

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ, НАУКИ, МОЛОДІ І СПОРТУ  
УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕР-  
СИТЕТ ТРАНСПОРТУ**

**Кафедра « Фізики і електротехніки»**

**ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

**Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної  
роботи для студентів усіх форм навчання спеціальності  
«Залізничні споруди і колійне господарство».**

**Київ-2013**

**УДК 330.43.1075.8**

**Поліщук С.І.**

Методичні вказівки та завдання до виконання контрольних робіт з електротехніки для студентів усіх форм навчання спеціальності «Залізничні споруди і колійне господарство». – К.: ДЕТУТ, 2012, - 44 с.

Методичні вказівки написано відповідно до навчальної програми підготовки бакалаврів. Містять контрольні завдання з електротехніки для розрахунку лінійних електричних кіл постійного, змінного і трифазного струмів, а також розрахунку трифазної мережі, що живить розподільний щит будівельного майданчика. Наведені приклади виконання розрахунків відповідних електричних кіл і контрольні запитання для самоперевірки.

*Методичні вказівки розглянуті та затверджені на засіданні кафедри фізики та електротехніки ( протокол № 6 від 12 січня 2012 року) і на засіданні методичної комісії факультету «Інфраструктура та рухомий склад залізниці» (протокол №6 від 16 січня 2012 року).*

Призначені для студентів спеціальності «Залізничні споруди і колійне господарство».

**Укладач:** С. І. Поліщук, ст. викладач кафедри фізики та електротехніки ДЕТУТ

Рецензенти:

А. А. Шуляк, ст. викладач (кафедра «Теоретична електротехніка» НТУУ «КПІ»)  
О. С. Дзян, к.т.н. доцент ( кафедра «Фізика і електротехніка», ДЕТУТ)

# Зміст

<b>Вступ.....</b>	<b>4</b>
<b>Методичні рекомендації щодо виконання контрольних розрахунково-графічних робіт.....</b>	<b>5</b>
<b>Завдання 1. Розрахунок розгалуженого електричного кола постійного струму з декількома джерелами електричної енергії.....</b>	<b>6</b>
<b>Завдання 2. Розрахунок нерозгалуженого електричного кола змінного струму.....</b>	<b>16</b>
<b>Завдання 3. Розрахунок лінійних трифазних електричних кіл:</b>	
3.1. Розрахунок трифазних електричних кіл при з'єднанні споживачів «зіркою».....	20
2. Розрахунок трифазних електричних кіл при з'єднанні споживачів «трикутником».....	26
<b>Завдання 4. Розрахунок трифазної мережі, що живить силовий розподільчий щит будівельного майданчика.....</b>	<b>31</b>
<b><i>Додаток 1. Допустимі довготермінові струмові навантаження на провідники та кабелі.....</i></b>	<b>35</b>
<b>Навчальна програма.....</b>	<b>40</b>
<b>Рекомендована література.....</b>	<b>44</b>

## Вступ

Дисципліна «Електротехніка» вивчає практичне використання електромагнітних явищ в нашому повсякденному житті і є основою для формування технічного світогляду майбутніх інженерів.

Електротехніка як розділ науки і техніки вивчає питання практичного використання електричної енергії в промисловості і побуті. Саме електрична енергія в теперішній час є основним видом енергії, яка використовується нашою цивілізацією. Це пояснюється насамперед її універсальністю:

- вона досить просто може бути отримана перетворенням із інших видів енергії: хімічної, теплової, ядерної, сонячно, вітрової;
- її можна легко транспортувати на великі відстані із мінімальними втратами і розподіляти між окремими споживачами ;
- її можна перетворювати в інші види енергії: теплову, механічну, світлову;
- вона може безпосередньо використовуватися в технологічних процесах або на її основі може бути створена проста апаратура керування.

Вивчення дисципліни «Електротехніка» базується на знанні основ, що вивчаються в курсах «Фізики» і «Математики»:

- 1) поняття про електричні, магнітні, енергетичні величини та одиниці їх вимірювання;
- 2) закони електромагнетизму
- 3) фізичні основи електромагнітних процесів в провідниках і діелектриках
- 4) основи диференціального та інтегрального числення, операції з тригонометричними функціями, розв'язання алгебраїчних і диференціальних рівнянь, дії з векторними величинами і комплексними числами.

Основним поняттям електротехніки є поняття про електричне коло як сукупність взаємозв'язаних технічних пристроїв для генерування, перетворення, транспортування і використання електричної енергії. Для описання процесів, що протікають в електричних колах використовують поняття електричного струму як спрямованого руху електричних зарядів, ерс і напруги. Для визначення кількісних співвідношень в електричному колі застосовують закони Ома для ділянки кола і для всього кола, і закони Кірхгофа. Кожний провідник, з точки зору протікання електричного струму, характеризується електричним опором, ємністю та індуктивністю. Для спрощення розрахунків використовують поняття ідеалізованих елементів кола, які характеризуються тільки одним із зазначених параметрів.

Графічно електричне коло зображується у вигляді схеми заміщення. Визначення та позначення елементів кола, електричних і магнітних величин регламентуються державними стандартами:

ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.

ДСТУ 2815-94. Електричні і магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення.

ДСТУ 3120-95. Електротехніка. Літерні позначення основних величин.

та інші.

Оскільки в електричному колі енергія передається від джерел живлення до споживачів за посередництвом електричного струму, то розрахунок електричних кіл зводиться до визначення сили струмів в кожній окремій гільці кола і в усьому колі при відомих параметрах елементів кола.

Метою даних контрольних завдань є допомогти студентам у засвоєнні теоретичного матеріалу з електротехніки і набутті навичок розрахунку різних електричних кіл із різними типами електричних струмів.

Виконання контрольної розрахунково-графічної роботи є важливим етапом самостійної роботи студента над дисципліною. Її успішне виконання свідчить про те, що відповідні розділи дисципліни вивчені і достатньо глибоко осмислені.

### **Методичні рекомендації щодо виконання контрольних робіт.**

Завдання на контрольну розрахунково-графічну роботу мають 100 варіантів, які відрізняються один від одного схемами і числовими значеннями параметрів елементів схеми. Варіант, що підлягає виконанню, визначається за двома останніми цифрами шифру студента: за останньою цифрою вибирається номер схеми, а за передостанньою – номер варіанта числових значень величин. Наприклад, шифру 2000375 відповідають схема 5 і 7-й варіант числових значень. Якщо порядок вибору варіанта інший, то це обумовлюється при видачі завдання.

Робота виконується на аркушах формату А4 з одного боку і подається на перевірку викладачу у зброшурованому вигляді. Вона повинна мати повні умови завдання та необхідний пояснювальний текст до усіх математичних виразів. Рішення ілюструється електричними схемами, виконаними за чинними стандартами. На схемах потрібно позначити напрямки струмів у всіх ланках. При поданні розрахунків виконаної роботи дотримуватися такого порядку: спочатку записати формулу (аналітичний вираз), потім підставити без жодних перетворень числові значення величин, що входять до цієї формули, згодом подати результат розрахунків із зазначенням одиниць вимірювання. Роботу, яка не отримала дозвіл на захист, треба виправити на зворотному боці аркуша згідно з зауваженнями викладача та подати на другу перевірку. Не дозволяється робити виправлення безпосередньо у матеріалі роботи, який перевірів викладач. При виконанні розрахунків (наприклад, при визначенні коренів алгебраїчних рівнянь з комплексними коефіцієнтами, при розрахунках з комплексними числами), а також при побудові графіків та оформленні роботи доцільно максимально використовувати ПЕОМ. Зокрема, можна користуватися комп'ютерним класом кафедри фізики та електротехніки та ПЕОМ лабораторії

електротехніки, що мають відповідне програмне забезпечення: програми MathCAD, Maple та інші. Без автоматизації обчислювань витрати часу на виконання роботи будуть значними. Тому, принаймні, у нагоді стане мікрокалькулятор (з тригонометричними функціями та, бажано, діями з комплексними числами). Рекомендований обсяг викладання матеріалу контрольної розрахунково-графічної роботи – 12-16 аркушів.

### **Завдання 1. Розрахунок розгалуженого електричного кола постійного струму з декількома джерелами електричної енергії**

На рис. 1.1 зображені електричні кола з двома джерелами електричної енергії, а в таблиці 1.1 – значення ерс активних елементів і опорів споживачів.

**Таблиця 1.1**

<b>№ варі- анта</b>	<b>E<sub>1</sub> В</b>	<b>R<sub>01</sub> Ом</b>	<b>E<sub>2</sub> В</b>	<b>R<sub>02</sub> Ом</b>	<b>R<sub>1</sub> Ом</b>	<b>R<sub>2</sub> Ом</b>	<b>R<sub>3</sub> Ом</b>	<b>R<sub>4</sub> Ом</b>	<b>R<sub>5</sub> Ом</b>	<b>R<sub>6</sub> Ом</b>	<b>Гілка</b>
<b>1</b>	<b>110</b>	<b>0,20</b>	<b>15</b>	<b>0,8</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>АГ</b>
<b>2</b>	<b>30</b>	<b>0,25</b>	<b>120</b>	<b>0,6</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>АВ</b>
<b>3</b>	<b>220</b>	<b>0,15</b>	<b>60</b>	<b>1,0</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>БГ</b>
<b>4</b>	<b>115</b>	<b>0,40</b>	<b>30</b>	<b>1,2</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>БВ</b>
<b>5</b>	<b>60</b>	<b>0,50</b>	<b>100</b>	<b>0,5</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>АБ</b>
<b>6</b>	<b>100</b>	<b>0,35</b>	<b>60</b>	<b>0,8</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>ВГ</b>
<b>7</b>	<b>30</b>	<b>0,60</b>	<b>115</b>	<b>1,2</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>БВ</b>
<b>8</b>	<b>60</b>	<b>0,45</b>	<b>220</b>	<b>0,5</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>БГ</b>
<b>9</b>	<b>115</b>	<b>0,55</b>	<b>30</b>	<b>1,2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>АВ</b>
<b>0</b>	<b>45</b>	<b>0,75</b>	<b>110</b>	<b>0,8</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>АБ</b>

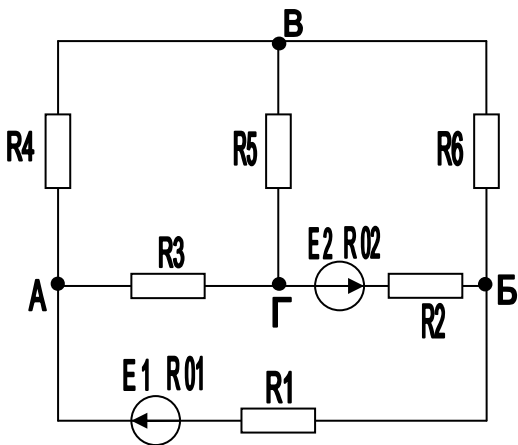
Згідно визначеного викладачем варіанту, потрібно:

1. Скласти рівняння визначення струмів шляхом безпосереднього застосування законів Кірхгофа. Розв'язувати систему рівнянь непотрібно
2. Визначити струми в колах методом контурних струмів.

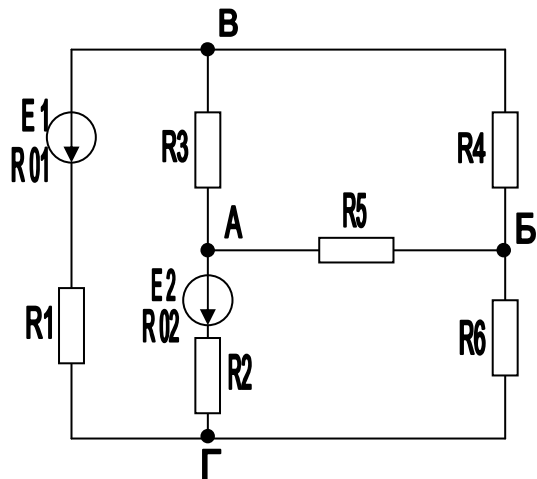
3. Визначити струм у гілці, зазначеній у табл. 1.1, методом еквівалентного генератора.

4. Скласти баланс потужностей.

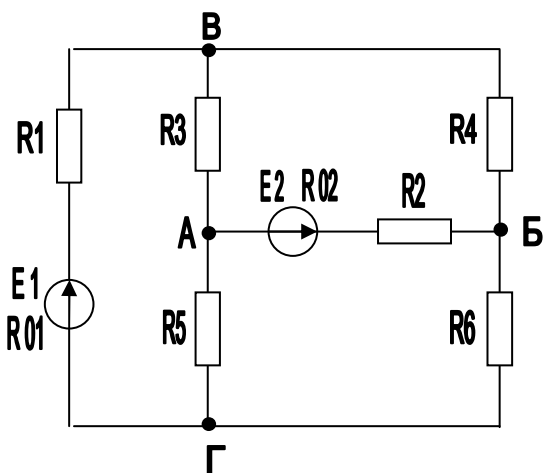
5. Побудувати потенціальну діаграму для контуру, що включає обидві електрорушійні сили.



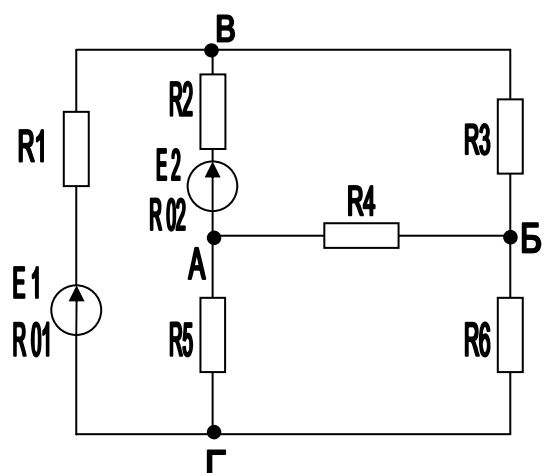
Вар. 0



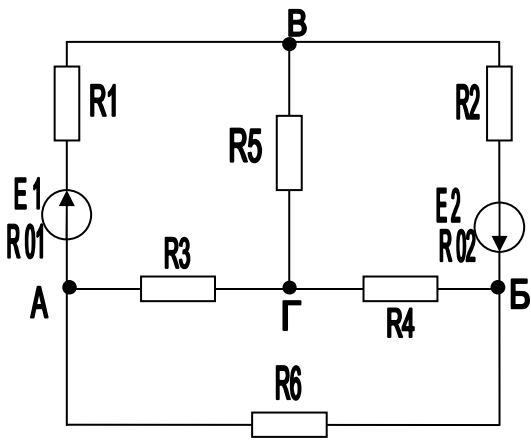
Вар. 1



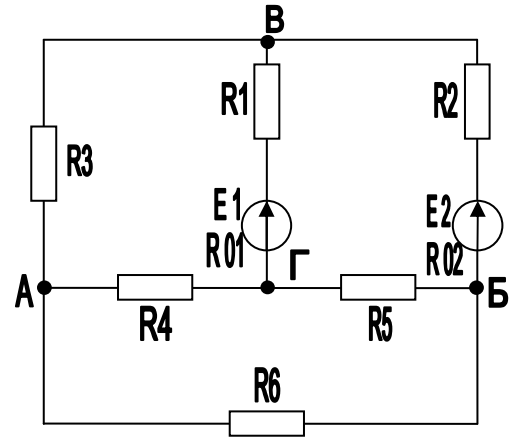
Вар. 2



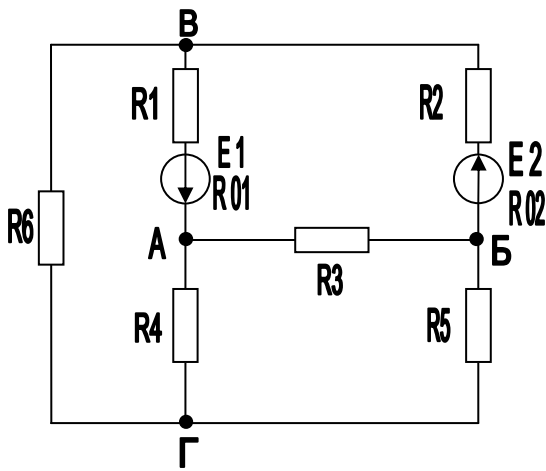
Вар. 3



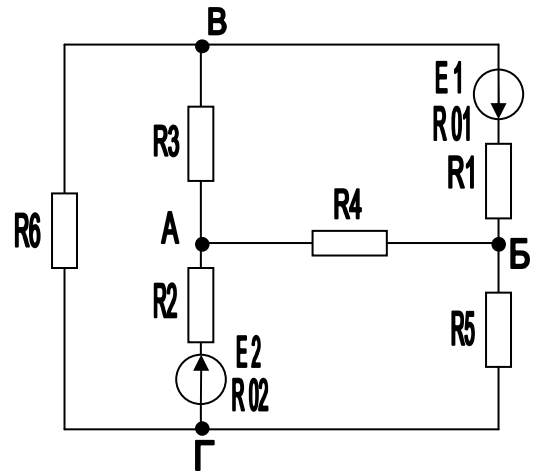
Вар. 4



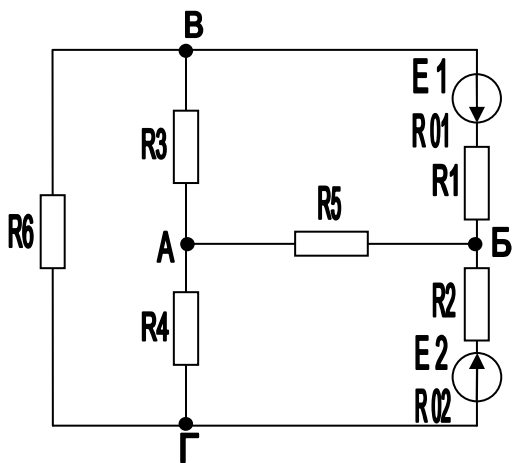
Вар. 5



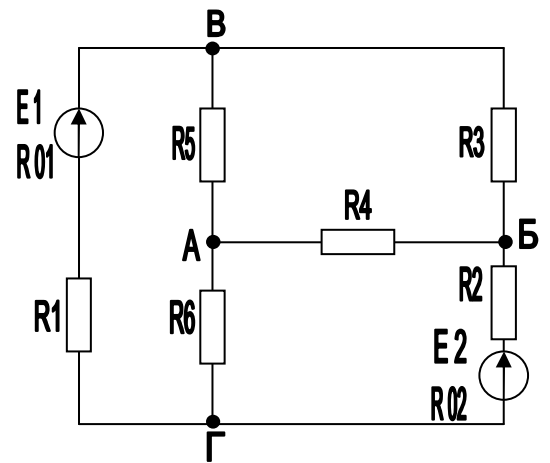
Вар. 6



Вар. 7



Вар. 8



Вар. 9

Рис. 1.1



### Методичні вказівки щодо виконання завдання 1

Перед складанням рівнянь за законами Кірхгофа треба спочатку довільно обрати напрямки струмів в гілках електричного кола. Кількість незалежних рівнянь має дорівнювати кількості невідомих струмів. При складанні рівнянь за I законом Кірхгофа при наявності  $m$ -вузлів кількість рівнянь повинна бути на одне менше, тобто  $(m-1)$  рівняння. Якщо кількість невідомих струмів  $n$ , то за II законом Кірхгофа треба скласти  $n-(m-1)$  рівняння. При аналізі електричного кола, якщо в умові вказаний внутрішній опір джерела живлення, доречно зобразити його на електричній схемі.

**Приклад 1.** Розглянемо електричне коло, що складається із 2-х контурів, в яких діють Е.Р.С.  $E_1=20$  В і  $E_2=10$  В з внутрішніми опороми  $R_{01}=R_{02}=1$  Ом, а також опори споживачів  $R_1=5$  Ом,  $R_2=10$  Ом,  $R_3=8$  Ом. Треба скласти рівняння за законами Кірхгофа, визначити невідомі струми методом контурних струмів (рис.1.2.)

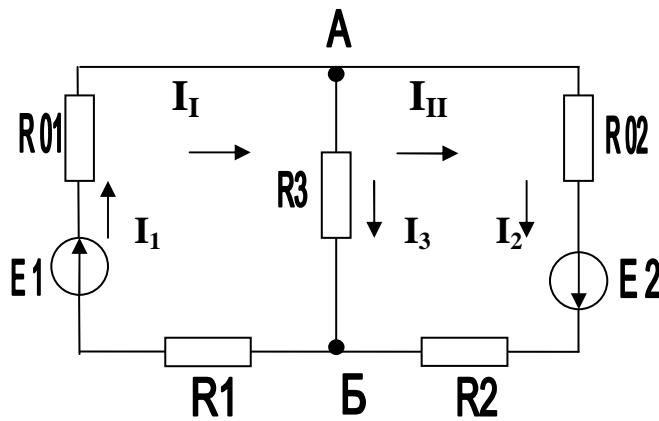


Рис. 1.2

**Розв'язання.** Спочатку довільно обираємо напрямки струмів в гілках кола (див. рис1.2);

1) складаємо одне рівняння за першим законом Кірхгофа для вузла А (оскільки маємо 2 вузли – не має значення для якого)

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0;$$

2) складаємо 2 рівняння за другим законом Кірхгофа ( для кожного контуру, в якому діє джерело ерс )

$$I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot R_{01} + I_3 \cdot R_3 = E_1$$

$$I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot R_{02} - I_3 \cdot R_3 = E_2$$

Маємо три рівняння для трьох невідомих струмів ( розв'язувати їх не потрібно). Таким чином дано відповідь на перший пункт завдання;

3) визначаємо струми в гілках кола методом контурних струмів. Для цього обираємо контурні струми  $I_I$  та  $I_{II}$ , які протікають в межах тільки одного контуру за годинниковою стрілкою. Зазначимо, що вони співпадають з дійсними струмами у зовнішніх гілках кола. Визначаємо власні ( $R_{II}$  і  $R_{22}$ ) і взаємний ( $R_{12} = R_{21}$ ) опори контурів:

$$R_{11} = R_1 + R_{01} + R_3 = 5 + 1 + 8 = 14 \text{ Ом,}$$

$$R_{22} = R_2 + R_{02} + R_3 = 10 + 1 + 8 = 19 \text{ Ом,}$$

$$R_{12} = R_{21} = R_3 = 8 \text{ Ом.}$$

Оскільки в кожному із контурів діє тільки одне джерело, то контурні ерс будуть рівні їм, тобто:

$$E_I = E_1, \quad E_{II} = E_2$$

Таким чином для контурних струмів  $I_I$  і  $I_{II}$  за другим законом Кірхгофа складаємо два рівняння

$$\begin{cases} I_I \cdot R_{11} - I_{II} \cdot R_{12} = E_I \\ -I_I \cdot R_{21} + I_{II} \cdot R_{22} = E_{II} \end{cases}$$

Підставляючи значення опорів та ерс, отримуємо:

$$\begin{cases} 14I_I - 8I_{II} = 20 \\ -8I_I + 19I_{II} = 10 \end{cases}$$

Розв'язуючи систему рівнянь, знаходимо контурні і дійсні струми

$$I_I = I_1 = 2,28 \text{ А,}$$

$$I_{II} = I_2 = 1,43 \text{ А,}$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 0,79 \text{ А.}$$

Складаємо баланс потужностей. При складанні балансу потужностей у лівій частині рівняння записується алгебраїчна сума потужностей, що розвиваються активними елементами  $\sum E_k I_k$  ( потужність джерел  $P_{дж}$ ). Доданок  $E_k I_k$  (у літерних позначеннях) варто брати зі знаком «плюс», якщо напрямок дії ерс і позитивний напрямок струму, що проходить по активному елементу, збігаються. У правій частині рівняння записується сума потужностей, що розсіюються на всіх резистивних елементах (у тому числі і на внутрішніх опорах джерел електричної енергії) кола,  $\sum R_k I_k^2$  (потужність споживачів  $P_{сп}$ )

$$P_{дж} = P_{сп}$$

$$P_{дж} = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 = 20 \cdot 2,28 + 10 \cdot 1,49 = 60,5, \text{ Вт}$$

$$P_{сп} = I_1^2 \cdot (R_1 + R_{01}) + I_2^2 \cdot (R_2 + R_{02}) + I_3^2 \cdot R_3 = 61,93, \text{ Вт}$$

Похибка обчислень складає 2,3%, що є прийнятним.

Для знаходження струму в одній виділеній гілці кола застосовується метод еквівалентного генератора. При цьому усе коло, крім виділеної гілки, замінюємо активним двополюсником із внутрішнім опором  $R_r$  і ерс  $E_r$ , до якого під'єднана вказана гілка. Визначаючи  $E_r$  і  $R_r$  за законом Ома для повного кола знаходимо струм у виділеній гілці.

**Приклад.** Треба знайти струм  $I$  в гілці АБ, якщо відомо:  $E_1 = 25 \text{ В}$ ,  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 40 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 8 \text{ Ом}$ .

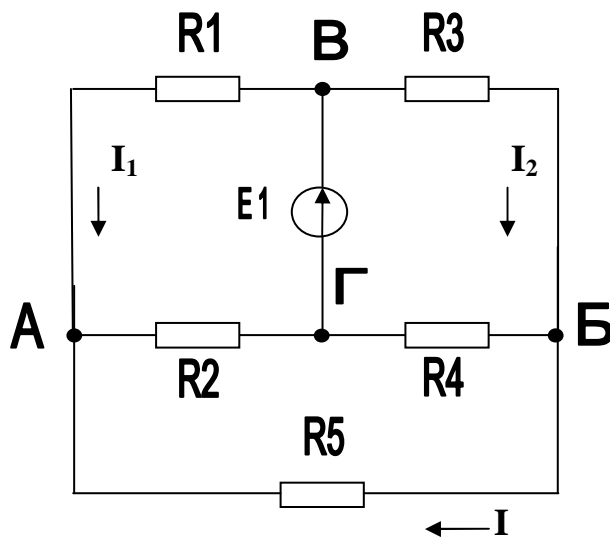


Рис. 1.3

**Розв'язання.** Спочатку від'єднуємо опір  $R_5$  і відносно точок АБ розглядаємо коло, як двополюсник. Внутрішній опір еквівалентного генератора ( для спрощення нехтуючи опором джерела живлення) знаходимо за схемою рис.1.4, вставляючи замість ерс  $E_1$  перемичку ВГ.

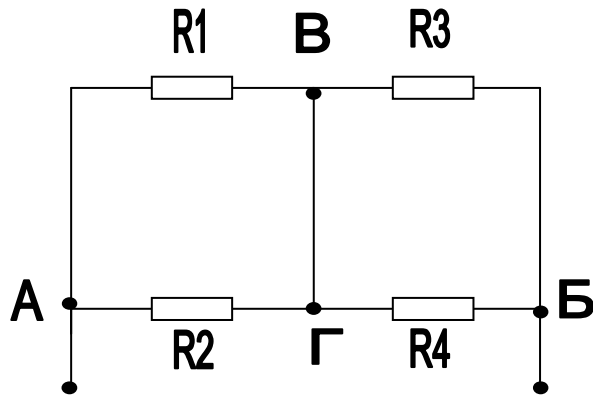


Рис.1.4.

Маємо паралельно-послідовне з'єднання опорів  $R_1, R_2, R_3, R_4$  і опір  $R_r$  буде:

$$R_r = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) + R_3 \cdot R_4 / (R_3 + R_4) = 12 \text{ Ом};$$

Ерс еквівалентного генератора знаходимо як різницю потенціалів точок А і Б  $\varphi_a - \varphi_b$  приймаючи потенціал точки Г  $\varphi_r = 0$  (рис1.5)

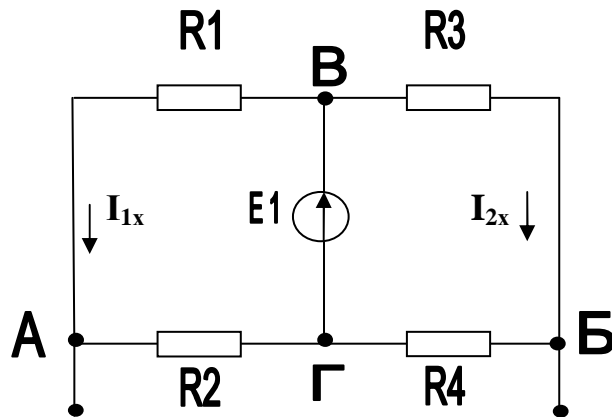


Рис.1.5.

Для визначення потенціалів  $\varphi_a$  і  $\varphi_b$  знаходимо струми холостого ходу  $I_{1x}$  та  $I_{2x}$  із рівнянь:

$$I_{1x} = E_1 / (R_1 + R_2) = 1 \text{ А}, \quad I_{2x} = E_1 / (R_3 + R_4) = 0,5 \text{ А}$$

Тоді різниця потенціалів  $\varphi_B - \varphi_A = I_{1x} R_1$ ,

а потенціал  $\varphi_A = \varphi_B - I_{1x} R_1 = 25 - 20 = 5$  В.

Аналогічно знаходимо потенціал  $\varphi_B - \varphi_C = I_{2x} R_3 = 25 - 5 = 20$  В.

Різниця потенціалів  $\varphi_A - \varphi_C = E_r = -15$  В.

Струм у гілці АБ через опір  $R_5$  визначаємо за законом Ома:

$$I = E_r / (R_5 + R_r) = -15 / (8 + 12) = -0,75 \text{ А}$$

**Приклад.** Треба побудувати потенціальну діаграму контуру, що містить два джерела живлення:  $E_1 = 18$  В,  $E_2 = 32$  В,  $R_1 = 4$  Ом,  $R_2 = 3$  Ом,  $R_3 = 5$  Ом,  $R_{01} = R_{02} = 1$  Ом.

Для побудови потенціальної діаграми треба визначити потенціали точок електричного кола, умовно прийнявши потенціал однієї з них як рівний нулю.

Розглянемо коло на рис.1.6, що являє собою контур з двом джерелами живлення, причому активні елементи представимо їх послідовною схемою заміщення (схемою з джерелом ерс). Напрямок струму вказано.

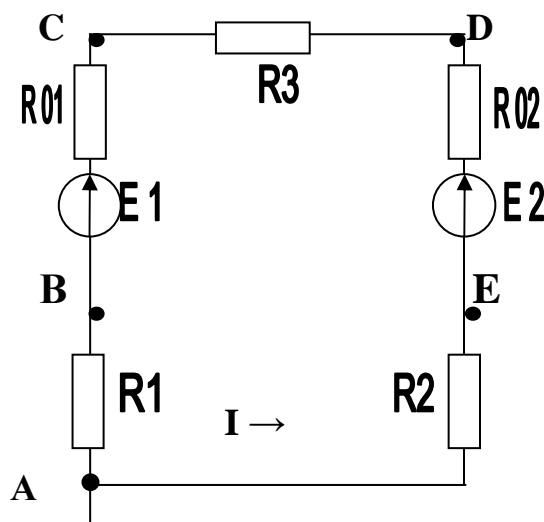


Рис.1.6

Величину струму визначимо за законом Ома для повного кола

$$I = (E_2 - E_1) / (R_1 + R_2 + R_3 + R_{01} + R_{02}) = 1 \text{ А.}$$

Потенціал точки А приймаємо  $\varphi_A = 0$ . Потенціал будь-якої точки кола дорівнює напрузі між цією точкою і точкою з нульовим потенціалом. Тоді

$$\varphi_B - \varphi_A = U_{AB} = IR_1 \text{ і } \varphi_B = IR_1 = 4 \text{ В.}$$

Оскільки ерс  $E_1$  і напрямок струму не співпадають, це джерело є споживачем і напруга на ньому

$$U_{BC} = E_1 + IR_{01}.$$

Значить потенціал  $\varphi_C$  буде

$$\varphi_C = \varphi_B + E_1 + IR_{01} = 23 \text{ В.}$$

Продовжуючи далі знаходимо

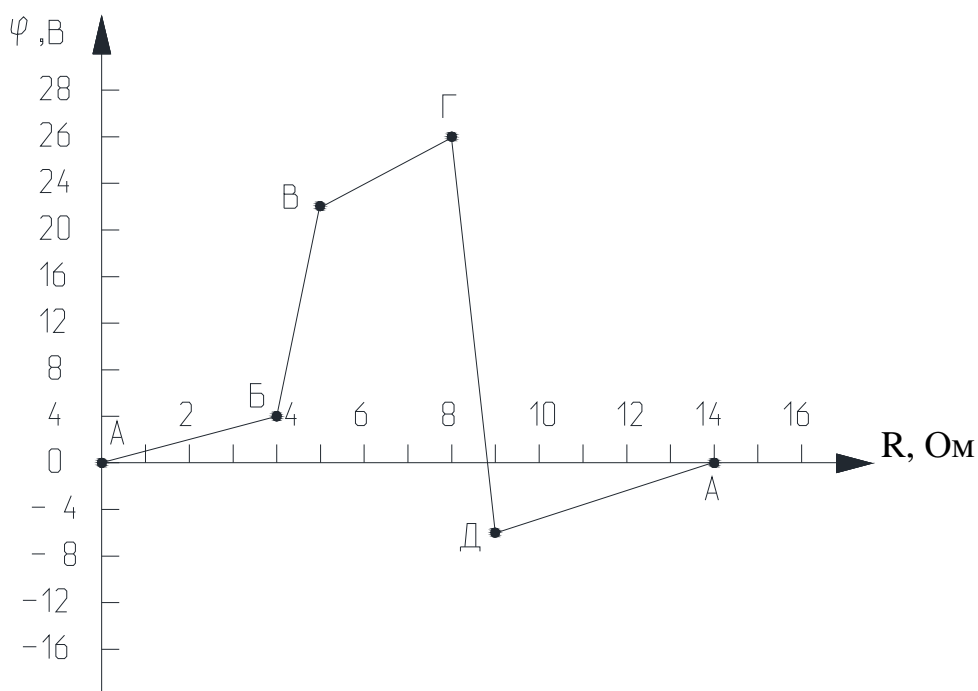
$$\varphi_D = \varphi_C + IR_2 = 26 \text{ В.}$$

Джерело  $E_2$  працює як генератор, тому

$$U_{DE} = E_2 - IR_{02} \text{ і } \varphi_E = \varphi_D - E_2 + IR_{02} = -5 \text{ В.}$$

Потенціал точки А визначаємо як  $\varphi_A = \varphi_E + IR_3 = 0$

Потенціальна діаграма – це графічне зображення розподілу потенціалу залежно від опору ділянок кола.



**Рис.1.7. Потенціальна діаграма**

### Контрольні запитання.

1. Сформулюйте закони Ома і Кірхгофа.
2. Метод еквівалентних перетворень при розрахунку електричних кіл.
3. Розрахунок електричного кола за рівняннями Кірхгофа (основні етапи).
4. Метод контурних струмів: основні етапи розрахунку електричного кола.
- 5 В чому полягає сутність методу еквівалентного генератора (активного двополюсника)?
6. Як визначається баланс потужностей у колі постійного струму?

### Завдання 2. Розрахунок нерозгалуженого електричного кола змінного струму.

Напруга на затискачах кіл, зображених на рис. 2.1, змінюється за законом  $U=U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$  Амплітудне значення  $U_m$  і початкова фаза  $\varphi_0$  напруги, а також значення активних  $R$ , індуктивних  $X_L$  і ємнісних опорів  $X_C$  приведені в табл. 2.1.

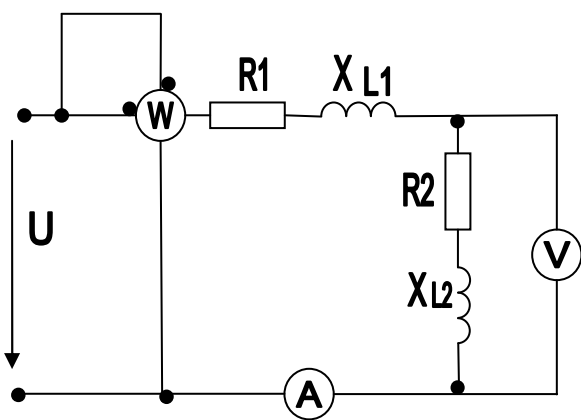
Потрібно:

1. Визначити показання приладів, зазначених на схемі.
2. Визначити закон зміни струму в колі.
3. Визначити закон зміни напруги між точками, до яких підключений вольтметр.
4. Побудувати векторну діаграму.

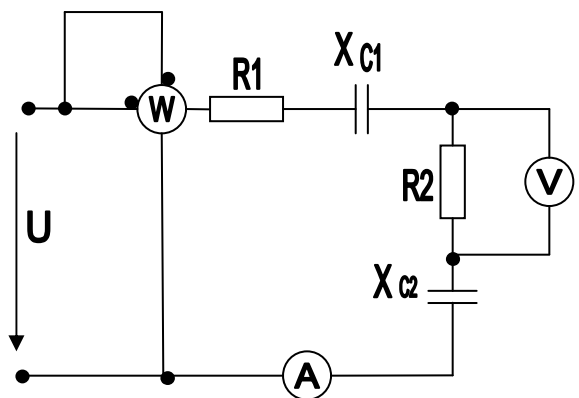
Таблиця 2.1

№ варіанта	$U_m$ , В	$\varphi_0$ , град	$R_1$ , Ом	$X_{L1}$ , Ом	$X_{C1}$ , Ом	$R_2$ , Ом	$X_{L2}$ , Ом	$X_{C2}$ , Ом
1	180	30	2	9	10	17	12	12
2	340	- 60	8	16	6	4	4	15
3	460	15	4	7	13	6	7	4
4	300	- 45	3	15	12	4	11	10
5	200	75	2	13	6	7	15	5

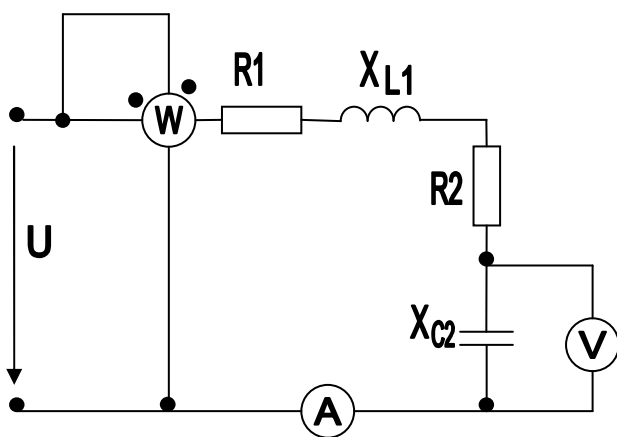
6	260	65	4	11	9	5	3	6
7	160	-30	6	7	10	11	2	14
8	240	-15	10	4	12	12	16	4
9	320	35	7	10	6	5	12	17
0	400	20	8	16	6	6	14	13



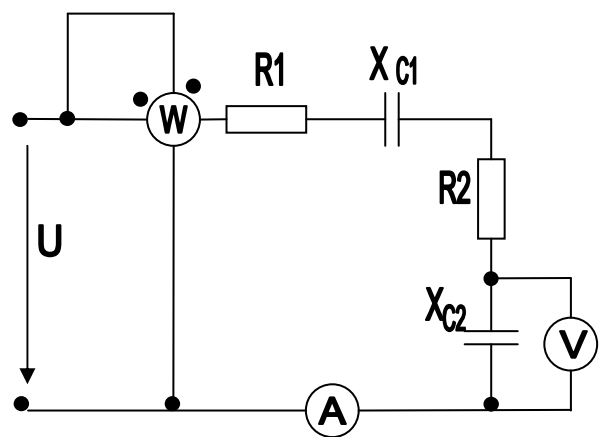
Bap. 0



Bap. 1

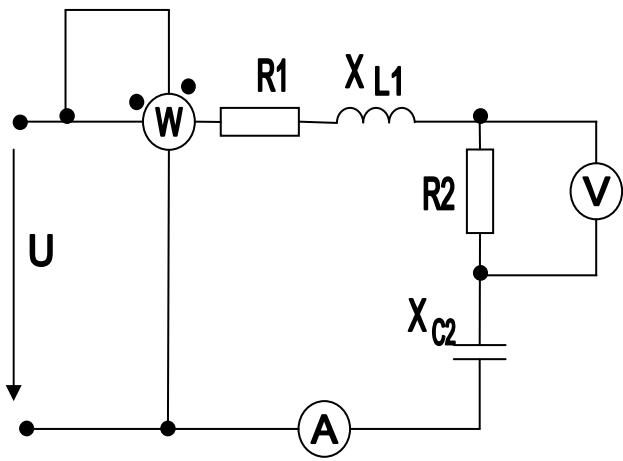


Bap. 2

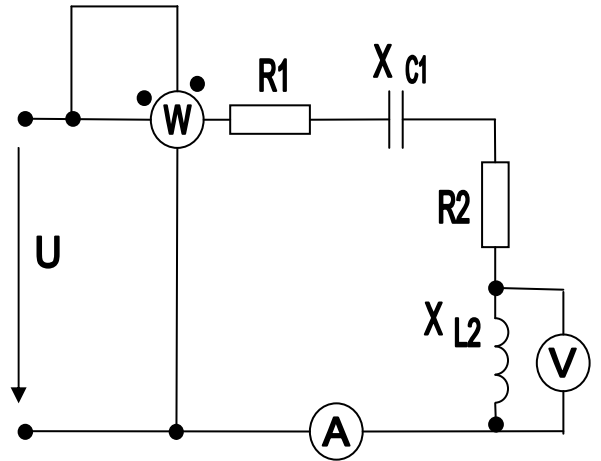


Bap. 3

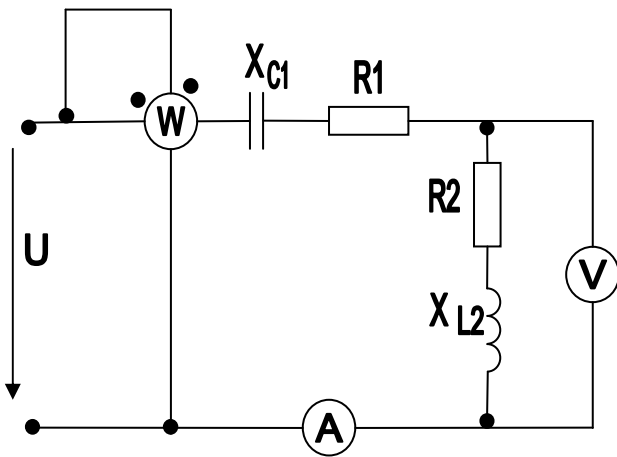




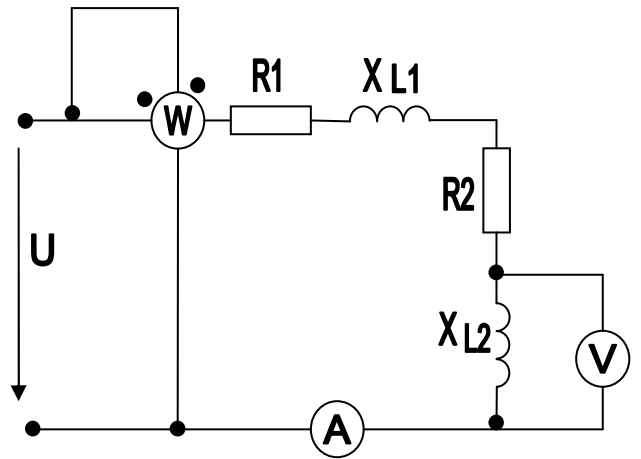
Вар.4



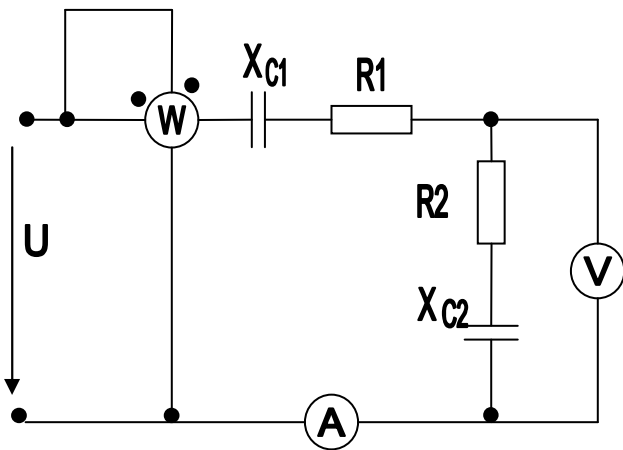
Вар.5



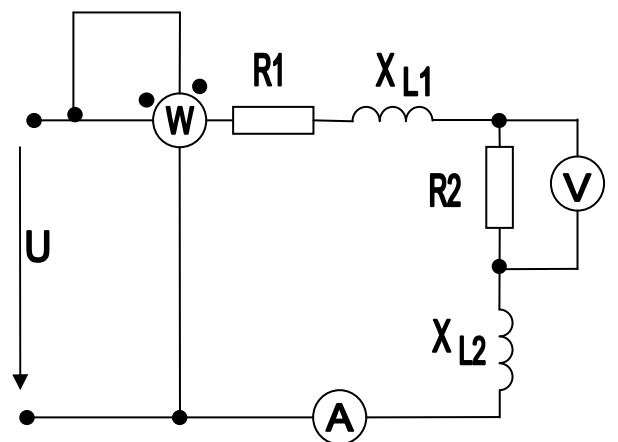
Вар. 6



Вар.7



Вар. 8



Вар. 9

Рис.2.1

## Методичні вказівки щодо виконання завдання 2

1. Враховуючи, що вимірювальні прилади реєструють діючі значення синусоїдних величин, треба визначити діюче значення напруги в колі

$$U=U_m/\sqrt{2},$$

а потім, визначивши повний опір кола, знайти за законом Ома діюче значення сили струму. Покази ваттметра знаходять через визначену силу струму і активний опір кола, а покази вольтметра – через силу струму і опір відповідного елемента.

**Приклад.** Розглянемо електричне коло рис. 2.2, в якому маємо: напруга  $U=U_m\sin(\omega t + \varphi_0)$ ,  $U_m=180$  В,  $\varphi_0=30^\circ$ ,  $R_1=8$  Ом,  $X_{L1}=15$  Ом.

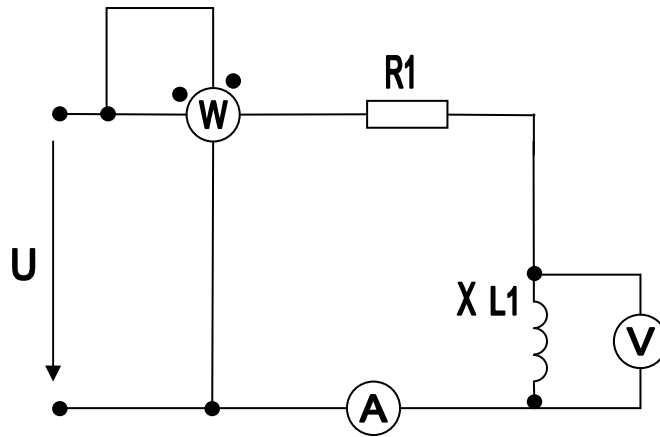


Рис. 2.2

**Розв'язання.** Визначаємо діюче значення напруги  $U=180/\sqrt{2}=128$ В.  
Повний опір кола  $Z=\sqrt{R_1^2+X_{L1}^2}=\sqrt{8^2+15^2}=17$  Ом.  
Тоді діюче значення струму  $I=U/Z=128/17=7,53$  А.  
Значить, покази ваттметра будуть  $P=I^2R=7,532\cdot 8=456,3$  Вт.  
Покази вольтметра  $U=IX_{L1}=7,53\cdot 15=112,95$  В.

2. Для визначення закону зміни сили струму треба знайти кут  $\varphi$  зсуву фаз між струмом і напругою, початкову фазу  $\varphi_1$  струму, а також максимальне значення сили струму  $I_m$ :

$$\varphi=\arctg X_{L1}/R=\arctg 1,875=62^\circ,$$

$$\varphi_1=\varphi_0-\varphi=30-62=-32^\circ,$$

$$I_m=I\sqrt{2}=7,53\cdot\sqrt{2}=10,62$$
 А.

Закон зміни струму

$$i(t)=10,62\sin(\omega t-32^{\circ}) \text{ A.}$$

3. Для визначення закону зміни напруги на індуктивному опорі  $X_{L1}$  треба врахувати, що напруга при цьому випереджає силу струму на  $90^{\circ}$ , а  $U_m$  в  $\sqrt{2}$  разів більше діючого значення напруги  $U$ :

$$U_m=U\sqrt{2}=159,26, \text{ B}$$

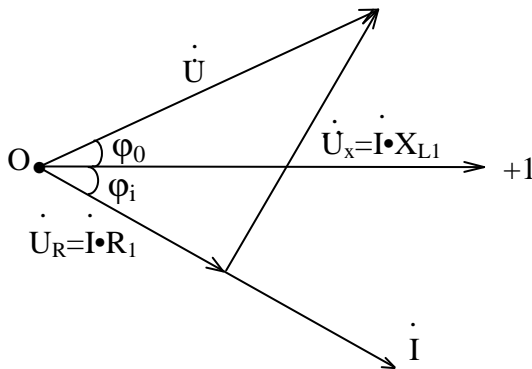
$$\varphi_u = \varphi_I + 90^{\circ} = -32^{\circ} + 90^{\circ} = 58^{\circ}.$$

Отже  $u_x(t)=159,26 \sin(\omega t+58^{\circ}).$

4. Для побудови векторної діаграми визначимо вектори напруг на активному і реактивному елементах.

Обираємо: масштаб струму 1 см – 1 А,  
масштаб напруги 1 см - 20 В.

Тоді  $U_R=I \cdot R_1= 60,24 \text{ В} - 3 \text{ см}$   
 $U_X=I \cdot X_{L1}=112,95 \text{ В} - 5,65 \text{ см}$   
 $U= 180 \text{ В} - 9 \text{ см.}$



**Рис. 2.3. Векторна діаграма**

## Контрольні запитання

1. Як математично записуються значення синусоїдних величин?
2. Що називається періодом, частотою, амплітудою, фазою, початковою фазою?
2. Що таке діючі значення синусоїдних величин?
3. Як визначаються фазові співвідношення між струмом і напругою на елементах R,L,C електричного кола?
4. Що таке активний, реактивний і повний опори в колі змінного струму?
5. Як визначаються електричні потужності в колі змінного струму?
7. Як будуються топографічні діаграми електричних кіл змінного струму?

### Завдання 3. Розрахунок лінійних трифазних електричних кіл

#### 3.1. Розрахунок трифазних електричних кіл при з'єднанні споживачів «зіркою»

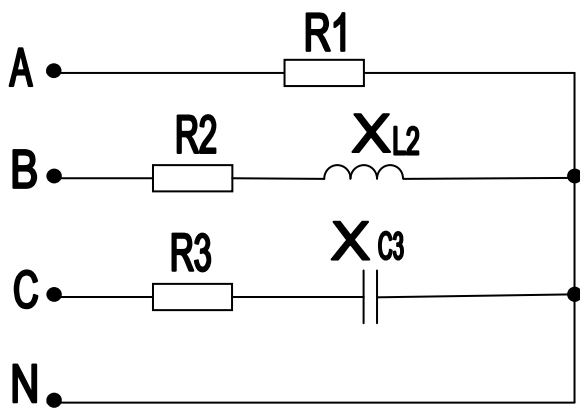
До трифазного джерела із симетричною системою фазних напруг включено коло, зображене на рис. 3.1.1. Значення лінійної напруги, активних, індуктивних і ємнісних опорів споживачів наведені в табл. 3.1. Опорами лінійних і нейтральних провідників можна знехтувати.

Необхідно визначити струми в лінійному і нейтральному провідниках, скласти баланс потужностей і побудувати векторну діаграму.

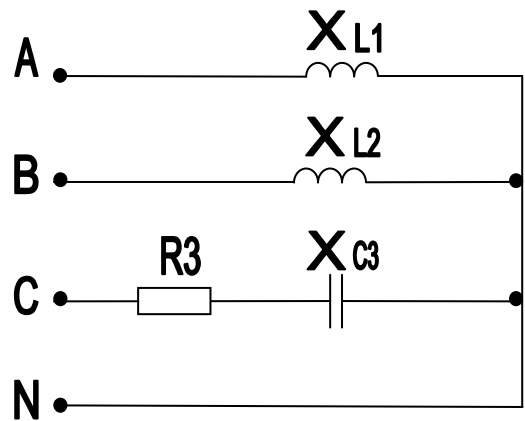
Таблиця 3.1

№ варіанта	U, В	Опір, Ом								
		R <sub>1</sub>	X <sub>L1</sub>	X <sub>C1</sub>	R <sub>2</sub>	X <sub>L2</sub>	X <sub>C2</sub>	R <sub>3</sub>	X <sub>L3</sub>	X <sub>C3</sub>
1	220	4	8	6	4	5	7	4	3	7
2	380	6	4	8	6	3	8	2	8	6
3	220	8	6	5	3	6	4	8	2	9
4	220	5	3	9	4	9	6	4	8	4

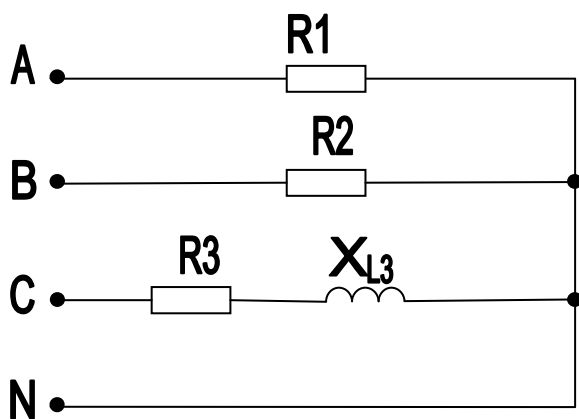
5	380	9	8	3	7	4	4	8	5	6
6	380	6	4	8	5	9	3	7	4	8
7	220	7	9	7	4	8	2	6	5	3
8	380	3	6	5	7	4	9	8	5	4
9	220	6	7	3	4	9	5	3	8	6
0	380	7	7	5	3	6	9	8	4	9



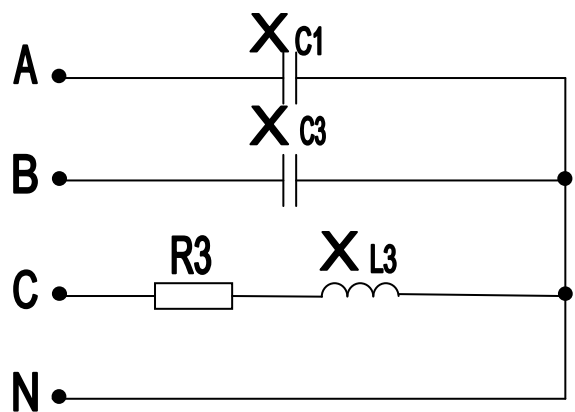
Bap. 0



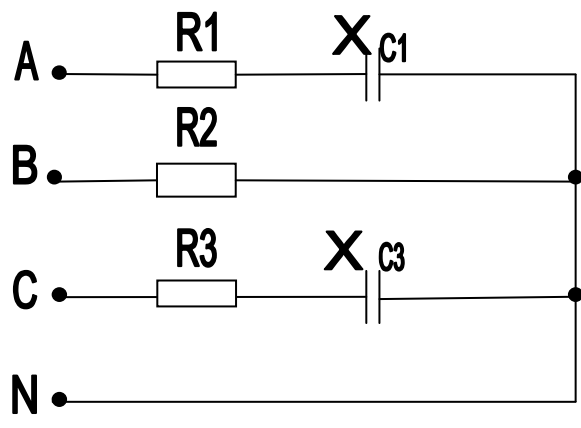
Bap. 1



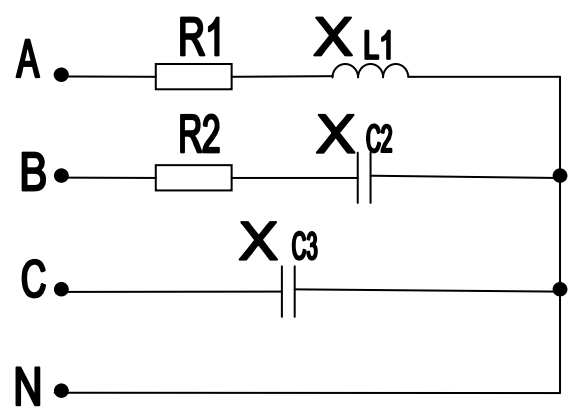
Bap. 2



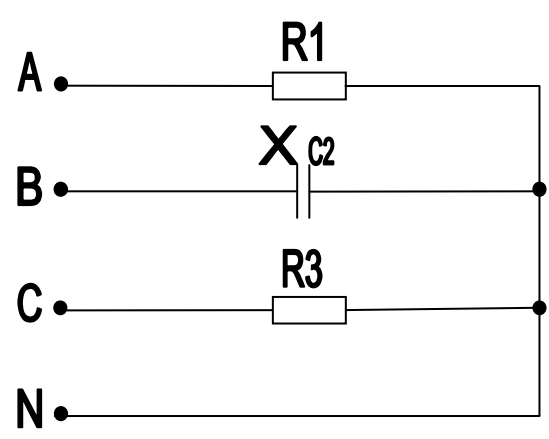
Bap. 3



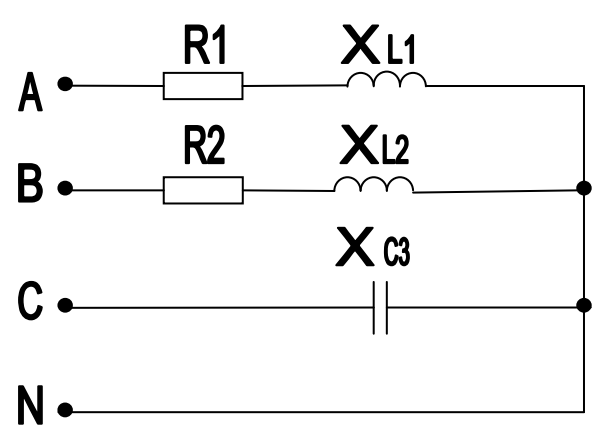
Вар.4



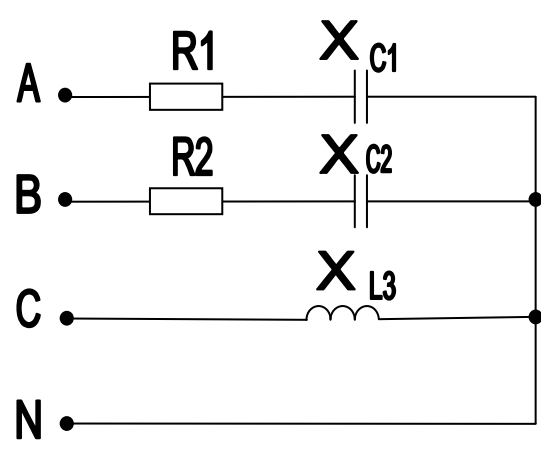
Вар.5



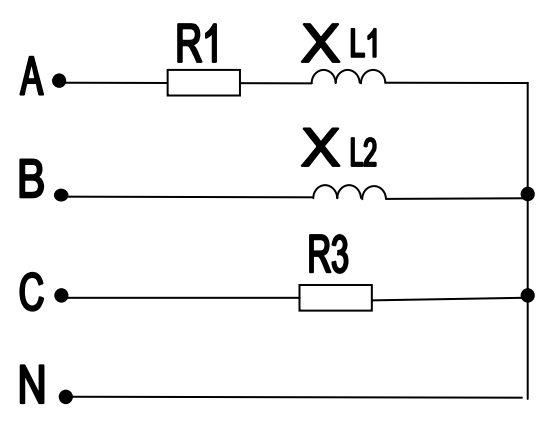
Вар. 6



Вар. 7



Вар. 8



Вар. 9

Рис. 3.1.1

### Методичні вказівки щодо виконання завдання 3.1

У чотиридротового кола, при нескінченно малих опорах лінійних і нейтральних провідників, лінійні і фазні напруги приймачів дорівнюють відповідним напругам джерела. Фазні (вони ж і лінійні при «з'єднанні зіркою») струми треба визначити, застосовуючи символічне подання синусоїдних величин у вигляді комплексних чисел.

**Приклад.** В електричному колі рис. 3.1.2 задані напруга  $U_{\text{Л}}=380$  В, опори  $R=6$  Ом,  $X_C=20$  Ом,  $X_L=4$  Ом. Треба знайти струми в лінійних і нейтральному провідниках, скласти баланс потужностей і побудувати векторну діаграму.

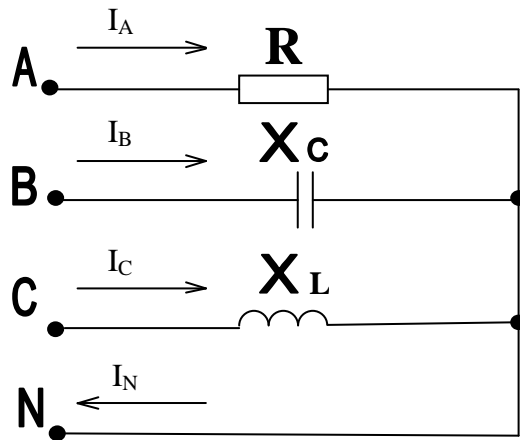


Рис. 3.1.2

**Розв'язання.** Визначимо фазну напругу в колі

$$U_{\text{Ф}}=U_{\text{Л}}/\sqrt{3}=220\text{ В.}$$

В символічному поданні фазні напруги запишемо у вигляді:

$$\dot{U}_A=220\text{ В, } \dot{U}_B=220e^{-j120^\circ}\text{ В, } \dot{U}_C=220e^{j120^\circ}.$$

Комплекси опорів в фазах електричного кола запишемо:

$$Z_a=R=6\text{ Ом, } Z_b=-jX_C=j20=20\cdot e^{-j90^\circ}\text{ Ом, } Z_c=jX_L=j4=4\cdot e^{j90^\circ}\text{ Ом.}$$

За законом Ома визначаємо фазні (і лінійні) струми:

$$\dot{I}_A = \dot{U}_A / Z_a = 36,7 \text{ A},$$

$$\dot{I}_B = \dot{U}_B / Z_b = 220 \cdot e^{-j120^\circ} / 20 \cdot e^{-j90^\circ} = 11 \cdot e^{-j30^\circ} = 9,53 - j5,5 \text{ A},$$

$$\dot{I}_C = \dot{U}_C / Z_c = 220 \cdot e^{j120^\circ} / 4 \cdot e^{j90^\circ} = 55 \cdot e^{j30^\circ} = 47,85 + j27,5 \text{ A}.$$

Струм у нейтральному провіднику визначаємо за першим законом Кірхгофа як суму лінійних струмів:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 94,08 + j22,5 = 96,7 \cdot e^{j13^\circ} \text{ A}.$$

Баланс потужностей складаємо так само, як і в завданні 2.2 з урахуванням того, що потужність джерела і споживачів трифазної системи дорівнює сумі потужностей окремих фаз:

$$S_{дж} = S_A + S_B + S_C = \dot{U}_A \cdot \dot{I}_A^* + \dot{U}_B \cdot \dot{I}_B^* + \dot{U}_C \cdot \dot{I}_C^* = 8074 + 2420e^{-j90^\circ} + 12100e^{j90^\circ} = 8074 + j9680 \text{ ВА},$$

$$S_{сп} = I_A^2 \cdot Z_A + I_B^2 \cdot Z_B + I_C^2 \cdot Z_C = 8081 + 2420e^{-j90^\circ} + 12100e^{j90^\circ} = 8081 + j9680 \text{ ВА}.$$

Рівність потужностей джерела і споживачів доводить вірність проведених розрахунків.

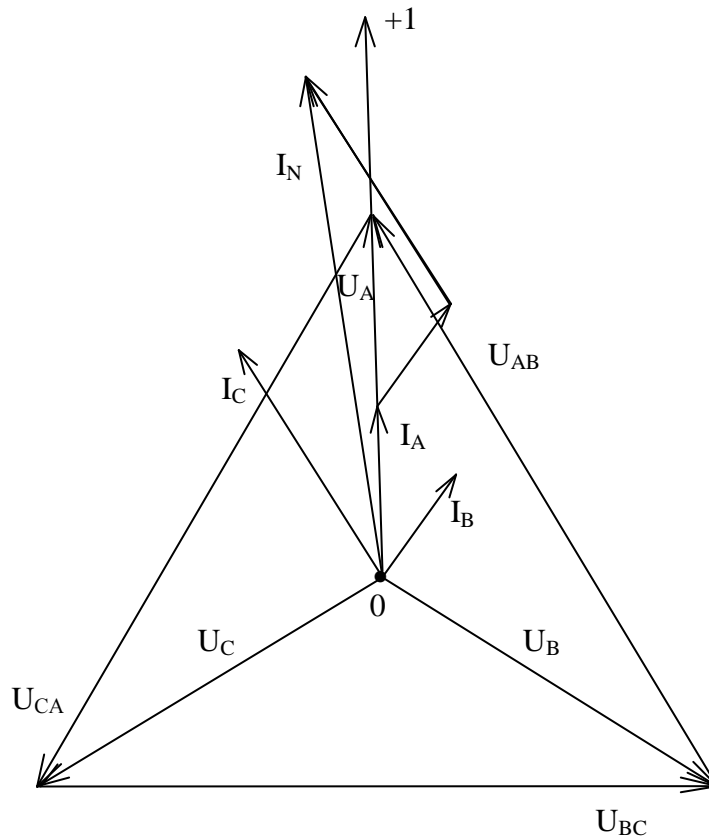
Побудову векторної діаграми доцільно виконати в такій послідовності. Вибравши масштаб напруг, побудувати рівносторонній трикутник лінійних напруг. З'єднати центр трикутника з його вершинами й одержати вектори фазних напруг. Потім, вибравши масштаб струмів, побудувати вектори лінійних струмів, орієнтуючи їх відповідним чином щодо векторів фазних напруг.

На рис.3.1.3 дана векторна діаграма електричного кола при з'єднанні споживачів «зіркою». Векторна діаграма побудована для випадку, коли у фазу «А» включений тільки резистивний елемент ( $\varphi_A = 0$ ), у фазу «В» включений приймач, що має ємнісний характер ( $\varphi_B < 0$ ), а у фазу «С» – індуктивний ( $\varphi_C > 0$ ).

Вектор струму у нейтральному проводі  $\dot{I}_N$  будується на підставі першого закону Кірхгофа:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$





**Рис.3.1.3 Векторна діаграма**

### **Контрольні запитання**

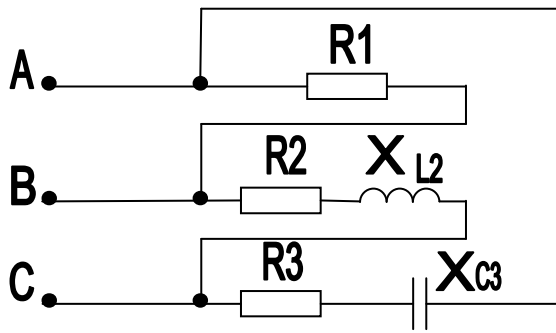
1. Що називається трифазним електричним колом?
2. Які трифазні кола називаються симетричними, а які несиметричними?
3. Що таке лінійні і фазні напруги. Які співвідношення між ними?
4. Як співвідносяться лінійні і фазні струми при з'єднанні зіркою?
5. Як визначається струм у нульовому проводі?
6. Як визначається потужність трифазної системи?
7. Як будується векторна діаграма?

### 3.2 Розрахунок трифазних електричних кіл при з'єднанні споживачів «трикутником»

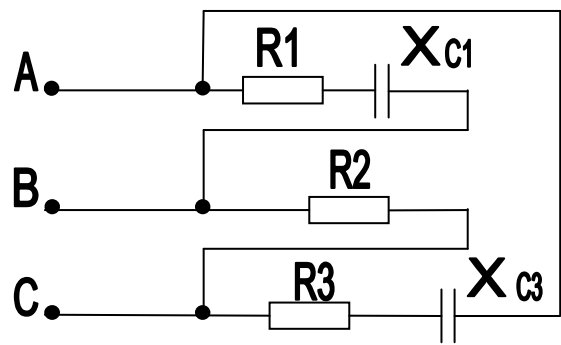
До трифазного джерела із симетричною системою лінійних напруг включено коло, зображене на рис.3.2.1. Значення лінійної напруги  $U$ , активних  $R$ , індуктивних  $X_L$  і ємнісних  $X_C$  опорів споживачів приведені в табл. 3.2. Визначити фазні і лінійні струми, скласти баланс потужностей і побудувати топографічну діаграму напруг, а на ній показати вектори фазних і лінійних струмів.

Таблиця 3.2

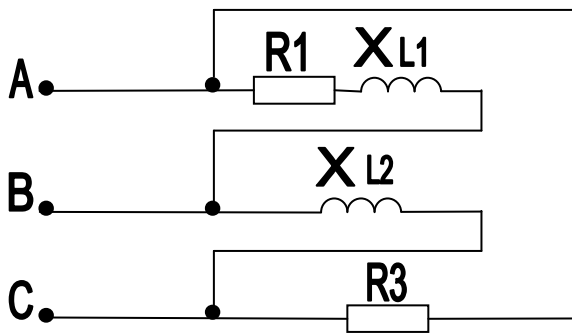
№ варі- анта	U, В	Опір, Ом								
		$R_1$	$X_{L1}$	$X_{C1}$	$R_2$	$X_{L2}$	$X_{C2}$	$R_3$	$X_{L3}$	$X_{C3}$
1	220	16	20	13	24	27	7	4	7	7
2	220	12	14	16	26	23	8	5	9	10
3	220	13	12	14	25	27	3	7	4	7
4	380	22	17	11	17	6	12	8	7	14
5	380	21	13	19	11	18	10	11	4	9
6	380	17	18	11	22	9	8	15	8	4
7	220	12	25	13	8	5	16	9	12	17
8	220	8	16	23	10	21	12	10	7	9
9	380	24	8	17	7	11	6	8	4	8
0	380	32	18	21	9	21	16	5	9	10



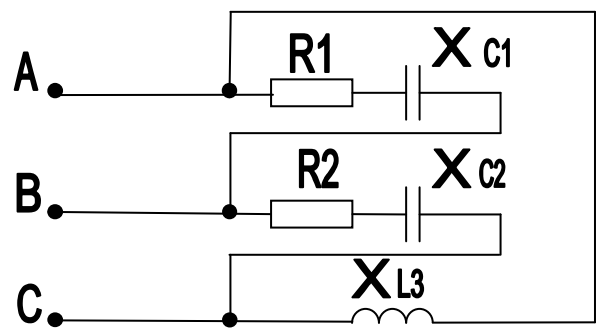
Bap. 0



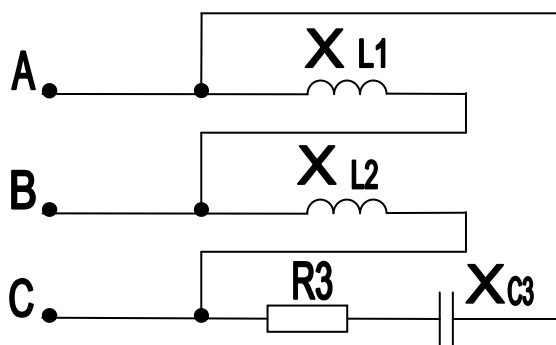
Bap. 1



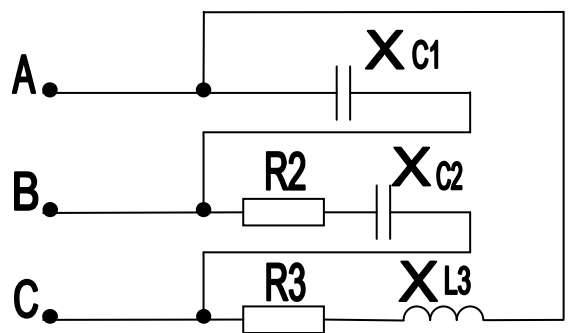
Bap. 2



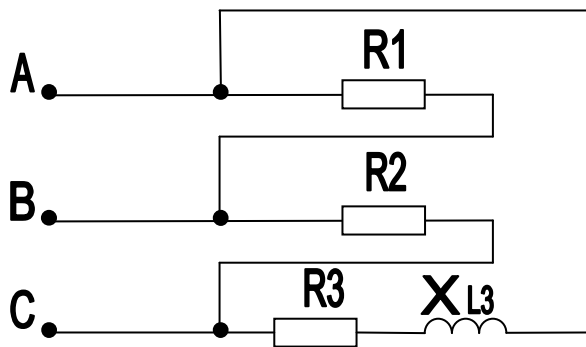
Bap. 3



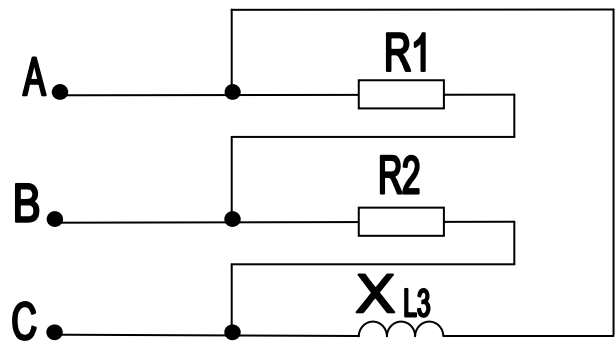
Bap. 4



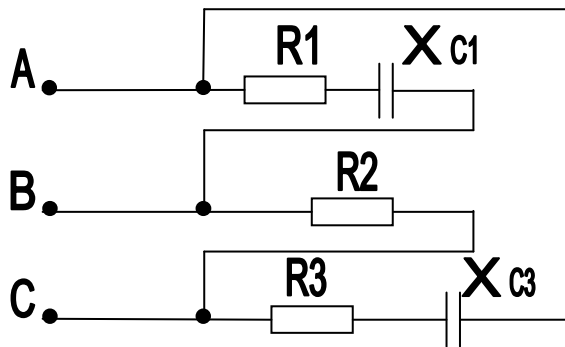
Bap. 5



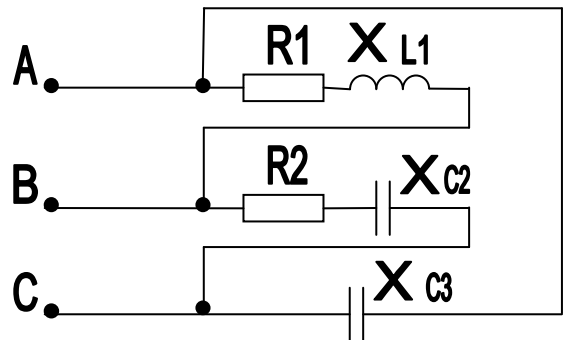
Вар. 6



Вар. 7



Вар. 8



Вар. 9

Рис. 3.2.1

**Методичні вказівки щодо виконання завдання 3.2**

**Приклад.** В електричному колі рис. 3.2.2 задані лінійні напруги  $U_L=220\text{В}$ , опори  $R=20\ \Omega$ ,  $X_C=16\ \Omega$ ,  $X_L=8\ \Omega$ . Визначити фазні і лінійні струми і побудувати векторну діаграму.

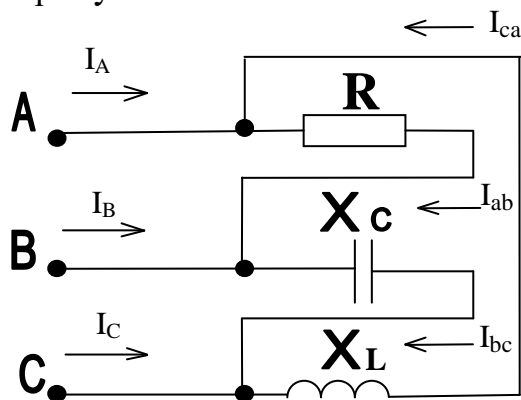


Рис. 3.2.2

**Розв'язання.** При з'єднанні «трикутником» лінійні і фазні напруги однакові. В символічному поданні фазні напруги будуть:

$$U_{ab}=220 \cdot e^{j30^\circ}, U_{bc}=220 \cdot e^{-j90^\circ}, U_{ca}=220 \cdot e^{j150^\circ}.$$

Визначаємо комплекси фазних опорів:

$$Z_{ab}=R=20 \text{ Ом}, Z_{bc}=-jX_C=-j16=16 \cdot e^{-j90^\circ} \text{ Ом}, Z_{ca}=j8=8 \cdot e^{j90^\circ} \text{ Ом}.$$

Визначаємо комплекси фазних струмів

$$\begin{aligned} \dot{I}_{ab} &= U_{ab}/Z_{ab} = 11 \cdot e^{j30^\circ} = 9,75 + j5,5 \text{ А}, \\ \dot{I}_{bc} &= U_{bc}/Z_{bc} = 13,75 \text{ А}, \\ \dot{I}_{ca} &= U_{ca}/Z_{ca} = 27,5 \cdot e^{j60^\circ} = 13,75 + j23,93 \text{ А}. \end{aligned}$$

Лінійні струми за першим законом Кірхгофа визначаються:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca} = -4,18 - j18,43 = 18,9 \cdot e^{j257,22^\circ} \text{ А}, \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab} = 4,18 - j5,5 = 6,9 \cdot e^{-j52,77^\circ} \text{ А}, \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc} = j23,93 = 23,93 \cdot e^{j90^\circ} \text{ А}. \end{aligned}$$

Розрахунки зроблені правильно, якщо сума лінійних струмів дорівнює 0:

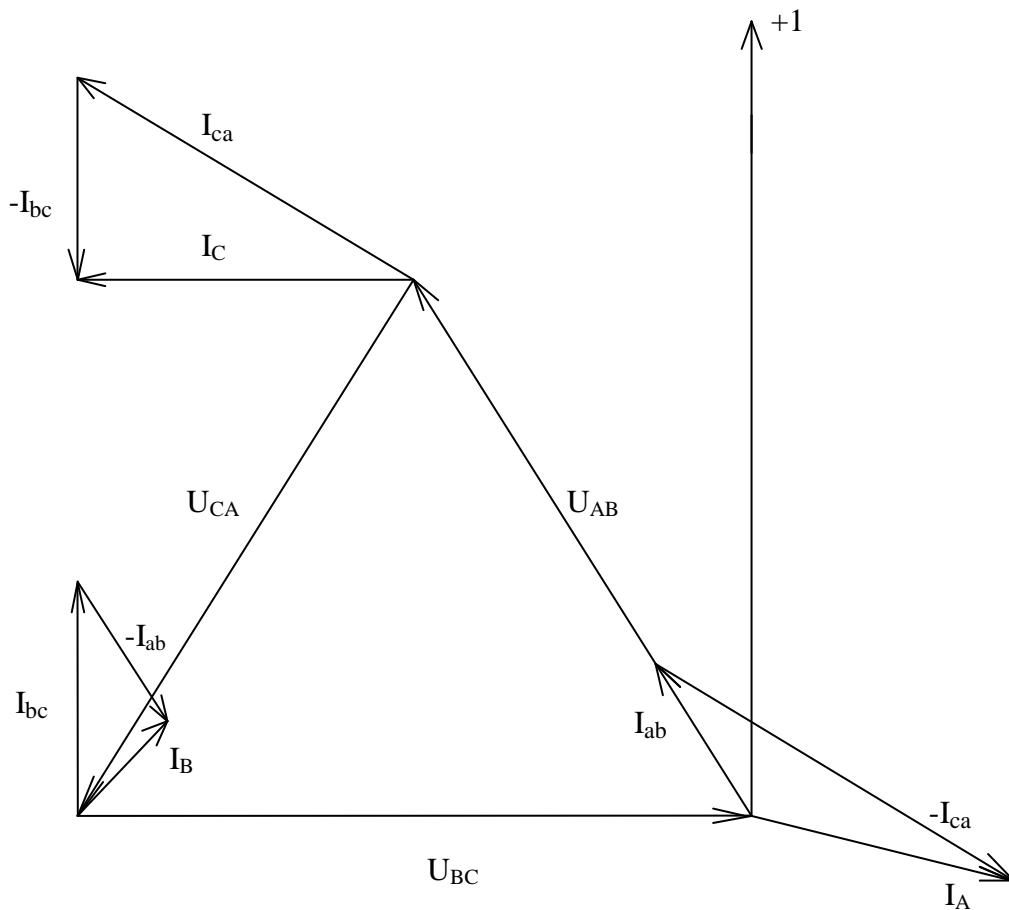
$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = -4,18 - j18,43 + 4,18 - j5,5 + j23,93 = 0$$

Баланс потужностей складається аналогічно завданню 3.1.

Побудова векторної діаграми трифазного кола для приймачів, з'єднаних «трикутником», починається з побудови трикутника лінійних напруг  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$  і  $U_{CA}$  (топографічна діаграма напруг). Потім будуються вектори фазних струмів  $I_{ab}$ ,  $I_{bc}$  і  $I_{ca}$ . Вектори лінійних струмів будують на підставі першого закону Кірхгофа:

$$I_A = I_{ab} - I_{ca}, \quad I_B = I_{bc} - I_{ab}, \quad I_C = I_{ca} - I_{bc}$$

На рис. 3.2.3 подана векторна діаграма для електричного кола при з'єднанні споживачів «трикутником». Векторна діаграма побудована для випадку, коли у фазі АВ приймач має чисто активний характер ( $\varphi_{AB} = 0$ ), у фазі ВС – ємнісний ( $\varphi_{BC} < 0$ ), а у фазі СА – індуктивний ( $\varphi_{CA} > 0$ ) характер.



**Рис. 3.2.3 Векторна діаграма**

### **Контрольні запитання**

1. Що таке з'єднання трикутником?
2. Як співвідносяться фазні і лінійні напруги і струми при з'єднанні трикутником?
3. В чому полягає роль нейтрального провідника в чотирипровідній системі?
4. Що таке перекіс фаз і в яких системах він виникає?
5. Як співвідносяться потужності при з'єднанні зіркою і трикутником?
6. Як побудувати векторну діаграму трифазних систем при з'єднанні «трикутником»?

#### **Завдання 4. Розрахунок трифазної мережі, що живить силовий розподільний щит будівельного майданчика.**

Розрахувати (визначити площу перетину провідників чи жил кабелю) трифазну чотирипровідну лінію напругою 380/220 В, що живить силовий розподільний щит будівельного майданчика. Тип (повітряна чи кабельна), довжина, матеріал провідників, спосіб прокладання (у повітрі чи у землі) кабельної лінії, а також характер і потужність споживачів електричної енергії приведені в табл.4.1.

#### **Методичні вказівки щодо виконання завдання 4**

При розрахунку перетину провідників і жил кабелів треба враховувати:

- нагрівання їх робочим (розрахунковим) струмом;
- втрати напруги в провідниках повітряної лінії чи жилах кабелю;
- механічну міцність;
- стійкість до механічних навантажень.

Температура нагрівання провідників, а значить і розрахунковий струм, обмежуються максимально допустимою температурою ізоляції жил кабелю і механічною міцністю провідників повітряної лінії. Площа перетину жил кабелю і провідників повітряної лінії обирається за таблицями ПУЕ (дод. 1) за значенням розрахункового струму.

Втрата напруги в лінії – це різниця діючих значень напруг на початку і наприкінці лінії

$$\Delta U = U_{\text{поч}} - U_{\text{кін}} \quad (1)$$

Робота споживачів електричної енергії (джерел освітлення, електричних двигунів) залежить від якості електричної енергії, зокрема підведеної напруги. З огляду на втрати напруги при проходженні струму в лінії введені обмеження на відхилення напруги від номінального значення на початку лінії (з боку джерела) і наприкінці лінії (з боку споживача). Згідно з ГОСТ 13109-97 на якість електричної енергії допускається відхилення напруги на затискачах приладів робочого освітлення  $-2,5\% \div +5\%$ , а на затискачах електричних двигунів  $-5\% \div +10\%$  від номінального значення. Втрата напруги залежить від площі перетину провідників. Для трифазної лінії втрата лінійної напруги визначається:

$$\Delta U = \sqrt{3}I(R\cos\varphi_{\text{сп}} + X\sin\varphi_{\text{сп}}), \quad (2)$$

Таблиця 4.1

	<b>Варіант</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>0</b>
<b>А</b>	Вид лінії	Повітряна	Кабель у повітрі	Кабель в землі	Повітряна	Кабель у повітрі	Кабель в землі	Повітряна	Кабель у повітрі	Кабель в землі	Повітряна
	Матеріал провідників і жил кабелів	Алюміній	Алюміній	Мідь	Алюміній	Мідь	Алюміній	Алюміній	Мідь	Алюміній	Алюміній
	Довжина, м	140	75	85	130	150	120	150	135	125	135
<b>Б</b>	Потужність асинхронних короткозамкнених двигунів ( $\cos\varphi_{\text{дв}}=0,8$ ), кВт	60	80	70	55	70	85	65	80	60	65
	Потужність освітлювального навантаження (симетричного ( $\cos\varphi_{\text{осв}}=1$ ), кВт	20	30	25	28	32	34	36	27	31	23

У табл.4.1 дані розділені на дві групи: А і Б. Номер варіанта групи А вибирається за передостанньою цифрою, а групи Б – за останньою цифрою шифру.



або

$$\Delta U = \sqrt{3} I l (R_0 \cos \varphi_{\text{сп}} + X_0 \sin \varphi_{\text{сп}}), \quad (3)$$

де  $l$  – довжина лінії, км;  $R_0$ ,  $X_0$  – активний і реактивний опори 1 км проводу лінії, Ом/км.

Величина  $R_0$  визначається як:

$$R_0 = 1000 \rho / s \quad (4)$$

де  $\rho$  – питомий опір матеріалу провідника, Ом•мм<sup>2</sup> / м і для міді

$\rho = 0,0175$  Ом•мм<sup>2</sup> / м, а для алюмінію  $\rho = 0,0283$  Ом•мм<sup>2</sup> / м,  $s$  – площа поперечного перетину провідників, в мм<sup>2</sup>.

Індуктивний опір повітряних ліній напругою до 10 кВ із мідними і алюмінієвими провідниками в межах  $X_0 = 0,35 \div 0,4$  Ом/км. Для кабельної лінії напругою до 10 кВ  $X_0 = 0,07 \div 0,08$  Ом/км. Втрати напруги виражені у відсотках від номінального  $U_0$  для трифазної системи складають:

$$\Delta U_{\%} = 10^5 l (R_0 P_{\text{сп}} + X_0 Q_{\text{сп}}) / U_0^2, \quad (5)$$

де  $U_0$  – номінальна лінійна напруга, В;  $P_{\text{сп}}$  і  $Q_{\text{сп}}$  – активна і реактивна потужність споживачів, виражені в кВт і кВАр.

Якщо наприкінці лінії ввімкнені декілька споживачів енергії, що мають різний коефіцієнт потужності, то:

$$P_{\text{сп}} = \sum P_i, \quad Q_{\text{сп}} = \sum Q_i \quad (6)$$

а кут зсуву фаз  $\varphi_{\text{сп}}$  ( у виразах (2) і (3) ) визначається:

$$\varphi_{\text{сп}} = \arctg(Q_{\text{сп}}/P_{\text{сп}}) \quad (7)$$

Вибір перетину кабелю і провідників лінії здійснюється в такому порядку. За активною потужністю і коефіцієнтом потужності визначається реактивна потужність споживачів:

$$Q_{\text{сп}} = P_{\text{сп}} \text{tg} \varphi_{\text{сп}}, \quad (8)$$

потім визначається повна потужність:

$$S_{\text{сп}} = \sqrt{P_{\text{сп}}^2 + Q_{\text{сп}}^2}, \quad (9)$$

і розрахунковий струм:

$$I_p = S_{\text{сп}} / (\sqrt{3} \cdot U_0) \quad (10)$$

За таблицями Додатка 1 обирається стандартний перетин, що відповідає найближчому більшому струму. Після цього лінія з провідниками, перетин яких обрано за допустимим нагріванням розрахунковим струмом, перевіряється за втратою напруги. Якщо значення втрати напруги лежить у межах допустимого, то обраний перетин приймається. Якщо ж втрата напруги вище допустимої, то визначається перетин провідників (жил кабелю) за допустимою втратою напруги і по таблиці (Дод.1) вибирається найближчий більший до визначеного стандартний перетин.

**Приклад.** Розрахувати трифазну чотирипровідну кабельну лінію у землі із алюмінієвих дротів довжиною 130 м, що живить розподільний щит

будівельного майданчика із потужністю двигунів ( $\cos\varphi_{\text{дв}}=0,8$ )  $P_{\text{дв}}= 60$  кВт, потужністю освітлення ( $\cos\varphi_{\text{осв}}=1$ )  $P_{\text{осв.}}= 40$  кВт.

**Розв'язання.** Визначаємо за (8) реактивну потужність двигунів  $Q_{\text{дв}}$  (вона ж і реактивна потужність споживачів):

$$Q_{\text{дв}}=Q_{\text{сп}}=P_{\text{дв}} \cdot \text{tg}(\arccos 0,8)=60 \cdot 0,75=45 \text{ кВАр.}$$

Активна потужність споживачів на будмайданчику буде:

$$P_{\text{сп}}=P_{\text{дв}}+P_{\text{осв}}=60+40=100, \text{ кВт}$$

Повна потужність споживачів (двигунів і освітлення) за (9):

$$S=\sqrt{100^2+45^2} = 110 \text{ кВА.}$$

Тоді розрахунковий струм визначимо за (10):

$$I_p= 110 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 380)=167 \text{ А.}$$

За табл. 5.2 ( Дод.1) обираємо площу перетину дротів:

$$s=70 \text{ мм}^2.$$

Перевіряємо обраний перетин дротів за втратою напруги. Активний і індуктивний опори визначаємо за (4):

$$R_0=1000 \cdot 0,0283/70=0,4 \text{ Ом/км,}$$
$$X_0=0,07, \text{ Ом/км.}$$

Тоді втрати напруги визначаємо

$$\Delta U_{\%}=10^5 \cdot 0,13 \cdot (0,4 \cdot 100+0,07 \cdot 45)/380^2=3,6 \%$$

Таким чином обраний перетин дротів задовольняє вимогам якості електричної енергії згідно з ГОСТ13107-97.

### Контрольні запитання

1. Що таке якість електричної енергії?
2. Що називається втратою напруги в лінії електропередачі?
3. Що таке коефіцієнт потужності? Методи його покращення.
4. Які відомі джерела електропостачання будівельних і колійних робіт?
5. Що таке схема розподілення електричної енергії?

**Додаток 1.****Допустимі довготермінові струмові навантаження на провідники та кабелі.**

1. Кабелі з мідними жилами з паперовою просякнутою маслоконіфольною та не стікаючими маслами ізоляцією, із свинцевою або алюмінієвою оболонкою, що прокладаються в землі

**Таблиця 1.1**

Переріз провідника, мм <sup>2</sup>	Струмове навантаження, А					
	Одножильні кабелі до 1 кВ	Двожильні кабелі до 1 кВ	Трижильні кабелі			Чотирижильні кабелі до 1 кВ
			до 3 кВ	до 6 кВ	до 10 кВ	
2,5		45	40			
4	80	60	55			50
6	105	80	70			60
10	140	105	95	80		85
16	175	140	120	105	95	115
25	235	185	160	135	120	150
35	285	225	190	160	150	175
50	360	270	235	200	180	215
70	440	325	285	245	215	265
95	520	380	340	295	265	310
120	595	435	390	340	310	350
150	675	500	435	390	355	395
185	755		490	440	400	450
240	880		570	510	460	
300	1000					
400	1220					
500	1400					
625	1520					
800	1700					

2. Кабелі з алюмінієвими жилами з паперовою просякнутою маслороніфольною та не стікаючими маслами ізоляцією, із свинцевою або алюмінієвою оболонкою, що прокладаються в землі

**Таблиця 2.1**

Переріз провідника, мм <sup>2</sup>	Струмове навантаження, А					
	Одножильні кабелі до 1 кВ	Двожильні кабелі до 1 кВ	Трижильні кабелі			Чотирижильні кабелі до 1 кВ
			до 3 кВ	до 6 кВ	до 10 кВ	
2,5		35	31			
4	60	46	42			38
6	80	60	55			46
10	110	80	75	60		65
16	135	110	90	80	75	90
25	180	140	125	105	90	115
35	220	175	145	125	110	135
50	275	210	180	155	140	165
70	340	250	220	190	165	200
95	400	290	260	225	205	240
120	460	435	300	260	240	270
150	520	335	335	300	275	305
185	580	385	380	340	310	345
240	675		440	390	355	
300	770					
400	940					
500	1080					
625	1170					
800	1310					

3. Кабелі з мідними жилами з паперовою просякнутою маслоконіфольною та не стікаючими маслами ізоляцією, із свинцевою або алюмінієвою оболонкою, що прокладаються в повітрі

**Таблиця 3.1**

Переріз провідника, мм <sup>2</sup>	Струмове навантаження, А					
	Одножильні кабелі до 1 кВ	Двожильні кабелі до 1 кВ	Трижильні кабелі			Чотирижильні кабелі до 1 кВ
			до 3 кВ	до 6 кВ	до 10 кВ	
2,5	40	30	28			
4	55	40	37			35
6	75	5	45			45
10	95	75	60	55		60
16	1205	95	80	65	60	80
25	160	130	105	90	85	100
35	200	150	125	110	105	120
50	245	185	155	145	135	145
70	305	225	200	175	165	185
95	360	275	245	215	200	215
120	415	320	285	250	240	260
150	470	375	330	290	270	300
185	525	385	375	325	305	340
240	610		430	375	350	
300	720					
400	880					
500	1020					
625	1180					
800	1400					

4. Кабелі з алюмінієвими жилами з паперовою просякнутою маслороніфольною та не стікаючими маслами ізоляцією, із свинцевою або алюмінієвою оболонкою, що прокладаються в повітрі.

**Таблиця 4.1**

Переріз провідника, мм <sup>2</sup>	Струмове навантаження, А					
	Одножильні кабелі до 1 кВ	Двожильні кабелі до 1 кВ	Трижильні кабелі			Чотирижильні кабелі до 1 кВ
			до 3 кВ	до 6 кВ	до 10 кВ	
2,5		35	31			
4	60	46	42			38
6	80	60	55			46
10	110	80	75	60		65
16	135	110	90	80	75	90
25	180	140	125	105	90	115
35	220	175	145	125	110	135
50	275	210	180	155	140	165
70	340	250	220	190	165	200
95	400	290	260	225	205	240
120	460	435	300	260	240	270
150	520	335	335	300	275	305
185	580	385	380	340	310	345
240	675		440	390	355	
300	770					
400	940					
500	1080					
625	1170					
800	1310					

5. Допустимі довготривалі навантаження (за нагрівом) на голі мідні, алюмінієві, сталеалюмінієві провідники за «ГОСТ 839-59» (допустимий нагрів +70 °С при температурі повітря +25 °С)

**Таблиця 5.1**

Мідь			Алюміній			Сталеалюміній					
Марка провідника	Струм, А		Марка провідника	Струм, А		Марка провідника	Струм, А		Марка провідника	Струм, А	
	Зовні приміщення	У приміщенні		Зовні приміщення	У приміщенні		Зовні приміщення	У приміщенні		Зовні приміщення	У приміщенні
М-4	50	25	А-16	105	75	АС-10	80	50	АСО-150	450	365
М-6	70	35	А-25	135	15	АС-16	105	75	АСО-185	505	420
М-10	95	60	А-35	170	130	АС-25	130	100	АСО-240	605	505
М-16	130	100	А-50	215	165	АС-35	175	135	АСО-300	690	580
М-25	180	135	А-70	265	210	АС-50	210	165	АСО-400	825	710
М-35	220	170	А-95	320	255	АС-70	265	210	АСО-500	945	815
М-50	270	215	А-120	375	300	АС-95	330	260	АСО-600	1050	920
М-70	340	270	А-150	440	355	АС-120	380	305	АСО-700	1220	1073
М-95	415	335	А-185	500	410	АС-150	445	365	АСУ-120	375	
М-120	485	395	А-240	590	490	АС-185	510	425	АСУ-150	450	
М-150	570	465	А-300	680	570	АС-240	610	505	АСУ-185	515	
М-185	640	530	А-400	815	690	АС-300	690	585	АСУ-240	610	
М-240	760	685	А-500	980	820	АС-400	835	715	АСУ-300	705	
М-300	880	740	А-600	930					АСУ-400	850	
М-400	1050	895									

## Навчальна програма

### Лінійні електричні кола постійного струму

**Електричне коло і його елементи.** Схеми електричних кіл. Поняття «електричне коло», його склад і призначення джерел живлення, приймачів і допоміжних елементів. Зміст понять «електричний струм», «постійний струм», «синусоїдний струм», «змінний струм», «несинусоїдний струм». Стандартні літерні позначення електричних і магнітних величин, і умовні графічні позначення, що застосовуються в електричних схемах. Топографічні поняття «розгалуження», «вузол», «контур». Позитивні напрямки струмів, ерс, напруг.

**Основні закони електричних кіл постійного струму.** Закон Ома для ділянки кола з пасивними елементами. Перший і другий закони Кірхгофа. Узагальнення закону Ома на ділянку кола з пасивним елементом. Зміст першого закону Кірхгофа. Поняття «алгебраїчна сума струмів». Методика складання рівняння за першим законом Кірхгофа. Порядок складання рівнянь на підставі другого закону Кірхгофа для контуру складного електричного кола. Правило знаків для ерс і напруг.

Розподіл потенціалу в електричних колах. Потенціальна діаграма. Методика визначення потенціалів точок кола щодо потенціалу вихідної точки. Побудова потенціальної діаграми.

**Двополюсники.** Схеми заміщення активних двополюсників. Зміст понять «активний двополюсник», «пасивний двополюсник». Параметри, що описують двополюсники. Метод представлення активних двополюсників (реальних джерел енергії) двома еквівалентними схемами заміщення: джерелом ерс і джерелом струму. Формулювання умов еквівалентності схем заміщення джерела ерс і джерела струму.

**Методи розрахунку кіл постійного струму.** Аналіз кіл з одним джерелом енергії при послідовному, паралельному і змішаному з'єднанні пасивних приймачів. Послідовне з'єднання елементів електричних кіл. Вираз для еквівалентного опору резисторів при їхньому послідовному з'єднанні. Характер розподілу напруги по ділянках кола залежно від їхнього опору. Паралельне з'єднання елементів електричних кіл. Вираз для еквівалентних опорів і провідностей при паралельному з'єднанні декількох резисторів. Характер розподілу струмів залежно від опору гілок. Розрахунок струмів у гілках електричного кола зі змішаним з'єднанням резисторів при заданих опорах резисторів і напрузі на клеммах кола. Характер зміни струмів у розгалуженнях, а також напруг на ділянках кола при зміні опорів.

**Метод еквівалентного перетворення з'єднання пасивних елементів «зіркою» і «трикутником».** Вирази, що встановлюють зв'язок між опорами еквівалентних «зірки» і «трикутника».



**Розрахунок складних кіл шляхом безпосереднього застосування законів Кірхгофа.** Методика розрахунку складних кіл шляхом безпосереднього застосування законів Кірхгофа: число незалежних рівнянь, складених на підставі першого закону Кірхгофа; число незалежних рівнянь, складених на підставі другого закону Кірхгофа; порядок складання рівнянь по першому і другому законам Кірхгофа, правило знаків. Методи розв'язання системи рівнянь і аналізу отриманих результатів.

**Розрахунок складних кіл методом контурних струмів.** Порядок розрахунку складних кіл методом контурних струмів. Поняття «контурні ерс», «власні опори контурів», «взаємні опори контурів». Складання системи рівнянь на підставі другого закону Кірхгофа щодо контурних струмів, її розв'язок і визначення контурних струмів. Визначення по знайдених контурних струмах струмів на ділянках кіл. Переваги методу контурних струмів.

**Розрахунок складних електричних кіл методом еквівалентного генератора і методом накладання.** Порядок розрахунків складних електричних кіл методом еквівалентного генератора і методом накладання. Критерії застосування методу еквівалентного генератора і методу накладання.

### **Лінійні електричні кола змінного струму**

**Принцип одержання змінної ерс, струму, напруги.** Параметри, що характеризують синусоїдні функції часу. Властивості синусоїдного струму, що забезпечують йому широке застосування, і принцип дії елементарного генератора синусоїдної ерс. Параметри, що характеризують синусоїдні величини (амплітуда, період, частота, фаза, початкова фаза).

**Діюче і середнє значення змінного струму (напруги, ерс).** Зміст поняття «діюче значення струму». Співвідношення між діючим і миттєвим значенням струму. Співвідношення між діючим і амплітудним значеннями синусоїдного струму (напруги, ерс). Співвідношення між середнім і амплітудним значеннями синусоїдного струму (напруги), ерс.

**Зображення синусоїдних функцій часу обертовими векторами.** Векторні діаграми. Можливість зображення синусоїдних функцій часу за допомогою обертових векторів. Можливість заміни операцій додавання і вирахування миттєвих значень величин операціями додавання і вирахування їхніх векторів, що зображують. Побудова векторних діаграм. Переваги аналізу кіл змінного струму за допомогою векторних діаграм.

**Представлення синусоїдних ерс, напруг і струмів комплексними числами.** Зображення синусоїдних, напруг і струмів за допомогою комплексних чисел. Переходи від виразів для миттєвого значення ерс (напруги, струму) до комплексного, діючого значення (скорочено – комплексу) ерс (напруги, струму) і навпаки. Алгебраїчна, показникова і тригонометрична форми запису комплексних ерс (напруг, струмів) і переходи від однієї форми запису до іншої.

**Елементи і параметри кіл змінного струму.** Склад електричних кіл змінного струму. Параметри, що характеризують резистивний, індуктивний і ємнісний елементи. Зміст параметра «активний опір» і відмінність активного опору від опору постійного струму. Зміст параметру «індуктивність». Закон електромагнітної індукції. Вирази для ерс, самоіндукції й енергії магнітного поля. Зміст параметра «ємність». Співвідношення між струмом і напругою на конденсаторі, а також вираз для енергії електричного поля конденсатора. Умовні графічні і літерні позначення параметрів електричних кіл змінного струму.

**Резистивний елемент у колі змінного струму.** Аналіз процесів, що протікають на ділянці кола змінного струму. Вираз для миттєвого значення струму при заданому законі зміни напруги і визначення фазових співвідношень між струмом і напругою на ділянці кола з резистивним елементом. Графіки струму, напруги і векторна діаграма. Співвідношення між діючими значеннями струму і напруги. Співвідношення між комплексами струмів і напруг. Аналіз виразу для миттєвої потужності та характер енергетичних процесів на ділянці кола з резистивним елементом.

**Ідеальна індуктивна котушка в колі змінного струму.** Зміст поняття «ідеальна індуктивна котушка». Аналіз процесів у колі змінного струму, що містить тільки ідеальну індуктивну котушку. Миттєве значення напруги на індуктивності при заданому законі зміни струму. Фазові співвідношення між струмом і напругою. Графіки струму, напруги, векторна діаграма для ділянки кола з індуктивністю. Співвідношення між діючими значеннями струму і напруги на індуктивності. Залежність реактивного індуктивного опору від частоти. Співвідношення між комплексами струму і напруги на індуктивності. Миттєва потужність. Характер енергетичних процесів у колі з ідеальною індуктивною котушкою, звернути особливу увагу на відсутність необоротних перетворень.

**Ідеальний конденсатор у колі змінного струму.** Зміст поняття «ідеальний конденсатор». Процеси в колі змінного струму, що містить тільки ідеальний конденсатор. Миттєве значення струму при заданому законі зміни напруги. Фазові співвідношення між струмом і напругою на конденсаторі. Графіки струму, напруги, векторна діаграма для ділянки кола з ємністю. Співвідношення між діючими значеннями струму і напруги. Співвідношення між комплексами струму і напруги на ємності. Миттєва потужність, характер енергетичних процесів у колі з ідеальним конденсатором, звернути особливу увагу на відсутність безповоротних перетворень.

**Коло змінного струму з послідовним з'єднанням резистивного елемента, котушки індуктивності та конденсатора.** Процеси в колі змінного струму з послідовним з'єднанням резистивного елемента, індуктивної котушки і конденсатора. Рівняння за другим законом Кірхгофа для миттєвих і діючих (у векторній формі) значень напруг. Векторна діаграма кола. «Трикутник» напруг. Співвідношення між діючими значеннями струму і напруги. «Повний опір» і «реактивний опір». Зв'язок між кутом та сторонами «трикутника» опорів.

Фазові співвідношення між струмом і напругою на затискачах кола. Резонанс напруг, умови його виникнення. Рівняння електричного стану кола в комплексній формі, комплексний опір. Алгебраїчна, показникова та тригонометрична форми запису комплексного опору.

**Активна і реактивна складові струмів (напруг).** Провідності в колах змінного струму. Активна складова струму, реактивна складова струму, співвідношення між активною складовою струму і реактивною складовою струму і діючими значеннями струму і напруги. Активна і реактивна провідності, співвідношення між ними і повною провідністю. Елементи трикутника струмів, напруг. Комплекси повної провідності в алгебраїчній, показовій та тригонометричній формах. Активна складова напруги, реактивна складова напруги, співвідношення між активною складовою напруги, реактивною складовою напруги і діючими значеннями напруги і струму.

**Потужність у колах змінного струму.** Активна потужність у колі змінного струму. Реактивна потужність, повна потужність та їхнє визначення. Співвідношення між активною, реактивною і повною потужностями, трикутник потужностей. Комплекс повної потужності.

**Розрахунок кіл змінного струму комплексним методом.** Закони Ома і Кірхгофа в комплексній формі. Рівняння за другим законом Кірхгофа в комплексній формі для кола з послідовним з'єднанням декількох приймачів, вираз для еквівалентного комплексного опору. Еквівалентні комплексні опори і провідності при паралельному з'єднанні елементів. Резонанс струмів і умови його виникнення. Перетворення схем і визначення струмів при змішаному з'єднанні елементів. Застосування для розрахунку складних кіл змінного струму комплексних зображень величин усіх методів розрахунку, розглянутих при аналізі кіл постійного струму.

## **Лінійні трифазні електричні кола**

**Області застосування трифазних систем.** Найпростіший трифазний генератор. Переваги трифазної системи змінного струму. Симетрична трифазна система ерс на прикладі найпростішого трифазного генератора.

**Способи з'єднання фаз трифазного генератора.** З'єднання фаз трифазного джерела живлення «зіркою» і «трикутником». Напрямки лінійних і фазних напруг, співвідношення між лінійними і фазними напругами.

**Аналіз трифазного кола з приймачами, з'єднаними «зіркою».** Аналіз чотиридротових ліній при незначному опорі лінійних і нейтральних дротів. Співвідношення між лінійними і фазними напругами та струмами. Векторні діаграми. Розрахунок тридротових ліній при симетричних приймачах, з'єднаних «зіркою». Співвідношення між лінійними і фазними напругами. Векторні діаграми. Нейтральний дріт.

**Аналіз трифазного кола з приймачами, з'єднаними «трикутником».** Розрахунок трифазних кіл при з'єднанні приймачів «трикутником». Фазні і

лінійні струми, векторні діаграми. Співвідношення між лінійними і фазними струмами при симетричному навантаженні.

**Потужність трифазного кола.** Активна, реактивна і повна потужність трифазної системи. Активна, реактивна і повна потужність трифазної системи при симетричному навантаженні. Вимірювання потужностей трифазної системи. Перемикання схеми з'єднання споживачів з «трикутника» на «зірку» і навпаки, порівняння потужностей при різних способах з'єднання.

## **Основи електропостачання**

**Особливості електропостачання будівельних і колійних робіт.** Характеристики і режими роботи основних споживачів електричної енергії: силових установок загально – промислового призначення (підйомно-транспортних механізмів, компресорів, вентиляторів насосів), перетворювачів електричної енергії (випрямлячів, перетворювачів частоти), електродвигунів виробничих механізмів, електротехнічних установок ( термічної обробки бетону, електрозварювання), електричного освітлення.

**Джерела електропостачання будівельних і колійних робіт.** Характеристика стаціонарних і рухомих джерел електропостачання будівельних і колійних робіт. Поняття про передачу потужності від джерела до споживача.

**Конструкція і розрахунок електричних мереж при будівельно-монтажних і колійних роботах.** Поняття про конструкції і характеристики повітряних і кабельних ліній електропередачі. Схеми розподілення електроенергії між споживачами. Принципи розрахунків дротів і кабелів мереж постійного і змінного (однофазного і трифазного) струмів.

## **Рекомендована література**

1. Паначевний Б. І., Свергун Ю. Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум.: Підручник. – К.: Каравела, 2004.
2. Титаренко М. В. Електротехніка.– К.:Кондор, 2004.
3. Электротехника. /Под ред. проф. Пантюшина В. С.– М.: Высшая школа, 1976.
4. Вольнский Б. А., Зейн Е. Н., Шатерников В. Е. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Глушков Г. Н. Электроснабжение строительно-монтажных работ.–М.: Стройиздат, 1982

*Навчально-методичне видання*

**Поліщук Сергій Іванович**

## **ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

**Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи для студентів усіх форм навчання спеціальностей «Залізничні споруди і колійне господарство»**

Відповідальний за випуск – проф. Чепілко М.М.

Редактор Щербак Н. В

Макет і верстка Андрієнко В. О.

---

Підписано до друку 23.02.12. Формат 60x84/16. Папір – офсетний. Друк на ризографі. Зам. № 6–2/12. Тираж 70 прим.

---

Надруковано у Видавництві  
Державного економіко-технологічного університету транспорту  
03049, м.Київ-049, вул.. Лукашевича, 19