

Затверджено науково-методичною
радою ЖДГУ

протокол від «__» _____ 20__ р. №__

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для проведення лабораторних робіт
з навчальної дисципліни
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

для студентів освітнього рівня «БАКАЛАВР»
денної форми навчання
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»
освітньо-професійна програма «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
кафедра А та КІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Розглянуто і рекомендовано
на засіданні кафедри А та КІТ ім.
проф. Б.Б. Самотокіна
протокол від 31.01.2018 р.
№ 5

Розробники: Каргополова Н.П.
Шостачук Д.М.

Житомир
2017 – 2018 н.р.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

ЖИТОМИР 2018

Н.П. Каргополова, Д.М. Шостачук. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з електротехніки та електромеханіки.– Житомир, 2018.- 41 с.

Укладачі: Каргополова Н.П., Шостачук Д.М.

Відповідальний редактор: Ткачук А.Г.

Рецензенти: Добржанський О.О., Шавурський Ю.О.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

ВСТУП

Курс "Електротехніка та електромеханіка" – складова частина загальноінженерної підготовки спеціалістів електротехнічного профілю. Дані методичні вказівки є посібником для виконання лабораторних робіт з цієї дисципліни студентами факультету інформаційно-комп'ютерних технологій за спеціальністю "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології".

Тематика лабораторних робіт підібрана таким чином, що дозволяє студентам закріпити теоретичні знання з основних розділів дисципліни та одержати практичні навички досліджень явищ та процесів, що відбуваються в лінійних електричних колах.

Лабораторні роботи виконуються фронтальним методом, заняття проводяться після того, як відповідний матеріал розглядається у лекційному курсі. Це дає можливість студентам заздалегідь підготуватись до виконання роботи, виконати експериментальну та розрахункову частини роботи на належному рівні.

До виконання кожної наступної роботи студенти допускаються тільки після того, як відповідним чином оформлять та захистять попередню роботу.

Звіти про виконання лабораторних робіт повинні бути оформлені у відповідності з вимогами ЄСКД. В звіті вказується мета виконання кожної роботи, короткі теоретичні відомості, наводиться план виконання експериментальних досліджень, результати вимірювань та обчислень, висновки про досягнення поставленої мети.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Лінійні електричні кола постійного струму

Мета роботи: дослідити виконання законів Ома, Кірхгофа та Ленца-Джоуля у простих електричних колах постійного струму.

1.1. Короткі теоретичні відомості

1.1.1. Закон Ома визначає струм I , що протікає в електричному колі з опором R чи провідністю g під дією прикладеної напруги U :

$$I = \frac{U}{R} = Ug. \quad (1.1)$$

1.1.2. Перший закон Кірхгофа стосується струмів в розгалуженому електричному колі. Згідно з цим законом, алгебрична сума струмів, що сходяться у вузлі кола, дорівнює нулеві, тобто:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0. \quad (1.2)$$

При цьому знаки струмів визначаються із врахуванням вибраних напрямків, наприклад, струми, що направлені до вузла, вважаються додатніми, направлені від вузла – від'ємними.

1.1.3. Другий закон Кірхгофа зв'язує спади напруг на опорах у замкненому контурі з електрорушійними силами (ЕРС) E в цьому контурі. Він формулюється так: ал-

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

гебрична сума ЕРС у замкненому контурі дорівнює алгебричній сумі спадів напруг на всіх його елементах.

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n I_k R_k. \quad (1.3)$$

При цьому спади напруг, які спрямовані по струмах, записуються зі знаком "+", якщо їх напрям збігається з обходом контура, і зі знаком "-", коли ці напрями протилежні.

1.1.4. Потужність P ділянки кола з опором R визначається за законом Ленца-Джоуля:

$$P = I^2 R. \quad (1.4)$$

1.2. Порядок виконання роботи

1.2.1. Дослідити послідовне з'єднання резисторів, зібравши для цього схему, зображену на рис. 1.1.

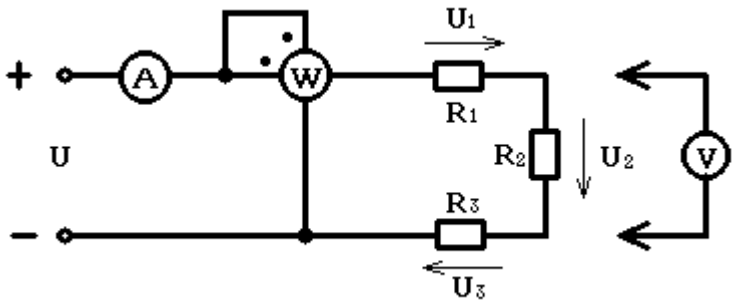


Рис. 1.1.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

Встановивши струм в схемі в межах 1 А, поміряти напругу на кожному реостаті та потужність, що споживається схемою. За допомогою цифрового моста поміряти значення опорів резисторів.

1.2.2. Для дослідження паралельного з'єднання резисторів зібрати схему, зображену на рис. 1.2.

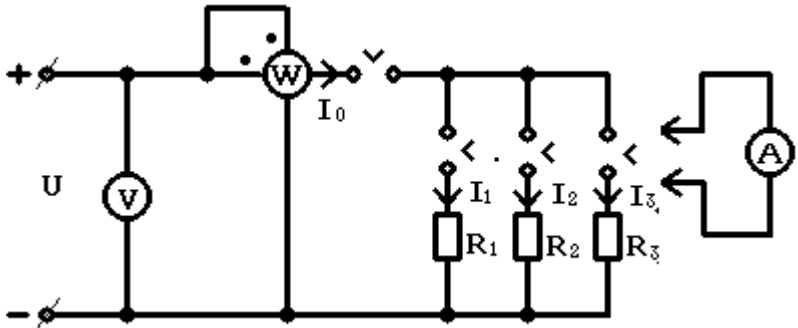


Рис. 1.2.

Встановивши на вході схеми таку напругу U , при якій загальний струм у схемі не перевищує 2 А, поміряти всі струми в схемі та потужність, що споживається.

1.2.3. Для дослідження змішаного з'єднання резисторів зібрати схему, зображену на рис. 1.3.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

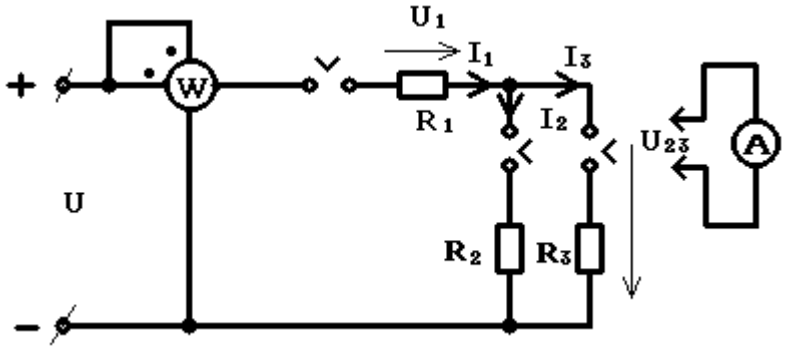


Рис. 1.3.

Встановивши вхідний струм схеми I_1 в межах 1 А, поміряти струми та напруги кожного з резисторів та потужність електричного кола.

1.2.4. Записати параметри приладів та обладнання, що використовувались в роботі.

1.3. Обробка результатів вимірювань

1.3.1. Для послідовного з'єднання резисторів перевірити виконання законів Ома, Ленца-Джоуля та другого закону Кірхгофа.

Впевнитись, що:

$$\text{а) } I = \frac{U}{R_{екв}}, \text{ де } R_{екв} = R_1 + R_2 + R_3;$$

$$\text{б) } P = I^2 R_{екв};$$

$$\text{в) } U = U_1 + U_2 + U_3.$$

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

При наявності похибок вимірювань визначити для кожного з рівнянь відносну похибку відповідних величин за формулою:

$$\delta X = \frac{X_e - X_p}{X_p} \cdot 100\% , \quad (1.5)$$

де X_e та X_p - експериментальні та розраховані теоретично значення струму, потужності чи напруги.

1.3.2. Для паралельного з'єднання резисторів перевірити виконання законів Ома, Ленца-Джоуля та першого закону Кірхгофа.

Обчислити провідності g кожного з резисторів, маючи значення відповідних струмів та напруги, еквівалентну провідність схеми:

$$g_{екв} = g_1 + g_2 + g_3 \quad (1.6)$$

та еквівалентний опір

$$R_{екв} = \frac{1}{g_{екв}} . \quad (1.7)$$

Впевнитись, що

а) $I_0 = U g_{екв}$;

б) $P = I_0^2 R_{екв}$;

в) $I_0 = I_1 + I_2 + I_3$.

При наявності похибок вимірювань визначити відносну похибку.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

1.3.3. Для змішаного з'єднання резисторів перевірити виконання законів Ома, Кірхгофа та Ленца-Джоуля.

Розрахувавши опори кожного з резисторів через значення відповідних напруг та струмів, визначити еквівалентний опір схеми:

$$R_{екв} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

Впевнитись, що

а) $I_1 = \frac{U}{R_{екв}};$

б) $I_1 = I_2 + I_3;$

в) $U = U_1 + U_{23};$

г) $P = I_1^2 R_{екв}.$

При наявності похибок розрахувати відносну похибку для кожного з випадків.

1.3.4. Проаналізувавши результати виконаних досліджень, зробити висновки про роботу.

1.4. Контрольні запитання

1.4.1. Як формулюється та записується закон Ома?

1.4.2. Як визначається еквівалентний опір для послідовного, паралельного та змішаного з'єднання трьох резисторів?

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

1.4.3. Як формулюються та записуються 1-й та 2-й закони Кірхгофа?

1.4.4. Як записується закон Ленца-Джоуля?

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Лінійні кола змінного струму

Мета роботи: вивчити методику визначення комплексного опору котушки на промисловій частоті, експериментально перевірити виконання законів Ома та Кірхгофа, балансу потужностей в колах синусоїдного струму, навчитись будувати векторні діаграми.

2.1. Короткі теоретичні відомості

2.1.1. Комплексний опір Z ділянки кола може бути записаний як:

$$Z = R + jX = ze^{j\varphi}, \quad (2.1)$$

де R – активна складова опору, X – реактивна складова, z – модуль комплексного (повного) опору, φ – фаза опору. Ці величини зв'язані між собою співвідношеннями:

$$z = \sqrt{R^2 + X^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{X}{R}; \quad (2.2)$$

$$R = z \cos \varphi; \quad X = z \sin \varphi.$$

Ці параметри являються характеристикою даного елемента кола на даній частоті при будь-якому способі включення елемента в схему.

Так званий трикутник опорів має вигляд, зображений на рис. 2.1,а.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

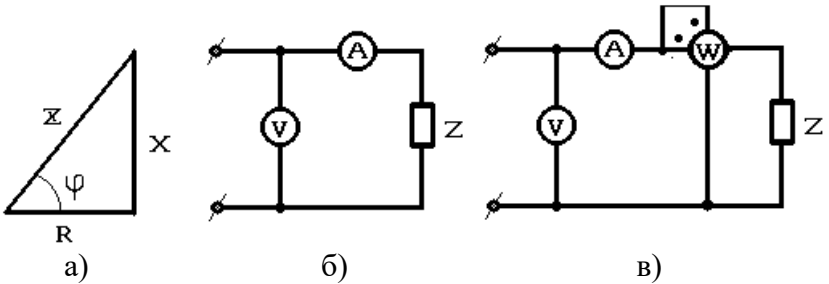


Рис. 2.1.

Експериментально складові комплексного опору можна визначити за допомогою схем, зображених на рис. 2.1,б та рис. 2.1,в.

Перша з цих схем вимагає підключення по черзі до джерел постійного та змінного струму. На постійному струмі маємо $R=U/I$, на змінному струмі $z=U/I$. Решту параметрів визначають за формулами (2.2).

Для схеми рис. 2.1,в, що підключається до джерела синусоїдного струму:

$$z = \frac{U}{I}; \quad \varphi = \arccos \frac{P}{UI}.$$

Активну та реактивну складову опору розраховують за формулами (2.2).

2.1.2. При послідовному з'єднанні (рис. 2.2) резистора з активним опором R , індуктивної котушки з параметрами R_L та L , конденсатора з ємністю C повний опір схеми у комплексному вигляді:

$$Z = R + R_L + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R_e + jX = ze^{j\varphi}. \quad (2.3)$$

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

Закон Ома для такої ділянки кола:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{\dot{U}}{R_e + jX}. \quad (2.4)$$

Другий закон Кірхгофа в комплексному (символічному) вигляді:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C. \quad (2.5)$$

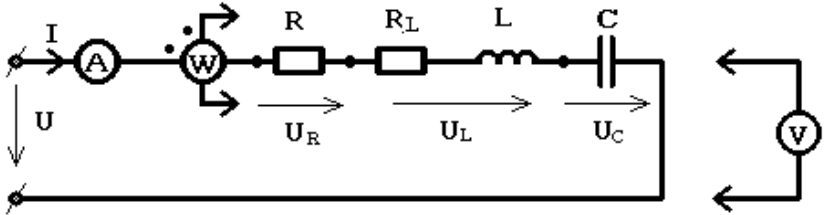


Рис. 2.2.

2.1.3. При паралельному з'єднанні резистора, котушки індуктивності та конденсатора (рис. 2.3) зручніше користуватись комплексною провідністю Y :

$$Y = Y_R + Y_L + Y_C,$$

де

$$Y_R = \frac{1}{R} = g; \quad Y_L = \frac{1}{Z_L} = g_L - jb_L; \quad (2.6)$$

$$Y_C = \frac{1}{Z_C} = jb_C.$$

Тоді

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

$$Y = (g + g_L) + j(b_C - b_L) = g_e + jb_e = ye^{j\varphi}.$$

Тут g_e – активна складова еквівалентної провідності схеми, b_e – реактивна складова. Параметри комплексної провідності створюють трикутник провідностей, аналогічний трикутнику опорів.

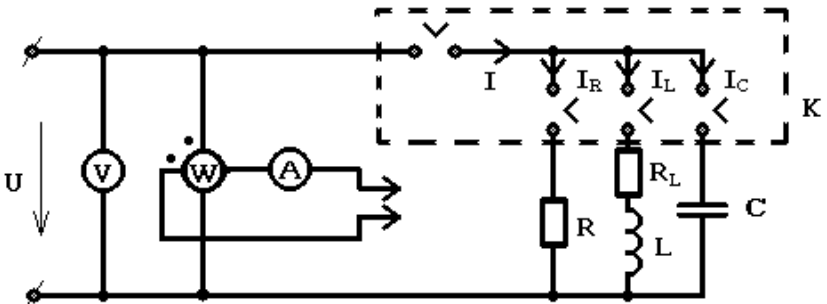


Рис. 2.3.

Тоді закон Ома в комплексному вигляді можна записати:

$$\dot{I} = \dot{U}Y = \dot{U}(g_e + jb_e). \quad (2.7)$$

Перший закон Кірхгофа для схеми:

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C. \quad (2.8)$$

2.1.3. Комплекс повної потужності \tilde{S} , що поступає в схему, обчислюють, перемноживши комплекс напруги \dot{U} на спряжений комплекс струму \dot{I}^* :

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I}^* = UIe^{j(\psi_u - \psi_i)} = UIe^{j\varphi} = \quad (2.9)$$

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

$$= UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi = P + jQ$$

Дійсна частина комплексної потужності P являє собою активну потужність, уявна частина Q – реактивну. Знак "+" уявної частини відповідає індуктивній потужності, знак "-" – ємнісній.

Складові комплексної потужності створюють трикутник потужностей, аналогічний трикутнику опорів та провідностей.

В будь-якому колі синусоїдного струму алгебрична сума комплексних потужностей всіх джерел дорівнює сумі комплексних потужностей всіх навантажень.

2.1.4. Комплексні струми та напруги в схемі, зображені на комплексній площині, являють собою векторну діаграму.

Прийнявши початкову фазу струму для схеми рис. 2.2 за нуль, можна зобразити всі напруги на елементах кола відповідними векторами (рис. 2.4,а).

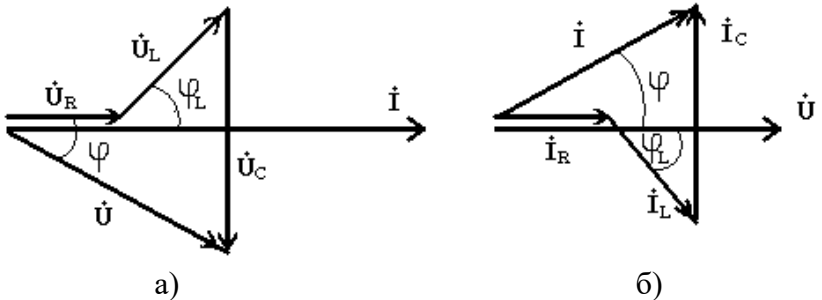


Рис. 2.4.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

Прийнявши для схеми рис. 2.3 фазу напруги на вході схеми рівну нулеві, можна зобразити всі струми схеми відповідними векторами (рис. 2.4,б).

2.2. Порядок виконання роботи

2.2.1. Визначити комплексний опір котушки індуктивності Z_L , скориставшись однією із схем, зображених на рис. 2.1 (за вказівкою викладача). Напругу на вхід схеми подавати таку, щоб струм не перевищував 0,5-0,6 А.

2.2.2. Для дослідження послідовного з'єднання елементів зібрати схему, зображену на рис. 2.2. Щоб запобігти виникненню резонансного режиму роботи, вибрати ємність C конденсатора, виходячи із умови $X_C=2X_L$. Поміряти струм I , напруги U , U_R , U_L , U_C , потужності P , P_R , P_L , P_C .

Користуючись цифровим мостом, поміряти опір резистора R .

2.2.3. Зібрати схему для дослідження паралельного з'єднання елементів кола (рис. 2.3). Для уникнення резонансного режиму роботи розрахувати ємність C конденсатора з умови $b_C=2b_L$. Напругу на вході схеми вибрати так, щоб загальний струм у схемі складав 1,2-1,5 А.

Поміряти значення напруги U , струмів I , I_R , I_L , I_C , потужностей P , P_R , P_L , P_C .

Поміряти опір резистора R , скориставшись цифровим мостом.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

2.3. Обробка результатів вимірювань

2.3.1. За результатами, одержаними в п. 2.2.1, записати комплексний опір котушки індуктивності в формі:

$$Z_L = R_L + jX_L = z_L e^{j\varphi_L}.$$

Розрахувати індуктивність L котушки. Побудувати трикутник опорів.

2.3.2. За результатами, одержаними в п. 2.2.2, перевірити виконання закону Ома. Для цього розрахувати повний опір схеми та струм в колі (див. формули (2.3)-(2.4)).

Прийнявши початкову фазу струму в колі за нуль, перевірити виконання другого закону Кірхгофа:

$$U_R e^{j0^\circ} + U_L e^{j\varphi_L} + U_C e^{-j90^\circ} = U e^{j\varphi},$$

де U , U_R , U_L , U_C – модулі відповідних напруг, а $\varphi = \arccos P/(UI)$.

Перевірити виконання балансу активних потужностей в схемі:

$$P = P_R + P_L + P_C.$$

Побудувати векторну діаграму напруг та трикутник опорів.

2.3.3. Для паралельного з'єднання елементів кола розрахувати комплексну провідність та перевірити виконання закону Ома.

Перевірити виконання першого закону Кірхгофа, вважаючи початкову фазу напруги на вході схеми рівною нулеві.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

Перевірити виконання балансу активних потужностей в колі. Розрахувати комплексну, активну та реактивну потужності, скориставшись формулою (2.9).

Побудувати векторну діаграму струмів, трикутники провідностей та потужностей.

2.4. Контрольні запитання

2.4.1. Як експериментально визначити комплексний опір ділянки кола?

2.4.2. Як сформулювати закон Ома в комплексній формі?

2.4.3. Як записати закони Кірхгофа в комплексній формі?

2.4.4. Що таке трикутник опорів, провідностей?

2.4.5. Що являють собою повна, активна та реактивна потужності?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Трифазні кола

Мета роботи: дослідити експериментально роботу трифазних кіл при різних способах з'єднання споживачів.

3.1. Короткі теоретичні відомості

3.1.1. Трифазною симетричною системою ЕРС називають три ЕРС однакової величини, однієї частоти, зсушені між собою за фазою на 120° та генеровані спільними джерелами електроенергії. Ці ЕРС прийнято позначати літерами A, B, C .

У загальному вигляді систему трифазних ЕРС записують так:

$$\begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t; \\ e_B &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ); \\ e_C &= E_m \sin(\omega t + 120^\circ). \end{aligned} \quad (3.1)$$

У комплексному вигляді:

$$\dot{E}_A = E; \quad \dot{E}_B = Ee^{-j120^\circ}; \quad \dot{E}_C = Ee^{j120^\circ}. \quad (3.2)$$

У будь-який момент часу сума цих трьох ЕРС дорівнює нулю:

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0. \quad (3.3)$$

3.1.2. Нерозгалужену ділянку кола чи окреме нерозгалужене коло, в межах якого протікає один і той самий

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

струм, називають фазою. Розрізняють фази генератора, споживача та з'єднувальної лінії між ними. Фази теж прийнято позначати літерами **A**, **B**, **C**. ЕРС у трифазних колах з'єднують між собою зіркою або трикутником. Аналогічним способом з'єднуються між собою і споживачі трифазних систем.

У трифазних колах розрізняють лінійні і фазні струми та напруги. Струм, що протікає у з'єднувальних лініях від генератора до споживача, називають лінійним струмом I_L , струм, що протікає у фазі споживача – фазним струмом I_ϕ .

Напруга між з'єднувальними лініями називається лінійною напругою U_L , напруга на фазі споживача – фазною напругою U_ϕ .

Трифазне коло називають симетричним, якщо комплексні опори всіх його фаз однакові.

3.1.3. З'єднання зіркою у трифазному колі зображене на рис. 3.1. Провід, що з'єднує середні точки зірок генератора та навантаження, називають нульовим. Використовуються також з'єднання зіркою без нульового провodu (рис. 3.2). Напруга $U_{O'O}$ часто називається зміщенням нейтралі.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

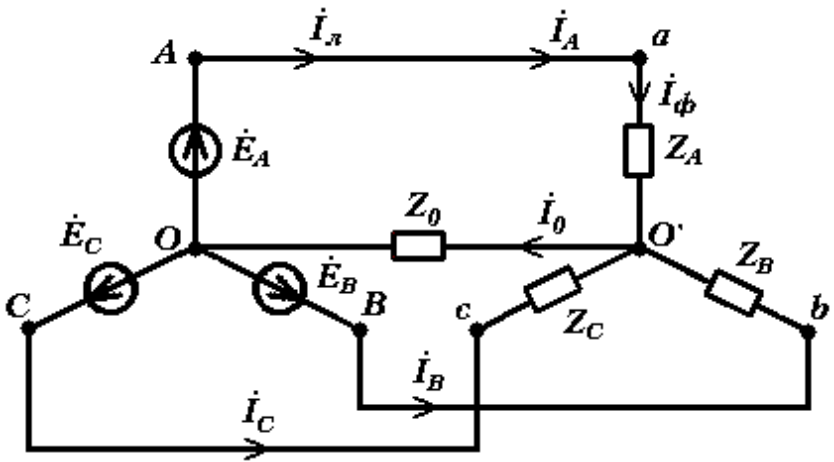


Рис. 3.1.

Як видно з зображення схеми трифазного кола, при з'єднанні зіркою I_l та I_ϕ – один і той самий струм, тобто $I_l = I_\phi$.

Для розрахунку трифазних кіл при з'єднанні зіркою застосовують метод двох вузлів. Спочатку визначається напруга між нульовими точками генератора та споживача $U_{O'O}$:

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_O} \quad (3.4)$$

де Y_A , Y_B , Y_C та Y_O – комплексні провідності відповідних фаз та нульового проводу, якщо він є.

Струми в фазах та нульовому проводі визначаються за законом Ома:

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_A &= (\dot{E}_A - \dot{U}_{O'O})Y_A; \\
 \dot{I}_B &= (\dot{E}_B - \dot{U}_{O'O})Y_B; \\
 \dot{I}_C &= (\dot{E}_C - \dot{U}_{O'O})Y_C; \\
 \dot{I}_O &= \dot{U}_{O'O}Y_O = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Якщо нульового проводу немає (рис. 3.2), то

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0. \tag{3.6}$$

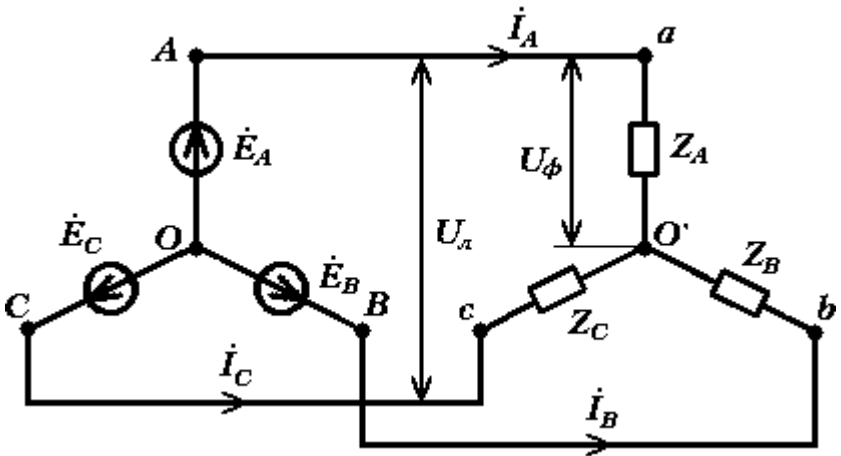


Рис.3.2

Для симетричного навантаження $Y_A = Y_B = Y_C$. Тоді для обох схем з врахуванням (5.3) зміщення нейтралі $\dot{U}_{O'O} = 0$, а також $\dot{I}_O = 0$.

При симетричному навантаженні $U_L = \sqrt{3}U_\phi$.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

3.1.4. На рис. 3.3 зображено з'єднання трикутником у трифазних колах. Очевидно, що для такої схеми $U_{л}=U_{\phi}$.

Струми у фазах навантаження (фазні) визначаються за законом Ома:

$$\dot{i}_{ab} = \frac{\dot{E}_{AB}}{Z_{ab}}; \quad \dot{i}_{bc} = \frac{\dot{E}_{BC}}{Z_{bc}}; \quad \dot{i}_{ca} = \frac{\dot{E}_{CA}}{Z_{ca}}. \quad (3.7)$$

Лінійні струми визначаються за першим законом Кірхгофа:

$$\dot{I}_A = \dot{i}_{ab} - \dot{i}_{ca}; \quad \dot{I}_B = \dot{i}_{bc} - \dot{i}_{ab}; \quad \dot{I}_C = \dot{i}_{ca} - \dot{i}_{bc}. \quad (3.8)$$

Для рівномірного навантаження ($Z_{ab}=Z_{bc}=Z_{ca}$) маємо $I_{л} = \sqrt{3}I_{\phi}$.

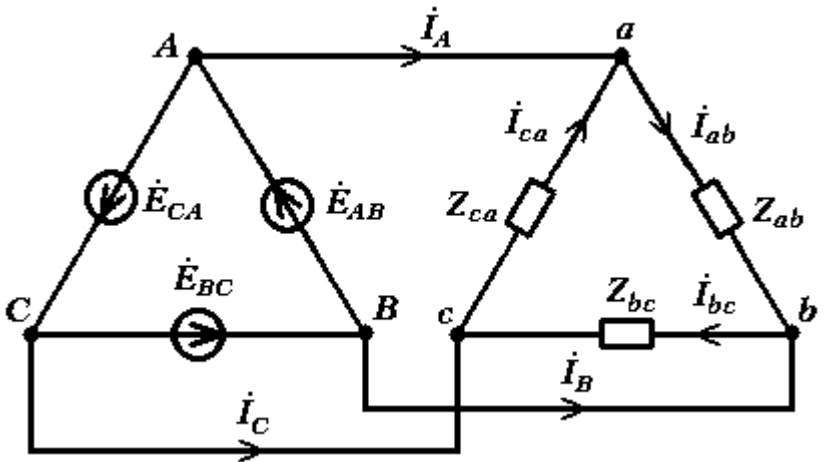


Рис. 3.3.

3.1.5. Активна потужність у кожній фазі трифазного кола обраховується за формулою:

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}. \quad (3.9)$$

Активна потужність трифазної системи визначається сумою активних потужностей всіх фаз та нульового про-
воду.

Для симетричної трифазної системи:

$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi} = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \cos \varphi_{\phi}. \quad (3.10)$$

Для вимірювання активної потужності у чотири-
провідному несиметричному колі (рис. 3.4,а) треба
увімкнути три ватметри.

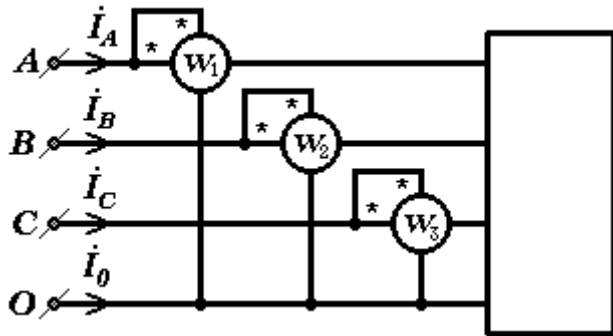
У такому колі сума потужностей ватметрів:

$$\begin{aligned} P_W &= \operatorname{Re} \left(\dot{E}_A^* I_A + \dot{E}_B^* I_B + \dot{E}_C^* I_C \right) = \\ &= \operatorname{Re} \left[(\dot{U}_{AO'} + \dot{U}_{O'O})^* I_A + (\dot{U}_{BO'} + \dot{U}_{O'O})^* I_B + (\dot{U}_{CO'} + \dot{U}_{O'O})^* I_C \right] = \\ &= \operatorname{Re} \left[\dot{U}_{AO'}^* I_A + \dot{U}_{BO'}^* I_B + \dot{U}_{CO'}^* I_C + \dot{U}_{O'O}^* I_O \right] = \\ &= U_{AO'} I_A \cos \varphi_A + U_{BO'} I_B \cos \varphi_B + \\ &\quad + U_{CO'} I_C \cos \varphi_C + U_{O'O} I_O \cos \varphi_O, \end{aligned} \quad (3.11)$$

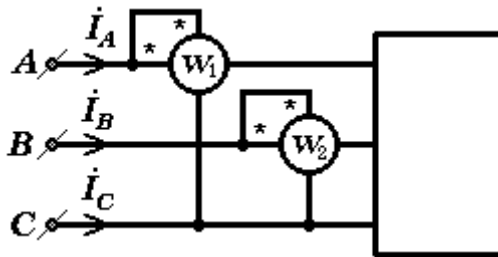
тобто дорівнює активній потужності кола.

У випадку симетричного кола, очевидно, досить од-
ного ватметра, оскільки потужність кола дорівнює тут
потроєній потужності одної фази.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---



а)



б)

Рис. 3.4

Для вимірювання потужності у трипровідному трифазному колі досить двох ватметрів, увімкнених за схемою, зображеною на рис. 3.4, б. Активна потужність у колі дорівнює сумі їх показів:

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

$$\begin{aligned}
 P_{W1} + P_{W2} &= \operatorname{Re} \left(\dot{U}_{AC}^* I_A + \dot{U}_{BC}^* I_B \right) = \\
 &= \operatorname{Re} \left[\left(\dot{U}_A - \dot{U}_C \right)^* I_A + \left(\dot{U}_B - \dot{U}_C \right)^* I_B \right] = \\
 &= \operatorname{Re} \left[\dot{U}_A^* I_A + \dot{U}_B^* I_B + \dot{U}_C^* I_C \right] = \\
 &= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C.
 \end{aligned} \tag{3.12}$$

3.1.5 Для аналізу процесів, що відбуваються у трифазних колах, широко використовуються векторні діаграми.

На рис. 3.5, а зображена векторна діаграма лінійних та фазних ЕРС для схеми з'єднання зіркою. Якщо у схемі з'являється напруга між нульовими точками генератора та споживача, то векторна діаграма напруг приймає вигляд, зображений на рис. 3.5, б. При побудові суміщеної векторної діаграми струмів та напруг треба мати відповідні кути зсуву фаз між напругами та струмами для навантаження кожної фази. На рис. 3.6, а зображена така діаграма для схеми рис. 3.2, побудована в припущенні, що $\varphi_A=0$, $\varphi_B>0$, $\varphi_C>0$.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

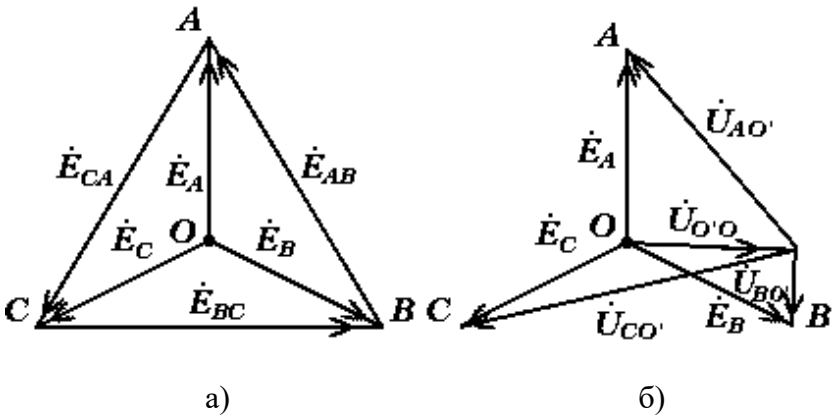


Рис. 3.5

Приклад побудови векторної діаграми для схеми з'єднання трикутником приведеній на рис. 3.6, б.

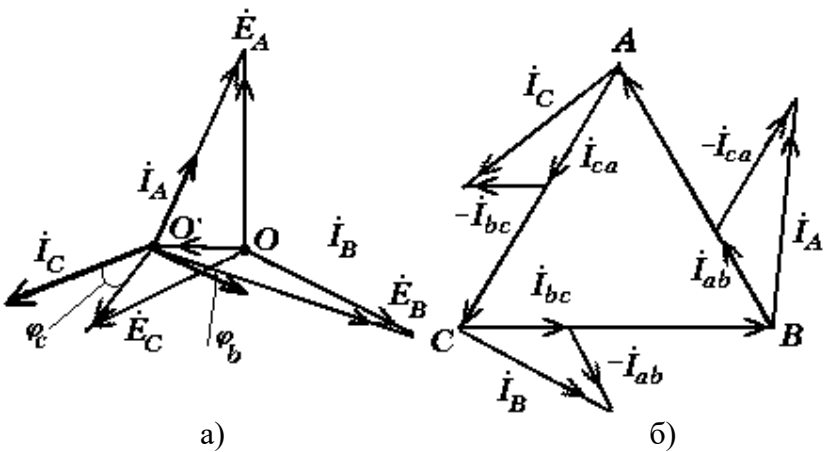


Рис. 3.6

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

Прийнято, що навантаження кожної з фаз за характером чисто активне. Вектори струмів в лініях визначаються у відповідності з (3.8).

3.2. Порядок виконання роботи

3.2.1. Ознайомитись з обладнанням та приладами, які використовуються у роботі. Поміряти лінійну U_L та фазну U_ϕ напругу на вторинних обмотках трифазного трансформатора, що використовується для живлення трифазного кола.

3.2.2. Зібрати схему для дослідження з'єднання зіркою з нульовим проводом (рис. 3.7).

Поміряти усі струми, напруги та потужності у схемі для таких режимів її роботи:

- а) навантаження усіх фаз чисто активне і рівномірне, тобто $Z_A=Z_B=Z_C=R$;
- б) навантаження системи активне, але нерівномірне: $R_A \neq R_B \neq R_C$;
- в) навантаження усіх фаз різне за характером: $Z_A=R$, $Z_B=R_L+jX_L$, $Z_C=-jX_C$.

Навантаження нульового проводу для усіх режимів прийняти чисто активним.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

3.2.3. Для дослідження роботи трифазного кола при з'єднанні трикутником зібрати схему, зображену на рис. 3.8. Поміряти усі напруги, струми та потужності у схемі при $Z_{ab}=Z_{bc}=Z_{ca}=R$.

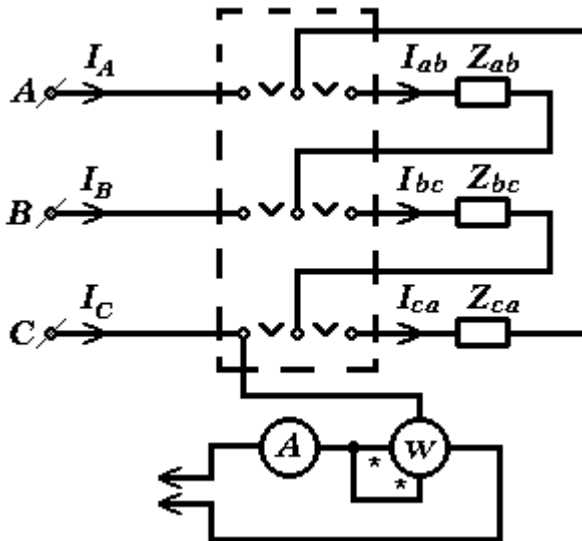


Рис. 3.8

3.3. Обробка результатів вимірювань

3.3.1. За результатами вимірювань п. 3.2.1 та п. 3.2.2, а перевірити співвідношення між лінійними та фазними напругами: $U_o = \sqrt{3}U_\phi$

3.3.2. Використовуючи параметри навантаження, розрахувати зміщення нейтралі, струми та потужності для

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

усіх режимів роботи при з'єднанні зіркою. Результати розрахунків занести у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Режим роботи	$U_{0'0},$ В	Струми, А				Потужності, Вт				
		I_A	I_B	I_C	I_0	P_A	P_B	P_C	P_0	P_Σ

Порівняти результати вимірювань та обчислень.

Побудувати суміщені векторні діаграми струмів та напруг.

3.3.3. Перевірити виконання співвідношення для лінійних та фазних струмів при з'єднанні трикутником. Маючи параметри навантаження, розрахувати фазові струми та потужності фаз. Співставити результати вимірювань та обчислень.

Побудувати векторну діаграму струмів та напруг.

3.3.4. Зробити висновки по роботі в цілому.

3.4. Контрольні запитання

3.4.1. Які напруги та струми прийнято називати лінійними та фазними?

3.4.2. Яким методом найбільш доцільно розраховувати струми у трифазних колах при з'єднанні зіркою?

3.4.3. Які зміни відбудуться у режимі роботи схеми з'єднання зіркою без нульового проводу, якщо при си-

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

метричному навантаженні виникне обрив у одній із фаз?
коротке замикання одного споживача?

3.4.4. Як розраховуються струми трифазного кола при з'єднанні трикутником?

3.4.5. Як розраховується потужність трифазної системи?

3.4.6. Як вимірюється потужність у трифазних колах?

5.4.7. Як будуються векторні діаграми струмів та напруг для трифазних кіл?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Передатні характеристики простих кіл

Мета роботи: дослідити передатні характеристики розгалуженого та нерозгалуженого кола з одним реактивним елементом.

4.1. Короткі теоретичні відомості

4.1.1. Комплексна передатна функція кола за напругою $K(j\omega)$ являє собою відношення комплексних вихідної \dot{U}_2 до вхідної \dot{U}_1 напруг чотириполусника:

$$K(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = K(\omega)e^{j\varphi_k(\omega)} = U(\omega) + jV(\omega). \quad (4.1)$$

При цьому $K(\omega) = U_2/U_1$ називають передатною амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ), а $\varphi_k(\omega) = \psi_{U_2} - \psi_{U_1}$ – передатною фазочастотною характеристикою (ФЧХ) кола. Тоді $K(j\omega)$ – амплітудно-фазочастотна характеристика (АФЧХ). У теорії автоматичного керування та регулювання використовуються також дійсна $U(\omega)$ та уявна $V(\omega)$ частотні характеристики.

4.1.2. Передатні характеристики лінійних кіл визначаються тільки параметрами елементів кола та схемою їх з'єднання і не залежать від прикладеної напруги. Для схеми, зображеної на рис. 4.1,а, передатна функція:

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

$$K(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{U}_1 \left(\frac{1}{j\omega C} \right)}{\dot{U}_1 \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right)} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}, \quad (4.2)$$

де $\tau = RC$ – стала часу кола.

Передатна АЧХ:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}, \quad (4.3)$$

а ФЧХ:

$$\varphi_K(\omega) = -\arctg(\omega\tau) \quad (4.4)$$

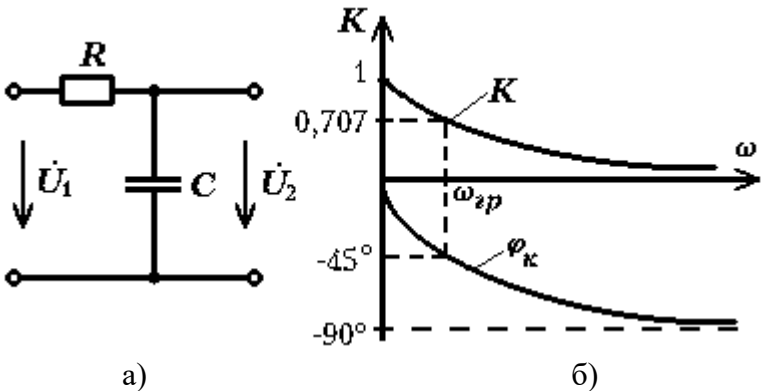


Рис. 4.1.

При нульовій частоті ($\omega = 0$) $K = 1$, а $\varphi_K = 0$. На нескінченно великій частоті ($\omega = \infty$) $K = 0$, а $\varphi_K = -90^\circ$. При $\omega = 1/\tau = 1/RC$ (така частота називається **граничною**

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

ω_{cp}) $K(\omega)=0,707$, а $\varphi_K = -45^\circ$. Якісно вигляд АЧХ та ФЧХ для приведеної схеми наведений на рис. 4.1,б.

Для визначення частоти ω , на якій модуль коефіцієнта передачі приймає задане значення, треба розв'язати рівняння (4.3) відносно ω . Маємо:

$$\omega = \frac{\sqrt{1-K^2}}{\tau K}, \text{ або відповідно } f = \frac{\sqrt{1-K^2}}{2\pi\tau K}. \quad (4.5)$$

4.1.3. Для розгалуженої схеми (рис. 4.2,а), позначивши:

$$Z_1 = R_2, \text{ а } Z_2 = \frac{R_2/j\omega C}{R_2 + 1/j\omega C},$$

маємо:

$$K(j\omega) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2) + j\omega R_1 R_2 C}. \quad (4.6)$$

Амплітудно-частотна характеристика:

$$K(\omega) = \frac{R_2}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (\omega R_1 R_2 C)^2}}, \quad (4.7)$$

а фазочастотна характеристика кола:

$$\varphi_K(\omega) = -\text{arctg} \frac{\omega R_1 R_2 C}{R_1 + R_2}. \quad (4.8)$$

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

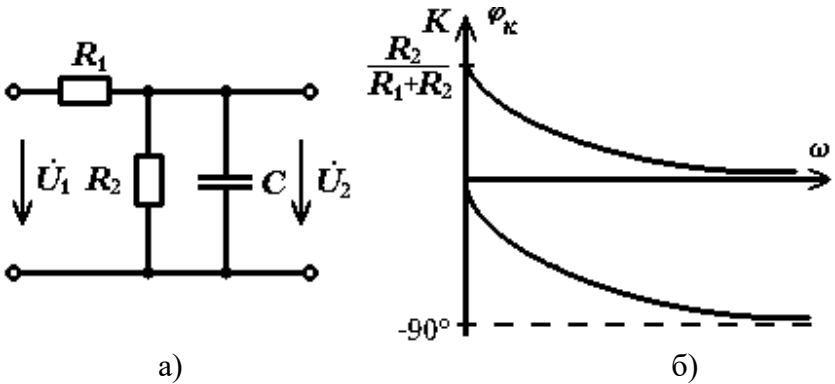


Рис. 4.2.

Якісно вигляд АЧХ та ФЧХ для цього кола приведені на рис. 4.2,б.

4.1.4. Можливість зображення АЧХ та ФЧХ одним графіком обумовлена тим, що кожному значенню частоти відповідає певне значення $K(j\omega)$ у вигляді комплексного числа. На комплексній площині цьому числу відповідає вектор з модулем $K(\omega)$ та фазою $\varphi_k(\omega)$. При зміні ω кінець цього вектора описує на комплексній площині деяку криву – **годограф** комплексної передатної характеристики. Годограф будують, як правило, для зміни частоти від $\omega = 0$ до $\omega = \infty$, для кожного з кінців вектора $K(j\omega)$ на кривій вказується значення частоти ω .

4.2. Порядок виконання роботи

4.2.1. Ознайомитись з обладнанням, що використовується у роботі. Визначити сталу часу $\tau = RC$ для схеми

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

рис. 4.1, а. Значення R та C визначити, вивчивши макет на робочому місці.

4.2.2. Розрахувати частоти f , для яких модуль коефіцієнта передачі даної схеми приймає значення $K = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$. Результати підрахунків занести у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

$R = ; C = ; \tau =$						
За попереднім розрахунком			Одержано експериментально			Розраховано за даними вимірювань
K	$f, \text{Гц}$	$\varphi_K, ^\circ$	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$\varphi_K, ^\circ$	K

4.2.3. Для експериментального дослідження $K(\omega)$ та $\varphi_K(\omega)$ зібрати схему, зображену на рис. 4.3.

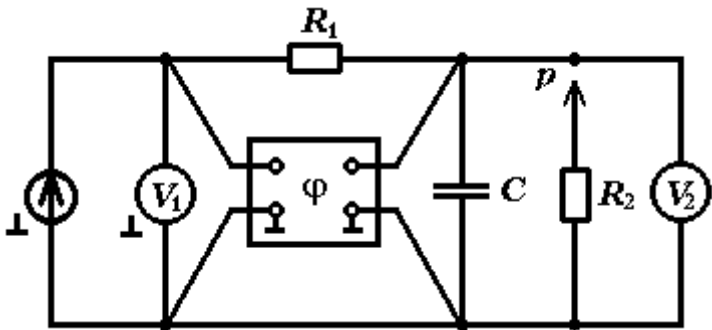


Рис. 4.3.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

Зняти передатні АЧХ та ФЧХ, встановивши величину напруги на вході схеми в межах, вказаних викладачем, та вибравши для вимірювань частоти, розраховані у п. 4.2.2. Результати вимірювань занести у табл. 4.1.

4.2.4. Розрахувати K та φ_K для схеми рис. 4.2,а, використавши значення частот, які визначені у п. 4.2.2. Результати підрахунків занести у табл. 4.2.

4.2.5. Підключити паралельно конденсатору C опір R_2 . Зняти експериментально передатні АЧХ та ФЧХ. Результати вимірювань занести у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

$R_1 = ; R_2 = ; C =$						
За попередніми розрахунками		Результати вимірювань				Розраховано за даними вимірювань
f , кГц	K	φ_K , °	U_1 , В	U_2 , В	φ_K , °	K

4.3. Обробка результатів вимірювань

4.3.1. За даними обчислень п. 4.2.2. та вимірювань п. 4.2.3. побудувати теоретичні та експериментальні АЧХ та ФЧХ на суміщеному графіку.

4.3.2. За даними табл. 4.2 побудувати криві АЧХ та ФЧХ для схеми рис. 4.2,а.

4.3.3. Побудувати годографи передатної характеристики для обох схем.

4.3.4. Порівняти характеристики, одержані попередніми розрахунками, з характеристиками, одержаними експериментально, зробити висновки по роботі.

4.4. Контрольні запитання

4.4.1. Як розрахувати комплексну передатну характеристику лінійного кола?

4.4.2. Побудуйте АЧХ та ФЧХ для схем, зображених на рис. 4.4, а, б, в.

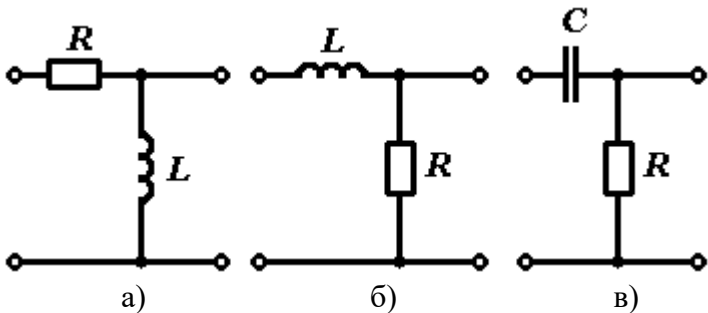


Рис. 4.4.

4.4.3. Визначте сталі часу для схем рис. 4.4, а, б, в.

4.4.4. Що таке годограф комплексної передатної характеристики та як він будується?

4.4.5. Дайте визначення передатної АЧХ та ФЧХ.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

ЛІТЕРАТУРА

1. Каргополова Н.П. Теорія електричних та магнітних кіл. Курс лекцій: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 474 с.
2. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. – М: Энергия, 1978. – 364 с.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М: Высшая школа, 1984. – 559 с.
4. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т. 1 – Л: Энергоиздат, 1981. – 536 с.
5. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т. 2 – Л: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
6. Перхач В.С. Теоретична електротехніка. – К.: Вища школа, 1992. – 439 с.
7. Белецкий А.Ф. Теория линейных электрических цепей. – М: Радио и связь, 1986. – 543 с.
8. Крылов В.В., Корсаков С.Я. Основы теории цепей для системотехников. – М: Высшая школа. 1990. – 224 с.
9. Попов В.П. Основы теории цепей. – М: Высшая школа, 1985.
10. Шебес М.Р. Задачник по теории линейных электрических цепей. – М: Высшая школа, 1982. – 488 с.

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1. Лінійні електричні кола постійного струму	4
Лабораторна робота № 2. Лінійні кола змінного струму	11
Лабораторна робота № 3. Трифазні кола	19
Лабораторна робота № 4. Передатні характеристики простих кіл	33
Література	40