

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
SUMY STATE UNIVERSITY  
UKRAINIAN FEDERATION OF INFORMATICS**

## **PROCEEDINGS**

**OF THE IV INTERNATIONAL SCIENTIFIC  
CONFERENCE**

**ADVANCED INFORMATION  
SYSTEMS AND TECHNOLOGIES**

**AIST-2016**



**May 25 –27, 2016  
Sumy, Ukraine**

# DSP-Based Information-Measuring Microdevice for Electrical Impedance Spectroscopy Analysis

R.Ya. Yaremyk

Ivan Franko National University of Lviv, Ukraine, yaremyk@yahoo.com

*Abstract. Novel software-intensive approach and algorithm real-time measuring device for electrochemical impedance spectroscopy are considered.*

*Keywords. Information-Oriented Technology, Signal Processing, Impedance Spectroscopy, Fourier Analysis.*

## ВСТУП

В роботі розглядається розроблений новий метод і прилад, який на базі цифрового сигнального процесора (DSP) та інформаційних технологій дозволяє реалізувати експрес-реєстрацію та аналіз імпедансних спектрів первинних перетворювачів біосенсорних систем. Особливістю пропонованого підходу є імпульсний метод отримання імпедансних спектрів сенсорних елементів, який кардинально спрощує апаратну реалізацію пристрою і максимально використовує програмні ресурси DSP. В основу принципу побудови приладу закладено програмно-орієнтовані методи сигнального аналізу інформаційних сигналів та модельних представлень функціональних перетворень.

## ОСОБЛИВОСТІ ІМПЕДАНСНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ БІОСЕНСОРНИХ СИСТЕМ

Первинні перетворювачі сучасних біосенсорних систем представляють собою гетерофазні нанокompatитні структури із складною внутрішньою організацією. Інформаційний відклик таких сенсорів на хімічний, біологічний чи фізичний вплив при взаємодії з аналітом характеризується значною інформативністю, але одночасно породжує складну задачу інтерпретації отриманих даних. Серед існуючих методів

реєстрації інформаційних сигналів біосенсорних систем особливе місце відводиться спектроскопії електрохімічного імпедансу. Унікальність методу обумовлена тим, що він дозволяє виділити відклик окремо взятого процесу (перенос заряду через границю фаз, дифузія реагентів, адсорбція, десорбція та ін.) із їх сумісного відклику завдяки індивідуальній частотній залежності відкликів об'єктів і процесів сенсорної матриці.

В пропонованому підході для кожного сенсорного елемента первинного перетворювача розробляється еквівалентна електрична схема заміщення, тобто модельне представлення схемою на базі пасивних радіокомпонентів (резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності). Схема заміщення представляється електричним чоририполіусником, який в робочому діапазоні частот характеризується імпедансними параметрами ідентичними з характеристиками сенсора. Оскільки для кожного елементарного процесу в сенсорі можна створити математичну модель (модель дифузії, адсорбції і т.д.), то враховуючи індивідуальний характер частотного відклику кожного процесу, складові повного імпедансного відклику системи можна аналізувати індивідуально і отримувати детальний опис поведінки сенсорної системи в цілому.

## ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ МЕТОД ОТРИМАННЯ ІМПЕДАНСНОГО СПЕКТРУ

Отримання імпедансного спектру реалізується методом подачі коротких по

тривалості зонduючих імпульсів напруги  $u_{вх}(t)$  на вхід кожного елемента мультисенсорної матриці. Синхронно з подачею імпульсів з допомогою аналого-цифрового перетворювача реєструється сигнал відклику кожного елемента матриці на імпульсну дію. Реєстрований вихідний сигнал відклику  $u_{вих}(t)$  згідно з відомою теоремою Дюамеля можна представити інтегралом [1]:

$$u_{вих}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} u_{вх}(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} u_{вх}(t-\tau) \cdot h(\tau) d\tau \quad (1)$$

де  $u_{вх}(t)$ ,  $u_{вих}(t)$  - вхідний і вихідний сигнали відповідно,  $h(t)$  - імпульсна характеристика сенсорного елемента, яка функціонально зв'язана з параметрами еквівалентної електричної схеми заміщення даного елемента.

Зонduючі імпульси вхідної напруги  $u_{вх}(t)$  представляються певним наближенням до моделі аналітичного імпульсу  $\delta$ -функції Дірака:

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & n\pi t \quad t=0, \\ 0 & n\pi t \quad t \neq 0, \end{cases} \quad \text{та} \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \quad (2)$$

При зміщенні імпульса по осі  $t$  на величину  $\tau$  вираз для  $\delta$ -функції записується в більш загальній формі:

$$\delta(t-\tau) = \begin{cases} \infty & n\pi t \quad t=\tau, \\ 0 & n\pi t \quad t \neq \tau, \end{cases} \quad (3)$$

Підставляючи у формулу (1) замість зонduючого імпульсу  $u_{вх}(t)$  модельне представлення  $\delta$ -функції (2), (3), і враховуючи фільтруючу властивість  $\delta$ -функції отримуємо, що вихідний сигнал відклику  $u_{вих}(t)$  дорівнює імпульсній характеристиці  $h(t)$  досліджуваного сенсорного елемента.

При цьому нееквівалентність моделей реального фізичного імпульса  $u_{вх}(t)$  та ідеалізованого математичного об'єкта -  $\delta$ -функції коректується при обчисленнях за допомогою поправочних коефіцієнтів.

Імпульсна характеристика сенсорної матриці використовується для визначення частотного коефіцієнта передачі матриці в робочому діапазоні частот. Процедура обчислення

основана на факті, що комплексний коефіцієнт передачі чотириполюсника  $K(j\omega)$  є Фур'є-трансформантою його імпульсної функції  $h(t)$  [2]:

$$K(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (4)$$

У дискретному представленні неперервному аналоговому сигналу  $h(t)$  відповідають відліки дискретного сигналу  $h(nT)$ , який задається скінченною множиною своїх відлікових значень, де  $n$  - номер відліку,  $T$  - крок дискретизації. Для цього випадку частотний коефіцієнт передачі має вигляд:

$$K(j\omega) = \sum_{n=0}^{\infty} h(nT) \cdot e^{-jn\omega T} \quad (5)$$

Отримана формула описує спектральні параметри сенсорної матриці в момент дії зонduючого імпульсу. Аналіз інтенсивності спектральних ліній для кожного значення частоти  $\omega=2\pi f$  дозволяє селективно відслідковувати індивідуальні частотні відклики окремих процесів сенсорної матриці в процесі вимірювання.

## ВИСНОВКИ

На відміну від складних апаратно-орієнтованих систем реєстрації та аналізу імпедансних спектрів сенсорних елементів, запропонований новий підхід, який з мінімальними апаратними затратами реалізує дану задачу на базі сигнального процесора та цифрових обчислювальних технологій. Продемонстровано ефективність застосування програмно-орієнтованих методів та модельних представлень сигналів в якості базових елементів для побудови сучасних інформаційно-вимірювальних систем.

## REFERENCES

- [1] Oppenheim, A.V., and Schaffer, R.W., Discrete-Time Signal Processing, Prentice Hall, 2006 pp. 43-47
- [2] E. C. Ifeachor, B.W. Jervis Digital Signal Processing: A Practical Approach. Second edition. Prentice Hall 2002 pp. 246-247.