

## КОНСТРУЮВАННЯ РАДІОАПАРАТУРИ

УДК 681.2.08

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАМЕТРІВ КОНДУКТОМЕТРИЧНИХ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ ДАТЧИКІВ З ЗУСТРІЧНО-ГРЕБІНЧАСТОЮ ТОПОЛОГІЄЮ

Макаров Д.О.<sup>1</sup> студент

Мельник В.Г.<sup>2</sup> к.т.н., пров. наук. співр.

<sup>1</sup>. Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут", м.Київ, Україна

<sup>2</sup>. Інститут електродинаміки НАН України, м.Київ.

Кондуктометричні методи контролю концентрації розчинів знаходять широке застосування для управління технологічними процесами та при лабораторних дослідженнях. Використання диференціальних вимірювальних схем дозволяє отримати дуже високу чутливість приладів за рахунок істотного придушення впливу неінформативних параметрів - температури середовища, її фонові концентрації і ряду інших факторів.

В диференціальних кондуктометричних системах, зокрема в біосенсорних, широко застосовуються спарені первинні перетворювачі (датчики) у вигляді планарних тонкоплівкових структур із зустрічно – гребінчастою топологією ( Рис. 1).

За їх допомогою можуть бути реалізовані досить прості і зручні в застосуванні аналітичні прилади. У той же час дослідження показали, що чутливість і відтворюваність результатів вимірювань багато в чому залежать від параметрів еквівалентної схеми заміщення таких датчиків і від ідентичності цих параметрів перетворювачів.

#### Постановка задачі

З метою оптимізації характеристик кондуктометричних біосенсорних приладів були розроблені варіанти конструкції зустрічно - гребінчатих тонкоплівкових датчиків з різними геометричними параметрами та із застосуванням різних матеріалів для формування електродів. Були відпрацьовані технології, що дозволяють підвищити точність виготовлення датчиків, їх-

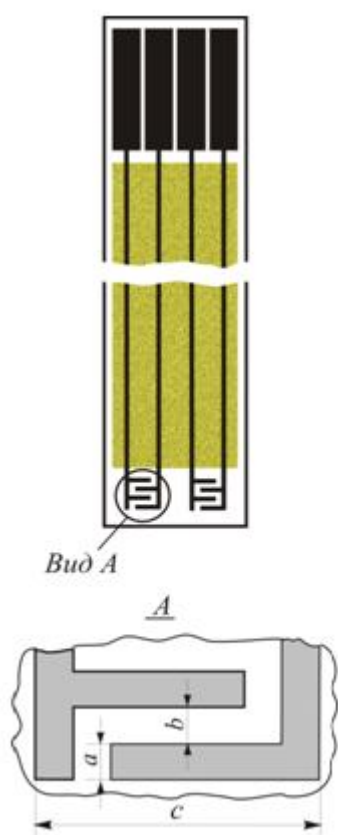


Рис. 1

ню надійність і стабільність, а також поліпшити частотні характеристики з урахуванням результатів, отриманих раніше. Для оцінки ефективності застосованих технічних рішень і технологій були виконані метрологічні дослідження двох партій виготовлених диференціальних датчиків (по 10 екземплярів у кожній партії). Основні параметри наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри	Варіант А	Варіант Б
Матеріал електродів	золото	нікель
Ширина електродів	20 мкм	50 мкм
Відстань між електродами	20 мкм	50 мкм
Розмір чутливого елемента	1,5 мм x 2 мм	1,5 мм x 2 мм
Розмір датчика	28 мм x 5 мм	28 мм x 5 мм
Крок між контактами для підключення	1,25 мм	1,25 мм

### **Метрологічні дослідження електричних параметрів кондуктометричних перетворювачів.**

Для експериментальних досліджень кондуктометричних перетворювачів був зібраний вимірювальний комплекс, схематично зображений на рис.2. До складу комплексу входять: стенд для виконання вимірювань і стандартне обладнання - міст змінного струму Р5083 і магнітна мішалка ММ. Головною частиною стенда є сенсорний блок (СБ), що включає блок утримувачів сенсорів (БУС), сполучні кабелі і досліджувані зразки кондуктометричних перетворювачів КП.

В БУС може встановлюватися до чотирьох зразків сенсорів. При установці в БУС сенсори притискаються до пружних контактних груп притисковими гвинтами, що забезпечує, з одного боку, схоронність напилених контактних площадок, а з іншого боку - надійність з'єднання.

До складу стенда також входить штатив із можливістю переміщення і фіксації положення сенсорів по вертикалі і у горизонтальній площині, а також комутатор для підключення одного з досліджуваних датчиків до вимірювального приладу.

При вимірюваннях на штативі встановлюється склянка з розчином, у яку занурюються досліджувані сенсори. У свою чергу, штатив встановлюється на магнітну мішалку для підтримки однорідності розчину. При вимірювання використовувалася буферний розчин з концентрацією 5 мМ и РН =6,5. Під час експериментів в приміщенні підтримувалась температура в межах  $22 \pm 0,5$  °С.

Описаний стенд підключається до універсального моста змінного струму Р5083, що забезпечує вимірювання параметрів комплексного опору кондуктометричних перетворювачів, поміщених у взірцевий розчин.

Основні характеристики моста Р5083.

Вимірювані параметри:

- активний опір (R);
- ємність (C);
- тангенс фазового кута ( $\text{tg}\varphi$ ).

Схеми заміщення об'єкта вимірювання:

- Послідовна (S);
- Паралельна (P).

При послідовній схемі заміщення  $\text{tg}\varphi$  визначається по формулі:

$$\text{tg}\varphi_S = \frac{1}{R2\pi fC}, \quad \text{де } f - \text{робоча частота.}$$

При паралельній схемі заміщення  $\text{tg}\varphi$  визначається по формулі:

$$\text{tg}\varphi_P = 2\pi fCR$$

Діапазон робочих частот моста P5083 від 100 Гц до 100 кГц.

Діапазон вимірюваних величин:

- по C: від  $10^{-14}$  F до  $10^{-3}$  F (у діапазоні частот 10–100 кГц);
- по R: від 0,1 ом до  $10^7$  ом;
- по  $\text{tg}\varphi$ : від  $10^{-4}$  до  $10^4$ .

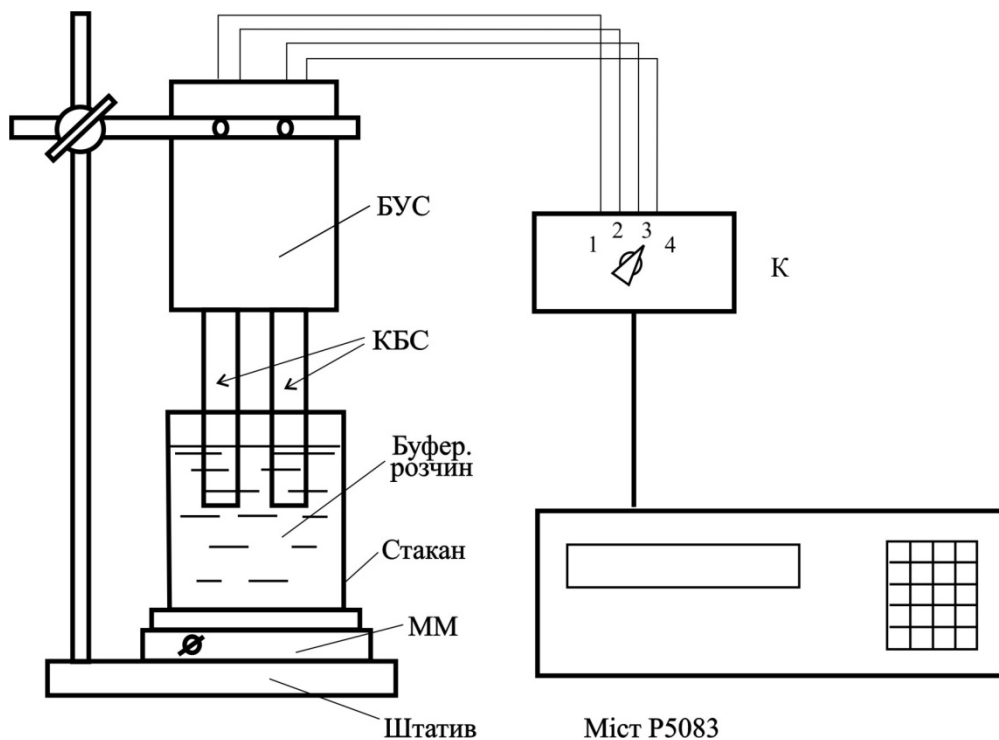


Рис. 2

Досліджувалися частотні характеристики параметрів послідовної двоє-

лементної RC-схеми заміщення:  $R(f)$ ,  $C(f)$ ,  $\text{tg}\varphi(f)$  в діапазоні частот від 1 до 100 кГц кожного зі спарених перетворювачів диференціального датчика.

Були досліджені 10 зразків датчиків з параметрами електродних решіток: ширина зубців гребінки й відстань між зубцями 20x20 мкм (матеріал електродів - золото), а також 10 зразків датчиків з параметрами 50x50 мкм (матеріал електродів - нікель).

Аналіз отриманих результатів дозволив визначити розкиди параметрів між перетворювачами кожної диференціальної пари. Були проаналізовані можливі причини виникнення таких відмінностей, пов'язані з технологічними обмеженнями, якістю застосовуваних матеріалів, недоліками конструкції і технології процесу виготовлення датчиків.

Для екземплярів датчиків з золотими електродами були проведені послідовно в часі кілька серій вимірювань параметрів на частотах 30 кГц і 100 кГц із метою вивчення стабільності параметрів схеми заміщення при тривалих вимірюваннях. Потім були обчислені відносні (в %) розходження коефіцієнтів перетворення чутливих елементів кожної диференціальної пари.

Досліджувалися зміни частотних характеристики параметрів послідовної двоелементної RC-схеми заміщення:  $R(f)$ ,  $C(f)$ ,  $\text{tg}\varphi(f)$  на частотах 30 кГц і 100 кГц кожного зі спарених перетворювачів диференціального датчика, що пов'язані з нанесенням на їхні електродні решітки біомембран (відповідно активної та пасивної). Вимірювання проводилися три рази до нанесення мембран, два рази після нанесення та після змивання мембран. Вони дають уявлення про величину можливих випадкових варіацій відхилень від ідеальної збалансованості мостової схеми приладу в процесі експлуатації.

Апаратура і розчини, застосовувані для досліджень, а також умови виконання вимірювань були аналогічні зазначеним вище.

За результатами вивчення частотних характеристик датчиків був проведений аналіз можливих причин виявлених варіацій параметрів. Для цього досліджувалися реальні розміри та форма електродів, стан їхньої поверхні, якість підкладки. У результаті виконаного аналізу визначені заходи щодо поліпшення конструкції датчиків і технології їхнього виготовлення.

У результаті досліджень були встановлені реальні межі розкидів параметрів схем заміщення кондуктометричних перетворювачів, стабільність цих розкидів та додаткові розкиди, пов'язані з нанесенням біомембран. При цьому в першу чергу зверталася увага на зміни співвідношення однійменних параметрів перетворювачів кожної з диференціальних пар. Показано, що за умови дотримання встановленої технології виготовлення датчиків (як з золотими, так і з нікелевими електродами), розкид їх найважливішого параметра – різниці опорів послідовної схеми заміщення в діапа-

зоні частот 30 – 100 кГц не перевищує 3 - 5%. Ці дані можуть служити вихідними даними для оцінки випадкових варіацій ступеню збалансованості мостового кола розробленої кондуктометричної системи при дослідженнях випадкової складової її похибок. Як показали дослідження метрологічних характеристик вимірювального каналу на еквівалентах датчиків, розбалансованість мостового кола, що пов'язана з вказаними розкидами параметрів кондуктометричних перетворювачів без мембран не викликає суттєвих змін відгуків сенсорної системи.

Дослідження частотних характеристик датчиків з нанесеними мембранами показують суттєво більшу величину розкидів різниці опорів перетворювачів диференційної пари. Але слід враховувати, що нанесення мембран в цих експериментах здійснювалось вручну. При застосуванні відповідного обладнання вплив нанесення мембран на електричні характеристики датчиків очікується таким, що не буде перевищувати кілька процентів.

Виконані метрологічні дослідження електричних параметрів первинних кондуктометричних перетворювачів і визначені реально можливі допуски на технологічно обумовлену відтворюваність їх коефіцієнтів перетворення.

За результатами аналізу даних досліджень і розробки прототипу кондуктометричної системи оптимізовано схеми, конструкцію та технологію виготовлення вузлів та блоків приладів. Виготовлено дослідні зразки датчиків, електронних блоків та інших елементів системи. Нові схемотехнічні та конструкційні рішення дозволили без ускладнення приладів приблизно вдвічі підвищити чутливість вимірювального каналу і зменшити його частотні похибки і за рахунок цього розширити діапазон частот тестових сигналів. Останнє дозволяє підвищити робочу частоту кондуктометричної системи до значень в межах 50 - 100 кГц, при яких значно поліпшуються характеристики первинних перетворювачів.

### Література

1. Дзядевич С.В., Солдаткін О.П. Наукові та технологічні засади створення мініатюрних електрохімічних біосенсорів.-К.: Наукова думка, 2006. – 256с.
2. Мельник В.Г., Михаль А.А., Рубанчук М.П.. Измерительные цепи для кондуктометрических преобразователей с дифференциальными двухэлектродными датчиками // Технічна електродинаміка.- 2008.- № 2.-С. 58-64.
3. G.R. Langereis, An integrated sensor system for monitoring washing processes //ISBN 90 - 365 - 1272 – 7, 1999.
4. Мельник В.Г. Исследование чувствительности мостовой измерительной цепи с дифференциальным кондуктометрическим датчиком. // Праці Інституту електродинаміки НАНУ. – Збірник наукових праць . - Вип. 22. - 2009. – С. 115 – 118.

*Макаров Д.О., Мельник В.Г. Дослідження частотних характеристик параметрів кондуктометричних диференційних датчиків з зустрічно-гребінчастою топологією. В диференціальних кондуктометричних системах, зокрема в біосенсорних, широко застосовуються спарені первинні перетворювачі(датчики) у вигляді пла-*

нарних тонко плівкових структур із зустрічно-гребінчастою топологією. За їх допомогою можуть бути реалізовані досить прості і зручні у застосуванні аналітичні прилади. Але чутливість і відтворюваність результатів таких приладів багато в чому залежить від параметрів датчика що досліджувалися. На основі проведених метрологічних досліджень частотних характеристик параметрів кондуктометричних диференційних датчиків проаналізовано ефективність використання первинних кондуктометричних перетворювачів з використанням різних геометричних параметрів та матеріалів, з метою покращення характеристик біосенсорної системи з такими датчиками.

**Ключові слова:** біосенсорні системи, диференційні датчики.

Макаров Д.А., Мельник В.Г. **Исследование частотных характеристик параметров кондуктометрических дифференциальных датчиков с встречно-гребенчатой топологией.** В дифференциальных кондуктометрических системах, например в биосенсорных, широко используются спаренные первичные преобразователи (датчики) в виде планарных тонкопленочных структур с встречно-гребенчатой топологией. С их помощью могут быть реализованы довольно простые и удобные в использовании приборы. Но чувствительность и воспроизводимость результатов таких приборов много в чем зависит от параметров исследуемого датчика. На основании проведенных метрологических исследований частотных характеристик параметров кондуктометрических дифференциальных датчиков проанализирована эффективность использования первичных кондуктометрических преобразователей с использованием разных геометрических параметров и материалов, для улучшения характеристик биосенсорной системы с такими датчиками.

**Ключевые слова:** биосенсорные системы, дифференциальные датчики.

Makarov D.A., Melnik V.G. **Research of frequency descriptions, parameters conductometric differential sensors with pectinate topology.** In differential conductometric systems, for example in biosensor systems, often use co-planar thinly-pellicle structure double-sensors with pectinate topology. Simple and useful devices could be realized with help of them. But sensitivity and producibility of results those devices depends on parameters of sensors which we probe. On base of metrological research frequency descriptions, parameters conductometric differential sensors was analyzed effectiveness of using this sensors with different geometrical parameters and materials for better descriptions of biosensor system with them.

**Key words:** biosensor systems, differential sensors.