

Лабораторна робота №2

Тема. Дослідження дисперсії електричного імпедансу біологічних тканин.

Мета роботи: вивчити особливості електричної провідності біологічних тканин у колі змінного електричного струму; дослідити залежність електричного імпедансу від частоти змінного струму і визначити показник життєздатності K .

Обладнання: генератор змінної напруги з вольтметром ЗГ, мікроамперметр, електрична модель ділянки живої тканини, електроди, з'єднувальні провідники, марлеві прокладки, фізіологічний розчин.

Теоретичні відомості

Кожній клітині, окрім омичного опору, властивий також ємнісний, зумовлений накопиченням іонів протилежного знаку біля клітинних мембран. Полярizaційна ємність сягає значення 10мкФ та більше на квадратний сантиметр поверхні мембрани. Наявність ЕРС поляризації та поляризаційної ємності ускладнює вимірювання електропровідності живих клітин при постійному струмові, а також цей струм, проходячи через цитоплазму, розкладає її. З цієї причини вимірювання електричних параметрів біологічних об'єктів зручніше проводити з використанням змінного струму.

Проходження змінного струму через повне коло описується законом Ома:

$$I = \frac{U}{Z} \quad (2.1)$$

де Z - повний опір кола (імпеданс). Для біологічних об'єктів характерні омичний і ємнісний опори.

Електрична модель об'єкта може бути подана різними комбінаціями ємностей і омичних опорів – різними еквівалентними електричними схемами.

При послідовному з'єднанні активного опору R і ємності C повний опір (імпеданс) дорівнює

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 \cdot C^2}} \quad (2.2)$$

а при паралельному

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + i\omega C, \quad (2.3)$$

де $i = \sqrt{-1}$

Тангенс кута зсуву фаз між струмом і напругою визначається відношенням напруги на ємнісному і активному опорах. Під час послідовного з'єднання сила струму однакова, тому:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_c}{U_R} = \frac{IR_c}{IR} = \frac{R_c}{R} = \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C} \quad (2.4)$$

Дві величини – Z і $\operatorname{tg}\alpha$ -- відіграють головну роль під час дослідження електричних властивостей живих клітин і тканин.

У результаті досліджень встановлено:

- Опір біологічного об'єкта при змінному струмі менший, ніж при постійному.
- Опір (імпеданс) зменшується при збільшенні частоти змінного струму до деякого значення, після чого залишається практично сталим.

Це явище називається **дисперсією** електропровідності імпедансу. Отже **дисперсія імпедансу** - залежність електричного імпедансу від частоти.

Дисперсія імпедансу зумовлена залежністю ємнісного опору від частоти ($R_c = \frac{1}{\omega C}$), а також поляризаційними процесами, які в наслідок інерції іонів послаблюються при високих частотах. Для більшості тканин мінімальний опір буде при частоті змінного струму $\approx 10^6$ Гц, а для нерва – при частоті $\approx 10^9$ Гц.

За певної частоти біологічний опір об'єкта залишається сталим, якщо не змінюється його фізіологічний стан. Під час пошкодження тканини опір її зменшується до певного мінімального значення, яке досягається при її відмиранні. Дисперсія імпедансу спостерігається лише для живих тканин. Після відмирання тканини опір від частоти не залежить.

На **рис.1** наведено криві залежності опору рослинної тканини від частоти струму. Крива 1 стосується здорової тканини, 2 – тканини, яку нагріли у гарячій воді, 3 – стосується тканини, яку кип'ятили тривалий час, тобто не живої тканини.

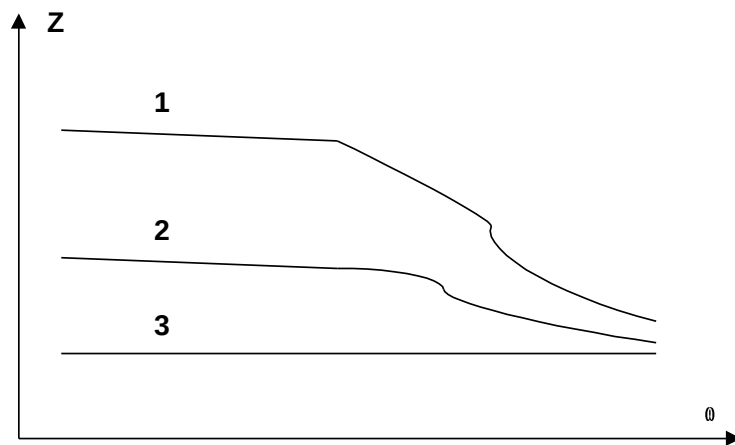


Рис.1 Криві залежності опору Z рослинної тканини від частоти

1. жива тканина;
2. під час нагрівання тканина до 50°C протягом 2 хв;
3. кипіння протягом 20 хв.

Частотні характеристики електричного опору для різних тканин подібні, але значення повного опору (імпедансу) для різних тканин різні. Наприклад, кісткова тканина містить у собі багато кристалів фосфату кальцію, тому має більший імпеданс, ніж м'які тканини.

Наявність ємнісних елементів в біологічних об'єктах підтверджується зсувом фаз між струмом і напругою. Вимірювання $\text{tg}\alpha$ для різних об'єктів показали що при частоті 1 кГц для нерва жаби зсув за фазою – 64° , для м'яза кролика – 55° , для шкіри людини – 55° тощо.

За інших частот зсув буде іншим, хоча він і не дуже залежить від частоти. Але залежність зсуву за фазою від частоти струму характерна лише для живих клітин і тканин і зникає під час її відмирання.

Метод вимірювання імпедансу використовують у медичних дослідженнях, а саме під час вивчення процесів у живих клітинах і тканинах під впливом випромінювання, ультразвуку та інших фізичних факторів, а також у процесі зміни фізіологічного стану. Наприклад, виявлено, що при запальних процесах на перших стадіях хвороби спостерігається збільшення опору тканини. Це пояснюється тим, що під час запалення клітина набрякає, міжклітинні проміжки зменшуються і активний опір збільшується. На наступних стадіях запального процесу змінюються структурний та хімічний склади тканин, що веде до зменшення ємності та опору. Отже, вимірювання електричних параметрів тканин може використовуватись як засіб для діагностики стадій запальних процесів.

Виявлено, що на різних стадіях утворення злоякісних пухлин ємнісний опір тканини змінюється, і цей показник можна використати для ранньої діагностики захворювання. Під час відмирання тканини, а також під дією пошкоджуючих факторів (радіація, ультразвук, температура) збільшується проникність мембран і, як наслідок, збільшуються іонні потоки – послаблюється ефект поляризації на межі їх розподілу. Це зумовлює зменшення опору та ємності об'єкта при низьких частотах, а при високих – поляризація на межі розподілу практично відсутня, тому високочастотний опір майже не змінюється. Таким чином, під час дії пошкоджуючих факторів та під час відмирання тканин дисперсія її електричних параметрів зменшується, а для мертвої тканини взагалі відсутня. Для оцінки життєвості тканин вводять коефіцієнт поляризації (життєздатності):

$$K = \frac{R_{н.ч}}{R_{в.ч}} \quad (2.5)$$

де $R_{н.ч}$ – опір тканини при низькій частоті,

$R_{в.ч}$ -- опір тканини при високій частоті.

Наприклад, для печінки ссавців $K=9-10$, а печінки жаби – $2-3$. K залежить від інтенсивності обміну речовин у тканинах. Під час відмирання тканин коефіцієнт поляризації зменшується, а для мертвої – прямує до одиниці.

Хід роботи.

1. Ознайомтесь зі схемою установки для дослідження дисперсії електричного імпедансу.
2. Ознайомтесь з таблицею вимірювань.
3. Знайдіть залежність між частотою ν електричного струму та опором Z живої тканини та електричної моделі.
4. За прикладом розрахунку для виміру №1, для живої тканини та електричної моделі, проведіть розрахунок для виміру №5.
5. За графіком залежності імпедансу від частоти струму **рис.2** встановіть за яких частот графіки ділянок живої тканини та електричної моделі співпадають, а за яких – не співпадають.
6. Зробіть висновок, як залежить електричний імпеданс від частоти змінного струму і розрахуйте показник життєздатності K .

Схема установки:

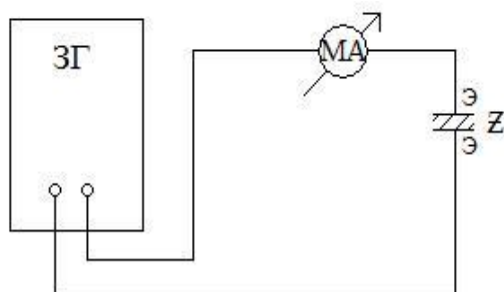


Схема підключення електродів

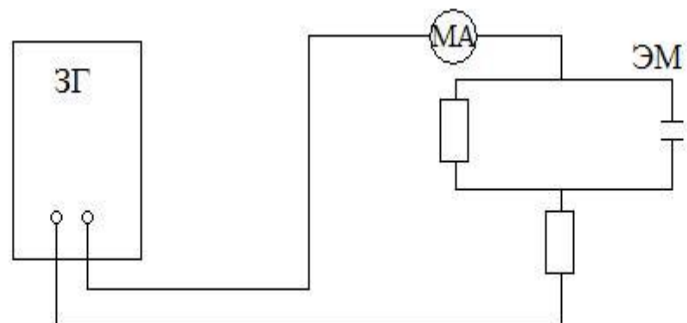


Схема підключення електричної моделі

Таблиця вимірювань:

Границя шкали вольтметра = 30 В
Ціна поділки вольтметра = 1
Границя шкали амперметра = 200 мА
Клас точності амперметра = 2

$U = 30$ В
 $\Delta U = 0,5$ В
 $\Delta I = 2$ мкА

№	ν , Гц	Lg ν	Ділянка живої тканини		електрична модель	
			$I \pm \Delta I$, мкА	$Z \pm \Delta Z$, 10^6 Ом	$I \pm \Delta I$, мкА	$Z \pm \Delta Z$, 10^6 Ом
1	25	1,40	9 ± 2	$3,3 \pm 0,7$	8 ± 2	$3,8 \pm 0,9$
2	50	1,70	10 ± 2	$2,9 \pm 0,6$	10 ± 2	$3,0 \pm 0,6$
3	100	2,00	12 ± 2	$2,4 \pm 0,4$	12 ± 2	$2,5 \pm 0,4$
4	200	2,30	25 ± 2	$1,2 \pm 0,1$	25 ± 2	$1,20 \pm 0,09$
5	300	2,47	35 ± 2	$0,82 \pm 0,05$	35 ± 2	$0,85 \pm 0,05$
6	400	2,60	45 ± 2	$0,64 \pm 0,03$	45 ± 2	$0,66 \pm 0,03$
7	500	2,70	55 ± 2	$0,52 \pm 0,02$	55 ± 2	$0,54 \pm 0,02$
8	600	2,80	65 ± 2	$0,44 \pm 0,01$	65 ± 2	$0,46 \pm 0,01$
9	1200	3,00	120 ± 2	$0,240 \pm 0,005$	120 ± 2	$0,250 \pm 0,005$
10	1500	3,20	145 ± 2	$0,200 \pm 0,004$	150 ± 2	$0,200 \pm 0,004$
11	1800	3,26	180 ± 2	$0,160 \pm 0,003$	180 ± 2	$0,160 \pm 0,003$
12	2000	3,30	200 ± 2	$0,140 \pm 0,002$	200 ± 2	$0,150 \pm 0,002$

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} \cdot Z \quad Z = \frac{U}{I}$$

Приклад розрахунку для виміру №1

- жива тканина**

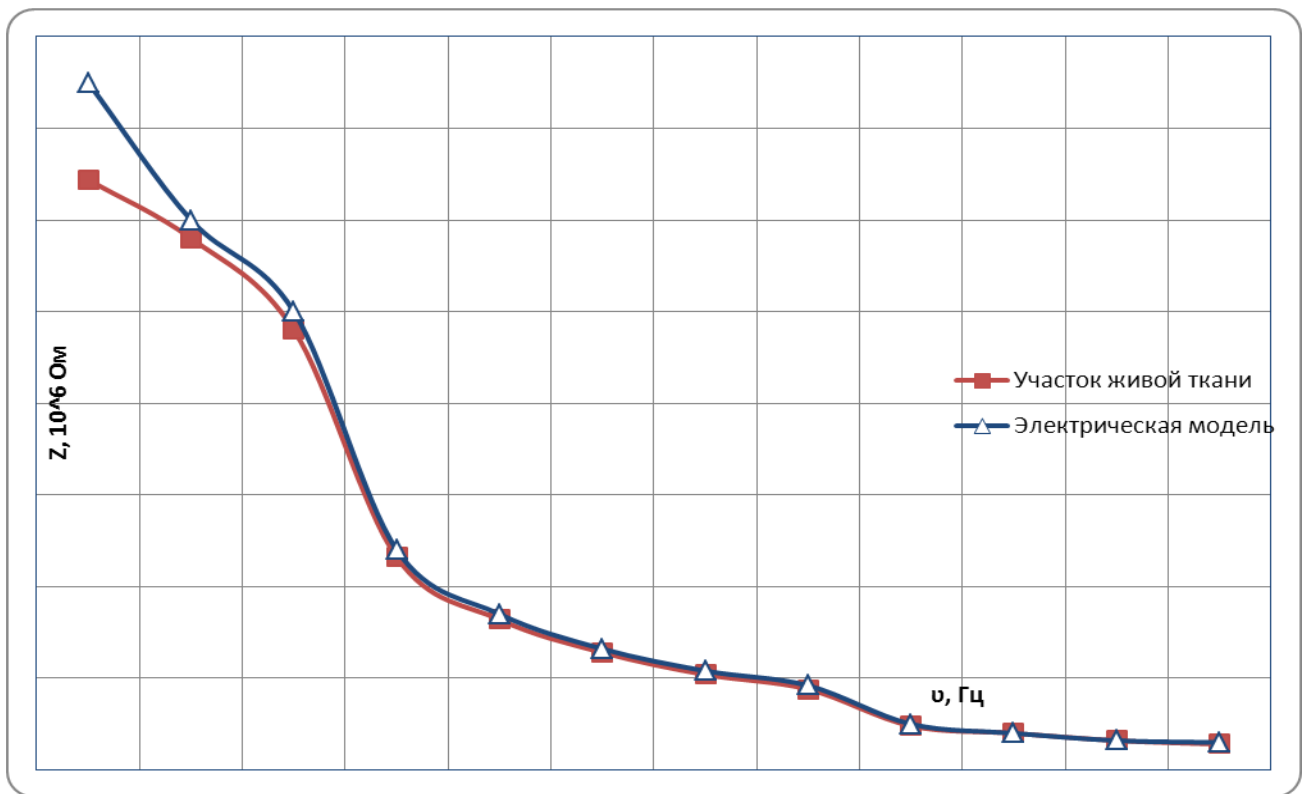
$$Z = \frac{30}{9} \cdot 10^6 = \underline{3,3 \cdot 10^6} \text{ Ом}$$

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{0,5}{30}\right)^2 + \left(\frac{2}{9}\right)^2} \cdot 3,3 \cdot 10^6 = \sqrt{0,0003 + 0,05} \cdot 3,3 \cdot 10^6 = 0,74 \cdot 10^6 \approx \underline{0,7 \cdot 10^6} \text{ Ом}$$

- електрична модель**

$$Z = \frac{30}{8} \cdot 10^6 = 3,75 \cdot 10^6 \approx \underline{3,8 \cdot 10^6} \text{ Ом}$$

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{0,5}{30}\right)^2 + \left(\frac{2}{8}\right)^2} \cdot 3,75 \cdot 10^6 = \sqrt{0,0003 + 0,0625} \cdot 3,75 \cdot 10^6 = 0,93 \cdot 10^6 \approx \underline{0,9 \cdot 10^6} \text{ Ом}$$



Висновок: Напруга у електричній моделі і моделі ділянки живої тканини практично _____, а сила струму співпадає при _____ частотах.

Звуковий генератор



Контрольні запитання.

1. Що таке електричний імпеданс?
2. Який вигляд мають векторні діаграми для повного кола змінного струму з послідовним та паралельним увімкненням R , L , C .
3. Як записується повний опір кола змінного струму. Узагальнений закон Ома для кола змінного струму.
4. Які особливості проходження постійного та змінного струмів крізь біологічні мембрани тканин.
5. Як залежить імпеданс біологічних тканин від частоти змінного струму.
6. Що називають дисперсією імпедансу. Як визначити коефіцієнт дисперсії?