

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТА СЕНСОРИ

УДК 621.317.73

ІНВАРІАНТНІ КОНДУКТОМЕТРИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

© Євген Походило, Назар Плахтій, Наталія Мартинович, 2010

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Проаналізовано вплив неінформативних параметрів на результат вимірювання параметрів об'єктів неелектричної природи контактними кондуктометричними перетворювачами. Запропоновано інваріантні до неінформативних параметрів вимірювальні перетворювачі для режимів заданого струму та напруги.

Проанализировано влияние неинформативных параметров на результат измерения параметров объектов неэлектрической природы контактными кондуктометрическими преобразователями. Предложены инвариантные к неинформативным параметрам измерительные преобразователи для режимов заданного тока и напряжения.

The influence of uninformative parameters on the result of measuring of parameters which are of non-electric nature. The very measuring is carried out by means of contact conductometric transformers. There have been suggested measuring transformers for the modes of the set current and voltage. These transformers are invariant to uninformative parameters.

Вступ. Однією з проблем контактних кондуктометричних вимірювань є наявність приелектродних імпедансів, а також вплив неінформативних імпедансів, зумовлених крайовими ефектами, опором діелектрика конструкції, залишками продуктів контролю, окиснення електродів при тривалому знаходженні їх в контрольованому розчині тощо при вимірюванні як низькоомних, так і високоомних об'єктів. Для усунення такого впливу на результат вимірювання у вимірювальній практиці використовують високочастотний тестовий сигнал, промивають електроди, застосовують для них спеціальні та дорогі матеріали, вводять додаткові конструктивні елементи тощо. Окрім цього, позитивного результату також досягають виконанням двох вимірювань за різних конструктивних параметрів кондуктометричного сенсора (змінюється міжелектродна відстань) [1]. Як у першому, так і в другому випадках ускладнюються як безпосередньо кондуктометричний сенсор, так і сама вимірювальна процедура. Тому актуальним є вдосконалення кондуктометричного перетворювача щодо забезпечення інваріантності результату вимірювання, зі збереженням незмінності конструктивних рішень

самого сенсора, простоти його виконання з використанням недорогих матеріалів.

Мета роботи – аналіз кондуктометричних вимірювальних перетворювачів та проблем їх практичної реалізації. Розроблення інваріантних до неінформативних імпедансів перетворювачів для вимірювання параметрів низькоомних та високоомних об'єктів неелектричної природи.

Електрична модель системи електрод–розчин. З урахуванням зазначених факторів впливу на імпеданс кондуктометричного перетворювача електрична модель матиме вигляд, зображений на рис. 1.

Враховуючи, що при тестовому сигналі частотою понад 10 Гц [2] дифузійним імпедансом (імпеданс Варбурга) знехтувано, наведена модель контактного первинного перетворювача параметрів рідинних об'єктів на імпеданс відображає безпосередньо об'єкт контролю Z_x , залишки продукту попереднього контролю Z_2 , приелектродний імпеданс системи «електрод–рідина» Z_1 та імпеданс, утворений крайовими ефектами електродів Z_3 . Імпеданси подані

паралельними схемами заміщення з відповідними CR -елементами. Окрім цього, приелектродний імпеданс додатково містить ємність C , що відображає окиснення електродів при їх тривалому контактуванні з об'єктом контролю. Вплив кожного з неінформативних імпедансів на результат вимірювання залежить від об'єкта контролю (низькоомний чи високоомний, полярний чи неполярний), від матеріалу та конструкції електродів, одноразового чи безперервного контролю, є електрохімічна реакція чи немає. Так, впливом параметра R_1 можна знехтувати за умови відсутності електрохімічної реакції [2]. Разом з тим, приелектродним імпедансом можна нехтувати під час вимірювання неполярних високоомних об'єктів контролю, а також залишками продукту на електродах у разі вимірювання полярних низькоомних об'єктів. Саме тому в практиці кондуктометричних вимірювань застосовують двоелектродні та чотириелектродні первинні перетворювачі ємнісного та індуктивного характеру [3]. В роботі [4] пропонується додатково у двоелектродних та чотириелектродних сенсорах використовувати захисний електрод, відповідно маємо

триелектродні та п'ятиелектродні сенсори. Схематичне зображення (модель) таких перетворювачів зображено на рис. 2, а, а електрична модель п'ятиелектродного сенсора – на рис. 2, б.

Електричну модель (рис. 2, б) можна вважати моделлю універсального контактного первинного перетворювача, оскільки залежно від поставленого завдання можна подати всі первинні перетворювачі, що використовують ті чи інші групи електродів. Так, у разі застосування двоконтактної схеми під'єднання двоелектродного сенсора використовуються електроди 1-2, але при цьому на результат вимірювання впливають всі неінформативні імпеданси. При використанні триелектродного сенсора (двоелектродний сенсор із захисним електродом) використовують електроди 1-2-3 (усувається імпеданс Z_3). Чотириелектродний сенсор (електроди 1-2-4-5) забезпечує інваріантність до імпедансів Z_1 та Z_2 . П'ятиелектродним первинним перетворювачем усуваються одночасно всі зазначені вище неінформативні імпеданси.

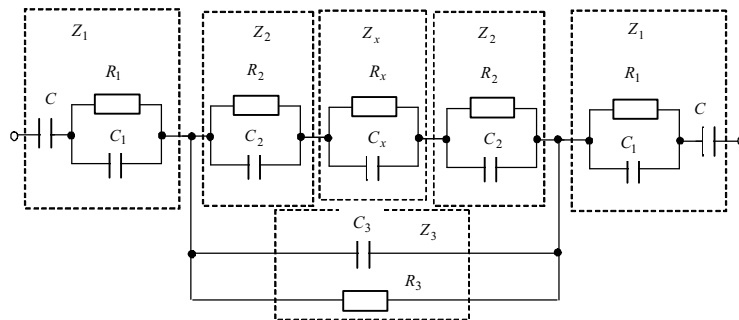


Рис. 1. Узагальнена електрична модель контактної кондуктометричної первинної перетворювача

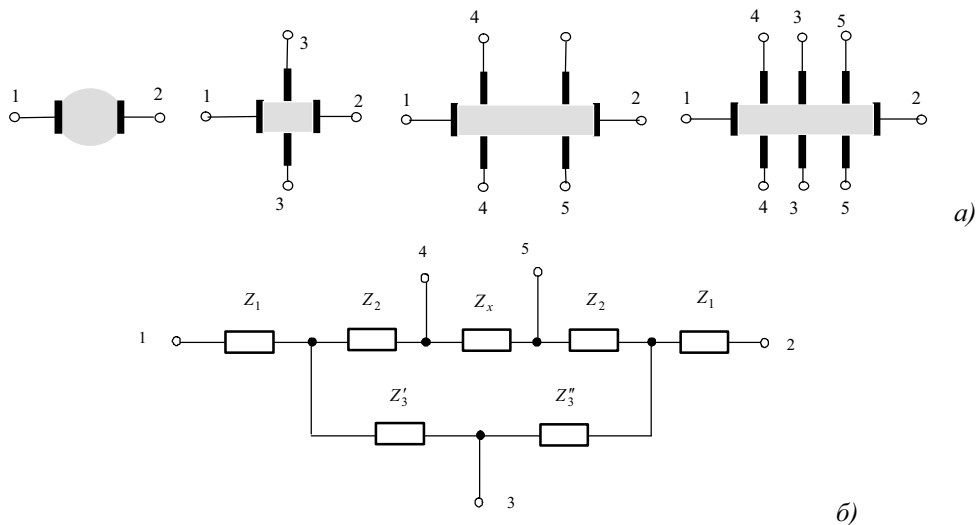


Рис. 2. Моделі кондуктометричних ємнісних первинних перетворювачів

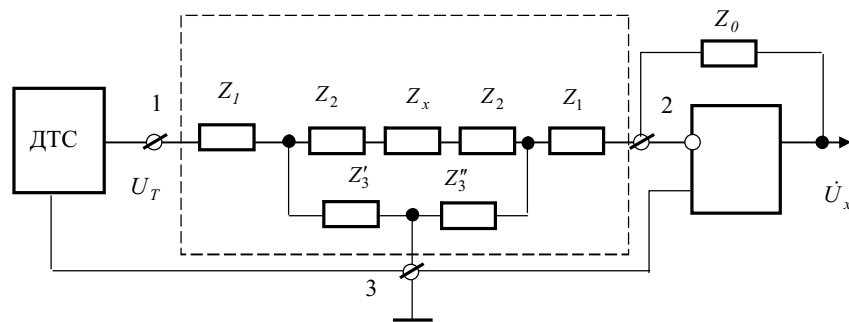


Рис. 3. Схема під'єднання триелектродного сенсора до вимірювального перетворювача

Вимірювальні кондуктометричні перетворювачі режиму заданої напруги. У режимі заданої напруги переважно вимірюють параметри високоомних об'єктів електричної природи. Водночас для об'єктів неелектричної природи (автомобільні бензини, оливи, олії тощо) такий режим вимірювання може диктуватися безпосередньо самим об'єктом. Особливо це стосується об'єктів неелектричної природи, параметри яких можуть змінюватися залежно від прикладеного рівня напруги. Для забезпечення інваріантності результату вимірювання до неінформативного адмітансу під час вимірювання високоомних об'єктів використовується триелектродне під'єднання останніх. Введення третього захисного електрода (електрод 3 на рис. 2, а) двоелектродний сенсор, як зазначалося, за певних умов практично усуває вплив неінформативного імпедансу Z_3 , зумовленого крайовими ефектами, опором ізоляції та паразитною ємністю. Однак неправильне під'єднання такого триелектродного сенсора до вимірювального перетворювача може впливати на роботу останнього. Розглянемо схему під'єднання такого сенсора до вимірювального перетворювача, виконаного на операційному підсилювачі ОП (рис. 3).

Відповідно до схеми рис. 2, б $Z'_3 + Z''_3 = Z_3$. У наведеній схемі, як видно з рис. 3, неінформативний імпеданс Z'_3 шунтує вихід джерела тестового сигналу ДТС, а імпеданс Z''_3 – вхід операційного підсилювача. Оскільки вихідний опір ДТС, як джерела напруги, істотно менший від Z'_3 , то вплив останнього незначний. Потенціал інвертувального входу ОП за високого його коефіцієнта підсилення близький до нуля, а тому вплив Z''_3 також буде незначний. У такому разі вихідна напруга наведеного перетворювача при тестовому сигналі U_T , відомому імпедансі Z_0 та

коефіцієнту підсилення реального ОП описуватиметься виразом

$$\dot{U}_x = U_T \frac{Z_0}{Z_x} \frac{1}{\left(1 + 2 \frac{Z_1}{Z_x} + 2 \frac{Z_2}{Z_x}\right)} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{k} \left(1 + \frac{Z_0}{Z_x + 2Z_1 + 2Z_2} + \frac{Z_0}{Z'_3}\right)}. \quad (2)$$

З виразу (2) очевидно, що похибка перетворення за високого коефіцієнта підсилення k ОП зумовлена співвідношеннями між вимірюваним імпедансом Z_x та неінформативними імпедансами Z_1, Z_2 , а саме:

$$\delta = -2 \left(\frac{Z_1}{Z_x} + \frac{Z_2}{Z_x} \right). \quad (3)$$

Для зменшення похибки необхідно збільшувати відстань між вимірювальними електродами (при цьому збільшується інформативний імпеданс Z_x) чи вживати заходів щодо їх очищення перед вимірюванням. Такі рішення не завжди можуть бути виправданими з огляду на задані розміри сенсора чи оперативність та безперервність роботи. Тому кращим для усунення такого впливу є використання схемотехнічних рішень. Відомо, що в засобах вимірювання імітансу низькоомних об'єктів електричної природи з метою усунення впливу імпедансу з'єднувальних дротів використовується чотиризапискачова схема [5], у кондуктометрії аналогічна схема застосовується для усунення впливу приелектродного імпедансу, зумовленого, переважно, подвійним шаром [3] і використовується вона у потенціометричних схемах з порівняно невеликими опорами контрольованих об'єктів. Схемотехнічні рішення під'єднання чотириелектродних кондуктометричних перетворювачів (рис. 2, а)

для пасивного та активних перетворювачів «імітанс-напруга» розглянуто в роботі [6].

Використання такого технічного рішення у кондуктометричних триелектродних сенсорах для вимірювання високоомних об'єктів додатково ще й усуває вплив імпедансу, зумовленого залишками речовин попередніх досліджень, окисненням электродів, осадженням на електроди компонентів з іншими діелектричними проникностями тощо. Однак, оскільки переважно вимірювання високоомних об'єктів здійснюється в режимі провідності, то у такому разі необхідно забезпечити режим заданої напруги на об'єкті контролю. Усувається така проблема запропонованою схемою, зображеною на рис. 4.

Зображена схема (рис. 4) додатково до попередньої схеми (рис. 4) містить повторювач, виконаний на операційному підсилювачі ОП1. Як видно з рисунка, імпеданси Z_1 та Z_2 першого електрода вмикаються в коло зворотного зв'язку ОП1, який увімкнутий у режим повторювача. Тобто напруга на контрольованому об'єкті Z_x (електрод 4) повторює напругу U_T ДТС. Аналогічні імпеданси другого електрода увімкнено між підсумовувальною точкою (електрод 5) та інвертувальним входом операційного підсилювача ОП2, а тому він не входить в коло зворотного зв'язку останнього. Вплив імпедансів Z'_3 та Z''_3 пояснюється аналогічно до їх впливів у попередній схемі (рис. 3). Отже, на виході вимірювального перетворювача за умови використання ОП2 з великим коефіцієнтом підсилення отримаємо напругу, яка інваріантна до неінформативного імпедансу, а саме:

$$\dot{U}_x = U_T \frac{Z_0}{Z_x} = U_T \frac{Y_x}{Y_0}. \quad (4)$$

Вимірювальні кондуктометричні перетворювачі режиму заданого струму. Низькоомні об'єкти елект-

ричної природи вимірюють переважно в режимі заданого струму, використовуючи чотириконтакну схему їх під'єднання. При цьому усувається, як відомо, вплив неінформативного послідовного опору з'єднувальних дротів. Використанням чотириконтактного первинного перетворювача при кондуктометричних вимірюваннях об'єктів неелектричної природи (вода та розчини на її основі, плодоовочева продукція тощо) усувається вплив приелектродних імпедансів за умови забезпечення сталого струму через об'єкт контролю. Для цього необхідно використовувати джерело струму. На рис. 5 наведено схема вимірювального кондуктометричного перетворювача, що забезпечує необхідний режим заданого струму, але із застосуванням джерела напруги. Як видно зі схеми, кондуктометричний сенсор вмикається в коло від'ємного зворотного зв'язку ОП, струм у якому задається опором Z_0 (може використовуватися як резистор, так і конденсатор). Оскільки між підсумовувальною точкою (електрод 4) операційного підсилювача та його виходом (електрод 5) увімкнено імпеданс Z_x , то вихідною напругою вимірювального перетворювача є напруга

$$\dot{U}_x = U_T \frac{Z_x}{Z_0}.$$

Отже, наведеною структурою вимірювального кондуктометричного перетворювача забезпечується інваріантність до імпедансів Z_1 та Z_2 . Вплив імпедансу Z_3 у разі вимірювання низькоомних об'єктів незначний, тому заходи щодо його усунення не потрібні (захисний електрод не використовується). Під час вимірювання високоомних об'єктів за такою схемою необхідно його під'єднати аналогічно до схеми, зображеної на рис. 4.

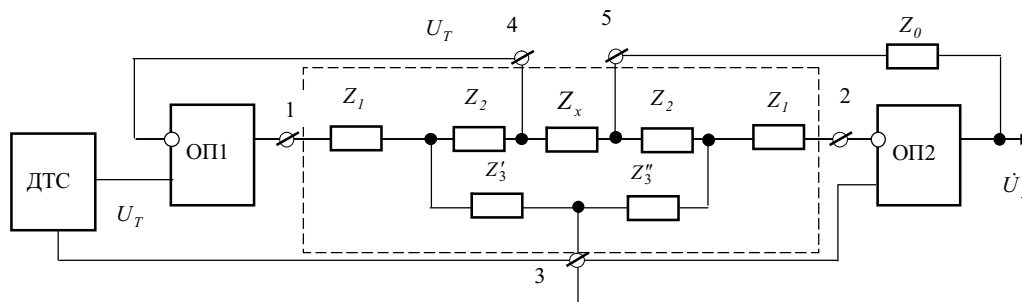


Рис. 4. Схема вимірювального кондуктометричного перетворювача високоомних об'єктів із заданим режимом напруги

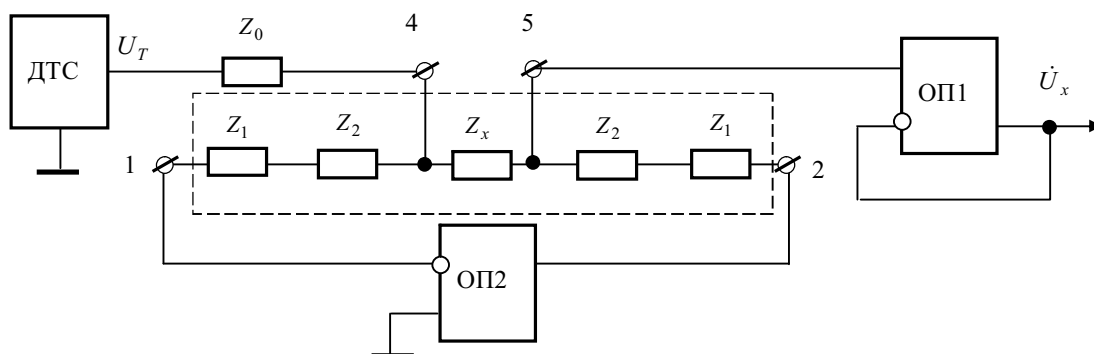


Рис. 5. Схема вимірювального кондуктометричного перетворювача низькоомних об'єктів з заданим режимом струму

Висновки.

1. Запропоновані схеми увімкнення первинних кондуктометричних перетворювачів у вимірювальну схему забезпечують інваріантність вимірювання параметрів об'єктів неелектричної природи до неінформативних імпедансів, зокрема: приелектродного імпедансу, утвореного подвійним шаром, залишками продуктів попереднього контролю на електродах та їх окиснення при тривалому контактуванні з об'єктом, а також імпедансу, утвореного крайовими ефектами електродів та елементами конструкції сенсора.

2. Інваріантні кондуктометричні вимірювальні перетворювачі можуть використовуватися як у спеціальних, так і в універсальних засобах контролю якості продукції за параметрами імпедансу багатоелементних двополосників, якими вона подається. При цьому може забезпечуватися залежно від об'єкта контролю як режим заданої напруги, так і режим заданого струму за одного і того самого джерела тестового сигналу.

1. Михаль А.А., Синицький О.П., Тимошенко О.Л. *Анализ факторов влияющих на метрологические ха-*

рактеристики основных типов кондуктометрических ячеек в эталонах электролитической проводимости // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – №2. – 2009. – С. 23–29. 2. Дзядевич С.В. *Кондуктометричні ферментні біосенсори: теорія, технологія, застосування // Біополімери і клітини. – 2005. – Т.21. – №2. – С. 91–106.* 3. Лопатин Б.А. *Теоретические основы электрохимических методов анализа: Учеб. пособие для ун-тов / Б.А. Лопатин – М.: Высшая школа, 1975. – 295 с.* 4. Походило Є.В., Плахтій Н.Л. *Вдосконалення кондуктометричних перетворювачів високоомних об'єктів // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування. – 2010 – №. 5.* 5. Походило Є.В. *Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імпедансу об'єктів кваліметрії: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.11.05 / Нац. ун-т "Львівська політехніка". – Львів, 2004. – 40с.* 6. Походило Є.В. *Перетворювачі параметрів кондуктометричних сенсорів в напругу. // Вісник Нац. Ун-ту "Львівська політехніка". Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – 2002. – № 460 – С. 51 – 56.*