧІВ ДЛЯ ШУМОВОГО ТЕРМОМЕТРА

© Микитин І.П., Стадник Б.І., 2002

Розглянуто доцільність використання одноканального і двоканального (кореляційного) підсилювачів при створенні шумового термометра, який побудований на основі методу прямого вимірювання корисного сигналу.

Some aspects of developing the noise thermometer based on direct measuring of noise voltage are considered. There are compared one- and two channel amplifiers in above thermometers.

Шумовий сигнал, який несе інформацію про вимірювану температуру, є дуже низького рівня. Середньоквадратичне значення шумової напруги U_{skz} для первинного перетворювача опором 100 Ом при кімнатній температурі та робочій смузі частот 100 кГц, розраховане за формулою Найквіста [1], дорівнює

$$U_{skz} = 0.4 \text{ мкВ.}$$

Тому потрібно використовувати підсилювачі з великим коефіцієнтом підсилення. Враховуючи ще й те, що шумовий термометр (ШТ) працює у широкій частотній смузі, важливого значення набуває боротьба із зовнішніми та внутрішніми завадами.

Джерелом зовнішньої завади може бути об'єкт вимірювання температури, силова мережа, від якої живиться ШТ, та комп'ютер, з яким спряжений ШТ. Внутрішня завада може виникати за рахунок великого коефіцієнта підсилення підсилювача – вплив висковольтних вихідних кіл ШТ на вхідні високочутливі кола через паразитні резистивні, індуктивні та ємнісні зв'язки.