

АНАЛІЗ ПОХИБОК КОДО-КЕРОВАНИХ МІР-ІМІТАТОРІВ АДМІТАНСУ

© Ю. Яцук, Т. Бубела, В. Яцук, Є. Походило, 2017

Національний університет „Львівська політехніка”, Львів, Україні

Одним із важливих елементів забезпечення єдності оцінювання якості об'єктів довкілля та харчових продуктів за допомогою приладів вимірювання адмітансу (на базі RLC -метрів) є наявність продуктивного метрологічного забезпечення [1-3]. З метою досягнення високого ступеня достовірності даних про результати адмітансного контролю параметрів об'єктів вкрай необхідно оперативно контролювати метрологічні характеристики такого обладнання безпосередньо на місці його експлуатації. Традиційна процедура калібрування аналітичного обладнання здійснюється за допомогою стандартних зразків зазвичай в лабораторних умовах, є трудо- та часомісткою. Запровадження процедури оперативного контролю засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) аналітичного призначення сприяє забезпеченню їх метрологічної надійності, а отже, і відтворюваності результатів вимірювань.

Для покращання технічних характеристик в роботі пропонується використати структури імітаторів RLC -параметрів, які складаються з однозначних мір потрібного виду реактивності, кодо-керованих подільників напруги та активних буферних елементів. Усі канали мір-імітаторів підключаються паралельно до вхідних клем, а кожен із каналів відтворення опору, ємності або індуктивності реалізується шляхом керованої кодом зміни струму через однозначні масштабувальні елементи відповідно опір R_N , ємність C_N та індуктивність L_N . Значення масштабувальних струмів I_N , що протікають через масштабувальні елементи R_N , C_N та L_N можна визначити із співвідношення $I_N = (U_i - U_{3j})/Z_{Nj}$ або $I_N = U_i(1 - \mu_{Nj})G_{Nj}$ (рис. 1), де $U_{3j} = \mu_{Nj}U_i$ - вихідна напруга операційного підсилювача DA2, U_i - вхідна напруга міри-імітатора, μ_{Nj} - код керування кодо-керованим подільником КПН, $G_N = 1/Z_N$.

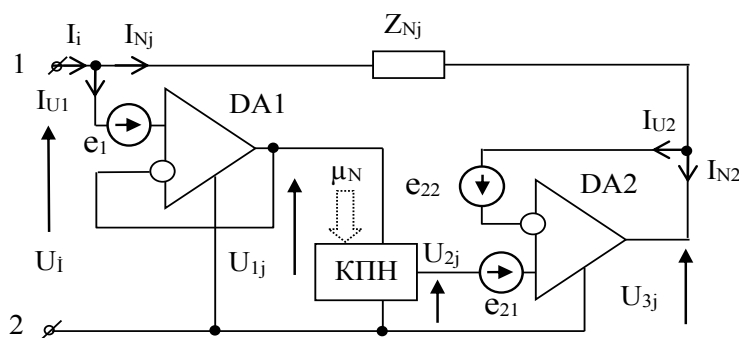


Рис. 1. Структурна схема каналу відтворення певного виду адмітансу міри-імітатора

Вхідна провідність G_i кодо-керованого імітатора провідності визначається із співвідношення $G_i = I_i/U_i = (I_{NR} + I_{NC} + I_{NL})/U_i = (1 - \mu_R)G_{NR} + (1 - \mu_C)G_{NC} + (1 - \mu_L)G_{NL}$, де I_{NR} , I_{NC} , I_{NL} - масштабувальні струми, що протікають через зразкові провідності $G_{NR} = 1/R_N$, $G_{NC} = 1/X_{NC} = j\omega C_N$, $G_{NL} = 1/(j\omega L_N)$. Таким чином, кодо-керований імітатор комплексних провідностей дає змогу окремо і взаємно незалежно керувати відтворенням кожної зокрема зі складових комплексної провідності - активної, ємнісної та індуктивної.

Із врахуванням реальних параметрів активних та пасивних компонентів вихідна е.р.с. повторювача DA2 U_{3j} дорівнюватиме

$$U_{3j} = (U_{2j} + e_{21})(1 + \delta_{k2}) = [\mu_{Nj}(U_i + e_1)(1 + \delta_{k1})(1 + \delta_{\text{вих21}}) + e_{21}](1 + \delta_{k2}), \quad (1)$$

де U_{2j} - вихідна напруга повторювача DA1; $\delta_{k1} = 1/k_1 + 1/M_{1\text{цф}}$, $\delta_{k2} = 1/k_2 + 1/M_{2\text{цф}}$ - похибки статизму ОП DA

1, DA2; k_1, k_2 – коефіцієнти передавання розімкнених підсилювачів DA1, DA2; $M_{1сф}, M_{2сф}$ – коефіцієнти послаблення синфазної складової підсилювачів DA1, DA2; e_1, e_{21} – напруги зміщення (низькочастотних шумів) підсилювачів DA1, DA2; $\delta_{вих21} = R_{КПН2}/R_{вх21}$; $R_{КПН2}, R_{вх21}$ – вихідний опір КПН та вхідний опір підсилювача DA2.

Вихідну напругу підсилювача DA2 знайдемо як $U_{3j} = U_{31j} - I_{Nj} \frac{R_{вих21}}{k_{21}}$, де $R_{вих21}$ – вихідний опір підсилювача DA2. Вхідні струми для кожного із зразкових елементів імпедансу виразимо як

$$I_{Nj} = \frac{U_i - U_{3j}}{Z_{Nj}} = \frac{U_i + I_{Nj}(R_{вих21}/k_{21}) - U_{3j}}{Z_{Nj}}, \quad (2)$$

а відтворені схемою адмітанси Y_i визначатимуться як $Y_{ij} = \frac{I_{ij}}{U_i} = \frac{I_{u1} + I_{u21} + I_{Nj}}{U_i}$. Зробивши відповідні підстановки та нескладні перетворення отримаємо

$$Y_{ij} \cong G_{сф1} + G_{сф2} [\delta_{e21} + \mu_{Nj}(1 + \delta_{k1} + \delta_{k21})] + G_{сф2} \mu_{Nj} (\delta_{вих21} + \delta_{e1}) + G_{Nj} \left\{ (1 - \mu_{Nj}) - \mu_{Nj} (\delta_{k1} + \delta_{k21} + \delta_{вих21} + \delta_{e1} + \delta_{R_B}) \right\}, \quad (3)$$

$$\text{де } G_{сф1} = \frac{1}{R_{сф1}}; G_{сф2} = \frac{1}{R_{сф2}}; \delta_{R_B} = \frac{R_{вих2}}{k_{21} Z_{Nj}}.$$

Якщо позначити $G_{Ni} = G_{NiH} \cdot (1 + \delta_{Ni})$, $\mu_i = \mu_{iH} \cdot (1 + \delta_{\mu i})$, то після перетворень остаточно отримаємо

$$Y_{ij} = G_{Njn} (1 - \mu_{Njn}) + G_{Njn} \delta_{Nj} (1 - \mu_{Njn}) - \mu_{Njn} G_{Njn} \delta_{\mu n} + G_{сф1} + G_{сф2} (\mu_{Njn} + \delta_{e2i}) - G_{Njn} [\mu_{Njn} (\delta_{k1} + \delta_{k2} + \delta_{вих2} + \delta_{e1} + \delta_{R_B}) + \delta_{e2} + \delta_{R_B}] \quad (4)$$

Використання кодо-керованої міри адмітансу відповідно до рис. 1 дасть можливість її мініатюризації, а отже, мікроелектронного виконання з невисокою ціною. Окрім цього, завдяки використанню сучасних операційних підсилювачів можна забезпечити достатньо широкий частотний діапазон. Як КПН в розглянутій структурі міри можна використовувати принципово будь-які подільники напруги, наприклад, інтегральні ЦАП, подільники на основі магнітних компараторів змінного струму або індуктивні тощо. За цих умов результуюча похибка відтворення опору може визначатися тільки похибками струмозадавальних резисторів або конденсаторів. Їх мала кількість, а також невеликі габарити дають можливість конструктивної реалізації кодо-керованої міри як малогабаритного вставного блоку. Для забезпечення високої часової стабільності вимірювачів імпедансу слід проводити частішу метрологічну перевірку такого блоку.

ПОДЯКИ

Наукові результати, представлені у цій статті, були отримані в рамках проекту 0115U000446, 01.01.2015 - 31.12.2017, який фінансується Міністерством освіти і науки України.

1. *Электрические измерения электрических и неэлектрических величин / Гаврилюк М.А., Полищук Е.С., Обозовский С.С. и др. – К.: Вища школа, 1984. – 359 с. 2. Яцук В.О. Імітатори активного опору // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка"; "Автоматика, вимірювання та керування". - 1999. - №356.– С. 83-88. 3. Автоматические измерения (аналоговые и цифровые) / П.П. Орнатский.- 5-е изд., перераб. и доп. - К.: Вища школа. Головне в-во. - 1986. – 504 с. 4. Яцук В.О. Метод побудови кодо-керованих мір індуктивності // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка"; "Автоматика, вимірювання та керування". - 1998.- №348 – С.81-8523. Яцук В.О. Метод побудови кодокерованих мір індуктивності // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка"; "Автоматика, вимірювання та керування". - 1998. - №348 – С.81-85. 5. Пат. 109387 України на винахід, МПК H03H 11/28. Кодокерована міра комплексних провідностей / Яцук В.О., Столярчук П.Г., Бубела Т.З., Микійчук М.М., Яцук Ю.В.; заявник та власник патенту НУ „Львівська політехніка”. - № а 201413672, заявл. 19.12.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. №15.*