

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

04-03-404М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №6 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 № 6 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. – 22 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 6. Дослідження електричного кола змінного струму з паралельним з'єднанням віток

Study of an electric circuit of alternating current with parallel connection of branches

6.1. Мета роботи

Дослідити режим роботи електричного кола з паралельним з'єднанням котушки індуктивності і ємності при різних частотах, вивчити вплив C і L на явище резонансу струмів та його використання для регулювання коефіцієнта потужності.

The purpose of the work

Investigate the mode of operation of an electric circuit with a parallel connection of an inductance coil and a capacitor at different frequencies, study the influence of C and L on the phenomenon of current resonance and its use for adjusting the power factor.

6.2. Короткі теоретичні відомості

На відміну від кола з послідовним з'єднанням, в якому через всі елементи протікає однаковий струм, в колах з паралельним з'єднанням віток однаковою буде напруга, яка прикладається до паралельних віток. Тому метою досліджень будуть струми, які протікають у вітках.

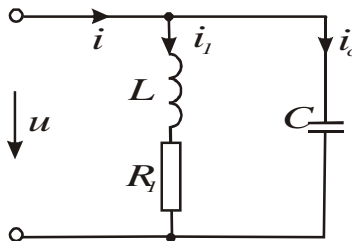


Рис. 6.1.

На прикладі кола, яке складається із паралельно включених індуктивної котушки з індуктивністю L і активним опором R_l та ємності C , можна встановити на підставі векторної діаграми зв'язки між напругою живлення U і струмами i , i_l , i_c (рис. 6.1). До кожної вітки цього кола прикладена напруга U . Тому побудову векторної діаграми починають з вектора напруги \vec{U} . Довжина вектора струму \vec{I}_l буде дорівнювати

$$I_l = \frac{U}{z_l} = \frac{U}{\sqrt{R_l^2 + x_L^2}}, \quad /6.1/$$

бо R_l і $x_L = \omega L$ з'єднані послідовно. Відкладають цей вектор відносно вектора \vec{U} під кутом

$$\varphi_l = \arctg \frac{x_L}{R_l}. \quad /6.2/$$

Побудований таким чином вектор \vec{I}_l розкладають на дві складові: активну складову $I_a = I_l \cos \varphi_l$ і реактивну $I_L = I_l \sin \varphi_l$, як показано на рис.6.2.

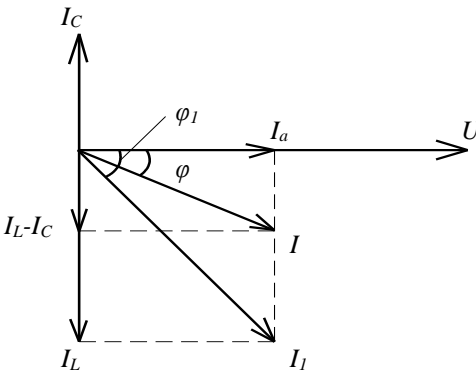


Рис. 6.2

Модуль вектора струму \vec{I}_c знаходять за формулою

$$I_c = \frac{U}{z_2} = \frac{U}{x_C} = \omega C U. /6.3/$$

Вектор струму \vec{I}_c буде випереджати вектор напруги \vec{U} на кут $\frac{\pi}{2}$.

Струм в нерозгалуженій частині кола буде дорівнювати

геометричній сумі струмів у вітках, тобто

$$\vec{I} = \vec{I}_l + \vec{I}_c = \vec{I}_a + \vec{I}_L + \vec{I}_c = \vec{I}_a + (\vec{I}_L - \vec{I}_c).$$

Довжина цього вектора

$$I = \sqrt{I_a^2 + (I_L - I_C)^2}, \quad /6.4/$$

а кут між векторами \vec{I} і \vec{U} знаходять із векторної діаграми або за формулою

$$\varphi = \arctg \frac{I_L - I_C}{I_a}. \quad /6.5/$$

Для дослідження впливу параметрів R , L і C на струми у вітках необхідно в рівнянні /6.4/ струми виразити через напругу і опори.

Активна складова струму першої вітки

$$I_a = I_1 \cos \varphi_1 = \frac{U}{z_1} \frac{R_1}{z_1} = \frac{R_1}{z_1^2} U = g_1 U, \quad /6.6/$$

де $g_1 = \frac{R_1}{z_1^2}$ – активна провідність першої вітки, $\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{z_1}$ згідно векторної діаграми, наведеної на рис. 6.3, б.

Реактивна складова струму першої вітки

$$I_L = I_1 \sin \varphi = \frac{U}{z_1} \frac{x_L}{z_1} = \frac{x_L}{z_1^2} U = b_L U, \quad /6.7/$$

де $b_L = \frac{x_L}{z_1^2}$ – реактивна індуктивна провідність першої вітки.

Струм у другій вітці

$$I_C = \frac{U}{z_2} = \frac{U}{x_C} = \omega C U = b_C U, \quad /6.8/$$

де b_C – реактивна ємнісна провідність другої вітки.

Підставивши в /6.4/ замість струмів у вітках вирази згідно формул /6.6/, /6.7/ і /6.8/, одержимо

$$I = U \sqrt{g_1^2 + (b_L - b_C)^2} = YU, \quad /6.9/$$

де Y – повна провідність кола.

Узагальнюючи викладену методику на коло з паралельним з'єднанням n віток, можна записати, що активна провідність кола

$$g = \sum_{i=1}^n g_i ; \quad /6.10/$$

реактивна індуктивна провідність кола

$$b_L = \sum_{i=1}^n b_{Li} \quad /6.11/$$

і реактивна ємнісна провідність кола

$$b_C = \sum_{i=1}^n b_{Ci}, \quad /6.12/$$

де i – номер вітки кола ($i=1, 2, \dots, n$).

Повна провідність кола

$$Y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}. \quad /6.13/$$

Отже, за аналогією з /6.9/ закон Ома для кола з паралельним з'єднанням n елементів або віток має вид

$$I = YU. \quad /6.14/$$

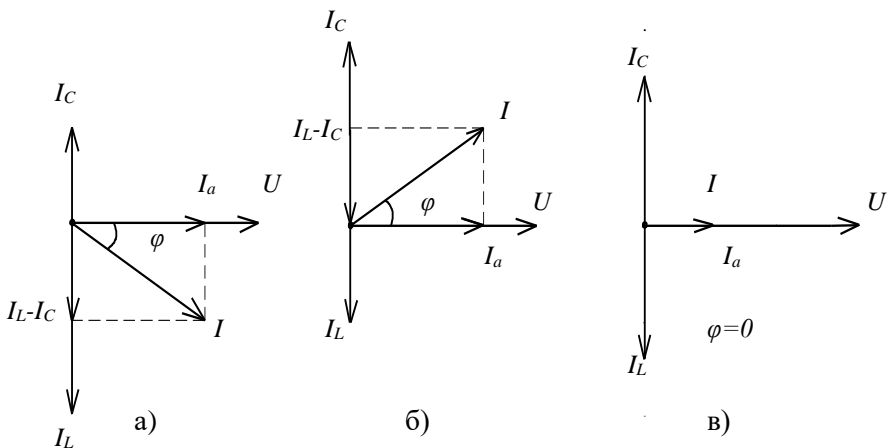


Рис.6.3

На підставі рівняння /6.13/ можна зробити висновок, що характер струму в колі з паралельним з'єднанням віток залежить не тільки від величини опорів, але і від співвідношення між провідностями b_L і b_C .

При $b_L > b_C$ струм $I_L > I_C$ і повна провідність буде мати активно-індуктивний характер. Струм в нерозгалуженій частині кола, наведеного на рис. 7.1, буде відставати за фазою від напруги, як показано на векторній діаграмі (рис. 6.3, а).

При $b_L < b_C$ струм $I_L < I_C$ і повна провідність кола буде активно-ємнісною. Струм в нерозгалуженій частині буде випереджати за фазою напругу, як показано на векторній діаграмі (рис. 6.3, б).

При $b_L = b_C$ струм $I_L = I_C$, провідність кола стає рівною активній провідності ($Y=g$). Струм в нерозгалуженій частині кола співпадає за фазою з напругою і визначається лише активною провідністю. Це явище називається резонансом струмів. Воно зумовлене обміном енергією магнітного поля котушки індуктивності з енергією електричного поля конденсатора. Цей обмін відбувається з частотою 2ω і не зв'язаний з джерелом напруги. При резонансі струми I_L і I_C можуть значно перевищувати струм в нерозгалуженій частині кола, як показано на векторній діаграмі (рис. 6.3, в), і тому резонанс в колі з паралельним з'єднанням називають резонансом струмів.

Для електричних кіл з n паралельними вітками умовою резонансу струмів є умова

$$\sum_{i=1}^n b_{Li} = \sum_{i=1}^n b_{Ci}. \quad /6.15/$$

Для кола, наведеного на рис. 6.1, умовою резонансу є

$$\frac{x_L}{z_I^2} = \omega C \quad \text{або} \quad \frac{\omega L}{R_1^2 + (\omega L)^2} = \omega C. \quad /6.16/$$

Із рівняння /6.16/ слідує, що резонансу в колі можна досягнути зміною частоти ω , індуктивності котушки L або ємності C .

Якщо L і C сталі величини, то частота, при якій виникає явище резонансу, називається резонансною частотою і позначається ω_0 . Згідно з /6.16/ резонансна частота

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R_1^2 C}{L}}. \quad /6.17/$$

На відміну від кола з послідовним з'єднанням R , L і C елементів, в якому власна частота коливань $\omega_0^* = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, в колі з паралельним з'єднанням ω_0 залежить не тільки від L і C , а також від активного опору R . Із /6.17/ слідує, що $\omega_0^* > \omega_0$ і тільки за умови $R_1=0$ $\omega_0^* = \omega_0$.

При незмінних ω і L часто добиваються резонансу зміною C , і це буде за умови

$$C_0 = \frac{L}{R_1^2 + (L\omega)^2}. \quad /6.18/$$

Рівняння /6.18/ показує, що активний опір R_1 призводить до зменшення C_0 у порівнянні з випадком, коли $R_1 = 0$ ($C_0^* = \frac{1}{\omega^2 L}$).

Часто в радіотехніці добиваються виникнення резонансу зміною індуктивності котушки L при сталих значеннях ω і C . У цьому випадку згідно рівняння /6.16/ резонанс наступить при

$$L_0 = \frac{1 + \sqrt{1 - (2\omega R_1 C)^2}}{2\omega^2 C}. \quad /6.19/$$

Слід відмітити, що при резонансі стосовно до джерела напруги коло веде себе так, ніби реактивних провідностей b_L і b_C немає.

Це зумовлене тим, що реактивні струми I_L і I_C знаходяться у протифазі (зсунуті в часі на кут π), тобто сума миттєвих значень цих струмів дорівнює нулю.

На рис. 6.4 наведені залежності I , I_L , I_C і $\varphi=f(\omega)$, із яких видно, що струм в нерозгалуженій частині кола змінюється за параболічним законом, а струм в конденсаторі – за законом гіперболи.

Потужності, які споживають елементи кола, визначають за такими формулами:

активна

$$P = UI \cos \varphi = U^2 g_1; \quad /6.20/$$

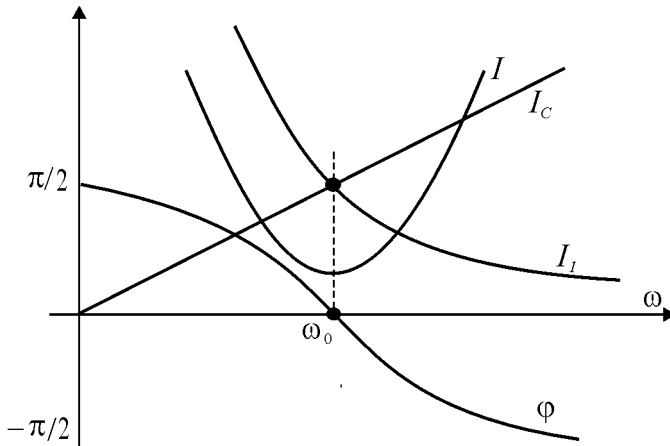


Рис. 6.4

реактивна

$$Q = UI \sin \varphi = U^2(b_L - b_C) \quad /6.21/$$

і повна

$$S = UI = U^2 Y. \quad /6.22/$$

Електричні кола з паралельним з'єднанням віток знайшли широке застосування в різних галузях електротехніки та електроніки. Це пояснюється тим, що при належній добротності вони характеризуються досить ефективними фільтраційними властивостями. В силових електротехнічних установках паралельне під'єднання конденсаторів до вітки з активно-індуктивним опором (асинхронний двигун) підвищує коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$), що призводить до зменшення споживання електроенергії.

Brief theoretical information

Unlike a circuit with a series connection, in which the same current flows through all elements, in circuits with a parallel connection of the circuits, the voltage applied to the parallel circuits will be the same. Therefore, the purpose of research will be the currents that flow in the branches.

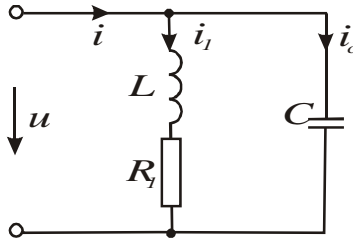


Fig. 6.1.

On the example of a circuit that consists of a parallel-connected inductor with an inductance L and an active resistance R_1 and a capacity C , it is possible to establish the relationship between the supply voltage U and currents on the basis of the vector diagram i, i_1, i_c (Fig. 6.1). A voltage U is applied to each branch of this circuit. Therefore, the construction of the vector diagram begins with the voltage vector \bar{U} . The length of the current vector \bar{I}_1 will be equal to

$$I_1 = \frac{U}{z_1} = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + x_L^2}}, \quad /6.1/$$

for R_1 i $x_L = \omega L$ connected in series. Set aside this vector relative to the vector \bar{U} at an angle

$$\varphi_1 = \arctg \frac{x_L}{R_1}. \quad /6.2/$$

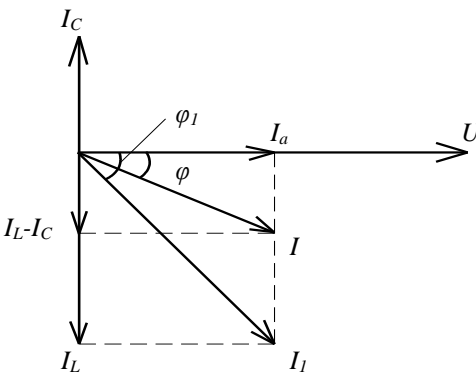


Fig. 6.2

The vector is constructed in this way \bar{I}_1 divided into two components: the active component $I_a = I_1 \cos \varphi_1$ and reactive $I_L = I_1 \sin \varphi_1$, as shown in Fig. 6.2. Current vector module \bar{I}_c found by the formula

$$I_c = \frac{U}{z_2} = \frac{U}{x_C} = \omega C U. /6.3/$$

Current vector \vec{I}_C will be ahead of the nap-rug vector \vec{U} on the corner $\frac{\pi}{2}$.

The current in the unbranched part of the circle will be equal to the geometric sum of the currents in the branches, i.e.

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_C = \vec{I}_a + \vec{I}_L + \vec{I}_C = \vec{I}_a + (\overline{I_L - I_C}).$$

The length of this vector

$$I = \sqrt{I_a^2 + (I_L - I_C)^2}, \quad /6.4/$$

and the angle between the vectors \vec{I} and \vec{U} found from the vector diagram or by the formula

$$\varphi = \arctg \frac{I_L - I_C}{I_a}. \quad /6.5/$$

To study the effect of parameters R, L and C on the currents in the circuits, it is necessary to express the currents in terms of voltage and resistance in equation /6.4/.

The active component of the current of the first line

$$I_a = I_1 \cos \varphi_1 = \frac{U}{z_1} \frac{R_1}{z_1} = \frac{R_1}{z_1^2} U = g_1 U, \quad /6.6/$$

where $g_1 = \frac{R_1}{z_1^2}$ – active conduction of the first branch, $\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{z_1}$

according to the vector diagram shown in fig. 6.3, b.

The reactive component of the current of the first line

$$I_L = I_1 \sin \varphi = \frac{U}{z_1} \frac{x_L}{z_1} = \frac{x_L}{z_1^2} U = b_L U, \quad /6.7/$$

where $b_L = \frac{x_L}{z_1^2}$ – reactive inductive conductivity of the first line.

$$\text{Current in the second line } I_C = \frac{U}{z_2} = \frac{U}{x_C} = \omega C U = b_C U, \quad /6.8/$$

where b_C – reactive capacitive conductance of the second line.

By substituting expressions according to formulas /6.6/, /6.7/ and /6.8/ instead of the currents in the circuits in /6.4/, we

$$\text{obtain } I = U \sqrt{g_1^2 + (b_L - b_C)^2} = YU, \quad /6.9/$$

where Y – complete circuit conduction.

Generalizing the described technique to a circle with a parallel connection of n turns, it can be written that the active conduction of the circle

$$g = \sum_{i=1}^n g_i ; \quad /6.10/$$

reactive inductive conductivity of the circuit

$$b_L = \sum_{i=1}^n b_{Li} \quad /6.11/$$

and reactive capacitive conductance of the circuit

$$b_C = \sum_{i=1}^n b_{Ci}, \quad /6.12/$$

where i is the circuit branch number ($i=1, 2, \dots, n$).

Complete circuit conduction

$$Y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}. \quad /6.13/$$

Therefore, by analogy with /6.9/, Ohm's law for a circuit with a parallel connection of n elements or branches has the form

$$I = YU. \quad /6.14/$$

On the basis of equation /6.13/, it can be concluded that the nature of the current in a circuit with a parallel connection of branches depends not only on the value of the resistances, but also on the ratio between the conductivities b_L i b_C .

At $b_L > b_C$ current $I_L > I_C$ and complete conduction will have an active-inductive nature. The current in the unbranched part of the circuit shown in

Fig. 7.1, will lag behind the voltage in phase, as shown in the vector diagram (Fig. 6.3, a).

At $b_L < b_C$ current $I_L < I_C$ and the complete conduction of the circuit will be active-capacitive. The current in the unbranched part will be ahead of the voltage phase, as shown in the vector diagram (Fig. 6.3, b).

At $b_L = b_C$ current $I_L = I_C$, the circuit conductivity becomes equal to the active conductivity ($Y=g$). Current in the unbranched part of the circuit coincides in phase with the voltage and is determined only by active conduction. This phenomenon is called current resonance. It is due to the exchange of the energy of the magnetic field of the inductor with the energy of the electric field of the capacitor. This exchange occurs with frequency 2ω and is not connected to a voltage source. Currents at resonance I_L and I_C can significantly exceed the current in the unbranched part of the circuit, as shown in the vector diagram (Fig. 6.3, c), and therefore resonance in a circuit with a parallel connection is called current resonance.

For electric circuits with n parallel circuits, the condition of resonance of currents is the condition

$$\sum_{i=1}^n b_{Li} = \sum_{i=1}^n b_{Ci}. \quad /6.15/$$

For the circle shown in fig. 6.1, the resonance condition is

$$\frac{x_L}{z_I^2} = \omega C \quad \text{or} \quad \frac{\omega L}{R_1^2 + (\omega L)^2} = \omega C. \quad /6.16/$$

It follows from equation /6.16/ that resonance in the circuit can be achieved by changing the frequency ω , coil inductance L or capacitance C .

If L and C are constant values, then the frequency at which the phenomenon of resonance occurs is called the resonant frequency and is denoted ω_0 .

According to /6.16/ resonant frequency

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R_1^2 C}{L}}. \quad /6.17/$$

In contrast to a circuit with a series connection of R , L and C elements, which has its own oscillation frequency $\omega_0^* = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, in a circuit with a

parallel connection ω_0 depends not only on L and C , but also on the active resistance R . It follows from /6.17/ that $\omega_0^* > \omega_0$ and only on condition $R_1=0$ $\omega_0^* = \omega_0$.

With unchanged ω and L often achieve resonance by changing C , and this will be provided

$$C_0 = \frac{L}{R_1^2 + (L\omega)^2}. \quad /6.18/$$

Equation /6.18/ shows that the active resistance R_1 leads to a decrease C_0 compared to the case where $R_1 = 0$ ($C_0^* = \frac{L}{\omega^2 L}$).

Often in radio engineering, resonance is achieved by changing the inductance of the coil L at constant values ω and C . In this case, according to equation /6.16/, resonance will occur at

$$L_0 = \frac{1 + \sqrt{1 - (2\omega R_1 C)^2}}{2\omega^2 C}. \quad /6.19/$$

It should be noted that at resonance with respect to the voltage source, the circuit behaves as if reactive conductances b_L and b_C there is no. This is due to the fact that reactive currents I_L and I_C are in antiphase (shifted in time by an angle π), that is, the sum of the instantaneous values of these currents is zero.

In fig.6.4 given dependencies I , I_1 , I_C and $\varphi=f(\omega)$, from which it can be seen that the current in the unbranched part of the circuit changes according to the parabolic law, and the current in the capacitor - according to the hyperbola law.

The powers consumed by the circuit elements are determined by the following formulas:

Active:

$$P = UI \cos \varphi = U^2 g_1; \quad /6.20/$$

Reactive:

$$Q = UI \sin \varphi = U^2 (b_L - b_C) \quad /6.21/$$

And full

$$S = UI = U^2 Y.$$

/6.22/

Electric circuits with parallel connection of branches are widely used in various fields of electrical engineering and electronics. This is explained by the fact that, with the proper quality factor, they are characterized by quite effective filtering properties. In power electrical installations, the parallel connection of capacitors to a line with active inductive resistance (asynchronous motor) increases the power factor ($\cos\varphi$), which leads to a decrease in electricity consumption.

6.3. Програма роботи

1. Дослідити резонанс струмів при зміні частоти.
2. Дослідити резонанс струмів при зміні ємності.
3. При сталих значеннях ω і C визначити експериментально величину індуктивності котушки, при якій виникає резонанс. Оцінити вплив опору котушки R_l на величину L_0 .
4. Побудувати векторні діаграми струмів для частот $\omega < \omega_0$, $\omega = \omega_0$ і $\omega > \omega_0$.
5. Побудувати на одному графіку залежності I , I_L , I_C , Y і $\cos\varphi = f(C)$.

Work program

1. To explore the resonance of currents when the frequency changes.
2. To explore the resonance of currents when the capacitance changes.
3. At constant values ω and C determine experimentally the value of the inductance of the coil at which resonance occurs. Evaluate the effect of coil resistance R_l by size L_0 .
4. Construct vector current diagrams for frequencies $\omega < \omega_0$, $\omega = \omega_0$ and $\omega > \omega_0$.
5. Build dependencies on one graph I , I_L , I_C , Y and $\cos\varphi = f(C)$.

6.4. Опис лабораторної установки

Лабораторна робота проводиться на лабораторному стенді УІЛС. Для виконання роботи використовують:

- джерело змінної напруги з регульованою частотою;
- блок індуктивностей;
- блок ємностей;

- цифрові вимірювальні прилади для вимірювання напруги, струму і частоти.

Напругу джерела живлення змінюють ручкою “Напряжение”, а її частоту - ручками “Частота” дискретно і плавно.

Дослідження кола виконується за схемою, наведеною на рис.6.5. Вимірювання частоти здійснюють приладом 4372, а напругу і струм - цифровими приладами.

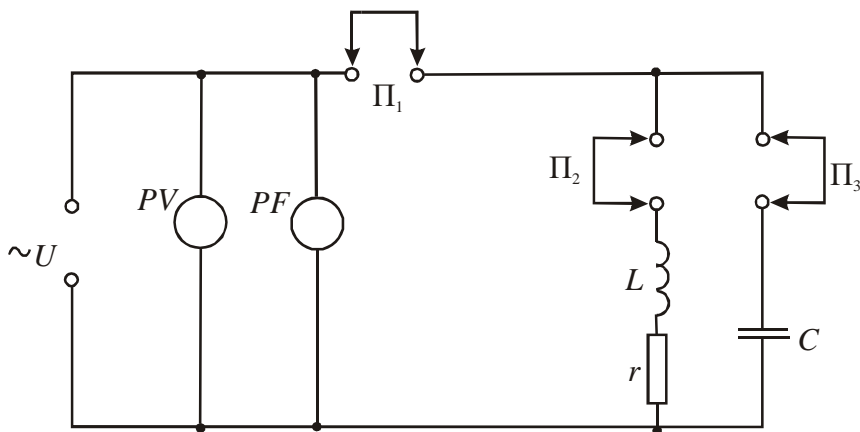


Рис.6.5

Description of the laboratory installation

The laboratory work is carried out at the laboratory stand of UILS. To perform the work, use:

- variable voltage source with adjustable frequency;
- block of inductances;
- block of containers;

- digital measuring devices for measuring voltage, current and frequency.

The voltage of the power source is changed with the "Voltage" knob, and its frequency - with the "Frequency" knobs discretely and smoothly.

The research of the circle is carried out according to the scheme shown in Fig. 6.5. The frequency is measured by the 4372 device, and the voltage and current are measured by digital devices.

6.5. Порядок виконання роботи

1. На набірному полі стенда складають електричне коло, зображене на рис.6.5. Опором R_l буде опір котушки індуктивності. Величини індуктивності (регульованої і нерегульованої) і ємності (регульованої і нерегульованої) задаються викладачем. Напругу живлення виставляють в межах 10...20 В із умови, щоби струми у вітках не перевищували значень, вказаних на котушках і конденсаторах. Виставлену напругу підтримують незмінною під час всіх дослідів. Після на місце перемички Π_1 під'єднують міліамперметр. Змінюючи частоту ступінчасто та плавно і спостерігаючи за показом міліамперметра, добиваються резонансу, якому буде відповідати мінімальне значення струму I_0 . Резонансну частоту необхідно виміряти з максимальною точністю. Для цього, плавно регулюючи частоту, декілька разів перейти точку мінімуму частотної характеристики кола. Далі вимірюють струми у вітках і результати вимірювань заносять в четвертий рядок табл.1.

Таблиця 1

№ з/п	Умови дослідів	Вимірювання					Обчислення								
		U В	f Гц	I мА	I_l мА	I_c мА	C мкФ	Y Сім	y_k Сім	g_l Сім	b_L Сім	b_C Сім	P Вт	S ВА	$\cos \varphi$
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																			

Повторити вимірювання на трьох частотах менших і на трьох більших від резонансної.

2. Залишивши незмінною величину вхідної напруги, виставити її частоту $f = 1000$ Гц. Змінюючи ступінчасто і плавно ємність блока конденсаторів, добитись резонансу у колі на цій частоті. Записати величину ємності і значення струмів. Повторити вимірювання при трьох значеннях ємності менших и при трьох значеннях більших від резонансної. Результати вимірювань записати в табл.1.

3. Не змінюючи напруги і частоти, виставити ємність $C < C_0$. Потім необхідно підібрати таку індуктивність L_0 із блока індуктивностей, при якій виникне в колі резонанс струмів. Якщо наявних котушок індуктивностей недостатньо для режиму резонансу, то треба змінити величину ємності і пошук повторити.

При резонансі виміряти струми I , I_l і I_C , визначити C , сумарний опір котушок $R_{l\Sigma}$ та L_0 і занести їх значення до звіту. За формулою /6.19/ при $R_l = R_{l\Sigma}$ визначити розрахункове значення $L_{p.o}$ і порівняти його з L_0 .

Для оцінки впливу $R_{l\Sigma}$ на величину резонансної індуктивності L_0 потрібно підставити в /6.19/ $R_l = 0$ і визначити L_0^* . Із порівняння L_0 і L_0^* зробити висновок.

4. За даними вимірювань і розрахунків побудувати в одному масштабі діаграми струмів для частот $\omega < \omega_0$, $\omega = \omega_0$ і $\omega > \omega_0$.

5. За результатами вимірювань необхідно обчислити:

- повну провідність кола (формула 6.9);
- повну провідність котушки

$$y_k = \frac{I_l}{U};$$

- активну провідність котушки (всього кола)

$$g_l = \frac{I_0}{U};$$

- реактивну провідність котушки

$$b_L = \sqrt{y_k^2 - g_l^2};$$

- реактивну провідність конденсатора (формула 6.8);
- активну потужність (формула 6.20);
- повну потужність (формула 6.22);
- коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{g_l}{Y}.$$

За результатами вимірювань і обчислень побудувати графіки струмів I , I_L і I_C , а також повної провідності Y і коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ в залежності від ємності при незмінних величинах U, f і L .

The order of work

1. On the recruiting field of the stand, make an electric circuit, shown in Fig. 6.5. resistance R_l will be the resistance of the inductor. The values of inductance (regulated and unregulated) and capacity (regulated and unregulated) are set by the teacher. The supply voltage is set within 10...20 V, provided that the currents in the circuits do not exceed the values indicated on the coils and capacitors. The exposed voltage is kept constant during all experiments. After the jumper is in place Π_1 connect a milliammeter. Changing the frequency stepwise and smoothly and observing the milliammeter display, achieve resonance, which will correspond to the minimum value of the current I_0 . Resonant frequency must be measured with maximum accuracy. To do this, by smoothly adjusting the frequency, pass the minimum point of the frequency characteristic of the circle several times. Next, the currents in the branches are measured and the measurement results are entered in the fourth line of Table 1.

Table 1

№ з/п	Conditions of experiments	Measurement					Calculation								
		U V	f Hz	I mA	I_l mA	I_C mA	C μF	Y Sm	y_k Sm	g_l Sm	b_L Sm	b_C Sm	P W	S VA	$\cos \varphi$
1	U, C, L														
2	$= \text{const};$														
3	$f = \text{var}$														

4																			
5																			
6																			
7																			
1	U, f, L = const; C= var																		
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			

Repeat the measurement at three frequencies lower and three higher than the resonant frequency.

2. Leaving the value of the input voltage unchanged, set its frequency $f = 1000$ Hz. By gradually and smoothly changing the capacity of the capacitor block, achieve resonance in the circuit at this frequency. Write down the value of the capacity and the value of the currents. Repeat the measurement at three capacitance values smaller and at three values larger than the resonant one. Record the measurement results in Table 1.

3. Without changing the voltage and frequency, set the capacity $C < C_0$. Then it is necessary to choose such an inductance L_0 from the inductance block, at which current resonance will occur in the circuit. If the available inductors are not enough for the resonance mode, then you need to change the capacitance value and repeat the search. At resonance, measure the currents I , I_l and I_C , to determine C , total resistance of the coils $R_{l\Sigma}$ and L_0 and enter their values in the report. According to the formula /6.19/ at $R_l = R_{l\Sigma}$ determine the calculated value $L_{p.o}$ and compare it with L_0 .

For impact assessment $R_{l\Sigma}$ on the value of resonant inductance L_0 must be substituted in /6.19/ $R_l = 0$ and determine L_0^* . From the comparison L_0 and L_0^* draw a conclusion

4. According to the data of measurements and calculations, construct current diagrams for frequencies on the same scale $\omega < \omega_0$, $\omega = \omega_0$ and $\omega > \omega_0$.

5. Based on the results of the measurements, it is necessary to calculate:
- full circuit conductivity (formula 6.9);
 - full conductivity of the coil

$$y_k = \frac{I_l}{U};$$

- active conductivity of the coil (whole circle)

$$g_l = \frac{I_0}{U};$$

- reactive conductivity of the coil

$$b_L = \sqrt{y_k^2 - g_l^2};$$

- reactive conductivity of the capacitor (formula 6.8);

- active power (formula 6.20);

- full power (formula 6.22);

- power factor

$$\cos \varphi = \frac{g_l}{Y}.$$

Based on the results of measurements and calculations, plot current graphs I , I_L and I_C , as well as full conductivity Y and power factor $\cos \varphi$ depending on the capacity at constant values U, f and L .

6.6. Контрольні запитання

1. Як визначити повну провідність електричного кола з паралельним з'єднанням віток?
2. Як записати закон Ома для електричного кола з паралельним з'єднанням віток?
3. Яка умова резонансу в електричному колі з паралельним з'єднанням віток?
4. Зміною яких параметрів можна викликати резонанс у колі з паралельним з'єднанням віток?
5. Чому резонанс у колі з паралельним з'єднанням віток називають резонанс струмів?
6. Який вид має векторна діаграма струмів з паралельним з'єднанням віток при резонансі?
7. Як впливає на резонансну частоту активний опір котушки індуктивності?
8. Як впливає частота напруги на величину ємності C_0 ?

9. Чи впливає досягнення резонансу зміною ω , C і L на величину струму в нерозгалуженій частині кола?
10. Як можна підвищити $\cos\varphi$ кола, яке має індуктивний характер?

Control questions

1. How to determine the total conductivity of an electric circuit with a parallel connection of branches?
2. How to write Ohm's law for an electric circuit with parallel connections?
3. What is the condition of resonance in an electric circuit with parallel connection of branches?
4. Changing which parameters can cause resonance in a circuit with parallel connection of branches?
5. Why is resonance in a circuit with a parallel connection of branches called current resonance?
6. What does the vector diagram of currents look like with a parallel connection of branches at resonance?
7. How does the active resistance of the inductor affect the resonant frequency?
8. How the frequency of the voltage affects the value of the capacity C_0 ?
9. Does achieving resonance affect the change ω , C and L on the amount of current in the unbranched part of the circuit?
10. How to increase $\cos\varphi$ a circuit that is inductive in nature?