

Винахід відноситься до електровимірювальної техніки і може бути застосований для контролю та вимірювання параметрів об'єктів, наприклад, в електрохімії та біології,* в нафтовій та газовій промисловості для контролю параметрів різноманітних технологічних процесів, в електроенергетиці для виявлення скритих дефектів в обмотках двигунів.

Відомі пристрої для вимірювання параметрів ємнісних двополюсників з представленням їх чотириелементними схемами заміщення, в основу роботи яких покладені принципи квазізрівноваження:

- А.с. СССР №1350586, МПК G01N 27/22. Измеритель частотных характеристик эмульсии / Г.А. Штамбергер, М.И. Бурбело, М.С. Блажен ко. опубл 07.11.87. Бюл №4;

- А.с. СССР №1651186, МПК C01N 27/22. Преобразователь параметров емкостного датчика/ М.И. Бурбело, В.М. Голоцуков, О.И. Мартинец и В.Н. Черноус.- Опубл. 23.05.91, Бюл. №19.

Загальним недоліком відомих пристроїв є те, що їх застосування обмежується ємнісними паралельно-послідовними схемами заміщення. Параметри індуктивних двополюсників з послідовно-паралельними схемами заміщення такими пристроями не можна виміряти.

Найбільш близьким по технічній суті до винаходу, що заявляється, є А.с. СССР №978054. МПК₃ G01R 17/10. Квазиуравновешенный мост для раздельного измерения одного из параметров нерезонансных трёхэлементных двухполюсников/ В.Г. Плотников, Г.А. Штамбергер. - опубл. 30.11.82, Бюл. №44, що містить два генератори синусоїдних коливань, комутатор, чотириплече мостове коло, що складається з трьох однотипних зразкових елементів і досліджуваного нерезонансного двополюсника, блок віднімання, компонентний детектор, який складається з перетворювача змінного сигналу в постійний, фазоповертача, формувача прямокутних імпульсів, першого ключа, інтегратора, блока порівняння і першого блока керування, а також генератор опорних імпульсів, другий ключ, перемикач, реверсивний лічильник, другий блок керування і блок зрівноваження. Причому генератори синусоїдних коливань з'єднані з комутатором, одна з вершин діагоналі живлення мостового кола приєднана до виходу комутатора, а друга до спільної шини, перша вершина вимірювальної діагоналі мостового кола приєднана до першого і другого входів блока віднімання, а його вихід - до першого входу компонентного детектора, друга вершина вимірювальної діагоналі з'єднана з другим входом компонентного детектора, вихід компонентного детектора приєднаний до першого входу ключа, причому генератор опорних імпульсів через ключ і перемикач приєднані до реверсивного лічильника, вихід якого з'єднаний з блоком зрівноваження, а виходи блока керування з'єднані з керуючими входами комутатора, перемикача і реверсивного лічильника.

Недоліком квазізрівноваженого моста є низька точність вимірювання параметрів об'єктів через невідповідність триелементної схеми заміщення реальним об'єктам, які в певному частотному діапазоні можуть бути представлені лише чотириелементним двополюсником.

В основу винаходу поставлено задачу створення квазізрівноваженого моста для роздільного вимірювання одного з параметрів чотириелементних двополюсників, в якому за рахунок введення нових елементів та зв'язків між ними досягається приведення моста до двох станів квазірівноваги, що зумовлює зменшення похибок внаслідок використання більш точної чотириелементної моделі об'єкта, а також розширення функціональних можливостей, яке полягає в можливості посереднього визначення інших параметрів двополюсника.

Поставлена задача вирішується тим, що в квазізрівноважений міст для роздільного вимірювання одного з параметрів нерезонансних триелементних двополюсників, який містить два генератори синусоїдних коливань, комутатор, чотириплече мостове коло, що складається з трьох однотипних резистивних зразкових елементів і досліджуваного нерезонансного двополюсника, блок віднімання, компонентний детектор, генератор опорних імпульсів, реверсивний лічильник і блок зрівноваження, причому виходи генераторів синусоїдних коливань з'єднані з комутатором, одна з вершин діагоналі живлення мостового кола приєднана до виходу комутатора, а друга - до спільної шини, перша вершина вимірювальної діагоналі мостового кола з'єднана з другим входом компонентного детектора, друга вершина вимірювальної діагоналі приєднана до другого входу блока віднімання, його вихід - до першого входу компонентного детектора, а вихід реверсивного лічильника з'єднаний з блоком зрівноваження, введені зразковий реактивний елемент мостового кола, який увімкнений в плече мостового кола, один з елементів якого регульований, диференціатор, інтегратор, цифровий подільник напруги, другий компонентний детектор, другий реверсивний лічильник і подільник частоти, причому перша вершина вимірювальної діагоналі приєднана через інтегратор до другого входу другого компонентного детектора, а через диференціатор і цифровий подільник напруги - до першого входу блока віднімання, перший вхід другого компонентного детектора приєднаний до виходу блока віднімання, виходи компонентних детекторів з'єднані з входами керування реверсивних лічильників, вихід другого реверсивного лічильника приєднаний до входу керування цифрового подільника напруги, вихід генератора опорних імпульсів приєднаний до лічильних входів обох реверсивних лічильників і через подільник частоти - до входу керування комутатора.

На фіг.1 представлена структурна схема квазізрівноваженого моста; на фіг.2 -схема квазізрівноваженого мостового кола у випадку вимірювання параметрів чотириелементного ємнісного двополюсника.

Квазізрівноважений міст для роздільного вимірювання одного з параметрів нерезонансних чотириелементних двополюсників, який містить генератори синусоїдних коливань 1,2, комутатор 3, чотириплече мостове коло, що складається і трьох резистивних зразкових елементів 4, 5, 6, зразкового реактивного елемента 7 і досліджуваного нерезонансного двополюсника 8, який представлений чотириелементною схемою заміщення з ідеальних елементів 9-12, диференціатор 13 цифровий подільник напруги 14, блок віднімання 15, інтегратор 16, компонентні детектори 17, 18, реверсивні лічильники 19, 20, блок зрівноваження 21, генератор опорних імпульсів 22 та подільник частоти 23. При цьому виходи генераторів синусоїдних коливань 1, 2 з'єднані з комутатором 3, одна з вершин діагоналі живлення мостового кола приєднана до виходу комутатора 3, а друга вершина - до спільної шини, перша вершина вимірювальної діагоналі мостового кола з'єднана через диференціатор 13 і цифровий подільник напруги 14 з першим входом блока віднімання 15, безпосередньо і через інтегратор 16 - з другими входами відповідно компонентних

детекторів 17 і 18, а друга вершина вимірювальної діагоналі з'єднана з другим входом блока віднімання 15, вихід блока віднімання 15 приєднаний до перших входів компонентних детекторів 17, 18, виходи компонентних детекторів 17 та 18 з'єднані з входами керування реверсивних лічильників відповідно 19 та 20, до виходу реверсивного лічильника 19 приєднаний блок зрівноваження 21, який безпосередньо зв'язаний з регульованим елементом 7, а до виходу реверсивного лічильника 20 приєднаний вхід керування цифрового подільника напруги 14, вихід генератора опорних імпульсів 22 приєднаний до входів реверсивних лічильників 19, 20 і через подільник частоти 23 - до входу керування комутатора 3.

Квазірівноважений міст працює таким чином.

Мостове вимірювальне коло почергово живиться від генераторів 1 і 2 синусоїдних коливань відповідно $u = U_m \sin \omega_1 t$ і $u = U_m \sin \omega_2 t$. Перемикання генераторів здійснюється за допомогою комутатора 3, керування яким здійснюється подільником частоти 23.

Мостовим колом формуються напруги між першою вершиною вимірювальної діагоналі і спільною шиною U_2 та між другою вершиною вимірювальної діагоналі і спільною шиною U_2 , відповідно

$$\dot{U}_1 = \dot{U} \frac{Z_{6,7}}{Z_8 + Z_{6,7}}; \quad \dot{U}_2 = \dot{U} \frac{R_5}{R_4 + R_5},$$

де $\dot{U}$ - напруга живлення мостового кола;

Z_8 - комплексний опір вимірюваного двополюсника

$$Z_8 = R_9 + j\omega L_{10} + \frac{R_{11}j\omega L_{12}}{R_{11} + j\omega L_{12}};$$

$Z_{6,7}$ - комплексний опір паралельно з'єднаних елементів 6 і 7

$$Z_{6,7} = \frac{R_6 j\omega L_7}{R_6 + j\omega L_7};$$

R_4, R_5 - опори резисторів 4 і 5.

Напруга $\dot{U}$ поступає на диференціатор 13 та інтегратор 16, на виходах яких існують напруги

$$\dot{U}_{13} = j\omega \tau_{13} \dot{U}_1; \quad \dot{U}_{16} = \frac{1}{j\omega \tau_{16}} \dot{U}_1$$

де τ_{13}, τ_{16} - постійні часу відповідно диференціатора 13 та інтегратора 16.

На входи блока віднімання 15 подаються напруги $k_{14} \dot{U}_{13}$ та $\dot{U}_2$. Напруга на його виході

$$\dot{U}_{15} = k_{14} \dot{U}_{13} - \dot{U}_2 = j\omega \tau_{13} k_{14} \dot{U}_1 - \dot{U}_2,$$

де k_{14} - коефіцієнт передачі цифрового подільника напруги 14.

На перші входи компонентних детекторів 17 та 18 подається напруга $\dot{U}_{15}$. На другий вхід компонентного детектора 17 поступає напруга $\dot{U}_1$, а на другий вхід компонентного детектора 18 - напруга $\dot{U}_{16}$. Відношення комплексів напруг на входах компонентних детекторів 17 та 18 мають відповідно вигляд

$$\underline{W}_1 = \frac{j\omega \tau_{13} k_{14} \dot{U}_1 - \dot{U}_2}{\dot{U}_1}; \quad \underline{W}_2 = \frac{j\omega \tau_{13} k_{14} \dot{U}_1 - \dot{U}_2}{\frac{1}{j\omega \tau_{16}} \dot{U}_1}.$$

Для $\underline{W}_1$ після підстановки значень $\dot{U}_1$ та $\dot{U}_2$, дістанемо

$$\underline{W}_1 = j\omega \tau_{13} k_{14} - \frac{R_5}{R_4 + R_5} \left(1 + \frac{R_9 + j\omega L_{10} + \frac{R_{11}j\omega L_{12}}{R_{11} + j\omega L_{12}}}{\frac{R_6 j\omega L_7}{R_6 + j\omega L_7}} \right) = \text{Re } \underline{W}_1 + j \text{Im } \underline{W}_1,$$

де $\text{Re } \underline{W}_1, \text{Im } \underline{W}_1$ - дійсна та уявна складові функції $\underline{W}_1$.

Міст приводиться до двох станів квазірівноваги. Досягнення першого стану квазірівноваги забезпечується регулюванням елемента 7. Стан квазірівноваги фіксується компонентним детектором 17.

Умова квазірівноваги:

$$\frac{L_7}{R_6} = \frac{L_{12}}{R_{11}}.$$

При цьому вираз для $\underline{W}_1$ спрощується до вигляду

$$\underline{W}_1 = j\omega \tau_{13} k_{14} - \frac{R_5}{R_4 + R_5} \left(1 + \frac{R_{11}}{R_6} + \frac{(R_9 + j\omega L_{10})(R_6 + j\omega L_7)}{R_6 j\omega L_7} \right),$$

звідки випливає, що

$$\text{Re } \underline{W}_1 = - \frac{R_5}{R_4 + R_5} \left(1 + \frac{R_{11}}{R_6} + \frac{L_{10}}{L_7} + \frac{R_9}{R_6} \right)$$

не залежить частоти напруги живлення мостового кола.

В процесі регулювання зразкового елемента 7 мостове коло періодично живиться напругою з частотами

ω_1 та ω_2 . При цьому компонентний детектор 17 визначає напрямок рахунку реверсивного лічильника 19. Значення цифрового коду з виходу реверсивного лічильника поступає на блок зрівноваження 21, який регулює індуктивність L_7 до досягнення стану квазірівноваги.

Досягнення другого стану квазірівноваги забезпечується регулюванням коефіцієнта передачі k_{14} цифрового подільника напруги 14. Стан квазірівноваги фіксується компонентним детектором 18.

Дійсна частина комплексної функції $\underline{W}_2 = j\omega\tau_{16}\underline{W}_1$ після досягнення першого стану квазірівноваги набуває вигляду

$$\operatorname{Re}\underline{W}_2 = j\omega\tau_{16}\left[j\omega\tau_{13}k_{14} - \frac{R_5}{R_4 + R_5}\left(\frac{R_9}{j\omega L_7} + \frac{j\omega L_{10}}{R_6}\right)\right].$$

При виконанні умови

$$\tau_{13}k_{14} = \frac{R_5}{R_4 + R_5} \cdot \frac{L_{10}}{R_6}$$

дійсна частина функції $\underline{W}_2$

$$\operatorname{Re}\underline{W}_2 = -\tau_{16} \frac{R_5}{R_4 + R_5} \cdot \frac{R_9}{L_7}$$

не залежить від частоти напруги живлення мостового кола.

В процесі приведення мостового кола до другого стану квазірівноваги компонентний детектор 18 керує напрямком рахунку реверсивного лічильника 20.

Цифровий код з виходу реверсивного лічильника 20 поступає на вхід керування цифрового подільника напруги 14, якому прямо пропорційний його коефіцієнт передачі k_{14} .

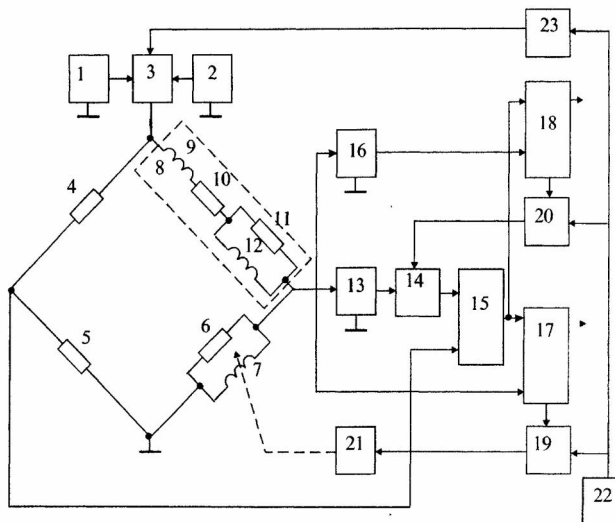
Після досягнення другого стану квазірівноваги здійснюється роздільний відлік параметра L_{10} за значенням коефіцієнта передачі k_{14} :

$$L_{10} = \frac{(R_4 + R_5)R_6\tau_{13}k_{14}}{R_5}.$$

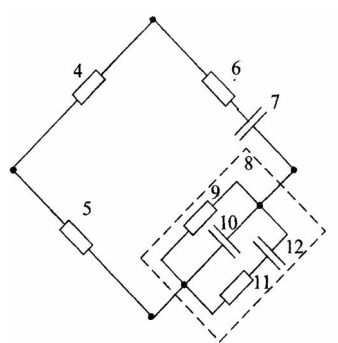
Значення решти параметрів можуть бути визначені посередньо з умов квазірівноваги і за значеннями $\operatorname{Re}\underline{W}_1$ та $\operatorname{Re}\underline{W}_2$.

Квазірівноважений міст дозволяє виконувати роздільне вимірювання опору R_9 елемента 9 індуктивного двополюсника 8 у випадку, якщо диференціатор 13 та інтегратор 16 поміняти місцями, а регульованим виконати елемент 6.

Квазірівноважений міст можна використати для роздільного вимірювання параметрів R_9 , C_{10} елементів 9, 10 ємнісного двополюсника 8 (фіг.2). Причому при роздільному вимірюванні ємності 10 регулюється елемент 7, а ввімкнення диференціатора 13 та інтегратора 16 відповідає схемі, зображеній на фіг.1. При роздільному вимірюванні опору елемента 9 регулюється елемент 6, а диференціатор 13 та інтегратор 16 необхідно перекомутувати.



Фіг.1



Фиг.2