УДК 621.317.33 + 658.56

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ЗА ВІДНОСНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Є. В. Походило, С. Є. Остапчак

Національний університет „Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 13, м. Львів, 79013, e–mail: evgenp@meta.ua, ostapstep@meta.ua.

Наведено варіанти реалізації диференційного методу оцінювання якості продукції за її електричними параметрами. Проаналізовано відношення вимірюваних складових імітансів контрольованого та базового зразків продукції, а також вимірювані складові відношення їхніх імітансів. Наводяться схеми засобів практичної реалізації способів порівняння параметрів імітансу як відносних показників якості.
Ключові слова: якість, продукція, диференційний метод, імітанс, електричний параметр, оцінювання.

Приведены варианты реализации дифференциального метода оценки качества продукции по электрическим параметрам. Проанализированы отношения измеряемых составляющих иммитанса контролируемого и базового образцов продукции, а также измеряемые составляющие отношения их иммитансов. Приводятся схемы средств практической реализации способов сравнения параметров иммитанса как относительных показателей качества.
Ключевые слова: качество, продукция, дифференциальный метод, иммитанс, электрический параметр, оценка.

Presents variants of the differential method for assessing the quality of products per they the electrical parameters. Analyzed the relationship of the measured constituents immitance controlled and basic product samples and measured the ratio of their constituents immitance. Presents schemes of practical means of implementing the methods of comparison parameters immitance as relative indicators of quality.
Keywords: quality products, differential method, immitance, electric parameter, estimation.

Вступ

Якість продукції визначається відповідністю її показників встановленим у норматив-но–технічній документації вимогам. За діапазоном зміни значень показників або їхньою кількістю чи наявністю додаткових (бажаних чи небажаних) показників відносять продукцію до різних рівнів якості (сортів). Для встановлення таких рівнів використовують відповідно до стандарту [1] диференційний метод оцінювання якості. Він передбачає для будь–якого об’єкта кваліметрії, як відомо [2], одержання відносного показника, за яким оцінюють рівень його якості. Отримують відносний показник за результатами порівняння одиничних чи комплексних показників якості об’єкта, рівень якості якого встановлюється, та зразка, прийнятого за базовий, з відомим рівнем якості. Порівняння показників зазначених об’єктів може здійснюватися безпосередньо через вимірювання їхніх відношень або порівнянням одержаних результатів вимірювання показників контрольованого об’єкта з показниками базового зразка, зазначеними у нормативній документації. Наявність засобів вимірювання відносних показників якості безпосередньо дало б змогу спростити процедуру оцінювання рівня якості продукції. Тому створення таких засобів контролювання якості є актуальним.

Реалізація диференційного методу контролю якості за електричними параметрами

Використання диференційного методу для порівняння об’єктів неелектричної природи базується на відображенні показників якості таких об’єктів адекватними електричними параметрами. У такому разі можна порівнювати між собою дві електричні величини, що дає

змогу забезпечити оперативність та об'єктивність контролю, збереження та передавання інформації про рівень якості, простоту реалізації диференційного методу. Реалізувати диференційний метод за електричними параметрами можна двома способами.

Перший полягає у електричних вимірюваннях окремих показників якості продукції відомого та невідомого рівнів якості та порівняння їх між собою. Для цього необхідно мати стандартні зразки відомого рівня якості контрольованої продукції та через вимірювання отримати їхні електричні параметри, що відповідають кожному з одиничних показників. Оцінювання якості здійснюється через порівняння між собою виміряних відповідних електричних параметрів контрольованого та базового зразків. Проведення такого вимірювання потребує декількох вимірювальних засобів вимірювань окремих показників якості, оскільки показники переважно неоднорідні величини, а при цьому різними є методики проведення вимірювань тощо. Це ускладнює процедуру оцінювання якості, займає багато часу, потребує багато коштів. Тому у багатьох випадках для порівняння вибирають один чи два одиничних показники (октанове число бензинів, жирність молока, твердість води чи вміст солей у воді, концентрацію електролітів тощо). Це спрощує процедуру оцінювання якості, однак не враховуються при цьому інші одиничні показники якості.

Другий спосіб передбачає реалізацію диференційного методу за порівняннями узагальнених показників, якими можна подати об'єкти кваліметрії. У даному разі об'єкт повинен подаватися такою електричною величиною, параметри якої відображали б будь–яку зміну одиничних показників. Такою величиною є комплексний опір (імпеданс) чи комплексна провідність (адмітанс), тобто імітанс об'єктів порівняння. Параметри імітансу у даному разі залежать від внутрішньої структури об'єкта, від прикладеного рівня сигналу, частоти сигналу, різних видів поляризації та електропровідності і багато іншого. При цьому параметрів порівняння однієї електричної фізичної величини може бути багато, що дозволяє виявляти зміни одночасно багатьох одиничних показників. Відмінність від попереднього способу полягає у тому, що у даному разі є змога використати один вимірювальний засіб – аналізатор імітансу. Аналізуються при цьому відношення параметрів багатоелементних двополюсників, якими подаються об'єкти порівняння [3, 4]. При цьому, якщо два двополюсники мають однакову структуру і однакові кількісні характеристики одиничних показників якості, то параметри їхніх імітансів, виміряні на багатьох частотах, повинні бути однаковими. Будь–яка зміна параметрів контрольованого об'єкта свідчитиме про зміну показників його якості. Тобто, за електричними параметрами можна ідентифікувати продукцію як таку, що відповідає заданому рівню якості.

Способи порівняння параметрів імітансу як показників якості

Об'єкти кваліметрії з невідомими схемами заміщення двополюсників, якими вони подаються (контрольований та базовий об'єкти), можна ідентифікувати (відповідність певному рівню якості) на основі порівняння їхніх імітансів на частотах ω_i заданого частотного діапазону, а саме: за відношеннями імпедансів $N_Z = \left(\frac{Z_x}{Z_0}\right)_{\omega_i}$ або адмітансів $N_Y = \left(\frac{Y_x}{Y_0}\right)_{\omega_i}$.

Імітанси, як векторні величини, подаються, як відомо, через активні $\mathrm{Re}(Z_x) = R_x$, $\mathrm{Re}(Y_x) = G_x$ та реактивні $\mathrm{Im}(Z_x) = X$, $\mathrm{Re}(Y_x) = G_x$ складові:

$$Z_x = R_x - jX_x,\ Z_0 = R_0 - jX_0, \qquad (1)$$

$$Y_x = G_x + jB_x,\ Y_0 = G_0 + jB_0, \qquad (2)$$

або через модулі та фази:

$$Z_x = |Z_x| \cdot e^{j\phi_0},\ Z_0 = |Z_0| \cdot e^{j\phi_0}, \qquad (3)$$

$$Y_x = |Y_x| \cdot e^{j\phi_x},\ Y_0 = |Y_0| \cdot e^{j\phi_0}. \qquad (4)$$

У такому разі два двополюсники, що характеризують контрольований та базовий об'єкти, будуть порівнюваними у разі вимірювання активних та реактивних складових (1), (2), або модулів та різниць фаз (3), (4) імітансів об'єктів порівняння, а також знаходження їхніх відповідних відношень на

фіксованих частотах вибраного діапазону.

Отже, електричні відносні показники на будь–якій частоті ω_i тестового сигналу (де $i = 1, 2, 3, ..., n -$ вибрана частота заданого частотного діапазону) для імпедансу та адмітансу записуються так:

$$\left(\frac{\mathrm{Re}(Z_x)}{\mathrm{Re}(Z_0)}\right)_{\omega_i}, \left(\frac{\mathrm{Im}(Z_x)}{\mathrm{Im}(Z_0)}\right)_{\omega_i},$$

$$\left(\frac{\mathrm{Re}(Y_x)}{\mathrm{Re}(Y_0)}\right)_{\omega_i}, \left(\frac{\mathrm{Im}(Z_x)}{\mathrm{Im}(Z_0)}\right)_{\omega_i}, \quad (5)$$

$$\left(\frac{|Z_x|}{|Z_0|}\right)_{\omega_i}, \left(\varphi_{z_x} - \varphi_{z_0}\right)_{\omega_i}; \left(\frac{|Y_x|}{|Y_0|}\right)_{\omega_i}, \left(\varphi_{Y_x} - \varphi_{Y_0}\right)_{\omega_i}. \quad (6)$$

За отриманими відносними електричними показниками можна встановити відповідні рівні якості.

У даному разі здійснюються безпосереднє вимірювання параметрів імітансів та знаходження відносних показників через ділення результатів вимірювань кожного із параметрів.

Окрім цього, фіксувати зміни показників продукції можна також і за параметрами відношення імітансів, зокрема вимірюванням активних та реактивних складових відношення імітансів або модуля їхнього відношення та фазового зміщення.

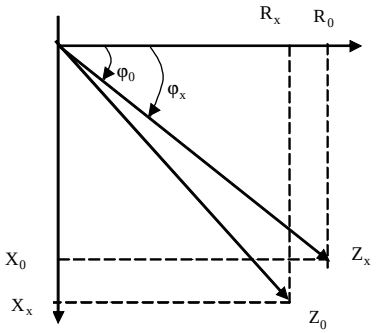
Тобто, у даному разі вимірюються безпосередньо активні та реактивні складові відношення або модулі відношення та фази вектора відношення, а саме:

$$\mathrm{Re}\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right)_{\omega_i}, \mathrm{Im}\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right)_{\omega_i}; \mathrm{Re}\left(\frac{Y_x}{Y_0}\right)_{\omega_i}, \mathrm{Im}\left(\frac{Y_x}{Y_0}\right)_{\omega_i}; \quad (7)$$

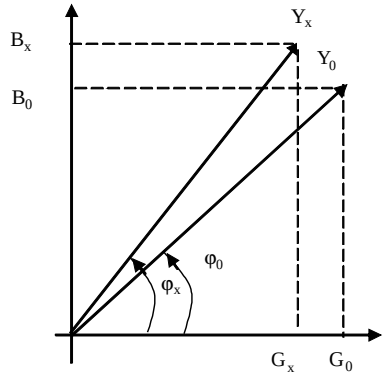
$$\left|\frac{Z_x}{Z_0}\right|_{\omega_i}, \left(\varphi_z\right)_{\omega_i}; \left|\frac{Y_x}{Y_0}\right|_{\omega_i}, \left(\varphi_Y\right)_{\omega_i}. \quad (8)$$

Розглянемо детальніше кожний із зазначених способів ідентифікації. Аналізувати електричні параметри двополюсників в частотному діапазоні, за якими можна оцінювати рівень якості доцільно на прикладі аналізу векторів імітансів двополюсників, якими подаються контрольований та базовий об'єкти.

На рис. 1 показано вектори імпедансів Z_x, Z_0 (рис. 1, *а*) та адмітансів Y_x, Y_0 (рис. 1, *б*) контрольованого та базового зразків на одній частоті.



а)



б)

Рисунок 1 – Вектори імпедансів та адмітансів об'єктів порівняння на одній частоті

Неспівпадіння векторів імітансу, як показано на рис. 1, контрольованої та базової продукції свідчить про різний рівень її внутрішньої структури, а, відповідно, і показників якості. Кількісне оцінювання здійснюється за вимірюванням та порівнянням параметрів, що характеризують зазначені вектори, а саме: модуль і фаза, активна та реактивна складові або інші комбінації перелічених параметрів [5].

Розглянуті вище способи застосовують для оцінювання якості об'єктів кваліметрії, схеми заміщення яких невідомі. Узагальнений показник якості P_1 у даному разі можна подати однією із множин параметрів, а саме за відношеннями модулів імпедансів $|Z_x|$, $|Z_0|$ чи адмітансів $|Y_x|$, $|Y_0|$ та різницями фаз φ_x, φ_0 електричних сигналів на фіксованих частотах

$\omega_1, \omega_2, ..., \omega_n$:

$$P_1' \supset \left\{ \begin{array}{l} \left(\left(\frac{|Z_x|}{|Z_0|} \right)_{\omega_1}, \left(\frac{|Z_x|}{|Z_0|} \right)_{\omega 2}, ..., \left(\frac{|Z_x|}{|Z_0|} \right)_{\omega n} \right. \\ \left. (\varphi_x - \varphi_0)_{\omega 1}, (\varphi_x - \varphi_0)_{\omega 2}, ..., (\varphi_x - \varphi_0)_{\omega n} \right) \end{array} \right\}, (9)$$

$$P_1'' \supset \left\{ \begin{array}{l} \left(\left(\frac{|Y_x|}{|Y_0|} \right)_{\omega_1}, \left(\frac{|Y_x|}{|Y_0|} \right)_{\omega 2}, ..., \left(\frac{|Y_x|}{|Y_0|} \right)_{\omega n} \right. \\ \left. (\varphi_x - \varphi_0)_{\omega 1}, (\varphi_x - \varphi_0)_{\omega 2}, ..., (\varphi_x - \varphi_0)_{\omega n} \right) \end{array} \right\}. (10)$$

Для реалізації таких вимірювань необхідно мати вимірювач амплітудних значень інформативних параметрів та вимірювач фазових зміщень.

У разі оцінювання якості за відношеннями складових імпедансів чи адмітансів (рис.1) на вибраних частотах аналогічний показник P_2 якості відповідно визначатиметься так:

$$P_2' \supset \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{\mathrm{Im}(Z_x)}{\mathrm{Im}(Z_0)} \right]_{\omega 1}, \left[\frac{\mathrm{Im}(Z_x)}{\mathrm{Im}(Z_0)} \right]_{\omega 2}, ..., \left[\frac{\mathrm{Im}(Z_x)}{\mathrm{Im}(Z_0)} \right]_{\omega n} \\ \left[\frac{\mathrm{Re}(Z_x)}{\mathrm{Re}(Z_0)} \right]_{\omega 1}, \left[\frac{\mathrm{Re}(Z_x)}{\mathrm{Re}(Z_0)} \right]_{\omega 2}, ..., \left[\frac{\mathrm{Re}(Z_x)}{\mathrm{Re}(Z_0)} \right]_{\omega n} \end{array} \right\}, (11)$$

або так:

$$P_2'' \supset \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{\mathrm{Im}(Y_x)}{\mathrm{Im}(Y_0)} \right]_{\omega 1}, \left[\frac{\mathrm{Im}(Y_x)}{\mathrm{Im}(Y_0)} \right]_{\omega 2}, ..., \left[\frac{\mathrm{Im}(Y_x)}{\mathrm{Im}(Y_0)} \right]_{\omega n} \\ \left[\frac{\mathrm{Re}(Y_x)}{\mathrm{Re}(Y_0)} \right]_{\omega 1}, \left[\frac{\mathrm{Re}(Y_x)}{\mathrm{Re}(Y_0)} \right]_{\omega 2}, ..., \left[\frac{\mathrm{Re}(Y_x)}{\mathrm{Re}(Y_0)} \right]_{\omega n} \end{array} \right\}. (12)$$

Ідентичними будуть об’єкти, для яких відношення модулів чи складових на всіх частотах будуть рівними одиниці, а фазові зміщення рівними нулю.

Оцінимо результати безпосередніх вимірювань складових відношення імітансів. Для цього запишемо відношення імпедансів, з урахуванням складових контрольованого та базового об’єктів:

$$\frac{Z_x}{Z_0} = \frac{R_x - jX_x}{R_0 - jX_0}, \quad (13)$$

звідки активна та реактивна складові описуються рівняннями:

$$\mathrm{Re}\left(\frac{Z_x}{Z_0} \right) = \frac{R_x R_0 + X_x X_0}{R_0^2 + X_0^2}, \quad (14)$$

$$\mathrm{Im}\left(\frac{Z_x}{Z_0} \right) = \frac{R_x X_0 - X_x R_0}{R_0^2 + X_0^2}. \quad (15)$$

Аналогічно відношення адмітансів з урахуванням складових контрольованого та базового об’єктів:

$$\frac{Y_x}{Y_0} = \frac{G_x + jB_x}{G_0 + jB_0}, \quad (16)$$

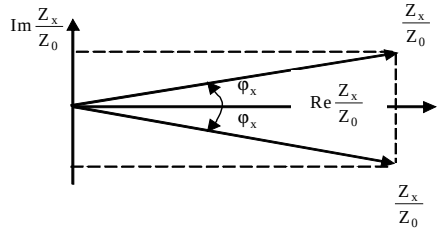
звідки отримуємо аналогічні складові:

$$\mathrm{Re}\left(\frac{Y_x}{Y_0} \right) = \frac{G_x G_0 + B_x B_0}{G_0^2 + G_0^2}, \quad (17)$$

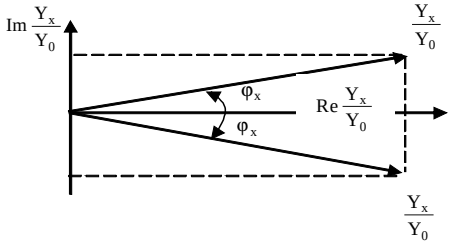
$$\mathrm{Im}\left(\frac{Y_x}{Y_0} \right) = \frac{B_x G_0 - G_x B_0}{G_0^2 + B_0^2}. \quad (18)$$

Аналіз виразів (14) і (17) показує, що активна складова завжди одного знаку і будь–яка зміна складових імітансу контрольованого об`єкту приводить до адекватної зміни її значення. Разом з тим, з виразів (15) і (18) очевидно, що реактивні складові відношення імпедансів та адмітансів можуть змінювати знак на протилежний за певних умов та можуть бути рівними нулю.

Графічна інтерпретація зазначеного у вигляді векторів відношення зображена на рис. 2.



а)



б)

Рисунок 2 – Вектори відношення імпедансів та адмітансів об’єктів порівняння на одній частоті

Нульове значення складові приймають при $X_0 R_x = X_x R_0$ (рівняння 15) та $G_0 B_x = G_x B_0$ (рівняння (18)) за наступних умов:

– для реактивної складової відношення імпедансів:

1) якщо $R_x = R_0$ та $X_x = X_0$;

2) якщо $R_x > R_0$, а $X_x > X_0$, при цьому необхідно, щоб $R_x - R_0 = X_x - X_0$;

3) якщо $R_x < R_0$, а $X_x < X_0$, при цьому необхідно, щоб $R_0 - R_x = X_0 - X_x$;

– для реактивної складової відношення адмітансів:

1) якщо $G_x = G_0$ та $B_x = B_0$;

2) якщо $G_x > G_0$, а $B_x > B_0$, при цьому необхідно, щоб $G_x - G_0 = B_x - B_0$;

3) якщо $G_x < G_0$, а $B_x < B_0$, при цьому необхідно, щоб $G_0 - G_x = B_0 - B_x$.

Отже в одному із трьох випадків за рівністю нулю реактивної складової відношення можна встановити, що рівні якості порівнюваних об'єктів однакові.

Однак при $X_0 R_x < X_x R_0$ та $G_0 B_x < G_x B_0$ реактивні складові відношень імпедансів та адмітансів змінюють знак на протилежний. Досягається це за таких умов:

1) якщо $X_0 < X_X$ при $R_x = R_0$;

2) якщо $R_x < R_0$ при $X_x = X_0$;

3) якщо $R_x < R_0$, а $X_x > X_0$, при цьому необхідно, щоб $R_0 - R_x = X_x - X_0$.

У всіх інших випадках реактивні складові одного знаку з активними складовими.

Тобто за характерними ознаками зміни реактивної складової адмітансу чи адмітансу, а також залежностями складових від рівнів якості контрольованих об'єктів можна судити про рівень якості контрольованої продукції, однак лише при зазначених вище умовах.

Відносні показники (11) та (12) можна розрахувати шляхом розв'язування рівнянь (14), (15) або (17), (18) за умови, що відомими є значення складових для різних частот базового зразка.

Узагальнений показник якості P_3 у разі оцінювання якості за модулем відношення та фазою визначатиметься для імпедансів та адмітансів так:

$$P_3' \supset \begin{Bmatrix} \left|\frac{Z_x}{Z_0}\right|_{\omega 1}, \left|\frac{Z_x}{Z_0}\right|_{\omega 2}, \left|\frac{Z_x}{Z_0}\right|_{\omega 3}, \ldots, \left|\frac{Z_x}{Z_0}\right|_{\omega n} \\ (\phi_x)_{\omega 1}, (\phi_x)_{\omega 2}, (\phi_x)_{\omega 3}, \ldots, (\phi_x)_{\omega n} \end{Bmatrix}, \quad (19)$$

$$P_3' \supset \begin{Bmatrix} \left|\frac{Y_x}{Y_0}\right|_{\omega 1}, \left|\frac{Y_x}{Y_0}\right|_{\omega 2}, \left|\frac{Y_x}{Y_0}\right|_{\omega 3}, \ldots, \left|\frac{Y_x}{Y_0}\right|_{\omega n} \\ (\phi_x)_{\omega 1}, (\phi_x)_{\omega 2}, (\phi_x)_{\omega 3}, \ldots, (\phi_x)_{\omega n} \end{Bmatrix}, \quad (20)$$

а за активними та реактивними складовими відношення тих же параметрів аналогічний показник P_4 описується так:

$$P_4' \supset \begin{Bmatrix} \left[\mathrm{Im}\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right)\right]_{\omega 1}, \left[\mathrm{Im}\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right)\right]_{\omega 2}, \ldots, \left[\mathrm{Im}\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right)\right]_{\omega n} \\ \left[\mathrm{Re}\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right)\right]_{\omega 1}, \left[\mathrm{Re}\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right)\right]_{\omega 2}, \ldots, \left[\mathrm{Re}\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right)\right]_{\omega n} \end{Bmatrix}, \quad (21)$$

$$P_4'' \supset \begin{Bmatrix} \left[\mathrm{Im}\left(\frac{Y_x}{Y_0}\right)\right]_{\omega 1}, \left[\mathrm{Im}\left(\frac{Y_x}{Z_0}\right)\right]_{\omega 2}, \ldots, \left[\mathrm{Im}\left(\frac{Y_x}{Z_0}\right)\right]_{\omega n} \\ \left[\mathrm{Re}\left(\frac{Y_x}{Y_0}\right)\right]_{\omega 1}, \left[\mathrm{Re}\left(\frac{Y_x}{Y_0}\right)\right]_{\omega 2}, \ldots, \left[\mathrm{Re}\left(\frac{Y_x}{Y_0}\right)\right]_{\omega n} \end{Bmatrix}. \quad (22)$$

Практична реалізація способів порівняння параметрів імітансу.

Практична реалізація диференційного методу оцінювання якості зводиться до порівняння з базовим зразком через безпосереднє вимірювання зазначених параметрів як базового зразка, так і контрольованого, або до порівняння виміряних параметрів контрольованого зразка та заданих параметрів базового зразка, що відповідають певному рівню якості. У такому разі можливими є два варіанти.

Перший полягає у вимірюваннях модулів та різниць фаз або складових кожного з об'єктів порівняння зокрема. За отриманими результатами знаходять відносні показники (9÷12). Для цього необхідно два вимірювальних канали, що містять первинні перетворювачі, перетворювачі «імітанс–напруга», вимірювачі вибраних параметрів та обчислювальний пристрій.

Другий полягає у вимірюваннях модуля відношення і фазового зміщення чи складових відношення імітансів (19), (22).

Ширші можливості для оцінювання якості продукції та простішими для реалізації

диференційного методу оцінювання є вимірювання відносних показниках якості, що являють собою безпосереднє відношення між відповідними складовими порівнюваних об'єктів на окремих частотах (вирази (3) і (4)). Реалізовано таке вимірювання може бути засобом, функціональна схема якого зображена на рис. 3.

Схема містить джерело тестового сигналу ДТС з фіксованим рівнем напруги частотами $\omega_1, \omega_2, ..., \omega_n$, векторні перетворювачі «імітанс–напруга» ВП1 та ВП2 для перетворення імітансу контрольованого X та базового X_0 об'єктів на відповідні напруги $\dot{U}_x$ та $\dot{U}_0$ [6]. Перетворювачами вектор–скаляр ПВС1, ПВС3 та ПВС2, ПВС4 виділяються відповідно активні та реактивні складові комплексних напруг. Отримані напруги постійного струму U_1, U_2, U_3, U_4 подаються на контролер КНР, який за заданою програмою видає коди, що відповідають відношенням активних та реактивних складових імітансів об'єктів порівняння. Відображаються результати вимірювання пристроєм відображення інформації ПВІ.

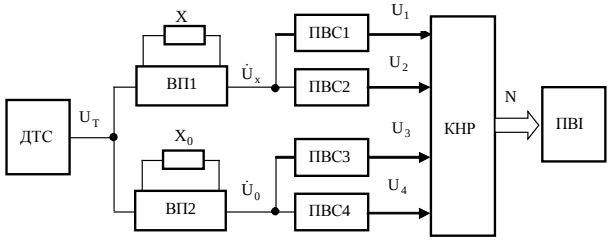


Рисунок 3 – Структурна схема вимірювання відношення складових імітансів об'єктів порівняння

Отже, напруги на виходах ВП1 та ВП2 на окремих частотах тестового сигналу можна записати так:

$$\dot{U}_{x1} = U_T k_1 X, \ \dot{U}_{x2} = U_T k_2 X, \ \ldots, \ \dot{U}_{xn} = U_T k_n X, \quad (23)$$

$$\dot{U}_{01} = U_T k'_1 X_0, \ \dot{U}_{02} = U_T k'_2 X_0, \ \ldots, \ \dot{U}_{0n} = U_T k'_n X_0, \quad (24)$$

де $k_1, k_2, ..., k_n$ та $k'_1, k'_2, ..., k'_n$ – коефіцієнти перетворення імітансу в напруги $\dot{U}_{x1}, \dot{U}_{x2}, ..., \dot{U}_{xn}$ та $\dot{U}_{01}, \dot{U}_{02}, ..., \dot{U}_{0n}$, відповідно, перетворювачами ВП1 та ВП2 на частотах $\omega_1, \omega_2, ..., \omega_n$.

Напруги на виходах перетворювачів вектор–скаляр описуватимуться виразами:

$$U_{11} = U_T k_1 b_1 \operatorname{Re}(U_{x1}), \quad U_{12} = U_T k_2 b_2 \operatorname{Re}(U_{x2}), \ \ldots, \ U_{1n} = U_T k_n b_n \operatorname{Re}(U_{xn}), \quad (25)$$

$$U_{21} = U_T k_1 c_1 \operatorname{Im}(U_{x1}), \quad U_{22} = U_T k_2 c_2 \operatorname{Im}(U_{x2}), \ \ldots, \ U_{2n} = U_T k_n c_n \operatorname{Im}(U_{xn}), \quad (26)$$

$$U_{31} = U_T k'_1 b'_1 \operatorname{Re}(U_{01}), \quad U_{32} = U_T k'_2 b'_2 \operatorname{Re}(U_{02}), \ \ldots, \ U_{3n} = U_T k'_n b'_n \operatorname{Re}(U_{0n}), \quad (27)$$

$$U_{42} = U_T k'_2 c'_2 \operatorname{Im}(U_{02}), \ \ldots, \ U_{4n} = U_T k'_n c'_n \operatorname{Im}(U_{0n}), \quad (28)$$

де $b_1, b_2, ..., b_n$, $b'_1, b'_2, ..., b'_n$ та $c_1, c_2, ..., c_n$, $c'_1, c'_2, ..., c'_n$ – коефіцієнти перетворення перетворювачами ПВС1, ПВС3 та ПВС2, ПВС4 напруг векторних перетворювачів у відповідні напруги, що пропорційні складовим на окремих частотах.

На виході контролера отримуємо:

$$N_1 = \frac{U_{11}}{U_{31}} = \frac{k_1 b_1 \operatorname{Re}(U_{x1})}{k'_1 b'_1 \operatorname{Re}(U_{01})}, \quad N_2 = \frac{U_{12}}{U_{32}} = \frac{k_2 b_2 \operatorname{Re}(U_{x2})}{k'_2 b'_2 \operatorname{Re}(U_{02})}, \ \ldots, \quad N_n = \frac{U_{1n}}{U_{3n}} = \frac{k_n b_n \operatorname{Re}(U_{xn})}{k'_n b'_n \operatorname{Re}(U_{0n})}, \quad (29)$$

$$N'_1 = \frac{U_{21}}{U_{41}} = \frac{k_1 c_1 \operatorname{Im}(U_{x1})}{k'_1 c'_1 \operatorname{Im}(U_{01})}, \quad N'_2 = \frac{U_{22}}{U_{42}} = \frac{k_2 c_2 \operatorname{Im}(U_{x2})}{k'_2 c'_2 \operatorname{Im}(U_{02})}, \ \ldots, \quad N'_1 = \frac{U_{2n}}{U_{4n}} = \frac{k_n c_n \operatorname{Im}(U_{xn})}{k'_n c'_n \operatorname{Im}(U_{0n})}, \quad (30)$$

що адекватно відносним показникам, що характеризуються відношеннями активних та реактивних складових об'єктів порівняння на фіксованих частотах.

Оцінювання рівня якості продукції за складовими відношення може бути реалізовано засобом, схема якого зображена на рис. 4.

Схема містить аналогічні до попередньої схеми вузли, а також додатково амплітудний детектор АД з метою забезпечення інваріантності результату вимірювання до напруги ДТС.

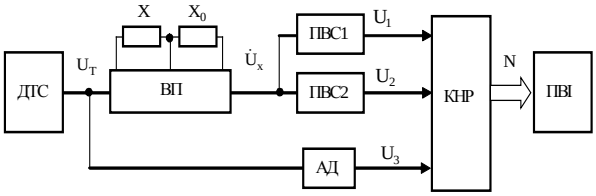


Рисунок 4 – Структурна схема вимірювання складових відношення імітансів об'ктів порівняння

У даному разі на окремих частотах тестового сигналу на виході ВП отримуємо, що

$$\dot{U}_{x1} = U_T k_1 \frac{X}{X_0},\ \dot{U}_{x2} = U_T k_2 \frac{X}{X_0},$$

$$\dot{U}_{x3} = U_T k_3 \frac{X}{X_0}, \ldots, \dot{U}_{xn} = U_T k_n \frac{X}{X_0}. \qquad (31)$$

Відповідно, на виходах перетворювачів ПВС1 та ПВС2 матимемо, що

$$U_{11} = U_T k_1 b_1 \operatorname{Re}\left(\frac{X}{X_0}\right),\ U_{12} = U_T k_2 b_2 \operatorname{Re}\left(\frac{X}{X_0}\right),$$

$$\ldots, U_{1n} = U_T k_n b_n \operatorname{Re}\left(\frac{X}{X_0}\right) \qquad (32)$$

$$U_{21} = U_T k_1 c_1 \operatorname{Im}\left(\frac{X}{X_0}\right),\ U_{22} = U_T k_2 c_2 \operatorname{Im}\left(\frac{X}{X_0}\right), \ldots,$$

$$U_{2n} = U_T k_n c_n \operatorname{Im}\left(\frac{X}{X_0}\right), \qquad (33)$$

а на виході АД матимемо, що

$$U_{31} = a_1 U_T,\ U_{32} = a_2 U_T,\ U_{3n} = a_n U_T. \qquad (34)$$

Тобто отримуємо результати вимірювання реактивних та активних складових відношення імітансів об'єктів порівняння. За відомих значень складових базового зразка можна розрахувати відносні показники, використовуючи залежності (14), (15) чи (17), (18).

Відношенням (32) та (33) до (34) забезпечується інваріантність результату вимірювання до параметрів тестового сигналу.

ВИСНОВКИ

Побудова засобів реалізації диференційного методу оцінювання якості продукції можлива за вимірюваннями відносних електричних параметрів контрольованого та базового зразків продукції. Для цього доцільно використовувати як інформативні параметри об'єктів порівняння модуль і фазу або активну та реактивну складові імітансів, виміряні на декількох частотах тестового сигналу. При цьому можна ідентифікувати об'єкти кваліметрії за результатом отриманого відношення виміряних зазначених параметрів контрольованого та базового зразків продукції або на основі аналізу цих же параметрів виміряного відношення імітансів.

Використання засобу з паралельним перетворенням «імітанс–напруга» дає змогу отримати відношення активних та реактивних складових імітансу об'єктів порівняння безпосередньо. При цьому немає потреби знати відповідні параметри базового зразка.

Засіб з одночасним перетворенням забезпечує безпосереднє вимірювання складових відношення імітансів контрольованого та базового зразків продукції, на основі аналізу характерних змін яких можна оцінювати рівень якості. Разом з тим, активні та реактивні складові відношення імітансів можна отримати за відомих значень відповідних параметрів базового зразка.

1. ДСТУ 2925–94 Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. 2. И. Ф. Шишкин. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества: учебное пособие.–М: Изд–во стандартов, 1987.– 320с. 3. Pohodylo Y. V., Stolyarchuk P. and Chyrka M.. PC–Based Devices for Immittance Control of Multidimensional Objects // IEEE Trasactions on Instrumentation and Measurement, Oktober, 2002. Vol. 51. – P. 1133 – 1136. 4. Походило Є. В. Імітансний контроль якості: монографія / Є. В. Походило, П. Г. Столярчук. – Л.: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 164 с. 5. Атабеков Г. И. Основы теории цепей. Учебник для вузов, М., "Энергия", 1969.–434 с. 6. Походило Є. В. Вимірювачі CLR з перетворенням «імітанс–напруга» / Є. В.Походило, В. В. Хома. – Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 292 с.

Поступила в редакцію 15.05.2013р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Середюк О. Є.