

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ВИВЧЕННЯ ІМПЕДАНСУ ТІЛА

Мета: Ознайомитись з електричним імпедансом різних тканин людини; будовою шкіри та її еквівалентною схемою; фізіологічними принципами вимірювання імпедансу. Визначити імпеданс шкіри;

Обладнання: головний модуль KL-72001, модуль імпедансу KL-75009, п'яти-провідниковий кабель KL-79101, електроди, спиртові серветки, кабель DB9, кабелі BNC, кабель PS-232, сполучні кабелі, 10-мм шунтуючі перемички.

5.1. Теоретичні відомості

5.1.1. Електричний імпеданс тіла людини

Тіло людини є провідником електричного струму. Провідність живої тканини, на відміну від звичайних провідників, обумовлена не лише її фізичними властивостями, але і складними біохімічними і біофізичними процесами, притаманними лише живій матерії. Отже, імпеданс тіла людини є змінною величиною, що має нелінійну залежність від безлічі факторів, у тому числі від стану шкіри, параметрів електричного кола, фізіологічних чинників і стану навколишнього середовища.

Електричний імпеданс різних тканин тіла людини неоднаковий – шкіра, кістки, жирова тканина, сухожилля і хрящі мають відносно великий імпеданс, а м'язова тканина, кров, лімфа і особливо спинний і головний мозок – малий імпеданс. У таблиці 5.1 приведено значення питомого опору для деяких біологічних тканин.

Таблиця 5.1 Питомий опір біологічних тканин

Назва біологічної тканини	Питомий опір, Ом·м
Шкіра суха	$3 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5$
Волога шкіра, подряпини	$10^3 - 5 \cdot 10^3$
Кістки	$10^4 - 10^5$
Жирова тканина	30 – 60
М'язова тканина	1,5 – 3,0
Кров	1,0 – 2,0
Спинномозкова рідина	0,5 – 0,6

З цих даних випливає, що шкіра має дуже великий питомий опір, який є головним фактором, що визначає імпеданс тіла людини в цілому.

Будова шкіри є досить складною. Вона містить два основні шари (рис.5.1.а): зовнішній – епідерміс та внутрішній – дерму. У свою чергу епідерміс складається з п'яти шарів (рис.5.1.б), з яких верхній є найбільш товстим – роговий, а також має найбільший питомий опір (близько 10^5).

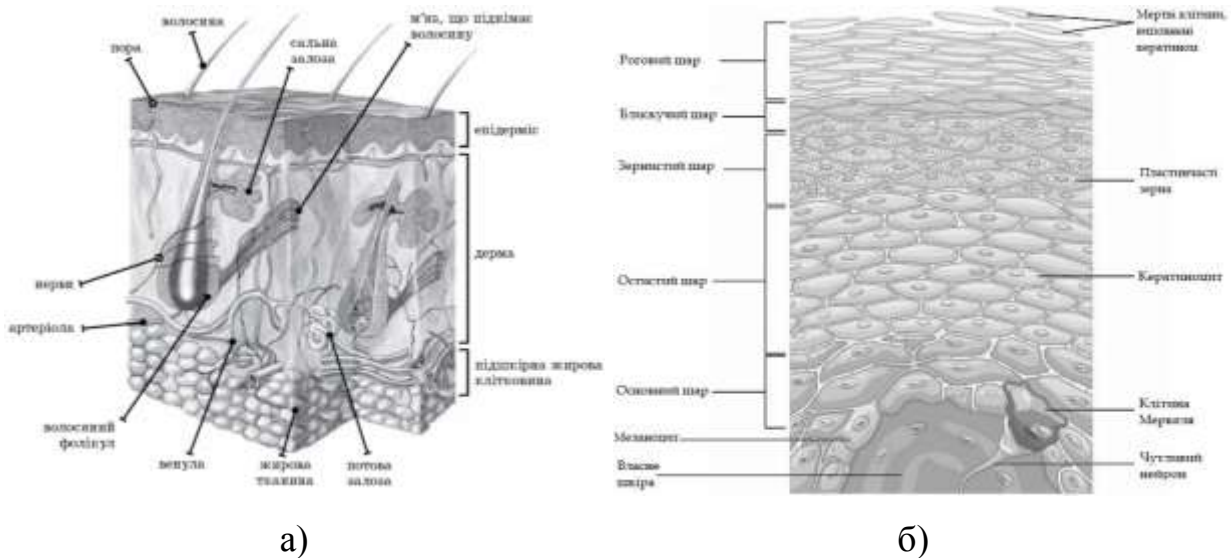


Рис. 5.1 Будова шкіри (а) та епідермісу (б)

Згідно вище сказаного, імпеданс тіла людини можна умовно поділити на три послідовно включені опори: два однакові опори

епідермісу, які в сукупності складають так званий зовнішній імпеданс тіла людини Z , і внутрішній імпеданс тіла R_B (рис.5.2).

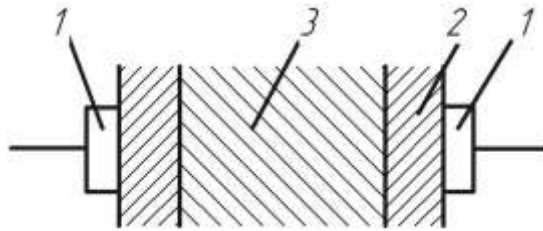


Рис. 5.2 До визначення імпедансу тіла людини: 1 – електроди; 2 – зовнішній шар шкіри – епідерміс (роговий і ростковий шари); 3 – внутрішні тканини тіла (включаючи внутрішній шар шкіри – дерму)

Опір зовнішнього шару шкіри Z складається з активного і ємнісного опорів, включених паралельно. Внутрішній імпеданс тіла вважається суто активним, хоча він також володіє ємнісною складовою. Внутрішній опір R_B практично не залежить від площі електродів, частоти струму, а також від значення прикладеної напруги.

Еквівалентна схема імпедансу тіла людини для розглянутих умов показана на рис. 5.3.

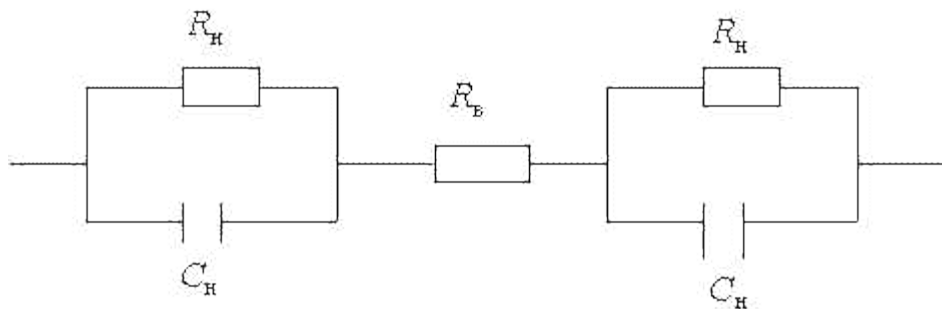


Рис. 5.3 Еквівалентна схема заміщення імпедансу тіла людини

Опір епідермісу Z_n складається з активного R_n і ємнісного C_n опорів, ввімкнених паралельно. Виникнення ємнісного опору обумовлене тим, що в місці контакту електроду та тіла утворюється конденсатор, обкладками якого є електрод і тканини людини (розташовані під

епідермісом та володіють високою провідністю струму), а діелектриком, що розділяє обкладки, виступає епідерміс (рис.5.4).

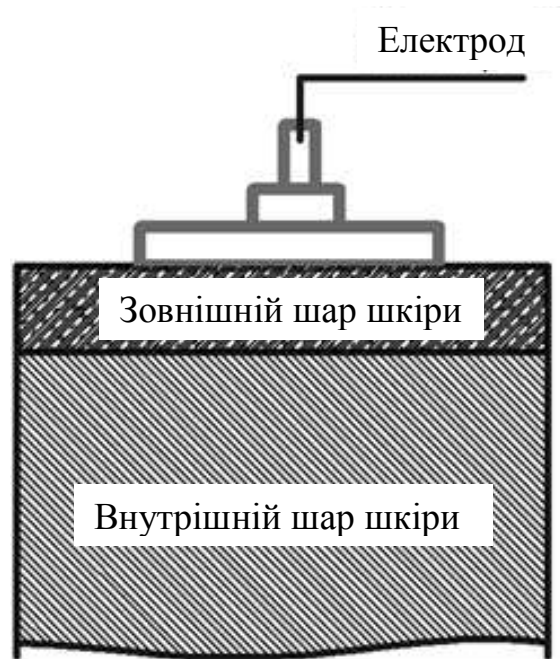


Рис. 5.4 Схема емнісної складової опору шкіри

На підставі цієї схеми вираз для визначення повного імпедансу тіла людини в комплексній формі Z_h , можна записати як:

$$Z_h = 2Z_n + R_b = \frac{2}{1/R_n + j\omega C_n} + R_b, \quad (3.1)$$

де R_b – внутрішній імпеданс тіла людини, R_n – активний опір рогового шару в місці контакту, C_n – емність рогового шару в місці контакту, j – уявна частина.

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}, \quad (3.2)$$

де S – площа електроду, d – товщина епідермісу ε_0 – електрична постійна стала ($8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м), ε – відносна діелектрична проникність рогового шару шкіри (200 – 250).

Активний опір епідермісу залежить від його питомого опору ρ та площі прикладених електродів.

У цілому, значення повного імпедансу тіла людини залежить від ряду факторів: стану шкіри, параметрів електричного кола, місця прикладання електродів до тіла людини, значень струму, прикладеної напруги, частоти струму, площі електродів, тривалості впливу, фізіологічних факторів навколишнього середовища.

5.1.2. Фізіологічні принципи вимірювання опору

Опір – це повне протистояння змінному потоку струму через резистивний і реактивний компоненти на шляху вимірювання. Є три компоненти загального опору: опір (R), індуктивний реактивний опір (X_L) і ємнісний реактивний опір (X_C).

Більшість фізіологічних експериментів вимірювання опору пов'язані з опором в колі змінного струму. Відбувається це тому, що в тілі людини ефект ємнісного реактивного опору домінує над ефектами опору і індуктивного реактивного опору. Мінімальна провідність шкіри становить 1 мА. За своєю природою тканини людини належать до електролітичного типу, але це не простий електроліт. Під час клітинної активації піддаються зміні іони калію та натрію, які концентруються всередині й зовні клітинної мембрани. Крім того, змінний струм не проходить безпосередньо через тканину, що робить вимірювання опору чутливим до частоти вхідного струму. Як результат, при різних частотах спостерігаються різні опори.

Наприклад, коли застосовуються звичайні електроди Ag-AgCl, опір шкіри – це функція частоти, як показано на рис. 5.5. Для вимірювання опору поверхневого шару достатня частота близько 50 Гц, але це занадто близько до частоти мережі живлення змінного струму. Тому на вимірювання можуть впливати перешкоди від мережі електроживлення.

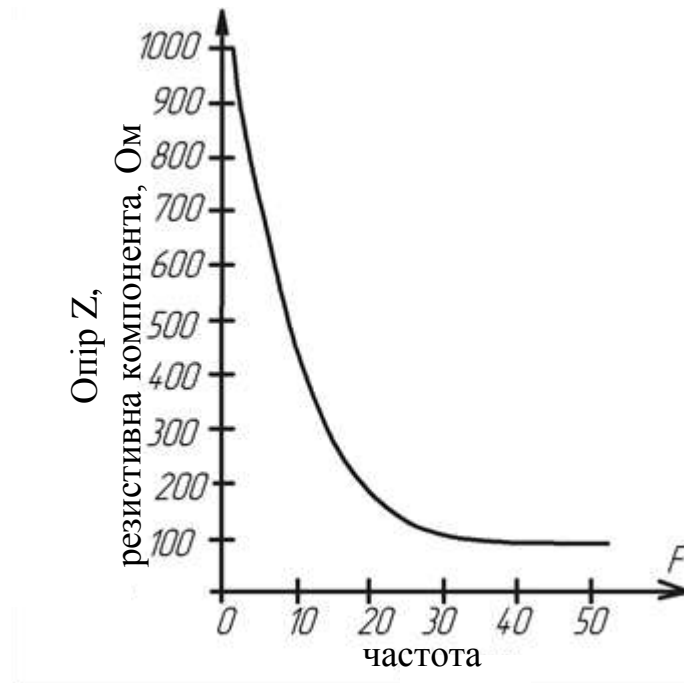


Рис. 5.5 Частота реакції опору

При спостереженні внутрішніх органів застосовують більш високі частоти (>20 Гц) для зниження впливу опору шкіри. Крім того, вибір високих частот обґрунтований тим, що клітини та інші структури реагують на струм зі специфічною характеристикою залежності «сила-тривалість». Ця залежність визначається як тривалість стимуляції, яка в два рази більша за інтенсивністю того стимулу, який був би достатнім, щоб викликати стимуляцію, якби вона могла залишитися на невизначений час. Іншими словами, тривалість стимулу в два рази відрізняється від порогового значення стимулу в стійкому стані. Тривалість оцінюється від 0.2 мс (нервові тканини) до 100 мс (гладкі м'язи). Важливим моментом є те, що

період сигналу змінного струму, який використовується для подачі через тканини при вимірюванні опору, повинен бути меншим, ніж для самих тканин. З відношення $f=1/T$, для нервових тканин мінімальна частота повинна бути 5000 Гц.

5.2. Блок-схема модулю вимірювання імпедансу тіла

Як описано в попередньому розділі, тканини людини схожі на електроліт, і їх головний ефект опору – це ємнісний реактивний опір. Таким чином, для отримання потенційного сигналу, що є пропорційним імпедансу тіла, необхідно подавати через тіло змінний струм. У експерименті проводиться вимірювання опору при проходженні струму через серце. При скороченні або розслабленні серця кількість крові всередині його камер змінюється, що також впливає на зміну імпедансу тіла. Це обумовлює розташування електродів: два електроди для подачі струму кріплять безпосередньо на зап'ясті, а інші два – ближче до ліктів.

Розглянемо блок-схему модулю для вимірювання опору тіла (рис.5.6). Щоб уникнути електро-удару, викликаного витоком з джерела енергії або вимірювального інструменту, до складу схеми входить ізолюючий елемент. Синусоїдальна хвиля частотою 50 кГц перший раз формується за допомогою генератора, побудованого з мостом Віна, і проходить через джерело постійного струму, а потім надсилається до тіла за допомогою поверхневих електродів.

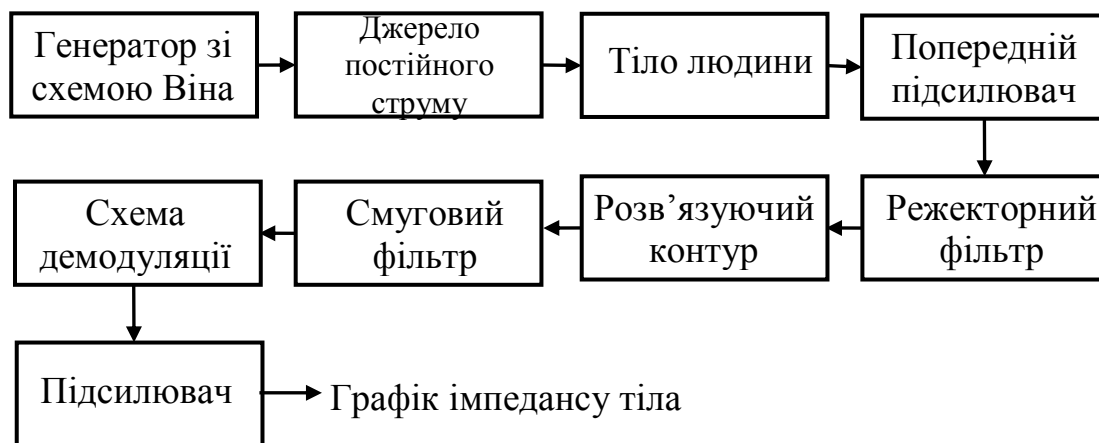


Рис. 5.6 Блок-схема модулю вимірювання імпедансу тіла людини

Інша пара електродів використовується для вимірювання сигналу опору. Для виділення однополярного сигналу з векторних сигналів застосовується попередній підсилювач, що складається з вимірювального підсилювача, та підсилює сигнал до 5. Для відділення сигналу опору при низькій частоті від несучого сигналу з частотою 50 кГц використовується демодулятор, що складається зі схеми двухнапівперіодного випрямляча. Після проходження через смуговий фільтр 0.1 ~ 10 Гц формується сигнал опору, пов'язаний зі зміною хвилинного серцевого викиду. Зрештою, ми можемо спостерігати сигнал, пов'язаний зі зміною опору при 500^x збільшенні.

5.3. Порядок виконання роботи

1. Встановіть модуль опору KL-75009 на головний модуль KL-72001 та виконайте дії, описані в п.п.1.2. , лабораторної роботи 1.
2. На модулі опору KL-75009 встановіть перемички в положення 1 або 2 (відповідно до частоти місцевої мережі електроживлення), 3, 4, 5, 6, 7 (підсилення «250») і 9 (рис.5.7).

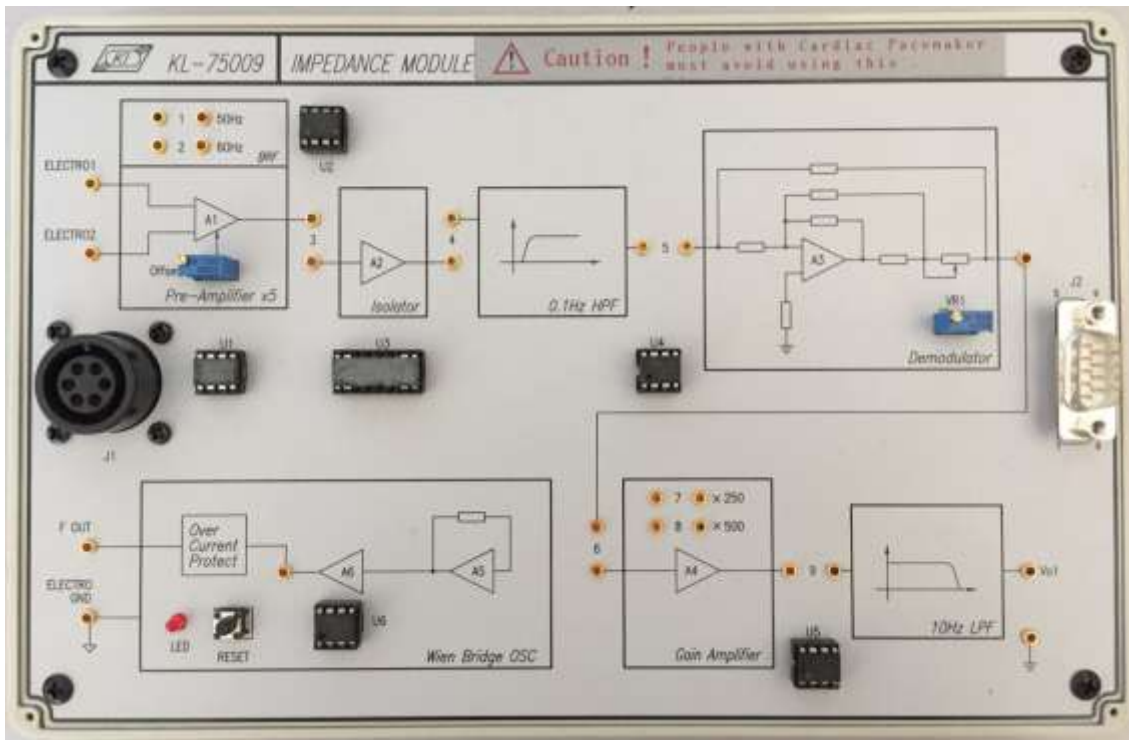


Рис. 5.7 Загальний вигляд модуля визначення опору KL-75009

- Протріть шкіру пацієнта спиртовими тампонами в місцях розміщення електродів (рис.5.8).

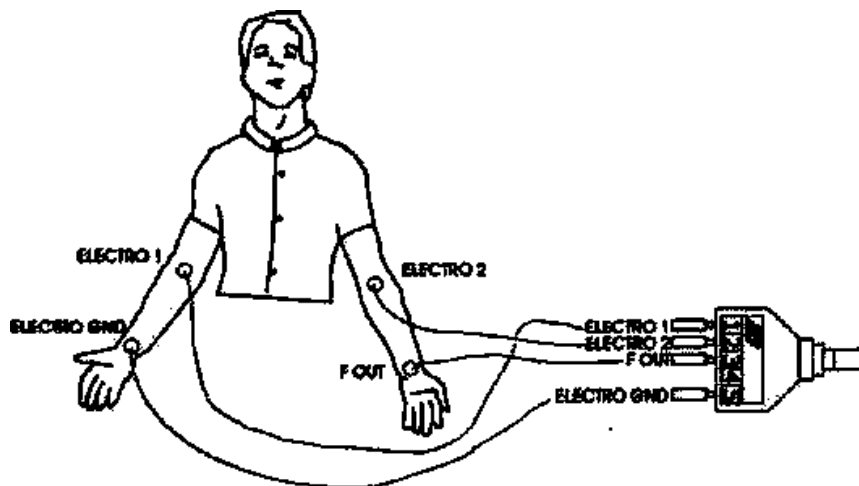


Рис. 5.8 Схема розташування електродів

- Зафіксуйте електроди згідно схеми (рис.5.7).
- Підключіть електроди до вивідного кінця п'яти-провідникового

електродного кабелю KL-79101 (рис.5.7).

5. Натисніть кнопку Acquire та налаштуйте регулятор VOLT/DIV і TIME/DIV, для точного зчитування сигналу.
6. Пацієнт повинен тримати руки вільно і без руху.
7. Якщо у вимірюваному сигналі присутній сильний шум, це може бути викликано високим опором, що виник між шкірою і електродами. Добре знежирте шкіру спиртом перед повторним розміщенням електродів.
8. Загоряння індикатора LED на панелі генератора з мостом Віна означає, що виникло перевантаження і необхідно знизити амплітуду вихідного сигналу, щоб захистити людину від ризику чи дискомфорту. У такій ситуації від'єднайте всі роз'єми і дроти від модуля опору KL-75009. Для відновлення перевірки натисніть кнопку RESET, розташовану поруч з світлодіодним індикатором, а потім перезапустіть головний модуль KL-72001.
9. Запишіть форму сигналу.
10. Вийдіть з «Системи Біомедичних Вимірювань KL-720».
11. Вимкніть живлення і відключіть систему.

5.4. Вимоги до оформлення звіту

1. Побудуйте графіки в програмному продукті «Microsoft Excel» за отриманими результатами (9).
2. Зробіть оцінку графіків.
3. Зробіть висновки по роботі.

5.5. Контрольні питання

1. Що таке імпеданс тіла?
2. Які існують компоненти опору?
3. Як залежить питомий опір від типу тканин?
4. Розкрийте фізіологічний аспект виміру імпедансу тіла.
5. Поясніть блок-схему вимірювання імпедансу тіла.
6. Розкажіть порядок виконання роботи.