УДК 612.014.422

В.І. Мартиненко, студент гр. ПБ-01мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

БІОІМПЕДАНСОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ТКАНИН

Анотація. У роботі розглядають основні електромагнітні властивості біологічних тканин, за допомогою яких існує можливість діагностики їх функціонального стану. З огляду на те, що більшість подібних методів є громіздкими та мають дороге устаткування, запропоновано діагностичну систему, що базується на принципах біоімпедансних аналізаторів, які більш економічно вигідні. Діагностична система будується на основі схемотехнічного рішення AD5941, що дозволяє генерувати сигнал змінного електричного струму з плаваючою частотою до 250 кГц та швидкодіючим 12-бітовим ЦАП.

Ключові слова: біоімпедансний аналіз, система біомпедансної діагностики, дисперсійні характеристики тканин.

ВСТУП

Існуючі сьогодні методи та засоби діагностики стану біологічних тканин, а саме рівня їх спроможності до нормального функціонування базуються на вартісних та трудомістких діагностичних комплексів. В той же час, медичні установки вимірювання рівню електропровідності мають можливість, сформовану в силу біофізичних особливостей будови біологічних об'єктів, досліджувати якісні показники обміну речовин.

Біологічна імпедансометрія представляє собою метод вимірювання опору, що формується біологічними тканинами, а саме функціональним станом мембранного та клітинного середовища [1].

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ БІОЛОГІЧНОЇ ТКАНИНИ

За структурою клітини – складні утворення, що складаються з багатьох елементів, що знаходяться в білковій субстанції, обмеженою клітинними мембранами (рис. 1).

Електромагнітні властивості клітин спостерігаються під час вимірювання імпедансу біологічних тканин при відповідних частотних змінах змінного електричного струму, що підводиться до тканини електродами площею S, на взаємній відстані l [2].

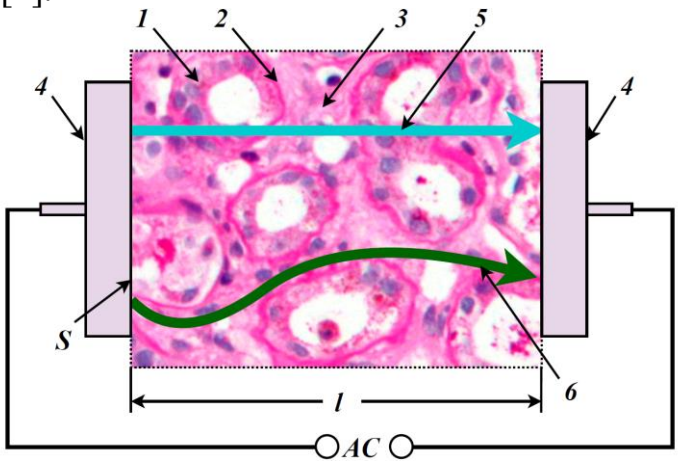

Рис. 1. Склад біологічної тканини, що підключається до системи подачі змінного електричного струму; 1 – органічна клітина, 2 – клітинна мембрана, 3 – міжклітинна речовина, 4 – електроди, 5 – напрям руху струму високих частот (від 500 кГц), 6 – напрям руху струму низьких частот (до 500 кГц)

Будь-яка клітина організму сформована здебільшого водневим розчином електроліту, який є високопровідним середовищем, та мембранними структурами, які в силу своєї діелектричної особливості формують ємнісний заряд на своїй поверхні. При проходженні електричного струму на межі вимірювальних електродів та тканини виникає подвійний електричний шар, що має високий вплив на ємнісну складову середовища. Цей вплив особливо чітко спостерігається при малих значеннях частоти, саме в низькому частотному діапазоні існує найбільша похибка вимірювання значень сигналу, пропорційного імпедансу цього середовища. Зі збільшенням частоти, вплив подвійного електричного шару зменшується. Саме з метою зменшення величини впливу даного шару у біоімпедансних системах широко застосовуються тетраполярні схеми вимірювання значень імпедансу.

АНАЛІЗ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНІСТІ БІОЛОГІЧНОЇ ТКАНИНИ

Діелектрична проникність тканин ε містить у собі декілька частотних діапазонів, відповідно до яких спостерігаються різні властивості біологічних об’єктів (рис. 2).

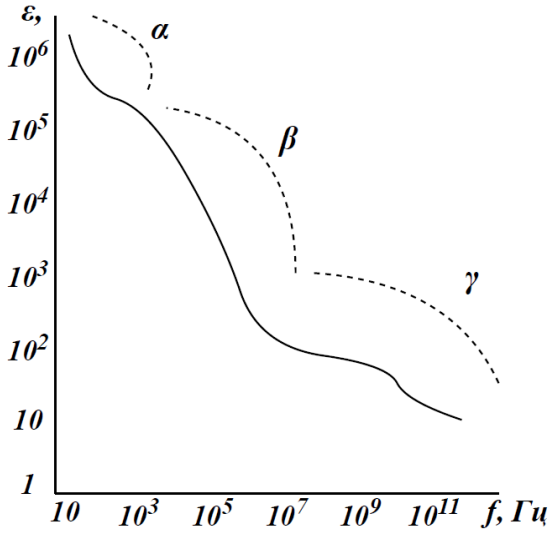

Рис. 2. Залежність значень діелектричної проникності від частоти струму [2]

Досліджувані діапазони не мають чітких частотних меж, оскільки для різних типів біологічних тканин вони різні. Діапазони класифікуються:

- α-діапазон ($f < 10^3$ Гц) – протікання струму по міжклітинному середовищу, коли опір клітин для струму низької частоти є досить великим, а діелектрична проникність обумовлена поляризацією внутріклітинних структур;
- β-діапазон (10^3 Гц $< f < 10^8$ Гц) – протікання струму по міжклітинному середовищу і частині клітинних мембран. Вважається найбільш інформативним та детермінованим до похибок діапазоном. Така залежить відображає безпосередній стан внутрішнього середовища клітини та його білкових структур;
- γ-діапазон: ($f > 10^8$ Гц) – поява явища резонансу та поляризації молекул води у міжклітинній речовині.

ВСТАНОВЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ТКАНИНИ

В силу дисперсійних особливостей біологічної тканини існує можливість діагностики їх поточного стану. При вимірюванні опору на змінному електричному струму високої частоти явище поляризації тканин зменшується. При чому частина заряджених частинок, здатних до руху чи орієнтації в залежності від частоти, встигає повернутися або переміститись, тим самим приводячи струм і накоплюючи у собі заряди.

Співвідношення опорів K низької $R_{(10^4)}$ та високої частоти струму $R_{(10^6)}$ чітко описує поляризаційні властивості тканини і може бути використаним в якості інструменту для діагностики рівню життєздатності тканини (1).

$$K = \frac{R_{(10^4)}}{R_{(10^6)}} \tag{1}$$

При відмиранні тканин поляризація зникає, коефіцієнт співвідношення прямує до одиниці. За допомогою варіацій даного коефіцієнту існує можливість оцінки ступені оборотних і необоротних (патологічних) порушень в організмі.

БІОІМПЕДАНСОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ТКАНИНИ

Система вимірювання рівню життєздатності тканини базується на основних принципах побудови біоімпедансних аналізаторів. Ключовою задачею для проектування подібної системи є чітке розуміння рівню інформативності на різних частотних діапазонах та типу досліджуваної тканини.

Вимірювальна система базується на основі схемотехнічної мікросхеми AD5941, що має можливість сигнального аналізу з частотою від 0,25 Гц до 250 кГц (рис. 3).

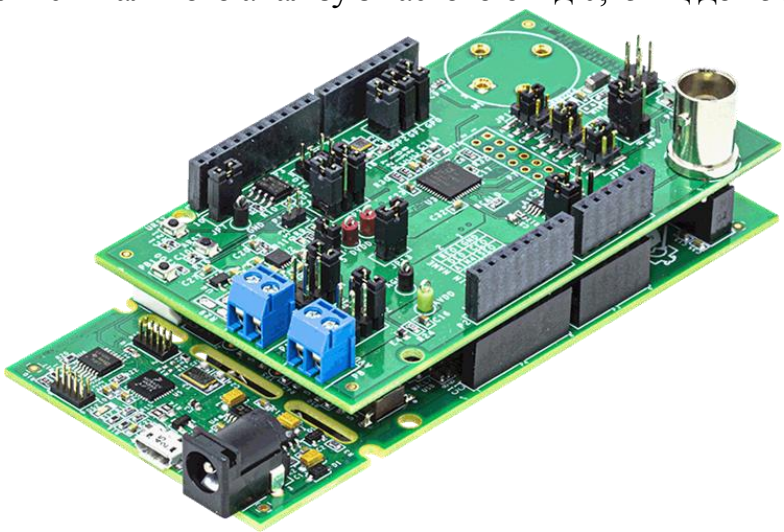

Рис. 3. Вимірювальна система біоімпедансної діагностики на мікросхемі AD5941

Блок-схема вимірювальної системи (рис. 4) включає в себе фільтр високих частот для захисту трансондуктивного підсилювача, що необхідний для створення різного рівня початкових напруг на парі вимірювальних електродів. Інструментальний підсилювач використовується в якості засобу з високим коефіцієнтом підсилення, може бути представлений схемотехнічними рішеннями мікросхеми типу INA118P.

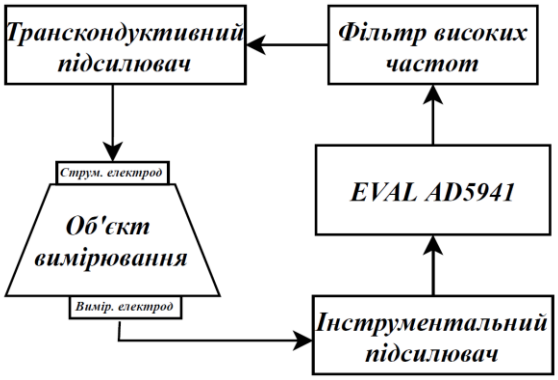

Рис. 4. Блок-схема вимірювальної системи біоімпедансної діагностики

Система використовує тетраполярну схему вимірювання, що мінімізує вплив подвійного електричного шару та підвищує ступінь достовірності контролю досліджуваних меж.

ВИСНОВКИ

В силу своїх структурних та електричних особливостей, дисперсійні характеристики біологічної тканини можуть слугувати інструментом для оцінки її функціонального стану. Запропонована сучасна біоімпедансна система контролю життєздатності, що базується на основоположних принципах побудови імпедансних аналізаторів біологічних об’єктів з можливістю установки плаваючої частоти вимірювання. Такі системи мають підвищену точність, економічну доцільність, оскільки їх вартість в десятки разів менша, аніж аналогічні системи діагностики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Dean, D. A., Ramanathan, T., Machado, D., «Electrical impedance spectroscopy study of biological tissues», *Journal of Electrostatics*, 66(3-4), с.165–177, 2016.

[2] Krivtsun, Igor & Pentegov, Igor «A Technique for Experimental Data Processing at Modeling the Dispersion of the Biological Tissue Impedance Using the Fricke Equivalent Circuit» *Electrical Engineering & Electromechanics*. с.27-37, 2017.

[3] Голев И. М., Коротков Л. Н. «Дисперсия электрического сопротивления биологических объектов» // *Вестник ВГТУ №4* . 2013.

[4] В.І. Мартиненко, М.Ф. Терещенко «Біоімпедансний аналіз біосередовища та системний біоімпедансний аналізатор», *Збірник праць XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Погляд у майбутнє приладобудування”, К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського*. – 2020. – с.222-225

[5] Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - *К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»,* 2019.- 288 с.

[6] Терещенко М.Ф. Біофізика: лабораторний практикум / М.Ф. Терещенко, Г.С.Тимчик, І.О. Яковенко. - *Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»*, 2019.- 176 с.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.