

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА ТЕ6

### Електричні кола змінного струму з послідовним з'єднанням елементів

#### 6.1. Мета роботи

Вивчення особливостей розрахунку електричних кіл з послідовним з'єднанням елементів. Результатом засвоєння роботи повинно бути вміння будувати часові і векторні діаграми струму і напруги в електричному колі з послідовним з'єднанням пасивних і активних елементів, Необхідно також урозуміти й вміти використовувати явище резонансу напруги.

#### 6.2. Основні теоретичні положення

При послідовному з'єднанні опора, конденсатора та індуктивності миттєве значення та комплексна напруга в колі дорівнює

$$\begin{aligned} u &= u_R + u_L + u_C. \\ \dot{U} &= \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C \end{aligned} \quad (1)$$

Враховуючи, що через кожен з елементів протікає один і той же струм, можемо записати:

$$\dot{U}_R = \dot{I}R; \quad \dot{U}_L = j\omega L I; \quad \dot{U}_C = -\dot{I}/j\omega C,$$

або

$$\dot{U}_R = R\dot{I}; \quad \dot{U}_L = jX_L \dot{I}; \quad \dot{U}_C = -jX_C \dot{I}$$

Це дає можливість рівняння (1) записати у вигляді:

$$\dot{U} = \dot{I} (R + jX_L - jX_C) = \dot{I} \dot{Z},$$

де величина

$$\dot{Z} = R + j(X_L - X_C)$$

називається еквівалентним комплексним опором кола, і визначається як сума комплексних опорів, що складають коло. Повний опір кола має такий вигляд:

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

Уявна складова  $X_L - X_C = X$  називається реактивним опором, який в залежності від величини  $X_L$  і  $X_C$  може носити індуктивний ( $X_L > X_C$ ) ємкісний ( $X_C > X_L$ ) характер, або мати нульове значення ( $X_L = X_C$ ). При умові  $X_L = X_C$  має місце явище резонансу напруг. В цьому випадку вираз можна записати в такому вигляді:

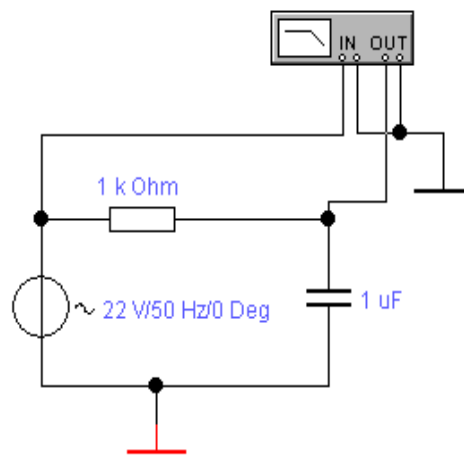
$$X_L - X_C = \omega L - 1/\omega C = 0 \quad \text{або} \quad \omega L = 1/\omega C, \text{ а звідси} - \omega_0 = 1/\sqrt{LC}.$$

Кутова частота  $\omega_0$  називається резонансною кутовою частотою. Кут зсуву фаз між напругою та силою струму при резонансі дорівнює нулеві, оскільки  $\cos\varphi = 1$ .

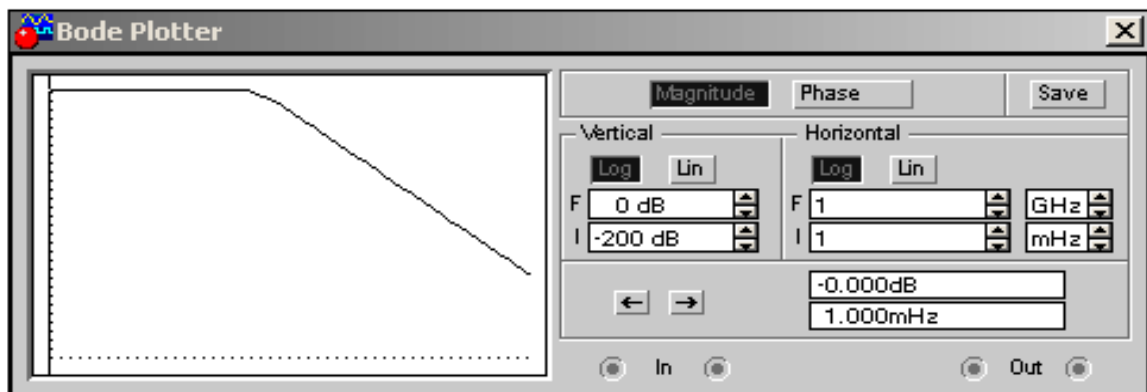
Напруги на затискачах конденсатора  $U_C$  та котушки індуктивності  $U_L$  можуть значно перевищувати напругу, прикладену до кола. Напруги  $U_C$  та  $U_L$  однакові і зсунуті за фазою на половину періоду, тобто в будь-який момент часу вони однакові та протилежні за знаком. Отже, в будь-який момент часу миттєві потужності в реактивних ділянках однакові та протилежні за знаком, тобто збільшення енергії магнітного поля в котушці індуктивності відбувається внаслідок зменшення електричної енергії, що є в конденсаторі, а генератор витрачає енергію на активний опір.

### 6.3. Використання віртуальної лабораторії EWB для виконання роботи

Для виконання лабораторної роботи використовується спеціальний віртуальний прилад, який називається **Bode plotter** (графобудівник) і використовується для отримання амплітудно-частотних (АЧХ) та фазочастотних (ФЧХ) характеристик схем. Він вимірює відношення амплітуд сигналів у двох точках схеми і фазовий зсув між ними. Прилад генерує власний спектр частот, діапазон яких можна задавати під час настроювання приладу. Частота змінного джерела в схемі, що досліджується, ігнорується, однак схема має містити функціональний генератор або джерело змінного струму. Bode plotter вибирається в меню **Instruments**, а робочий розмір, а також схема включення для проведення аналізу, приводиться на рис. 6.1а,б.



а)



б)

Рис. 6.1.

Збільшена інструментальна панель плотера приведена на рис.6.2.

Кнопки мають наступні призначення:

**Magnitude** – вимірювання АЧХ (натиснута за замовчуванням).

**Phase** – вимірювання фазового зрушення між вхідним і вихідним сигналами чотирьохполосника (ФЧХ).

**Vertical** – установка масштабу й типу вертикальної осі частотної характеристики. Можна встановлювати логарифмічний масштаб кнопкою **Log**, або лінійний – кнопкою **Lin**.

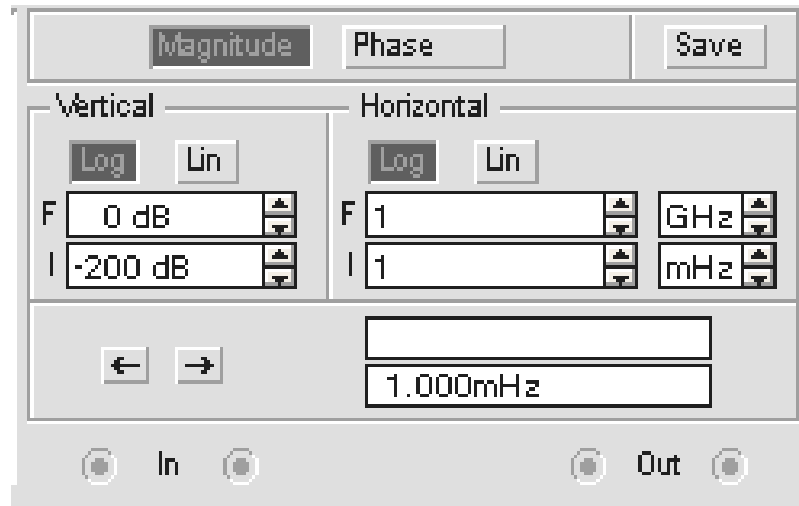
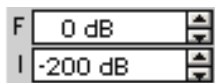


Рис. 6.2.



– вікно встановлення початкового значення осі ординат **I (initial)** і кінцевого – **F (final)**, дає можливість встановити весь діапазон зміни параметрів по осі ординат. Якщо перед початком проведення дослідів цей діапазон невідомий, його можна змінювати під час проведення досліджень, встановлюючи початкові й кінцеві значення так, щоб забезпечити максимальну інформативність зображення.

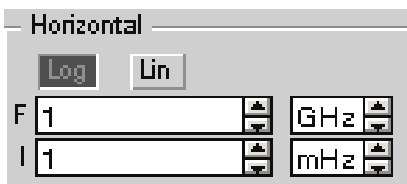
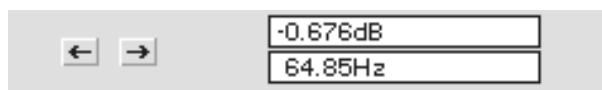
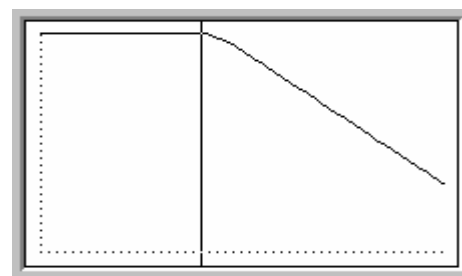


Рис. 6.3.

Опції, які задаються у вікні **Horizontal** (Рис. 6.3) дають можливість вибору масштабу і



а)



б)

Рис. 6.4.

типу горизонтальної осі, тобто, частотної осі. Їх призначення повністю співпадає з відповідними установками вертикальної осі.

Вікно, приведенне на рис.6.4а, призначене для точного визначення амплітуд і частот ЛАЧХ, або АФЧХ, таких як частоти зрізу (злому), резонансних частот, та інше. При натисненні на горизонтальні стрілки по вікну зображення відповідної частотної характеристики буде переміщуватись вертикальна вісь, як зображено на рис.6.4б, а її точки пересічення з відповідною частотною характеристикою будуть зображатись у вікні, що розміщене справа.

#### 6.4. Порядок виконання роботи

6.4.1. Зібрати електричне коло з послідовно з'єднаних джерел змінної напруги, індуктивності й активного опору з параметрами, що задаються відповідно до варіанта. Заміряти напруги і струм, що показують електронні прилади, а також зняти осцилограми напруги за допомогою осцилографа.

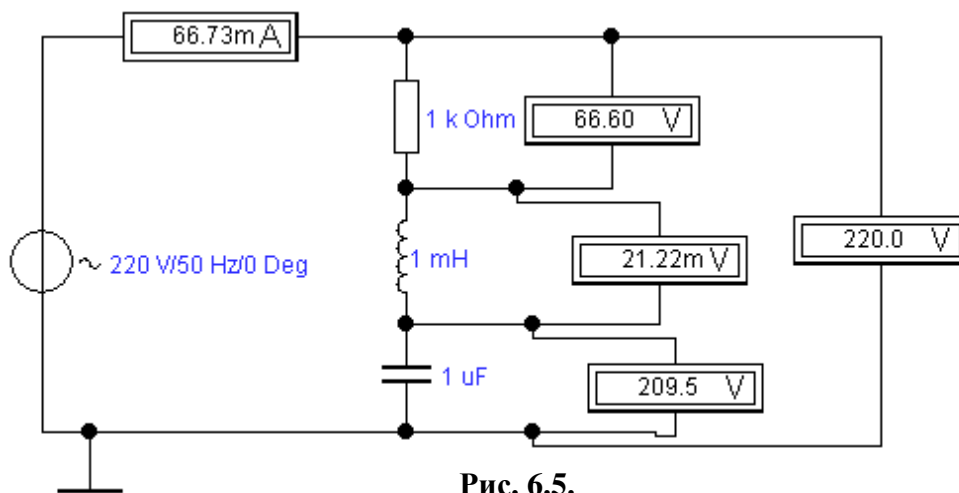


Рис. 6.5.

6.4.2. Повторити попередній дослід, але індуктивність замінити конденсатором і провести аналогічні вимірювання.

6.4.3. Провести дослід з послідовним з'єднанням конденсатора, індуктивності й активного опору з джерелом напруги (Рис.6.5.). Заміряти і записати напруги й струм на елементах схеми, а також зняти осцилограми. Змінюючи

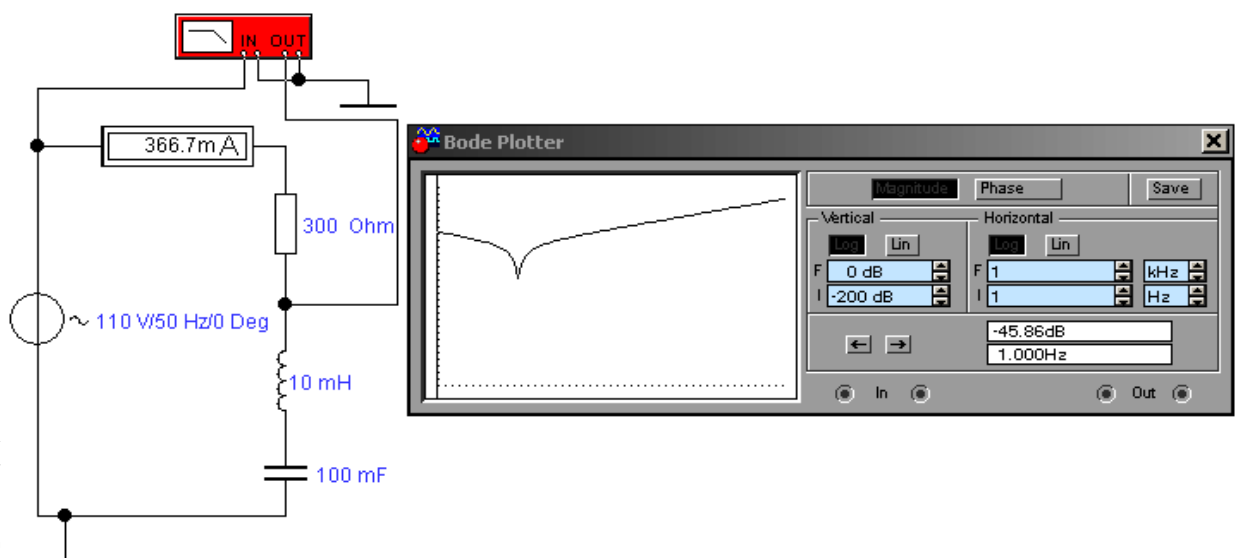


Рис. 6.6.

6.4.4. Провести дослід по встановленню залежності напруги на реактивних елементах у режимі резонансу від величини активного опору в послідовному електричному колі. Методологію проведення дослідів розробити самостійно і обґрунтувати у звіті.

6.4.5. Повторити дослід п.6.4.4. при тій же резонансній частоті, але збільшивши величину індуктивності дроселя в 10 раз.

6.4.6. Повторити дослід п.6.4.3., замінивши в схемі джерело напруги джерелом струму.

### 6.5. Вимоги до звіту

6.5.1. Виконати розрахунки напруги і струму в електричному колі для кожного з проведених дослідів.

6.5.2. Побудувати векторні і часові діаграми і порівняти результати експериментальних даних із розрахунковими.

6.5.3. Обчислити резонансну частоту і порівняти її з отриманою експериментально.

6.5.4. Привести схему, в якій використовується Vode-plotter. Показати, який вигляд має графік на Vode-plotter при резонансі напруг.

### 6.6. Питання до атестації

6.6.1. Пояснити векторні (часові) діаграми розподілу напруги й струму при послідовному з'єднанні активного опору з індуктивністю (конденсатором) при живленні електричного кола від джерела напруги (струму).

6.6.2. Пояснити, в чому полягає фізична сутність резонансу напруги в електричному колі. Якими шляхами можна досягти резонансу напруги в електричному колі.

6.6.3. Пояснити, від чого залежать величини напруги на реактивних елементах електричного кола при резонансі напруги.

6.6.4. Пояснити, чим визначається добротність реактивного елемента й добротність електричного кола.

6.6.5. Привести приклади позитивних і негативних сторін резонансу напруги.

### 6.7. Задачі

6.7.1. Для електричного кола на рис.6.7 задано:  $i=10\sin(314t-45^\circ)\text{A}$ ,  $R=4\text{ Ом}$ ,  $X_L=8\text{ Ом}$ ,  $X_C=5\text{ Ом}$ . Визначити миттєве значення прикладеної напруги.

6.7.2. Для електричного кола на рис.6.7 задані наступні параметри:  $R=3\text{ Ом}$ ,  $X_L=6\text{ Ом}$ ,  $X_C=10\text{ Ом}$ . Визначити  $\cos\varphi$ .

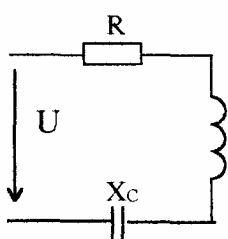


Рис. 6.7.

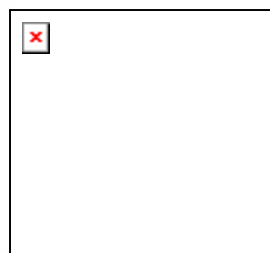


Рис. 6.8.

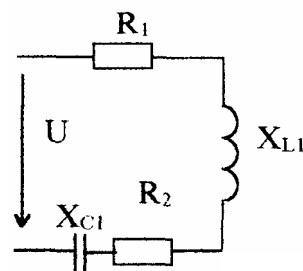
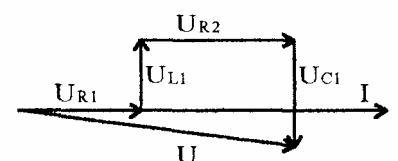


Рис. 6.9.



6.7.3. У колі на рис.6.7 має місце резонанс напруг. При якій умові напруги на реактивних елементах будуть більше від прикладеної напруги  $U$ ? (1. $R > X_C$ . 2. $R < X_C$ . 3. $R = X_L$ . 4. $R = X_L + X_C$ .)

6.7.4. Знайти миттєве значення струму для кола на рис.6.8, якщо  $u = U_m \sin \omega t$ , діюче значення струму – 10А, активна потужність – 1кВт, а реактивна потужність – 1,73кВт.

6.7.5. Для заданої схеми і відповідної їй векторної діаграми, побудованої в масштабі, вказати опір, величина якого найменша (Рис.6.9).

( $R_1, R_2, X_{L1}, X_{C1}$ , вказати неможливо)

6.7.6. Для схеми і відповідної їй векторної діаграми, побудованої в масштабі (Рис.6.9), вказати опір, величина якого найбільша. ( $R_1, R_2, X_{L1}, X_{C1}$ , інше).

6.7.7. У колі (Рис.6.10) обчислити струм.  $U = 200\text{В}$ ,  $Z_1 = 10\ \Omega$ ,  $\varphi_1 = 60^\circ$ ,  $Z_2 = 10\ \Omega$ ,  $\varphi_2 = -60^\circ$ ,  $R_3 = 10\ \Omega$ ,  $X_C = 10\ \Omega$ ,  $X_L = 10\ \Omega$ .

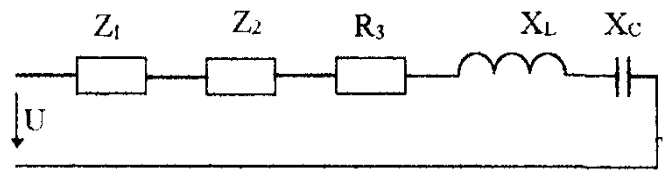


Рис. 6.10.

6.7.8. У колі, що на рис.6.10, обчислити  $U$ , якщо  $I = 10\text{А}$ ,  $Z_1 = 10\ \Omega$ ,

$\varphi_1 = 60^\circ$ ,  $Z_2 = 10\ \Omega$ ,  $\varphi_2 = -60^\circ$ ,  $R_3 = 10\ \Omega$ ,  $X_C = 10\ \Omega$ ,  $X_L = 10\ \Omega$ .

6.7.9. Знайти активний опір кола, що на рис.6.11, якщо  $i = 22\sqrt{2} \sin(\omega t - 30^\circ)$ ,  $u = 220\sqrt{2} \sin \omega t$ .

6.7.10. У колі на рис.6.12, напруга  $U = 50\text{В}$ ,  $U_C = 20\text{В}$ ,  $U_R = 30\text{В}$ . Визначте напругу  $U_L$ .

6.7.11. Визначте струм кола, що на рис.6.13, якщо  $U = 12\text{В}$ ,  $R = 3\ \Omega$ ,  $X_C = 4\ \Omega$ .

6.7.12. Визначте величину опора  $X_C$  (Рис.6.13), якщо  $U = 200\text{В}$ ,  $I = 4\text{А}$ , а активна потужність – 640Вт.

6.7.13. Визначте напругу  $U$  в схемі на рис.6.13, якщо напруга на конденсаторі дорівнює 24В,  $R = 16\ \Omega$ ,  $X_C = 12\ \Omega$ .

6.7.14. Визначте напругу  $U$ , якщо  $U_1 = 24\text{В}$ ,  $R = 16\ \Omega$ ,  $X_C = 12\ \Omega$  (Рис.6.14).

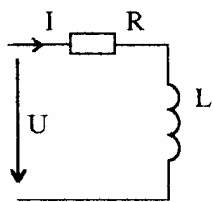


Рис. 6.11.

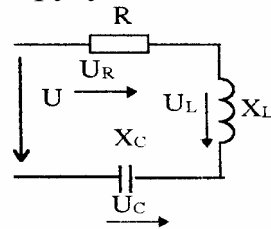


Рис. 6.12.

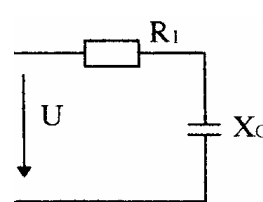


Рис. 6.13.

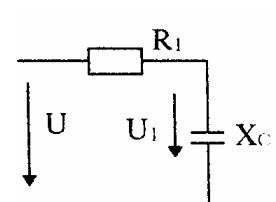


Рис. 6.14.

6.7.15. У якому з виразів, що відносяться до рис.6.15, помилка?

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

3.  $X_L = \omega L$ .      4.  $X_C = \frac{1}{\omega C}$ .

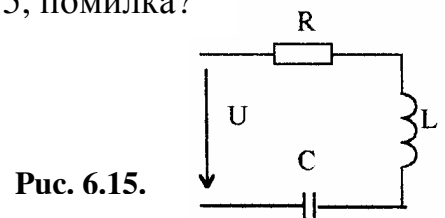


Рис. 6.15.

6.7.16. У колі (Рис.6.16) напруга  $U = 100\text{В}$ ,  $U_C = 20\text{В}$ ,  $U_L = 80\text{В}$ . Визначте напругу  $U_R$ .

6.7.17. У колі на рис.6.16 напруга  $U_C = U_L = 300\text{В}$ , співвідношення  $X_L/R = 20$ . Визначте напругу  $U_R$  і опір  $R$ .

6.7.18. Визначте напругу  $U$  в схемі на рис.6.16, якщо  $R=60$  Ом,  $X_L=100$  Ом,  $X_C=20$  Ом,  $I=50$  А.

6.7.19. Струм у електричному колі на рис.6.16 змінюється за законом  $i=I\sin\omega t$ . Які з приведених виразів невірні, якщо  $U_L > U_C$ ?

1.  $u=U\sin(\omega t+\varphi)$       2.  $u_L=U_{mL}\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$ .      3.  $u_L=U_{mL}\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})$ .

4.  $u_R=U_{mR}\sin\omega t$       5.  $u_C=U_{mC}\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$       6.  $u_C=U_{mC}\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})$

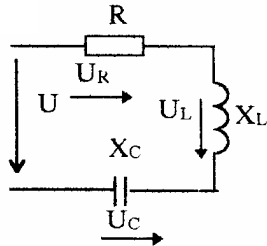


Рис. 6.16.

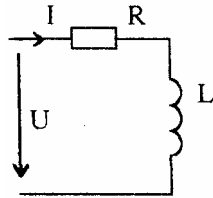


Рис. 6.17.

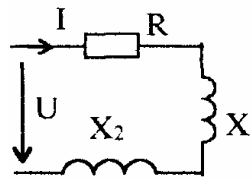


Рис. 6.18.

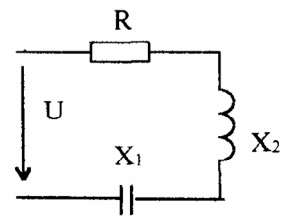


Рис. 6.19.

6.7.20. Знайти активний опір кола на рис.6.17, якщо  $X_L=30$  Ом,  $I=4$  А,  $U=200$  В.

6.7.21. Знайти активну потужність кола на рис.6.17, якщо  $X_L=30$  Ом,  $I=4$  А,  $U=200$  В.

6.7.22. Знайти повний опір кола на рис.6.17 при частоті 150 Гц, якщо при  $f=50$  Гц,  $X=50$  Ом,  $P=40$  м.

6.7.23. Знайти повну потужність кола на рис.6.17 при частоті 50 Гц, якщо  $U=20$  В,  $X=4$  Ом,  $R=30$  м.

6.7.24. Знайти струм кола, що зображено на рис.6.17, якщо  $u=28,2\sin(\omega t+30^\circ)$ ,  $X=4$  Ом,  $R=3$  Ом.

6.7.25. Знайти струм кола, що зображено на рис.6.18, якщо  $u=14,1\sin(\omega t-20^\circ)$ ,  $X_1=4$  Ом,  $X_2=2$  Ом,  $R=8$  Ом.

6.7.26. Знайти струм кола, що зображено на рис.6.18, якщо  $U=10$  В,  $X_1=4$  Ом,  $X_2=2$  Ом,  $R=8$  Ом.

6.7.27. Знайти активну потужність кола на рис.6.19, якщо  $U=250$  В,  $R=40$  Ом,  $X_1=30$  Ом,  $X_2=30$  Ом.

6.7.28. Знайти напругу на резисторі в колі на рис.6.19, якщо  $U=12$  В,  $R=3$  Ом,  $X_2=10$  Ом,  $X_1=60$  Ом.

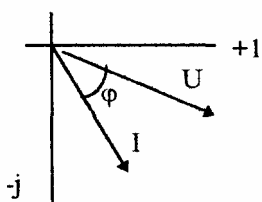


Рис. 6.20.

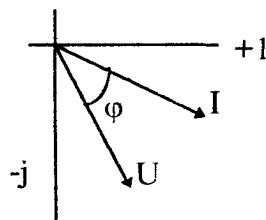


Рис. 6.21.

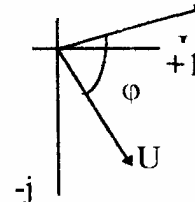


Рис. 6.22.

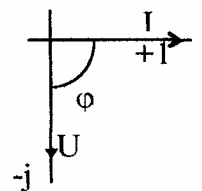


Рис. 6.23.

6.7.29. По векторній діаграмі на рис.6.20, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

6.7.30. По векторній діаграмі на рис.6.21, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

6.7.31. По векторній діаграмі на рис.6.22, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

6.7.32. По векторній діаграмі на рис.6.23, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

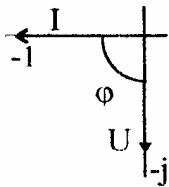


Рис. 6.24.

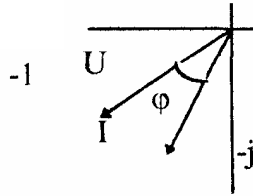


Рис. 6.25.

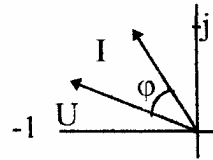


Рис. 6.26.

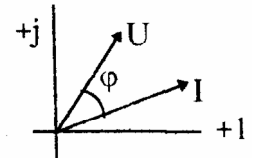


Рис. 6.27.

6.7.33. По векторній діаграмі на рис.6.24, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

6.7.34. По векторній діаграмі на рис.6.25, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

6.7.35. По векторній діаграмі на рис.6.26, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

6.7.36. По векторній діаграмі на рис.6.27, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

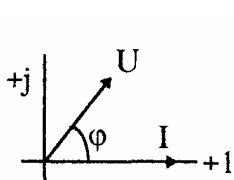


Рис. 6.28.

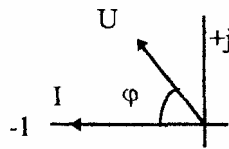


Рис. 6.29.

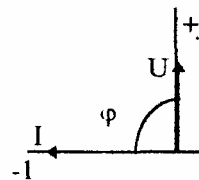


Рис. 6.30.

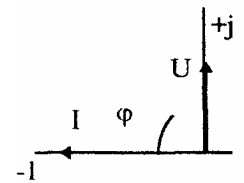


Рис. 6.31.

6.7.37. По векторній діаграмі на рис.6.28, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

6.7.38. По векторній діаграмі на рис.6.29, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

6.7.39. По векторній діаграмі на рис.6.30, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

6.7.40. По векторній діаграмі на рис.6.31, визначте характер навантаження послідовного електричного кола.

(Ємнісний. Індуктивний. Активно-індуктивний. Активно-ємнісний).

6.7.41. В колі з індуктивною котушкою амперметр показував струм 4А, вольтметр – 200В. Визначте активну потужність, якщо  $X_L=30$  Ом.



6.7.42. Опір  $R$ , індуктивність  $L=0,015\text{Гн}$  і ємність  $C$  з'єднані послідовно і підключені до джерела живлення  $220\text{В}$  частотою  $50\text{Гц}$ . Струм у колі  $I=11\text{А}$ , активна потужність  $300\text{Вт}$ . Визначити активний опір і ємність. Побудувати векторну діаграму.

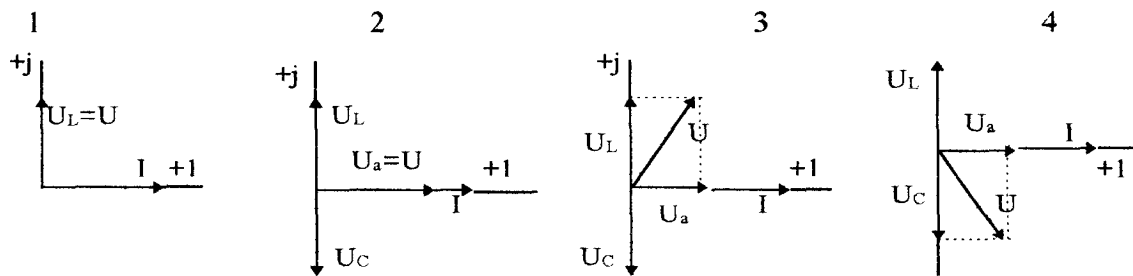


Рис. 6.32.

6.7.43. Яка векторна діаграма (Рис.6.32) відповідає резонансу напруг?

6.7.44. Визначити співвідношення між активною і реактивною потужностями при  $\cos\varphi = 0,707$ .

6.7.45. При частоті  $50\text{Гц}$  синусоїдального струму повний опір котушки дорівнює  $41\ \Omega$ , а при постійному струмові –  $9\ \Omega$ . За якої частоти у контурі виникне резонанс, якщо цю котушку з'єднати послідовно з ємністю  $51\ \mu\text{Ф}$ ?

6.7.46. Нерозгалужене RLC-коло працює в режимі резонансу напруг. Чи зміниться режим роботи кола, якщо:

- збільшити частоту джерела в 2 рази;
- зменшити частоту джерела в 2 рази;
- послідовно в коло ввімкнути додатковий резистор;
- збільшити напругу живлення в 2 рази.

### 6.8. Додаток

Таблиця варіантів до схеми, яка приведена на рис. 6.5.

Номер варіанту	Е, В	Ф, Гц	$\varphi$ , гр.	Ј, А	С, мкФ	R, кОм	L, Гн
1	10	40	90	0.1	1	0.4	0.1
2	20	50	120	0.2	2	0.5	0.2
3	30	60	150	0.3	3	0.6	0.3
4	40	400	180	0.4	4	0.7	0.4
5	45	800	210	0.5	5	0.8	0.5
6	50	1к	240	0.6	6	0.9	0.6
7	55	2к	270	0.7	7	1	0.7
8	60	3к	300	0.8	8	2	0.8
9	65	4к	330	0.9	9	3	0.9
10	70	5к	0	1.0	10	4	1
11	75	6к	30	1.1	11	5	1.1
12	80	7к	60	1.2	12	6	1.2
13	85	8к	45	1.3	13	7	1.3
14	90	9к	80	1.4	14	8	1.4
15	95	10к	100	1.5	15	9	1.5