

2. ОСНОВИ РЕОГРАФІЇ. ДИСПЕРСІЯ ІМПЕДАНСУ

2.1. Основні закони та формули

- Формула Кедрова

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta R}{R}$$

- Закон Ома для змінного струму

$$I_m = \frac{U_m}{Z}$$

- Діючі значення сили струму і напруги

$$I_A = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$U_A = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

- Ємнісний опір

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad C = \frac{q}{U}$$

- Індуктивний опір

$$X_L = \omega L$$

- Закони зміни сили струму і напруги при послідовному з'єднанні R, L та C

$$U = U_m \sin(\omega t \pm \varphi)$$

- Повний опір при послідовному з'єднанні R, L та C

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

- Повний опір при паралельному з'єднанні R, L та C

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2}$$

- Формула Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

- Резонанс напруг

$$U_{Cm} = U_{Lm}; \quad \omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- Зсув фаз між напругою і силою струму при послідовному з'єднанні R, L та C

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$$

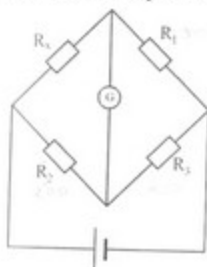
- Коефіцієнт дисперсії

$$K = \frac{Z_{max}}{Z_{min}}$$

2.2. Задачі для самостійного розв'язку

Для кожної з 10 наступних задач запишіть скорочену умову, розв'язок та відповідь.

1. Знайдіть опір ділянки біологічної тканини R_x , яка включена в одне з плечей містка Уїтстона (див. рис.). Струм через гальванометр дорівнює нулю при $R_1 = 300$ Ом, $R_2 = 200$ Ом, $R_3 = 400$ Ом.

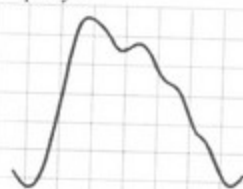


$R_x = ?$ Гальванометр показує нуль при умові:
 $\frac{R_x}{R_1} = \frac{R_2}{R_3}$; Знаходимо опір ділянки біологічної тканини: $R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}$

$$R_x = \frac{300 \cdot 200}{400} = 150 \text{ Ом}$$

Відповідь: 150 Ом

2. Маючи основну реограму (див. рис.), побудуйте диференціальну реограму.



диференціальна реограма
 біологічна тканина
 між електродів

Дано:
 $\delta_1 = 25$
 $d_1 = \frac{d}{3}$
 $V_1 = 4V$

3. Як зміниться ємнісний опір плоского конденсатора, якщо площу пластин конденсатора збільшити у 2 рази, відстань між пластинами зменшити у 2 рази, а частоту змінного струму підвищити у 4 рази?

Ємнісний опір: $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$ (1) \rightarrow зміниться $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$ (2)
 Ємність плоского конденсатора: $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$ (3); Підставимо (3) в (1)

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot 4V \cdot \epsilon \epsilon_0 S \cdot d} \cdot \text{Тоді}$$

$$X_c = \frac{1}{4\pi \epsilon \epsilon_0 S V} = \frac{1}{24} \text{ (кОм)}$$

Відповідь: Ємність конденсатора зменшиться в 24 рази

4. Як зміниться реактивний індуктивний опір котушки, якщо частоту змінного струму збільшити у 2 рази, а кількість витків котушки зменшити в 4 рази?

Індуктивний опір котушки: $X_L = 2\pi f L$ (1); $X_L = 2\pi f L$ (2)
 Індуктивність котушки: $L = \mu_0 n^2 V$; n - кількість витків в одиниці довжини

$n = \frac{N}{l}$; Отже $L = \mu_0 \left(\frac{N}{l}\right)^2 V$ (3); $L = \mu_0 \left(\frac{N}{l}\right)^2 V$ (4)

Враховуючи (1) підставимо (3) і (4) \rightarrow (4)

$$X_L = 2\pi f \mu_0 \left(\frac{N}{l}\right)^2 V$$

$$X_L = \frac{4\pi f \mu_0 N^2 V}{l^2} = \frac{1}{2} \text{ рази}$$

5. У коло змінного струму ввімкнені послідовно активний опір 20 Ом і індуктивний опір 25 Ом і ємнісний опір 23 Ом. Який повний опір кола?

Дано: $R = 20 \text{ Ом}$
 $X_L = 25 \text{ Ом}$
 $X_C = 23 \text{ Ом}$

Повний опір кола:
 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

$$Z = \sqrt{20^2 + (25 - 23)^2} = 20,1 \text{ (Ом)}$$

Відповідь: 20,1 Ом

6. Сила струму в колі змінного струму, що складається з послідовно з'єднаних активного опору, конденсатора і котушки індуктивності змінюється за законом $i = 2 \sin 50\pi t$ (А). За яким законом змінюється напруга в колі, якщо $R = 300 \text{ Ом}$, $X_C = 500 \text{ Ом}$, $X_L = 900 \text{ Ом}$.

Дано: $i = 2 \sin 50\pi t$
 $R = 300 \text{ Ом}$
 $X_C = 500 \text{ Ом}$
 $X_L = 900 \text{ Ом}$
 $u(t) = ?$

Напруга на котушці і конденсаторі з'єднаних послідовно $u = u_L + u_C$
 Напруга на котушці $u_L = I_m \cdot X_L$
 Напруга на конденсаторі $u_C = I_m \cdot X_C$

$$u = I_m \cdot Z$$

$$u = 2 \cdot \sqrt{300^2 + (900 - 500)^2} = 26 \cdot \sqrt{10}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{300^2 + (900 - 500)^2} = 500 \text{ (Ом)}$$

$$u_m = 2 \cdot 500 \text{ Ом} = 1000 \text{ В}$$

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{300}{500} = 0,6$$

По табл. Брадеса $\phi = 40^\circ$, Отже закон змін напруги $u = 1000 \sin(50\pi t + 40^\circ)$

Відповідь: $u = 1000 \sin(50\pi t + 40^\circ)$

7. У мережу змінного струму з напругою 36 В і частотою 1 кГц послідовно ввімкнено резистор 4 Ом, котушку індуктивності 2 мГн і конденсатор ємністю 8 мкФ. Знайти силу струму в колі і напругу на затискачах резистора, котушки і конденсатора, а також різницю фаз між струмом і напругою.

Дано: $V = 36 \text{ В}$, $f = 1 \text{ кГц}$, $R = 4 \text{ Ом}$, $L = 2 \text{ мГн}$, $C = 8 \text{ мкФ}$
 Числа резонансу: $X_C = X_L$

$$V = 500 \text{ Гц} \cdot \frac{1}{2\pi f C} = 2\pi f L$$

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 25 \cdot 10^4 \cdot 0,2^2} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ (Ф)}$$

Відповідь: $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$

8. У коло змінного струму з частотою 500 Гц увімкнули котушку індуктивності 0,2 Гн. Якої ємності конденсатор треба ввімкнути в це коло, щоб мав місце резонанс?

Дано: $V = 500 \text{ Гц}$, $L = 0,2 \text{ Гн}$
 Числа резонансу: $X_C = X_L$

$$\frac{1}{2\pi f C} = 2\pi f L$$

Числова ємність: $C = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 25 \cdot 0,2^2} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$

$$C = \frac{1}{4 \cdot 9,86 \cdot 25 \cdot 10^4 \cdot 0,2^2} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Відповідь: $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$

9. В коло змінного струму частотою 50 Гц ввімкнена котушка довжиною 50 см і площею поперечного перерізу 10 см^2 , що містить 3000 витків. Визначити активний опір котушки, якщо зсув фаз між напругою і силою струму складає 60° .

Дано: $f = 50 \text{ Гц}$, $l = 50 \text{ см}$, $S = 10 \text{ см}^2$, $N = 3000$, $\phi = 60^\circ$
 $R = ?$

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} \text{ (1)}; Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + 4\pi^2 L^2 V^2}$$

$$\cos \phi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + 4\pi^2 L^2 V^2}}; L = \mu_0 n^2 V \cdot n = \frac{\mu_0 N^2 V}{l}$$

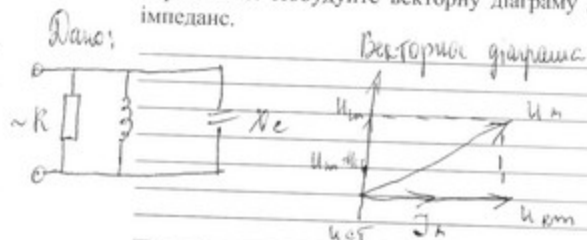
$$V = S \cdot l; L = \frac{\mu_0 N^2}{l^2} \cdot S \cdot l = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$$

$$= 9,14 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{27 \cdot 9,10^6}{0,5} \cdot 0,001 = 5,6, 5 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{R^2}{R^2 + \omega^2 L^2} \cdot \frac{1}{\omega^2 L^2}, \quad R = 1,03 \text{ Ом}$$

Відповідь: 1,03 Ом

10. Активний опір, конденсатор та котушка індуктивності з'єднані паралельно. Побудуйте векторну діаграму для цього випадку. Знайдіть імпеданс.



Відповідь:

Резонанс - метод ресекстрації деформації тіла м'яких тканин. Це метод, за допомогою якого вимірюють параметри (частоту, дозвільні властивості) м'яких тканин, м'язів, кісток, сухожиль, хрящів, шлункової стінки, судин, епітелію, шкіри, волосся, просяксовидні висхідні нерви, опору ресекстрації. Двома частотами, на які ресекструють м'які тканини, є частоти 50-500 Гц. Частоти цього спектру мають з різницею в великому електричному. Це робить зручним використання різниці опорів різноманітних. Це дозволяє визначити імпеданс різноманітних тканин, використовуючи кардинальні частоти.

1. Дана V функція об'ємної сили і її енергетичний опір $\sigma: \Delta V \sim \sigma R$
 2. Знайти ергодичні властивості функції (залежності) м'яких тканин з різницею нервових імпульсів і частотами, на які ресекструють м'які тканини. Відомо, що імпульс $\sigma(t)$ має вигляд $\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t)$ і функція σ має вигляд $\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t)$.

3. Обчислити різницю величин ρ - між функціями $\sigma(t)$ і $\sigma_0 \sin(\omega t)$.
 $\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t) \cdot \sin(\omega t)$

4. Знайти м'які тканини σ_0 - це функція від частоти ω .
 $\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t) / \omega$

Резонанс - це частота, при якій імпеданс м'яких тканин мінімальний.
 $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$
 $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$

2.3. Тестові завдання

Для кожного з наступних 10 тестових завдань знайдіть одну вірну відповідь і позначте її хрестиком в таблиці тестових відповідей (після тесту № 10).

Резонанс це...

- a) метод ресекстрації різниці потенціалів між точками середовища, яке оточує електрично активні тканини;
- b) метод ресекстрації деформації ділянки тіла за змінами його електричних параметрів;
- v) метод визначення швидкості кровотоку;
- г) метод визначення кров'яного тиску;
- д) діагностичний метод в основі якого лежить вимірювання локального розподілу температури тіла людини.

Імпедансом називається...

- a) залежність опору кола від частоти змінного струму;
- b) активний опір кола;
- v) реактивний опір кола;
- г) сумісний опір біологічної тканини;
- д) повний опір кола.

Вкажіть формулу для визначення імпедансу кола змінного струму, що складається з послідовно з'єднаних активного опору, котушки індуктивності і конденсатора

- a) $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$;
- b) $Z = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$;
- v) $Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + (\omega C)^2}}$;
- г) $Z = \frac{1}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega L} - \omega C)^2}}$;
- д) $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$.

4. Вкажіть формулу для визначення імпедансу кола змінного струму, складається з паралельно з'єднаних активного опору, коту індуктивності і конденсатора

a) $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$;

б) $Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$;

в) $Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + (\omega C)^2}}$;

г) $Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2}}$;

д) $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$.

5. Як визначається імпеданс кола, в якому послідовно з'єднані резистор і конденсатор?

a) $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$;

б) $Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$;

в) $Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + (\omega C)^2}}$;

г) $Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2}}$;

д) $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$.

6. Дисперсія імпедансу живої тканини – це залежність повного опору тканини від...

a) часу проходження струму;

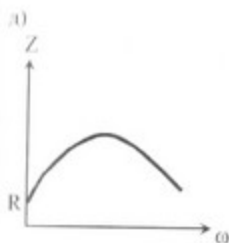
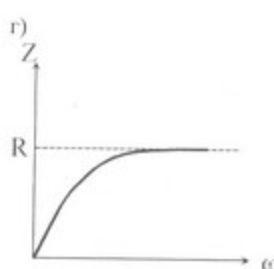
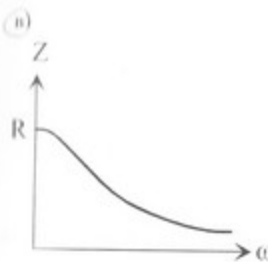
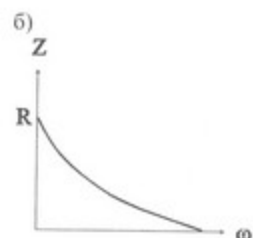
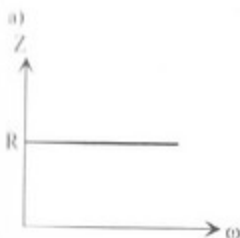
б) величини активної складової імпедансу;

в) величини реактивної складової імпедансу;

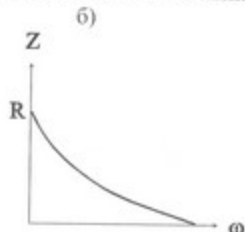
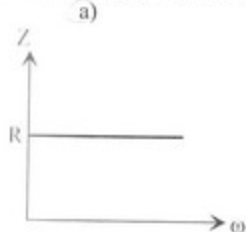
г) частоти змінного струму;

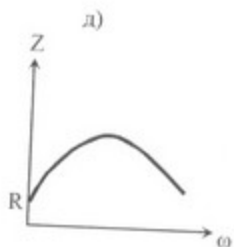
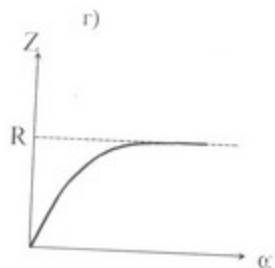
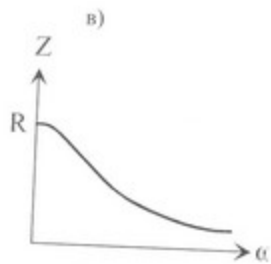
д) амплітуди змінного струму.

Вкажіть графік, що відповідає живій біологічній тканині

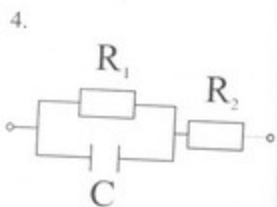
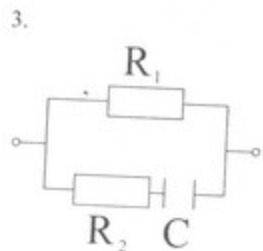
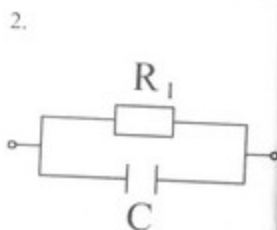
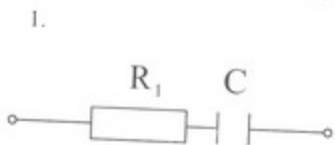


Вкажіть графік, що відповідає мертвій біологічній тканині





9. Які з наведених схем є еквівалентними схемами біологічних тканин



а) 1, 2; б) 1, 3; в) 3, 4; г) 2, 3; д) 2, 4.

10. Коefіцієнт дисперсії це...

- а) відношення імпедансу при високій частоті до імпедансу при низькій частоті;
- б) відношення реактивного опору до активного;
- в) відношення імпедансу при нульовій частоті до імпедансу при високій частоті;
- г) відношення імпедансу при низькій частоті до імпедансу при високій частоті;
- д) відношення активного опору до реактивного.

Таблиця відповідей на тестові завдання

№ тесту	а	б	в	г	д
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Відповіді на тестові завдання:
 1. а) 1, 2; б) 1, 3; в) 3, 4; г) 2, 3; д) 2, 4.
 2. Коefіцієнт дисперсії це відношення імпедансу при низькій частоті до імпедансу при високій частоті.
 3. Коefіцієнт дисперсії це відношення реактивного опору до активного.
 4. Коefіцієнт дисперсії це відношення імпедансу при нульовій частоті до імпедансу при високій частоті.
 5. Коefіцієнт дисперсії це відношення імпедансу при низькій частоті до імпедансу при високій частоті.
 6. Коefіцієнт дисперсії це відношення активного опору до реактивного.
 7. Коefіцієнт дисперсії це відношення імпедансу при нульовій частоті до імпедансу при високій частоті.
 8. Коefіцієнт дисперсії це відношення імпедансу при низькій частоті до імпедансу при високій частоті.
 9. Коefіцієнт дисперсії це відношення імпедансу при нульовій частоті до імпедансу при високій частоті.
 10. Коefіцієнт дисперсії це відношення імпедансу при низькій частоті до імпедансу при високій частоті.

2.4. Установіть відповідності і заповніть таблиці логічних пар.

1.

Характеристика	Формула
1) об'ємна швидкість	а) $\dots = kP \frac{\Delta R}{R}$
2) співвідношення Кедрова	б) $\dots = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$
3) рівняння для об'ємної деформації	в) $\dots = \frac{\Delta P(t)}{\chi(r, \eta)}$
4) ударний об'єм серця	г) $\dots = \chi \frac{\Delta V}{V}$
	д) $\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta R}{R}$

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

2. Зі збільшенням частоти змінного струму...опір...

1) ємнісний	а) не залежить від частоти
2) індуктивний	б) лінійно зростає
3) активний	в) експоненційно зростає
	г) спадає за гіперболічним законом

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

3.

Величина	Одиниці вимірювання
1) C Ф	а) Гц
2) X_C Ом	б) В
3) L Гн	в) А
4) I А	г) Ом
5) U В	д) Гн
	е) Ф

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>
5)	<input type="checkbox"/>

4. В колі змінного струму, що складається з... сила струму і напруга змінюються...

1) тільки активного опору	а)
2) тільки з конденсатора	б)
3) тільки з котушки індуктивності	в)
	г)

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

5. В колі, що складається з... сила струму...

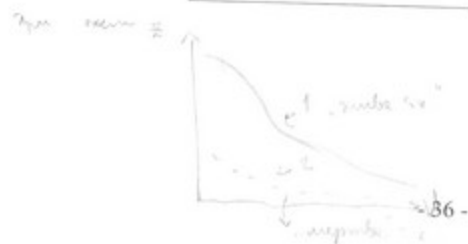
1) активного опору	а) відстає від напруги по фазі на $\varphi = \arctg \frac{X_L}{R}$
2) активного опору і котушки індуктивності з'єднаних послідовно	б) відстає або випереджає напругу по фазі на $\varphi = \arctg \frac{ X_L - X_C }{R}$
3) активного опору і конденсатора, з'єднаних послідовно	в) відстає від напруги по фазі на $\varphi = \arctg \frac{X_C}{R}$
4) активного опору, котушки індуктивності і конденсатора, з'єднані послідовно	г) випереджає напругу по фазі на $\varphi = \arctg \frac{X_C}{R}$
	д) співпадає по фазі з напругою

1) <input type="checkbox"/>
2) <input type="checkbox"/>
3) <input type="checkbox"/>
4) <input type="checkbox"/>

6. В колі, що складається з... сила струму...

1) конденсатора	а) відстає від напруги по фазі на $\varphi = \arctg \frac{X_L}{R}$
2) котушки індуктивності	б) випереджає напругу по фазі на $\frac{\pi}{2}$
3) активного опору і котушки індуктивності з'єднаних паралельно	в) відстає або випереджає напругу по фазі на $\varphi = \arctg \frac{ X_L - X_C }{R}$
4) активного опору і конденсатора з'єднаних паралельно	г) відстає від напруги по фазі на $\varphi = \arctg \frac{X_C}{R}$
5) активного опору, котушки індуктивності і конденсатора з'єднаних паралельно	д) випереджає напругу по фазі на $\varphi = \arctg \frac{X_L}{R}$
	е) відстає від напруги по фазі на $\frac{\pi}{2}$

1) <input type="checkbox"/>
2) <input type="checkbox"/>
3) <input type="checkbox"/>
4) <input type="checkbox"/>
5) <input type="checkbox"/>

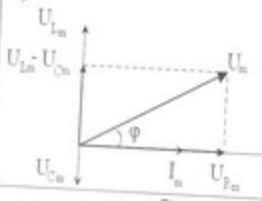
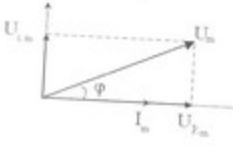
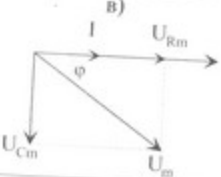
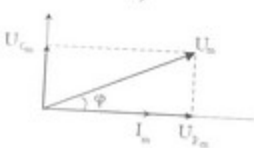
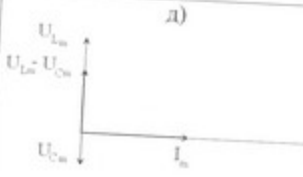


Опір	Векторна діаграма
1) тільки активний опір	а)
2) тільки котушка індуктивності	б)
3) тільки конденсатор	в)
	г)

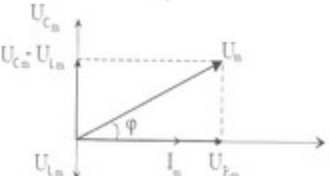
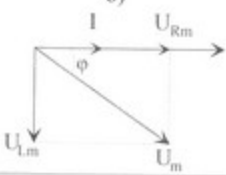
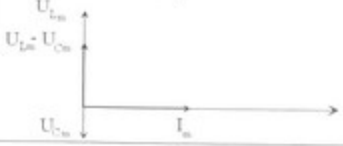
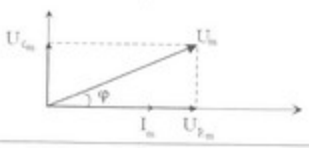

1) <input type="checkbox"/>
2) <input type="checkbox"/>
3) <input type="checkbox"/>

Векторна діаграма для кола з активним опором, котушкою індуктивності та конденсатором. Вектор напруги U_m є гіпотенузом трикутника, утвореного векторами U_{Lm} та U_{Cm} . Кут φ між U_m та I_m визначає фазовий зсув. Для кола з активним опором та конденсатором вектор U_m відстає від I_m на кут φ .

2. $Z = \frac{U}{I} = \frac{U}{I} = R + j(X_L - X_C)$

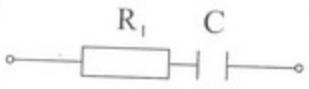
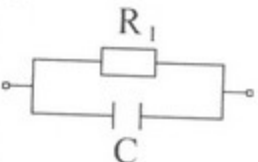
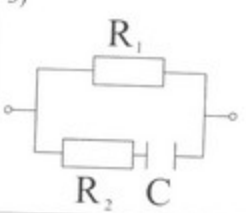
З'єднання опорів	Векторна діаграма
1) активний опір і котушка індуктивності з'єднані послідовно	а) 
2) активний опір і конденсатор з'єднані послідовно	б) 
3) котушка індуктивності і конденсатор з'єднані послідовно	в) 
4) активний опір, котушка індуктивності і конденсатор з'єднані послідовно	г) 
	д) 

1)	
2)	
3)	
4)	

З'єднання опорів	Векторна діаграма
1) активний опір і котушка індуктивності з'єднані паралельно	а) 
2) активний опір і конденсатор з'єднані паралельно	б) 
3) котушка індуктивності і конденсатор з'єднані паралельно	в) 
4) активний опір, котушка індуктивності і конденсатор з'єднані паралельно	г) 
	д) 

1)	
2)	
3)	
4)	

10.

Схема	Імпеданс
1) 	а) якщо $\omega \rightarrow 0$, то $z = R_1$ якщо $\omega \rightarrow \infty$, то $z = 0$
2) 	б) якщо $\omega = 0$, то $z = R_1$ якщо $\omega \rightarrow \infty$, то $z = \frac{R_1}{R_1 + 1}$
3) 	в) якщо $\omega \rightarrow 0$, то $z = \frac{R_1}{R_1 + 1}$ якщо $\omega \rightarrow \infty$, то $z = R_1$
	г) якщо $\omega = 0$, то $z \rightarrow \infty$ якщо $\omega \rightarrow \infty$, то $z \rightarrow 0$
	д) якщо $\omega \rightarrow 0$, то $z = 0$ якщо $\omega \rightarrow \infty$, то $z = R_1$

1)

2)

3)

3. ВЗАЄМОДІЯ ЗОВНІШНІХ ПОЛІВ З БІОЛОГІЧНИМИ ТКАНИНАМИ. ЕЛЕКТРОННА МЕДИЧНА АПАРАТУРА

3.1. Основні закони та формули

Напруженість електричного поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Вектор електричної індукції

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$$

Потенціал

$$\varphi = \frac{W}{q}$$

Сила струму

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Густина струму

$$\vec{j} = \frac{1}{S} \cdot \frac{dI}{dt}$$

Опір провідників

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Закон Ома в диференціальній формі

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

Густина струму в електролітах

$$\vec{j} = anq_0(\vec{v}_+ + \vec{v}_-) = anq_0(b_+ + b_-)\vec{E}$$

Рухливість іонів

$$b = \frac{v}{E}$$

Вектор діелектричної поляризації

$$\vec{p} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n \vec{p}_i; \quad \vec{p} = \epsilon_0 \alpha \vec{E}$$

Індукція магнітного поля

$$B = \frac{M_m}{IS}; \quad B = \frac{F_{m\Delta}}{Il}; \quad B = \frac{F_{m\Delta}}{qv}$$

Напруженість магнітного поля

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0}$$

Магнітний потік

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

Закон Біо-Савара-Лапласа

$$dH = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I \sin \alpha}{r^2} dl$$

Густина індукційного струму

$$\vec{j}_{ин} = \frac{B_m \omega}{R} \sin \omega t$$

- Вектор намагніченості

$$\vec{j} = \chi \vec{H}$$

- Густина струму зміщення

$$j_{zm} = \epsilon \epsilon_0 \frac{dE}{dt}$$

- Тепловий ефект струмів провідності

$$q = j_{np}^2 \rho$$

- Тепловий ефект індукційних струмів

$$q = k(\omega) \frac{B_m^2 \omega^2}{\rho}$$

- Тепловий ефект струмів зміщення

$$q = k(\omega) \epsilon \epsilon_0 E_m^2 \omega$$

- Для однорідного діелектрика

$$q = k(\omega) \epsilon \epsilon_0 E_m^2 \omega t g \delta$$

електр. струми
 - провідності
 - індукційні
 - зміщення
 - для однорідного діелектрика

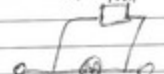
$\vec{j} = \chi \vec{H}$
 $j_{zm} = \epsilon \epsilon_0 \frac{dE}{dt}$
 $q = j_{np}^2 \rho$
 $q = k(\omega) \frac{B_m^2 \omega^2}{\rho}$
 $q = k(\omega) \epsilon \epsilon_0 E_m^2 \omega$
 $q = k(\omega) \epsilon \epsilon_0 E_m^2 \omega t g \delta$

3.2. Задачі для самостійного розв'язку

Для кожної з 10 наступних задач запишіть скорочену умову, розв'язок та відповідь.

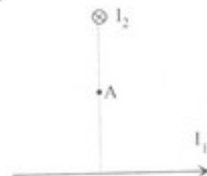
1. Для розширення шкали міліамперметра в апараті для гальванізації використують шунт. Міліамперметр розрахований на вимірювання струму 10 мА і має внутрішній опір 3 Ом. Який опір шунта, якщо максимальна сила струму, яку може виміряти прилад зростає в 10 разів.

$R_{ш} = ?$	Шунт вимірюється паралельно амперметру
$I_m = 10 \text{ мА}$	Сила струму на шунті й амперметрі однакова
$I = 100 \text{ мА}$	$I_m = I_m$, або $I_m R_m = I R_{ш}$
$R_m = 3 \text{ Ом}$	Звідси $R_{ш} = \frac{I_m R_m}{I - I_m} = \frac{10 \text{ мА} \cdot 3 \text{ Ом}}{100 \text{ мА} - 10 \text{ мА}} = 0,3 \text{ (Ом)}$



Відповідь: 0,3 Ом

2. Два нескінченно довгих дроти схрещені під прямим кутом (див. рис.). В дротах течуть струми $I_1 = 80 \text{ А}$, $I_2 = 60 \text{ А}$. Відстань між дротами дорівнює 10 см. Визначити магнітну індукцію в точці А, однаково віддаленій від обох дротів.



$$I_1 = 80 \text{ А} \quad B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi d} \quad B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2 \pi d_1} \quad B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2 \pi d_2}$$

$$I_2 = 60 \text{ А} \quad \vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad \text{так } B_1 \perp B_2, \text{ то } B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} =$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \sqrt{\left(\frac{I_1}{d}\right)^2 + \left(\frac{I_2}{d}\right)^2} = \frac{4 \cdot 10^{-7} \cdot 10}{4} \sqrt{80^2 + 60^2} =$$

$$= 4 \cdot 10^{-7} \text{ Тл} = 4 \text{ мкТл}$$

Відповідь: 4 мкТл