

Міністерство освіти та науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

04-03-403М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №5 з навчальної дисципліни
«Електротехніка»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за
освітньо-професійною програмою «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково –методичною
радою з якості ННІ ЕАВГ
Протокол № 3 від 26.11.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 5 з навчальної дисципліни «Електротехніка» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання . [Електронне видання] / Маланчук Є. З., Христюк А. О. – Рівне : НУВГП, 2024. – 25 с.

Укладачі: Маланчук Є. З., д.т.н., професор кафедри АЕКІТ;
Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри АЕКІТ.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор,
завідувач кафедри АЕКІТ.

Керівник освітньої програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»: Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

© Є. З. Маланчук,
А. О. Христюк, 2024
© НУВГП, 2024

Робота 5. Дослідження послідовного кола змінного струму

Study of a series alternating current circuit

5.1. Мета роботи

Перевірка закону Ома при аналізі послідовних кіл змінного струму, які складаються з активного опору, індуктивності і ємності, і вивчення явища резонансу напруг.

The purpose of the work

Verification of Ohm's law in the analysis of successive circuits of alternating current, which consist of active resistance, inductance and capacity, and the study of the phenomenon of voltage resonance.

5.2. Короткі теоретичні відомості

Змінним називається струм, який періодично змінює свій напрямок. Напруга змінного синусоїдного струму описується функцією

$$u(t) = U_m \sin \omega t, \quad /5.1/$$

де U_m – амплітуда, ω – кутова частота.

Спочатку розглянемо коло, в якому напруга $u(t)$ прикладена до активного опору R (рис.5.1, а). Згідно закону Ома миттєве значення струму

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t, \quad /5.2/$$

де I_m – амплітуда струму, яка дорівнює амплітуді напруги, поділеній на опір.

Залежності /5.1/ і /5.2/ показують, що напруга і струм описуються однаковими функціями, тобто вони співпадають у часі за фазою. Оскільки синусоїдну функцію можна представити вектором, що обертається проти годинникової стрілки з кутовою частотою ω , то

напругу і струм представляють векторами, як зображено на рис. 5.1, б для $R > I$. Таке представлення називають векторною діаграмою кола змінного струму.

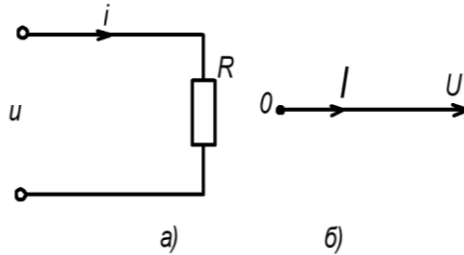


Рис. 5.1

Тепер розглянемо електричне коло, в якому змінна напруга $u(t)$ прикладена до ємності C . Миттєве значення струму в колі з ємністю дорівнює швидкості зміни заряду на обкладинках конденсатора:

$$i = \frac{dq}{dt}.$$

Оскільки $q = Cu$, то

$$i = C \frac{dU}{dt} = C \frac{d}{dt}(U_m \sin \omega t) = \omega C U_m \cos \omega t = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}), \quad /5.3/$$

де

$$I_m = \omega C U_m. \quad /5.4/$$

Залежність /5.3/ показує, що струм випереджає напругу на кут $\frac{\pi}{2}$.

Замінивши в /5.4/ амплітудні значення напруги і струму діючими ($I = I_m / \sqrt{2}$; $U = U_m / \sqrt{2}$), одержимо

$$I = \frac{U}{x_C}. \quad /5.5/$$

Залежність /5.5/ виражає закон Ома для кола змінного струму з ємністю, а величина $x_C = \frac{1}{\omega C}$ називається ємнісним опором.

Векторна діаграма цього кола наведена на рис. 5.2,б.

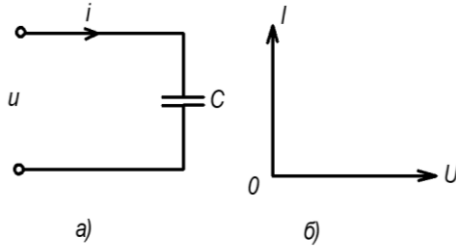


Рис. 5.2

На рис. 5.3,а наведене електричне коло котушки індуктивності L , до якого прикладена змінна напруга $u(t)$. Активний опір котушки R . Нехай під дією напруги $u(t)$ в колі протікає струм $i = I_m \sin \omega t$. Згідно другого закону Кірхгофа напруга $u(t)$ буде зрівноважуватись спадами напруг на активному опорі $u_R(t)$ і індуктивності $u_L(t)$, тобто

$$u(t) = u_R(t) + u_L(t). \quad /5.6/$$

У векторній формі це рівняння матиме такий вид:

$$\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_L. \quad /5.7/$$

Згідно /5.2/ спад напруги на активному опорі

$$u_R(t) = I_m R \sin \omega t = U_{mR} \sin \omega t \quad /5.8/$$

і співпадає за фазою зі струмом.

Спад напруги на індуктивності дорівнює е.р.с. самоіндукції, тобто

$$u_L(t) = L \frac{di}{dt} = L \frac{d}{dt} (I_m \sin \omega t) = I_m \omega L \cos \omega t = U_{mL} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad /5.9/$$

де

$$U_{mL} = I_m \omega L. \quad /5.10/$$

Рівняння /5.9/ показує, що спад напруги на індуктивності випереджає струм на кут $\frac{\pi}{2}$. Підставивши в /6.9/ діючі значення напруги і струму, одержимо

$$I = \frac{U_L}{x_L}. \quad /5.11/$$

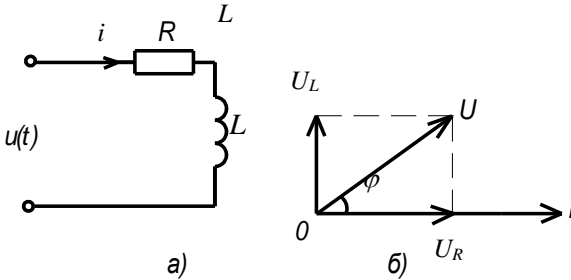


Рис. 5.3

Вираз /5.11/ є законом Ома для кола з ідеальною індуктивністю, тобто коли $R=0$. Величина $x_L = \omega L$ називається індуктивним опором. Побудувавши вектори \bar{I} , \bar{U}_R , і \bar{U}_L , можна знайти вектор \bar{U} . Ця побудова і є

векторною діаграмою кола (рис. 5.3,б). Як видно з цієї діаграми модуль вектора \bar{U}

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 (\omega L)^2} = I \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = I Z_1, \quad /5.12/$$

де величина $Z_1 = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ /5.13/ називається повним опором кола.

Кут між напругою і струмом φ (зсув за фазою) визначають із векторної діаграми і він буде дорівнювати

$$\varphi = \arctg \frac{U_L}{U_R} = \arctg \frac{x_L}{R}. \quad /5.14/$$

Тепер вже можна розглянути коло, яке складається з послідовно з'єднаних активного опору, індуктивності і ємності (рис. 5.4, а).

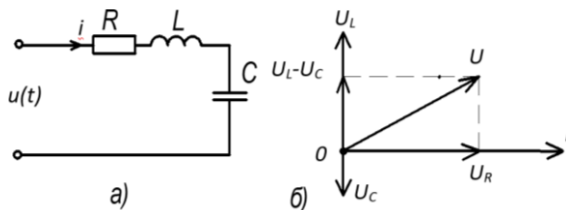


Рис. 5.4

Через всі елементи цього кола протікає один і той же струм i . Тому вектор струму \vec{I} будемо вважати відомим і поставимо за мету визначити вектор напруги \vec{U} . За аналогією з /5.7/ можна записати, що прикладена напруга \vec{U} дорівнює векторній сумі спадів напруг на активному опорі, індуктивності і ємності, тобто

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C. \quad /5.15/$$

Оскільки раніше було виявлено, що спад напруги на активному опорі співпадає за фазою зі струмом, напруга на індуктивності випереджає струм за фазою на $\frac{\pi}{2}$, а на ємності – відстає за фазою на

$\frac{\pi}{2}$, то можна це п. ак:

Рис. 5.4

$$\begin{aligned}
 U_R &= U_m R \sin \omega t = I_m R \sin \omega t; \\
 U_L &= U_m L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = I_m \omega L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}); \\
 U_C &= U_m C \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}).
 \end{aligned} \quad /5.16/$$

За відомими R , L і C на підставі рівнянь /5.16/ будують векторну діаграму, як показано на рис. 5.4, б. Безпосередньо з цієї діаграми знаходять модуль вектора прикладеної напруги

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} = IZ, \quad /5.17/$$

де
$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad /5.18/$$

називається повним опором кола. Величину $x = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ називають реактивним опором.

Зсув фаз між векторами струму і напруги

$$\varphi = \arctg \frac{U_L - U_C}{U_R} = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad /5.19/$$

Рівняння /5.17/ показує, що сила струму в колі з послідовним з'єднанням R , L і C при $\omega = \text{const}$ залежить від повного опору кола. Величина повного опору при $R = \text{const}$ залежить від реактивного опору, тобто від L , C і $\omega = 2\pi f$, де f – частота змінного струму. Якщо вважати сталими R , L і C , то при зміні ω можливі три режими:

- $\omega L < \frac{1}{\omega C}$, $x < 0$ і $\varphi < 0$;
- $\omega L > \frac{1}{\omega C}$, $x > 0$ і $\varphi > 0$;
- $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, $x = 0$ і $\varphi = 0$.

У першому випадку опір кола має ємнісний характер (струм випереджує напругу за фазою), у другому – індуктивний характер і струм відстає за фазою від напруги.

Третій випадок має назву режиму резонансу напруг. Струм співпадає за фазою з напругою і досягає максимального значення, рівного

$$I_0 = \frac{U}{R}. \quad /5.20/$$

При резонансі

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad \text{і} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{або} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad /5.21/$$

Величину f_0 називають власною частотою коливань контуру. При резонансі напруги на окремих елементах будуть такими:

$$U_r = I_0 R = U ,$$

$$U_L = I_0 x_L = \frac{\omega_0 L}{R} U = \frac{\sqrt{L}}{R} U = QU ,$$

$$U_C = I_0 x_C = \frac{1}{R\omega_0 C} U = \frac{\sqrt{L}}{R} U = QU ,$$

де безрозмірна величина $Q = \frac{\sqrt{L}}{R}$, що має назву добротності контуру.

Вона може бути більшою або меншою одиниці. Отже, величини напруг на індуктивності і ємності при резонансі рівні між собою і можуть значно перевищувати напругу на затискачах кола. Саме тому резонанс у послідовному колі називають резонансом напруг.

На рис.5.5 показані залежності реактивних опорів, струму та напруг на окремих елементах кола в функції частоти.

Максимальні значення напруг U_L і U_C рівні між собою, але вони виникають на частотах, що відрізняються від резонансної частоти. Це пояснюється різним характером залежності x_L та x_C від частоти.

На рис.5.6 наведені векторні діаграми кола при різних частотах.

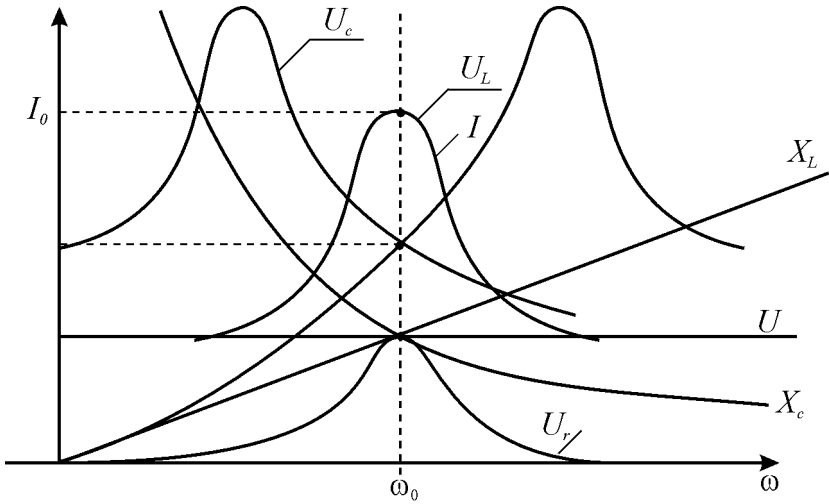


Рис.5.5

Якщо вважати частоту прикладеної напруги і величину ємності конденсатора сталими, то резонанс може спостерігатись при індуктивності котушки

$$L_0 = \frac{I}{\omega^2 C} = \frac{I}{(2\pi f)^2 C}. \quad /5.22/$$

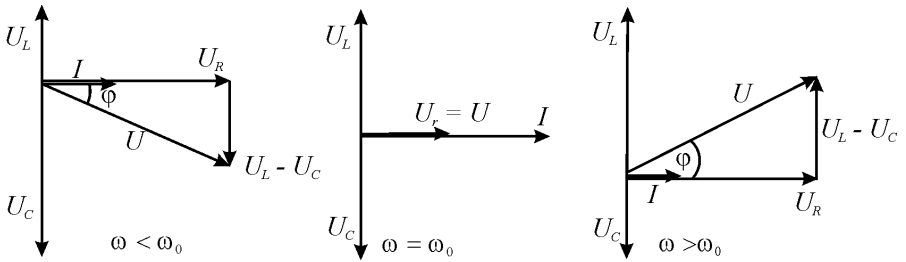


Рис.5.6

Аналогічне явище буде мати місце при незмінній частоті і сталій індуктивності, якщо ємність конденсатора буде рівною

$$C_0 = \frac{I}{\omega^2 L} = \frac{I}{(2\pi f)^2 L}. \quad /5.23/$$

Отже, забезпечити резонанс напруг можна зміною однієї з трьох величин: частоти вхідної напруги, індуктивності котушки або ємності конденсатора. На виконання умови резонансу зовсім не впливає величина опору R .

Із формули повної потужності

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$$

виходить, що при резонансі $S = P$, тому що $Q_L = I_0^2 x_L$, $Q_C = I_0^2 x_C$ і $Q_L - Q_C = I_0^2 (x_L - x_C) = 0$.

Отже, повна потужність кола при резонансі дорівнює активній потужності. Кут φ між напругою і струмом при цьому дорівнює нулю, а коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 1$.

Незважаючи на те, що реактивна потужність всього кола $Q = Q_L - Q_C = 0$, запаси енергії у магнітному полі котушки та в електричному полі конденсатора існують, бо $x_L \neq 0$ і $x_C \neq 0$, і тому $Q_L = I_0^2 x_L$, $Q_C = I_0^2 x_C$. Пр цьому котушка і конденсатор обмінюються енергією, але між котушкою і джерелом живлення, а також між конденсатором і джерелом живлення обміну енергією не відбувається. Від джерела живлення надходить тільки енергія, що виділяється в резисторі R .

Електричне коло з послідовним з'єднанням елементів знайшло широке практичне застосування. Опір кола при резонансі на частотах, близьких до резонансної, має невелике значення, а на частотах, віддалених від резонансної, цей опір істотно зростає. Таку властивість послідовного кола використовують для виділення електричних коливань потрібної частоти, забезпечуючи їх необхідну фільтрацію або посилення напруги за умови, що частота напруги співпадає з резонансною частотою.

Brief theoretical information

A current that periodically changes its direction is called alternating current. The voltage of an alternating sinusoidal current is described by a function

$$u(t) = U_m \sin \omega t, \quad /5.1/$$

where U_m – amplitude, ω – frequency

First, consider the circle in which the voltage $u(t)$ applied to active resistance R (fig.5.1, a). According to Ohm's law, the instantaneous value of the current

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t, \quad /5.2/$$

where I_m – the amplitude of the current, which is equal to the amplitude of the voltage divided by the resistance.

Dependencies /5.1/ and /5.2/ show that voltage and current are described by the same functions, that is, they coincide in time by phase. Since a sinusoidal function can be represented by a vector rotating counterclockwise with angular frequency ω , then the voltage and current are represented by vectors, as shown in Fig. 5.1, b for $R > I$. Such a representation is called a vector diagram of an alternating current circuit.

Now consider an electric circuit in which an alternating voltage $u(t)$ is applied to a capacitor C . The instantaneous value of the current in a circuit with a capacitor is equal to the rate of change of charge on the capacitor covers:

$$i = \frac{dq}{dt}.$$

Why $q = Cu$, then

$$i = C \frac{dU}{dt} = C \frac{d}{dt} (U_m \sin \omega t) = \omega C U_m \cos \omega t = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}), \quad /5.3/$$

where

$$I_m = \omega C U_m. \quad /5.4/$$

Dependence /5.3/ shows that the current leads the voltage by an angle $\frac{\pi}{2}$.

Having replaced in /5.4/ the current values of the voltage and current by the current ones ($I = I_m / \sqrt{2}$; $U = U_m / \sqrt{2}$), we get

$$I = \frac{U}{x_C}. \quad /5.5/$$

Dependence /5.5/ expresses Ohm's law for an alternating current circuit with a capacity, and the value $x_C = \frac{1}{\omega C}$ is called capacitive resistance.

The vector diagram of this circle is shown in fig. 5.2,b.

In fig. 5.3, and the electric circuit of the inductance coil L is shown, to which an alternating voltage is applied $u(t)$. Active resistance of the coil R. Let current flow in the circuit under the action of voltage $u(t)$. $i = I_m \sin \omega t$. According to Kirchhoff's second law, voltage $u(t)$ will be balanced by voltage drops on the active resistance $u_R(t)$ and inductance $u_L(t)$, and

$$u(t) = u_R(t) + u_L(t). \quad /5.6/$$

In vector form, this equation will have the following form:

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L. \quad /5.7/$$

According to /5.2/ the voltage drop on the active resistance

$$u_R(t) = I_m R \sin \omega t = U_{mR} \sin \omega t \quad /5.8/$$

and coincides in phase with the current.

The voltage drop across the inductance is equal to the e.m.p. self induction, that

$$u_L(t) = L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt} = I_m \omega L \cos \omega t = U_{mL} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}), \quad /5.9/$$

where

$$U_{mL} = I_m \omega L. \quad /5.10/$$

Equation /5.9/ shows that the voltage drop across the inductance precedes the current by an angle $\frac{\pi}{2}$. By substituting the current values of voltage and current in /5.9/, we obtain

$$I = \frac{U_L}{x_L}. \quad /5.11/$$

Expression /5.11/ is Ohm's law for a circuit with ideal inductance, that is, when $R=0$. Size $x_L = \omega L$ is called inductive resistance.

Having built the vectors \bar{I} , \bar{U}_R , i \bar{U}_L , a vector can be found \bar{U} . This construction is a vector diagram of a circle (Fig. 5.3, b). As can be seen from this diagram, the modulus of the vector \bar{U}

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 (\omega L)^2} = I \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = I Z_1, \quad /5.12/$$

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad /5.13/$$

where is the value is called the total resistance of the circuit.

Angle between voltage and current φ (phase shift) is determined from the vector diagram and will be equal to

$$\varphi = \arctg \frac{U_L}{U_R} = \arctg \frac{x_L}{R}. \quad /5.14/$$

Now we can consider the circuit, which consists of series-connected active resistance, inductance and capacity (Fig. 5.4, a). The same current flows through all elements of this circuit and. Therefore, the current vector \bar{I} we will consider known and set the goal of determining the vector voltage \bar{U} . By analogy with /5.7/, we can write that the applied voltage \bar{U} is equal to the vector sum of the voltage drops on the active resistance, inductance and capacity, i.e

$$\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_L + \bar{U}_C. \quad /5.15/$$

Since it was previously found that the voltage drop across the active resistor is in phase with the current, the voltage across the inductor is ahead of the current $\frac{\pi}{2}$, and on the capacitor - it lags behind

Fig.5.4

the phase on $\frac{\pi}{2}$, then it can be represented as follows:

$$\begin{aligned} U_R &= U_{mR} \sin \omega t = I_m R \sin \omega t; \\ U_L &= U_{mL} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = I_m \omega L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}); \\ U_C &= U_{mC} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}). \end{aligned} \quad /5.16/$$

According to the known R, L and C on the basis of equations /5.16/ build a vector diagram, as shown in fig. 5.4, b. The modulus of the applied voltage vector is found directly from this diagram

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} = IZ, \quad /5.17/$$

where

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad /5.18/$$

is called the total resistance of the circuit. The magnitude $x = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ called reactive resistance.

Phase shift between current and voltage vectors

$$\varphi = \arctg \frac{U_L - U_C}{U_R} = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad /5.19/$$

Equation /5.17/ shows that the current in a circuit with a series connection of R, L and C at $\omega = const$ depends on the total resistance of the circuit. The value of total resistance at $R = const$ depends on the reactive resistance, that is, on L, C i $\omega = 2\pi f$, where f – alternating current frequency. If considered permanent R, L i C, then when ω changes, three modes are possible:

- $\omega L < \frac{1}{\omega C}, x < 0$ i $\varphi < 0$;
- $\omega L > \frac{1}{\omega C}, x > 0$ i $\varphi > 0$;
- $\omega L = \frac{1}{\omega C}, x = 0$ i $\varphi = 0$.

In the first case, the resistance of the circuit has a capacitive character (the current is ahead of the voltage in phase), in the second case, it is inductive in nature and the current lags behind the voltage in phase.

The third case is called voltage resonance mode. The current is in phase with the voltage and reaches a maximum value equal to

$$I_0 = \frac{U}{R}. \quad /5.20/$$

At resonance

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad \text{i} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{a6o} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad /5.21/$$

The magnitude f_0 is called the natural frequency of oscillations of the circuit.

At resonance, the voltages on individual elements will be as follows:

$$U_r = I_0 R = U,$$

$$U_L = I_0 x_L = \frac{\omega_0 L}{R} U = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R} U = QU,$$

$$U_C = I_0 x_C = \frac{1}{R\omega_0 C} U = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R} U = QU,$$

where is a dimensionless quantity $Q = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R}$, which is called the Q factor of the circuit. It can be greater or less than one. Therefore, the magnitudes of the voltages on the inductance and capacitance at resonance are equal to each other and can significantly exceed the voltage on the circuit clamps. That is why resonance in a series circuit is called voltage resonance.

Fig. 5.5 shows the dependences of reactances, currents and voltages on individual elements of the circuit as a function of frequency. Maximum voltage values U_L and U_C equal to each other, but they occur at frequencies different from the resonance frequency. This is explained by the different nature of addition x_L and x_C from the frequency.

Fig. 5.6 shows the vector diagrams of the circle at different frequencies.

If we consider the frequency of the applied voltage and the capacitance of the capacitor to be constant, then resonance can be observed at the inductance of the coil

$$L_0 = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}. \quad /5.22/$$

A similar phenomenon will occur at a constant frequency and constant inductance, if the capacity of the capacitor is equal

$$C_0 = \frac{I}{\omega^2 L} = \frac{I}{(2\pi f)^2 L}. \quad /5.23/$$

Therefore, it is possible to ensure voltage resonance by changing one of three values: the frequency of the input voltage, the inductance of the coil, or the capacitance of the capacitor. The value of the resistance does not affect the fulfillment of the resonance condition at all. From the full power formula

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$$

it turns out that at resonance $S = P$, because $Q_L = I_0^2 x_L$, $Q_C = I_0^2 x_C$ and $Q_L - Q_C = I_0^2 (x_L - x_C) = 0$.

Therefore, the total power of the circuit at resonance is equal to the active power. Angle φ between voltage and current is equal to zero, and the power factor $\cos \varphi = 1$.

Despite the fact that the reactive power of the entire circuit $Q = Q_L - Q_C = 0$, energy reserves in the magnetic field of the coil and in the electric field of the capacitor exist because $x_L \neq 0$ i $x_C \neq 0$, and therefore $Q_L = I_0^2 x_L$, $Q_C = I_0^2 x_C$. In this case, the coil and the capacitor exchange energy, but no energy exchange occurs between the coil and the power source, as well as between the capacitor and the power source. Only the energy released in the resistor R comes from the power source. An electric circuit with a series connection of elements has found wide practical application. The resistance of the circuit during resonance at frequencies close to the resonant one has little value, and at frequencies far from the resonant one, this resistance increases significantly. This property of a series circuit is used to isolate electrical oscillations of the desired frequency, providing them with the necessary filtering or voltage amplification, provided that the voltage frequency coincides with the resonant frequency.

5.3. Програма роботи

1. Провести вимірювання в колі з одним активним опром.

2. Провести вимірювання в колі з однією ємністю.
3. Провести вимірювання в колі з котушкою індуктивності.
4. Провести вимірювання в колі з R , L , і C елементами.

Дані вимірювань за п.п. 1, 2, 3, 4 занести в табл.1, виконати обчислення вказаних в ній величин і побудувати в одному масштабі векторні діаграми.

5. Дослідити резонанс напруг при зміні частоти.
6. Дослідити резонанс напруг при зміні ємності.

Дані вимірювань за п.п. 5, 6 занести в табл.2, виконати необхідні обчислення і побудувати на одному графіку резонансні криві I , U_C , U_L , X_L , X_C і $\cos\varphi$ як функції частоти f або ємності C (за вказівкою викладача).

Work program

1. Carry out measurements in a circuit with one active relay.
2. Carry out measurements in a circuit with one capacity.
3. Carry out measurements in a circuit with an inductor.
4. Measure in a circle with R , L , and C elements.

Measurement data according to p.p. 1, 2, 3, 4 should be entered in table 1, calculate the values indicated in it and construct vector diagrams on the same scale.

5. To explore voltage resonance when changing frequency.
6. To explore voltage resonance when the capacitance changes.

Measurement data according to p.p. 5, 6 should be entered in table 2, perform the necessary calculations and plot resonance curves on one graph I , U_C , U_L , X_L , X_C and $\cos\varphi$ as functions of frequency f or containers C (as directed by the teacher).

5.4. Опис лабораторної установки

Лабораторна робота проводиться на універсальному лабораторному стенді, до складу якого входять:

- джерело змінної напруги з регульованою частотою;
- набір постійних індуктивностей;
- блок змінної ємності, а також набір окремих конденсаторів;
- цифрові вимірювальні прилади, якими можна вимірювати напругу, струм і опір.

Напругу джерела живлення можна змінювати ручкою «Напряжение», а її частоту - ручками «Частота» дискретно і плавно.

Дослідження послідовного кола здійснюється за схемою, наведеною на рис.5.7. При цьому вимірювання частоти проводять окремим приладом 4372, а все інше використовується із лабораторного стенда.

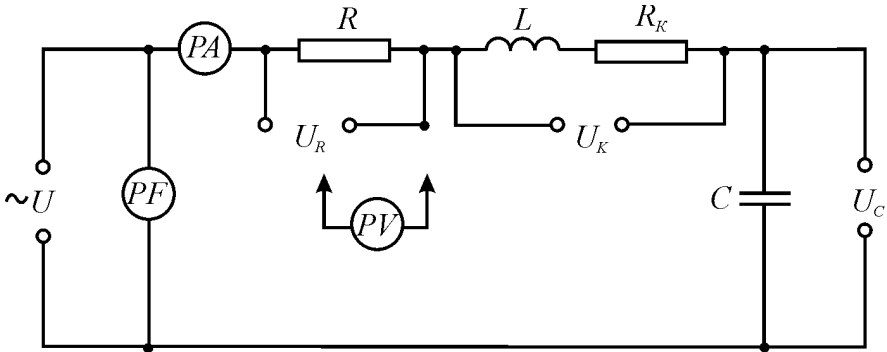


Рис.5.7.

Description of the laboratory installation

Laboratory work is carried out on a universal laboratory stand, which includes:

- variable voltage source with adjustable frequency;
- a set of constant inductances;
- block of variable capacity, as well as a set of separate capacitors;
- digital measuring devices that can be used to measure voltage, current and resistance.

The voltage of the power source can be changed with the "Voltage" knob, and its frequency - with the "Frequency" knobs discretely and smoothly. The research of the series circuit is carried out according to the scheme shown in Fig. 5.7. At the same time, the frequency measurement is carried out by a separate device 4372, and everything else is used from the laboratory stand.

5.5. Порядок виконання роботи

1. Для проведення всіх досліджень збирають схему, наведену на

рис. 5.7, з величинами R , L і C , вказаними викладачем. Після закорочують провідниками клемами U_K і U_C , виставляють задані викладачем напругу живлення U і частоту f і приступають до вимірювання U , U_R і I . Дані заносять в табл. 1.

2. Знявши перемичку з клем U_C , замикають клемами U_R і, не змінюючи U і f , вимірюють U , U_C і I . Дані заносять в табл. 1.

3. Зняти перемичку з клем U_K , поставити перемичку на клемами U_C і знову, не змінюючи U і f , вимірюють U , U_K і I . Дані заносять в табл. 1.

4. Знімають всі перемички і при тих же значеннях U і f вимірюють U , I і цифровим тестером – U_R , U_K , і U_C . Дані вимірювань заносять в табл. 1.

$f = \dots$ Гц.

Таблиця 1

Дослід- жуване коло	Вимірювання					Обчислення									
	U , В	I , mA	U_{r1} , В	U_K , В	U_C , В	Z , Ом	r_k , Ом	x_L , Ом	x_C , Ом	r , Ом	U_L , В	P , Вт	Q , ВА р	S , В А	co $s\varphi$
r_1															
C															
L															
r, C, L															

За даними вимірювань виконують розрахунки величин, вказаних в табл. 1, за такими формулами

- повний опір кола $Z = \frac{U}{I}$;

- повний опір котушки індуктивності $Z_k = \frac{U_K}{I}$;

- активний опір кола $r = r_1 + r_k$, $r = \frac{U}{I_0}$;

- індуктивний опір котушки $x_L = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}$;

- ємнісний опір $x_C = \frac{U_C}{I}$;

- реактивний опір кола $x = x_L - x_C$;

- індуктивна складова напруги $U_L = I x_L$;

- активна потужність $P = I^2 r$;
- реактивна потужність $Q = I^2 x$;
- повна потужність $S = UI$;
- коефіцієнт потужності кола $\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{r}{Z}$.

На підставі експериментальних і розрахункових даних будують в одному масштабі векторні діаграми.

5. Змінюючи частоту вхідної напруги при її незмінній величині і спостерігаючи за величиною струму, добитися явища резонансу напруг, якому буде відповідати максимальне значення струму. Запишіть значення цього струму і резонансну частоту, а також напруги на активному опорі, котушці і ємності. Далі повторіть виміри на трьох частотах менших і трьох частотах більших від резонансної. Результати вимірювань занесіть в табл. 2 і виконайте необхідні розрахунки. За експериментальними та розрахунковими даними в одній системі координат побудуйте графіки U , I , U_L , U_C , x_L , x_C і $\cos \varphi = f(\cdot)$.

Таблиця 2

№№ з/п	Умова досліджу	Вимірювання						Обчислення											
		U	f	I	U_K	U_C	L	C	z	r	x_L	x_C	x	U_L	P	Q	S	$\cos \varphi$	
1.	U, C, L = const $f = \text{var}$																		
2.																			
3.																			
4.																			
5.																			
6.																			
7.																			
1.	U, f, L = const $C = \text{var}$																		
2.																			
3.																			
4.																			
5.																			
6.																			
7.																			

6. Не змінюючи величину вхідної напруги, встановіть частоту, наприклад, 1000 Гц . Замініть конденсатор на блок ємностей. Зміною ємності блока потрібно добитися резонансу напруг в колі. При цьому необхідно контролювати, щоб напруга і частота не змінювались. Якщо вони змінюються, то необхідно їх скорегувати і знову добитись резонансу. Запишіть величини ємності, струму, а також напруг на елементах кола. Дані досліду занесіть в табл. 2. Дослід треба повторити для одного значення ємності меншої і одного значення ємності більшої від ємності при резонансі. Виконайте необхідні розрахунки. За експериментальними і розрахунковими даними побудуйте три векторні діаграми: до резонансу, при резонансі і після резонансу.

Звіт про роботу оформити згідно зразка, який знаходиться на інформаційному стенді кафедри.

The order of work

1. To carry out all research, collect the scheme shown in fig. 5.7, with the values of R, L and C specified by the teacher. After the terminals are shorted with conductors U_K and U_C , set the supply voltage U and frequency f set by the teacher and start measuring U , U_R and I . The data are entered in the table. 1.
2. After removing the jumper from the terminals U_C , close the terminals U_R and, without changing U and f , measure U , U_C and I . The data are entered in the table. 1.
3. Remove the jumper from the terminals U_K , put a jumper on the terminals U_C and again without changing U and f , measure U , U_K and I . The data are entered in the table. 1.
4. Remove all jumpers and with the same values of U and f measure U, I and with a digital tester – U_R , U_K , i U_C . Measurement data are entered in the table.

$1.f = \dots \text{ Hz}$.

Table 1

Experiment circle	Measurement					Calculation									
	U , V	I , mA	U_{r1} , V	U_R , V	U_C , V	Z , Ohm	r_K , Ohm	x_L , Ohm	x_C , Ohm	r , Ohm	U_L , V	P , Wt	Q , VAr	S , VA	$co s\varphi$
r_l															
C															
L															
r, C, L															

Based on the measurement data, the values specified in the table 1 are calculated according to the following formulas

- total circuit resistance $Z = \frac{U}{I}$;
- the total resistance of the inductor $Z_k = \frac{U_k}{I}$;
- active circuit resistance $r = r_j + r_k$, $r = \frac{U}{I_0}$;
- inductive resistance of the coil $x_L = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}$;
- capacitive resistance $x_C = \frac{U_C}{I}$;
- reactive resistance of the circuit $x = x_L - x_C$;
- inductive component of voltage $U_L = I x_L$;
- active power $P = I^2 r$;
- reactive power $Q = I^2 x$;
- full power $S = UI$;
- circle power factor $\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{r}{Z}$.

On the basis of experimental and calculated data, vector diagrams are constructed on the same scale.

5. By changing the frequency of the input voltage at its constant value and observing the value of the current, achieve the phenomenon of voltage resonance, which will correspond to the maximum value of the current. Write down the value of this current and the resonant frequency, as well as the voltage on the active resistance, coil and capacitor. Next, repeat the measurements at three frequencies lower and three frequencies higher than the resonant one. Enter the measurement results in the table. 2 and perform the necessary calculations. Draw graphs based on experimental and calculated data in one coordinate system U, I, U_L, U_C, x_L, x_C i $\cos \varphi = f()$.

Table 2

№	The condition of the experiment	Measurement						Calculation										
		U	f	I	U_R	U_C	L	C	z	r	x_L	x_C	x	U_L	P	Q	S	$\cos \varphi$
1.	$U, C, L =$ const $f = \text{var}$																	
2.																		
3.																		
4.																		
5.																		
6.																		
7.																		
1.	$U, f, L =$ const $C = \text{var}$																	
2.																		
3.																		
4.																		
5.																		
6.																		
7.																		

6. Without changing the value of the input voltage, set the frequency, for example, 1000 Hz. Replace the capacitor with a capacitor block. By changing the capacity of the block, it is necessary to achieve voltage resonance in the circuit. At the same time, it is necessary to control that the voltage and frequency do not change. If they change, it is necessary to adjust them and achieve resonance again. Write down the values of capacitance, current, and voltages on the elements of the circuit. Enter the data of the experiment in the table. 2. The experiment must be repeated for one capacitance value smaller and one capacitance value greater than the resonance capacitance. Make the necessary calculations. Based on the experimental and calculated data, construct three vector diagrams: before resonance, during resonance and after resonance.

The work report should be drawn up according to the sample available at the information stand of the department.

5.6.Контрольні запитання

1. Як визначити індуктивний і ємнісний опори?
2. Чому дорівнює реактивний опір кола при послідовному включенні R , L і C елементів?
3. Що таке повний опір послідовного кола і як його визначають?
4. Як формулюється і записується закон Ома для послідовного кола?
5. Яка умова резонансу у послідовному колі і які особливості цього резонансу?
6. Якими методами можна забезпечити резонанс у послідовному колі?
7. Нарисуйте графіки залежності струму та напруг на окремих елементах послідовного з'єднання r , L , C в функції від частоти.
8. Який вид мають векторні діаграми струму та напруг послідовного кола?
9. Чому резонанс у послідовному колі називають резонансом напруг?
10. Яке практичне значення має резонансний режим у послідовному колі?

Control questions

1. How to determine inductive and capacitive resistance?
2. What is the reactive resistance of the circuit when R , L and C elements are connected in series?
3. What is the total resistance of a series circuit and how is it determined?
4. How is Ohm's law formulated and written for a series circuit?
5. What is the condition of resonance in a series circuit and what are the features of this resonance?
6. What methods can be used to ensure resonance in a series circuit?
7. Draw graphs of current and voltage dependence on individual elements of a series connection r , L , C as a function of frequency.
8. What are the vector diagrams of current and voltage of a series circuit?
9. Why is resonance in a series circuit called voltage resonance?
10. What is the practical significance of the resonant mode in a series circuit?