

## Лабораторна робота №7

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА, З'ЄДНАНОГО ТРИКУТНИКОМ

Мета роботи – дослідити основні режими роботи трифазного кола, з'єданого трикутником; визначити співвідношення між значеннями лінійних й фазних струмів та напруг. Навчитися будувати за дослідними даними векторні діаграми струмів і напруг при симетричному і несиметричному навантаженнях фаз.

#### Основні відомості і рекомендації

При з'єднанні обмоток трифазного генератора або навантаження трикутником кінець однієї фази з'єднується з початком іншої фази так, що всі три фази утворюють замкнутий контур (трикутник). До загальних точок з'єднання обмоток генератора приєднуються лінійні проводи.

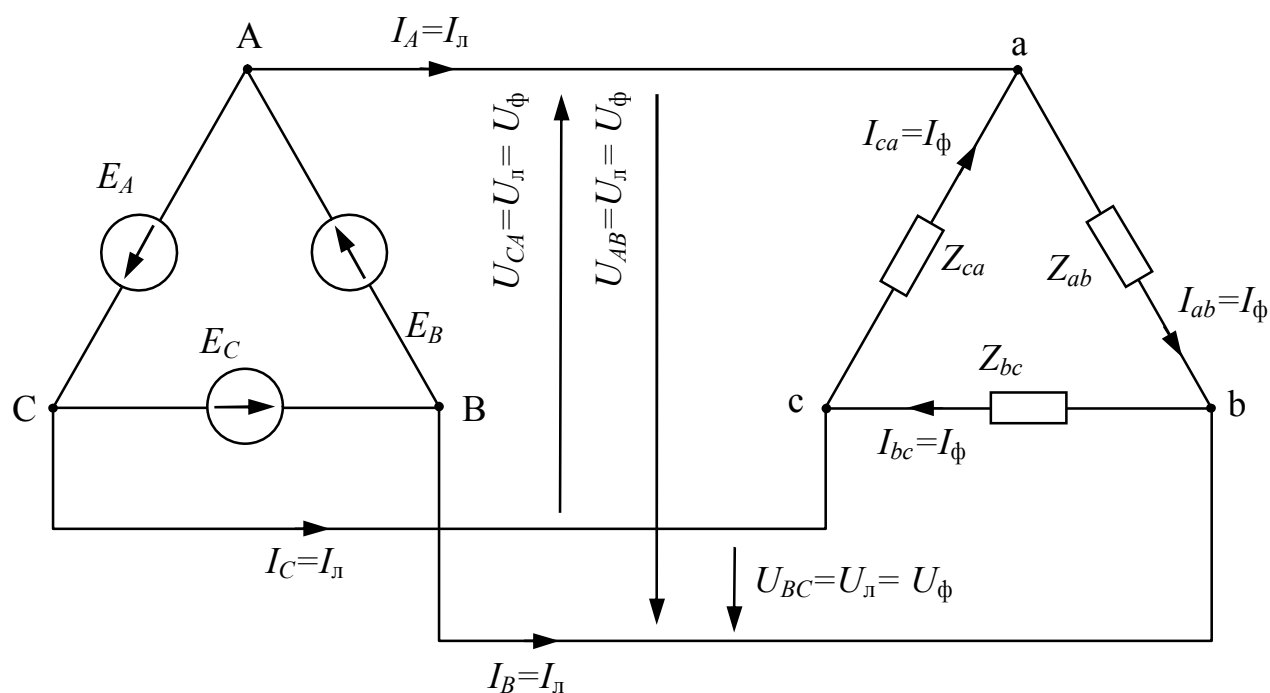


Рис 7.1

Точки з'єднання початків фаз споживачів з кінцями суміжних фаз споживачів підключені до відповідних лінійних проводів лінії електропередач. Кожна фаза споживача приєднується відповідно до двох лінійних проводів. Тому при з'єднанні споживачів трикутником фазні напруги дорівнюють відповідним лінійним напругам:

$$U_{\phi} = U_{Л}.$$

Особливістю з'єднання фаз споживача трикутником є те, що зміна режиму однієї з фаз споживача не впливає на режими інших фаз, оскільки вони

підключені до незмінних лінійних напруг генератора. Змінюватись будуть лише лінійні струми в проводах, з'єднаних з даною фазою.

Напруги на фазах споживача дорівнюють лінійним напругам трифазної мережі:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= U_{\text{Л}} \cdot e^{j30^\circ}, \\ \dot{U}_{BC} &= U_{\text{Л}} \cdot e^{-j90^\circ}, \\ \dot{U}_{CA} &= U_{\text{Л}} \cdot e^{+j150^\circ}.\end{aligned}$$

Фазні струми при з'єднанні трифазного споживача трикутником не дорівнюють лінійним, тому що на початку кожної фази споживача є вузол розгалуження струмів. Незалежно від опорів споживача між фазними й лінійними струмами існують співвідношення, отримані на підставі першого закону Кірхгофа.

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}, \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}, \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.\end{aligned}$$

Отже, лінійні струми при з'єднанні споживача трикутником дорівнюють векторній різниці фазних струмів тих фаз, які з'єднані з даним лінійним проводом. Звідси маємо, що векторна сума лінійних струмів завжди дорівнює нулю.

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

Фазні струми визначаються за законом Ома наступним чином:

$$\begin{aligned}\dot{I}_{ab} &= \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{ab}} = \frac{U_{\text{Л}} \cdot e^{j30^\circ}}{\underline{Z}_{ab}}; \\ \dot{I}_{bc} &= \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{bc}} = \frac{U_{\text{Л}} \cdot e^{-j90^\circ}}{\underline{Z}_{bc}}; \\ \dot{I}_{ca} &= \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{ca}} = \frac{U_{\text{Л}} \cdot e^{j150^\circ}}{\underline{Z}_{ca}},\end{aligned}$$

або в загальному вигляді:

$$\dot{I}_\Phi = \frac{\dot{U}_\Phi}{\underline{Z}} = I_\Phi \cdot e^{-j\varphi},$$

де  $\underline{Z} = \underline{Z} \cdot e^{j\varphi} = R + jX$  — комплексний опір відповідної фази.

Наприклад,  $\dot{I}_{ab} = I_{ab} \cdot e^{-j\varphi_{ab}}$ , де  $I_{ab} = U_{AB} / Z_{ab}$ ,  $\varphi_{ab} = \arctg\left(\frac{X_{ab}}{R_{ab}}\right)$ .

Лінійні (фазні) напруги трифазного кола, з'єднаного трикутником, утворюють такий же замкнутий контур (трикутник), як і при з'єднанні зіркою (рис.7.2). Якщо навантаження симетрично, то фазні струми мають однакове значення і зсунуті по відношенню до векторів напруг на однаковий кут  $\varphi$ .

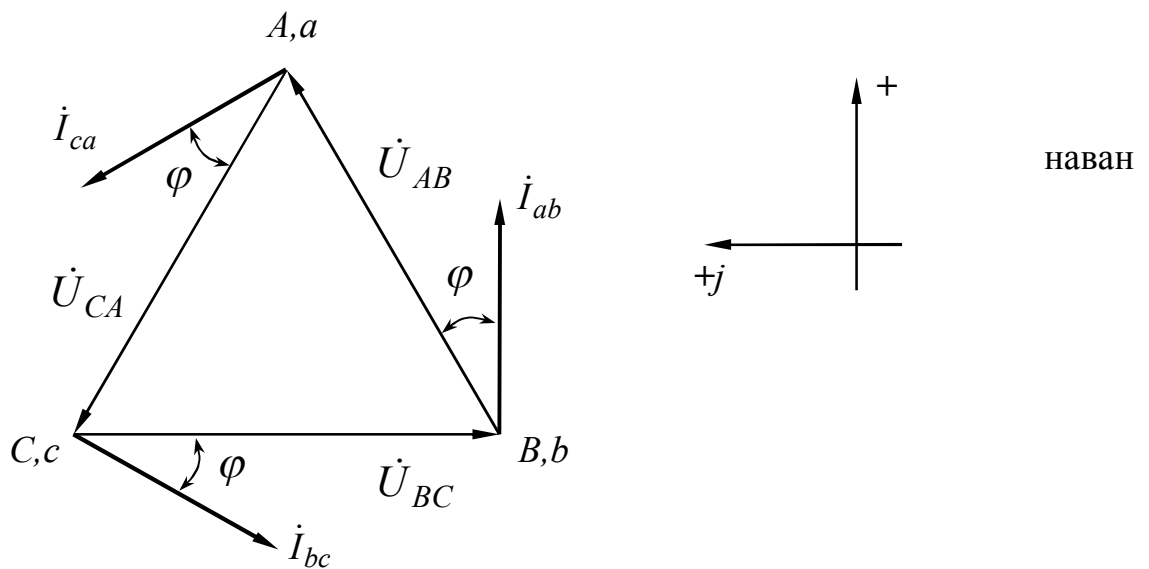


Рис 7.2

Якщо помістити початки векторів фазних струмів в одну точку, то вони утворять трипроменеву зірку. Тоді вектори лінійних струмів можна побудувати, з'єднавши кінці векторів фазних струмів. Вектори лінійних струмів утворюють замкнутий трикутник (рис.7.3). Якщо в трифазному колі, з'єднаному трикутником, навантаження симетричне, то системи фазних і лінійних струмів також є симетричними. Тому має місце наступне співвідношення:

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ф}},$$

Кут між векторами лінійних та фазних струмів при симетричному навантаженні дорівнює  $2\pi/3$ . Наприклад, вектор лінійного струму  $I_A$  відстає від відповідного фазного  $I_{ab}$  струму на  $30^\circ$  (рис.7.3).

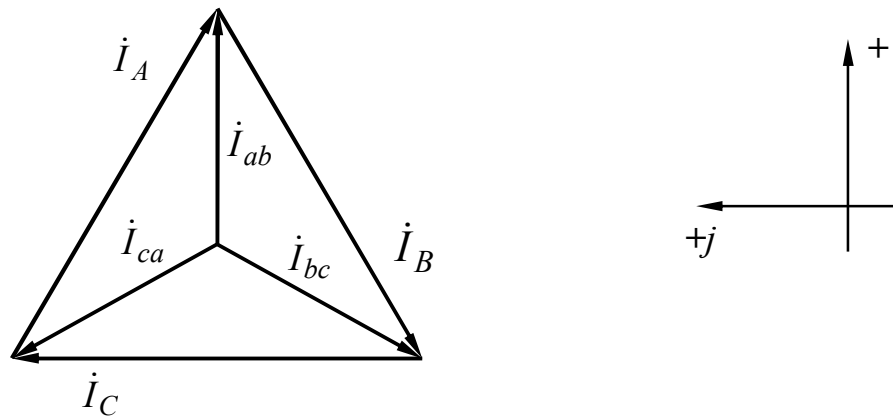


Рис 7.3

Якщо навантаження трифазного кола несиметрично, то система фазних і лінійних струмів буде також несиметричною (рис.7.4).

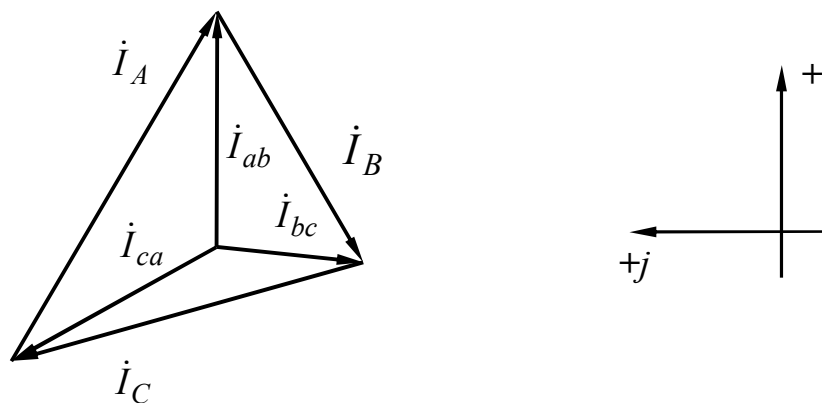


Рис 7.4

Для симетричного навантаження достатньо провести розрахунок однієї фази. В інших фазах струми й напруги перебувають в умовах симетрії.

$$I_{\Phi} = U_{\Phi} / Z_{\Phi}, \quad I_{Л} = \sqrt{3} \cdot I_{\Phi}$$

На рис.7.5 зображено електричну схему і векторну діаграму для симетричного трифазного активного навантаження, з'єднаного трикутником.

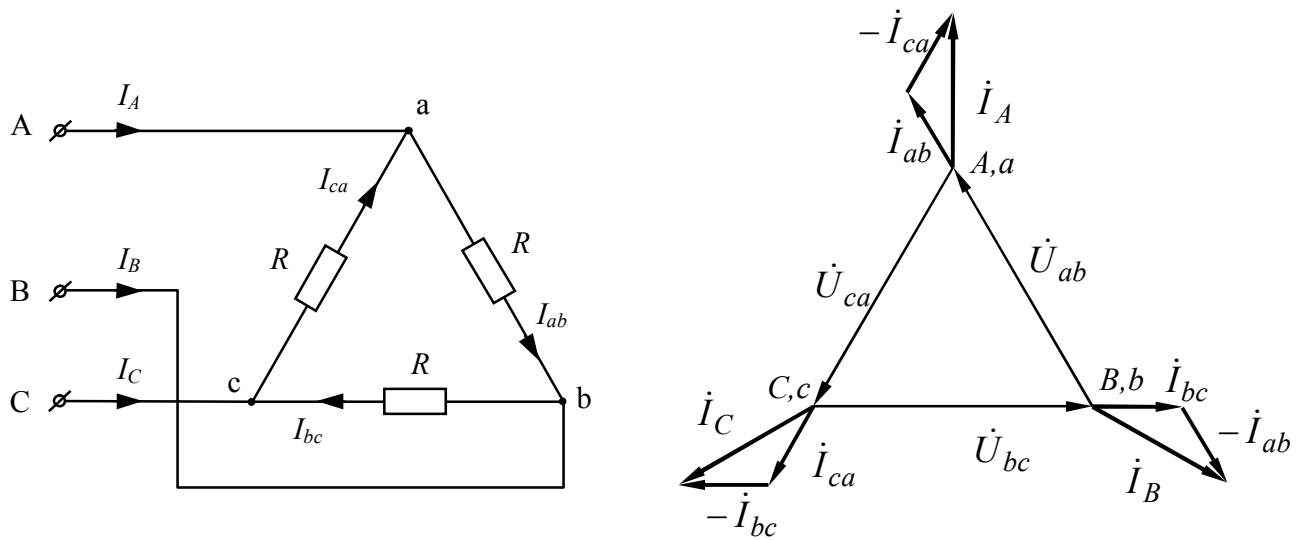


Рис 7.5

На рис.7.6 зображено електричну схему і векторну діаграму для несиметричного трифазного навантаження, з'єднаного трикутником. При несиметричному навантаженні комплексні опори ( $\underline{Z}_{ab}$ ,  $\underline{Z}_{bc}$ ,  $\underline{Z}_{ca}$ ) всіх трьох фаз у загальному випадку не рівні між собою.

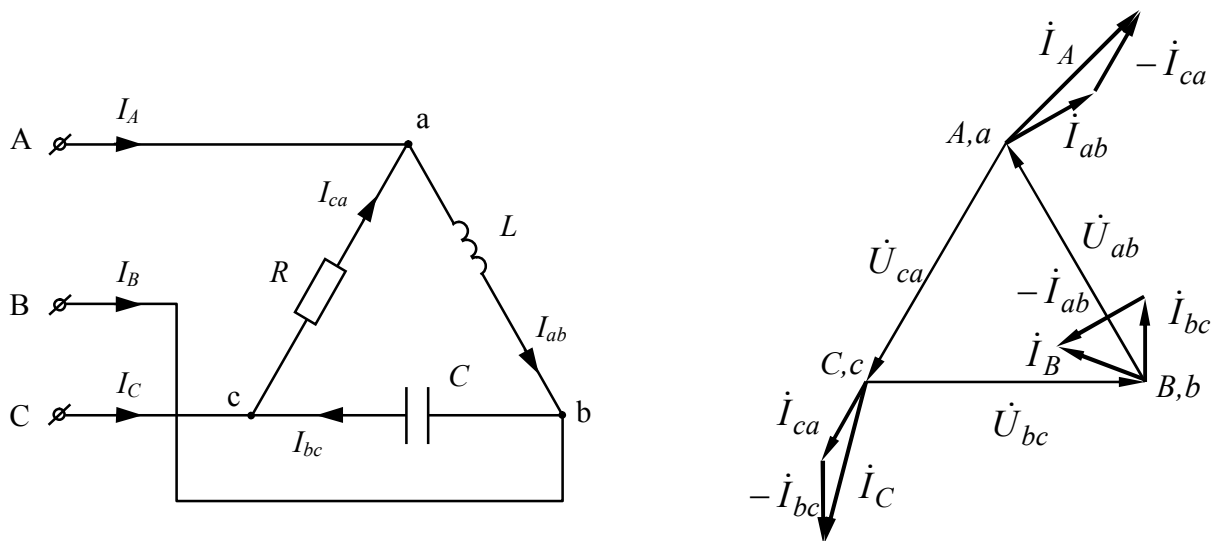


Рис 7.6

Відключення навантаження однієї з фаз у трифазному колі, з'єднаному трикутником, можна розглядати як окремий випадок несиметричного навантаження, коли опір розвантаженої фази дорівнює нескінченності, а фазний струм у ній дорівнює 0. Інші фазні струми не змінюються. На рис.7.7 зображено векторну діаграму струмів при розвантаженні фази ав.

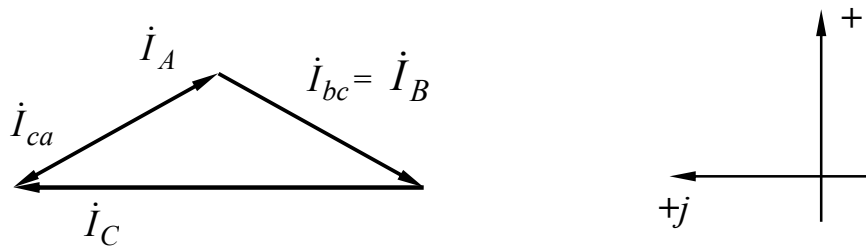


Рис 7.7

При обриві лінійного проводу, за умови з'єднання симетричного споживача трикутником, трифазне коло перетвориться в однофазне коло. Фази споживача утворюють дві паралельні вітки, до яких підведена лінійна (фазна) напруга. Струм в одній вітці залишиться незмінним, а в іншій буде менше в два рази від нього. Два лінійні струми будуть рівні між собою і протилежні по фазі.

Порядок виконання роботи.

1. Ознайомитися з вимірювальними приладами та устаткуванням, що використовується при виконанні роботи, а також зі схемою підключення вимірювального комплексу К505 при вимірюванні струмів, напруг і потужностей у трифазних трипровідних і чотирипровідних електричних колах.
2. Дослідити трифазне коло, з'єднане трикутником (див. рис.7.8).

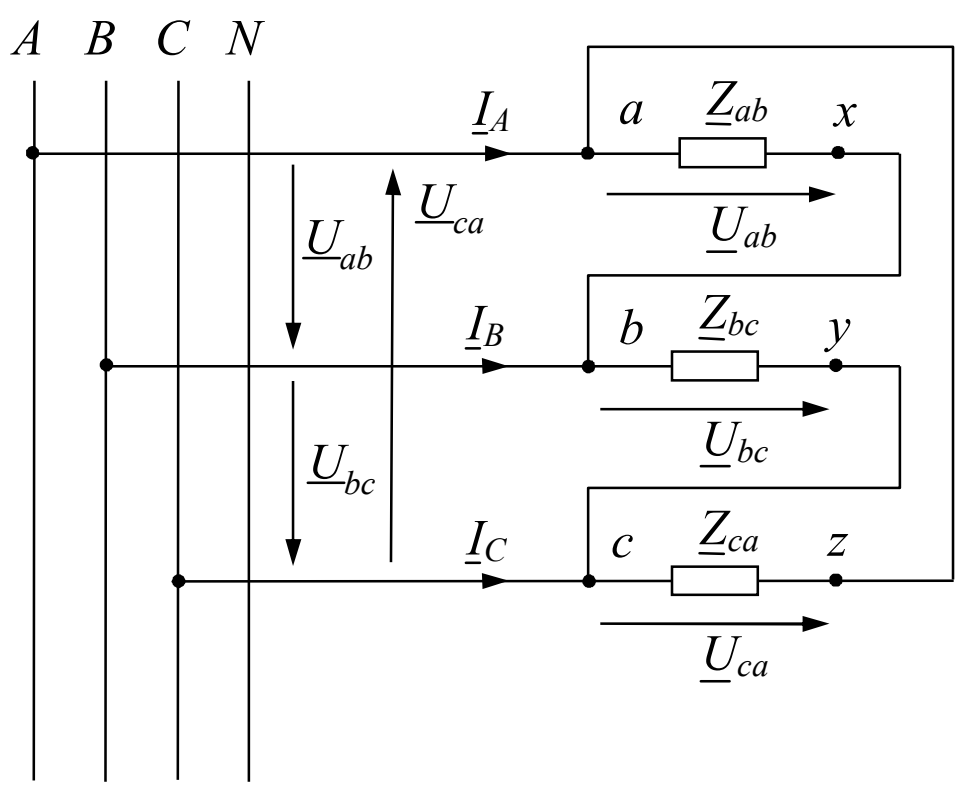


Рис 7.8

3. Зібрати трипровідне трифазне коло за монтажною схемою (рис.7.9), використовуючи в якості навантаження для кожної фази послідовно з'єднані резистори, що розташовані на панелі 2. Живлення кола здійснювати від трифазного джерела, розташованого на панелі джерел живлення з лінійною напругою 220 В.

4. Виконати дослід "активно-симетричний режим навантаження". Для цього за допомогою змінних резисторів встановити однакові фазні струми у трьох фазах.

5. Виміряти струми й потужності у фазах за допомогою вимірювального комплексу К505. Вимірювання напруг здійснити цифровим вольтметром, по черзі підключаючи його до відповідних точок кола. Дані вимірювань занести до таблиці 7.1.

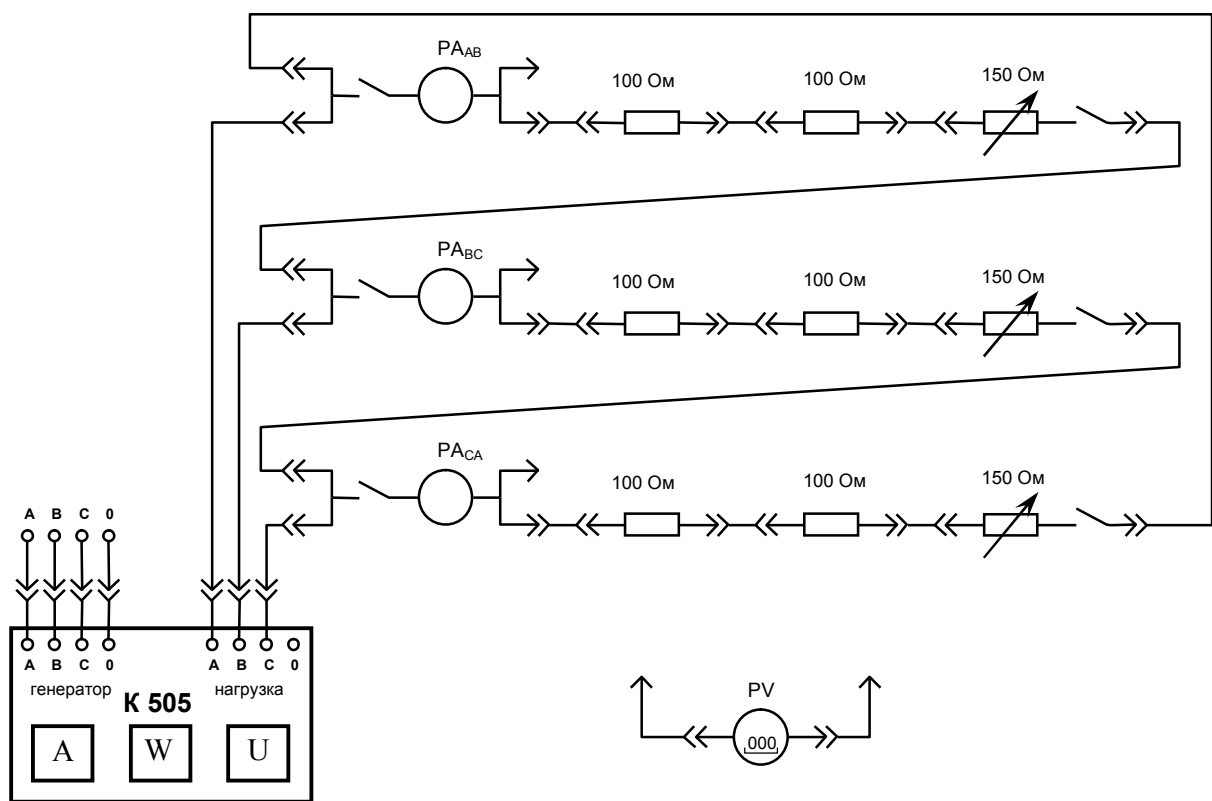


Рис 7.9

Таблиця 7.1

Режим навантаження	Дані вимірювань												Результати обчислень		
	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_{ав}$	$I_{вс}$	$I_{са}$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$	$P_a$	$P_b$	$P_c$	$\sum P$	$I_{л}/I_{ф}$	$P$
	A	A	A	A	A	A	B	B	B	Вт	Вт	Вт	Вт	Від.од.	Вт
Активно-симетричний															
Активно-несиметричний															
Обрив одного лінійного проводу															
Розвантаження однієї фази															
Розвантаження двох фаз															
Активно-індуктивний															
Активно-ємнісний															

6. Виконати дослід "активно-несиметричний режим навантаження". Для цього необхідно за допомогою змінних резисторів встановити різні фазні струми у трьох фазах і виконати дії зазначені у п.5.

7. Виконати дослід "обрив одного лінійного проводу". Для цього необхідно від'єднати за вказівкою викладача один провідник від будь-якого штекерного гнізда "А", "В", "С" джерела живлення і виконати дії зазначені у п.5. Після виконання вимірів провідник, що від'єднали повернути на своє місце.

8. Виконати дослід "розвантаження однієї фази". Для цього необхідно вимкнути за вказівкою викладача один із вимикачів розташованих на панелі 2 і виконати дії зазначені у п.5.

9. Виконати дослід "розвантаження двох фаз". Для цього необхідно вимкнути два вимикача розташованих на панелі 2 і виконати дії зазначені у п.5. Після виконання вимірів повернути вимикачі у вихідний стан.

10. Виконати дослід "активно-індуктивний режим навантаження". Для цього необхідно скласти коло відповідно до рис.7.10, в якості індуктивності використовувати котушку індуктивності розташовану на панелі 4. Далі виконати дії зазначені у п.5.



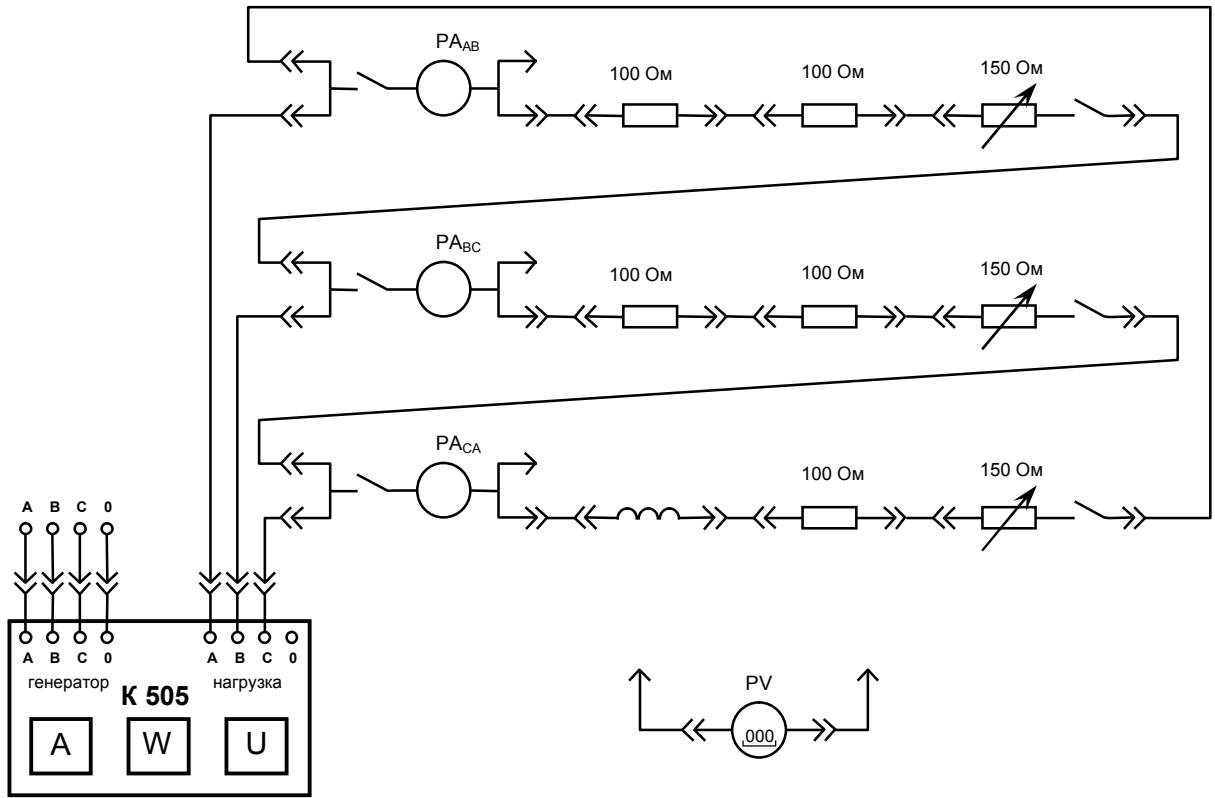


Рис 7.10

11. Виконати дослід " активно-ємнісний режим навантаження ". Для цього необхідно скласти коло відповідно до рис.7.11, використовуючи ємність розташовану на панелі 4 . Значення ємності встановити за вказівкою викладача. Далі виконати дії зазначені у п.5.

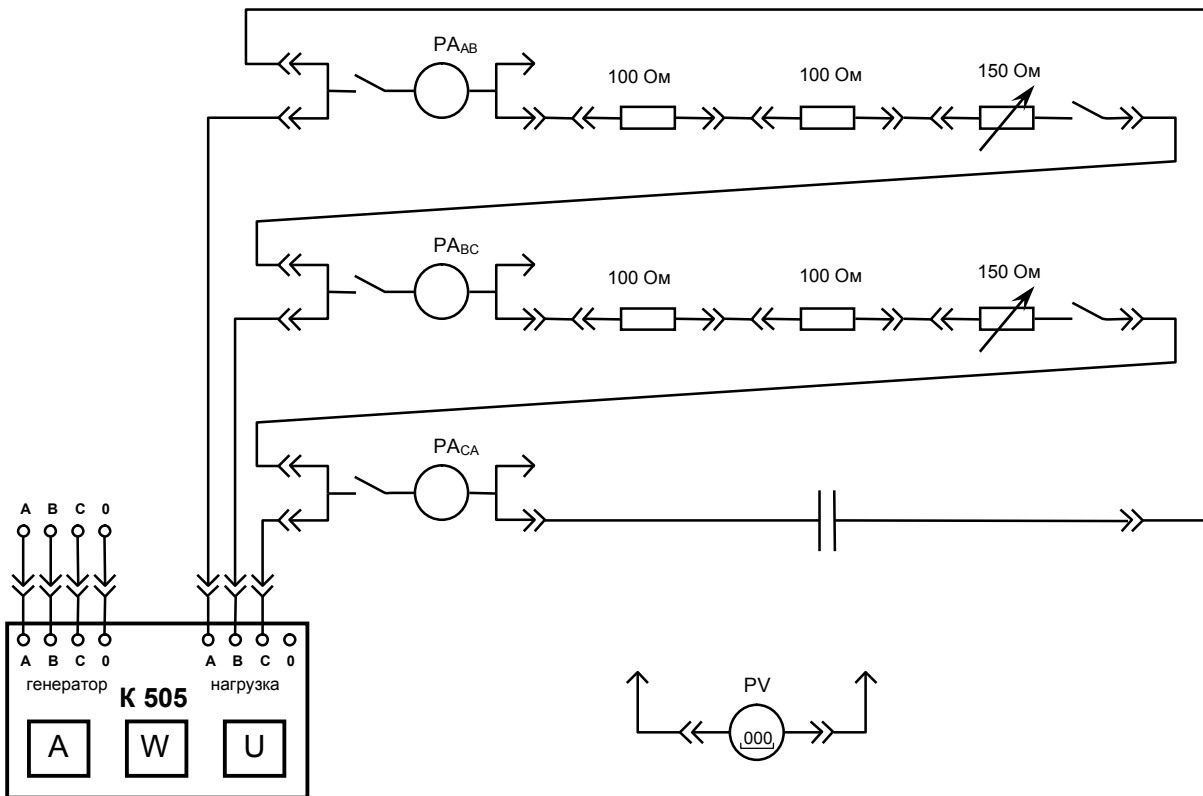


Рис 7.11

### Завдання по роботі.

1. Дослідити трипровідне трифазне електричне коло, з'єднане трикутником, і установити співвідношення між лінійними й фазними струмами для симетричного та несиметричного режимів роботи.

2. Розрахувати потужність трифазної системи для всіх режимів навантаження за формулами:  $P = U_{AB} \cdot I_{ab} + U_{BC} \cdot I_{bc} + U_{CA} \cdot I_{ca}$ ,  
 $\sum P = P_a + P_b + P_c$ .

Примітка: При вмиканні трифазного споживача по трипровідній схемі і несиметричному навантаженні покази ватметра комплекту К505 при вимірюванні фазних потужностей  $P_a$ ,  $P_b$  і  $P_c$  не відповідають дійсним фазним потужностям, оскільки обмотка ватметра підключена до штучної нульової точки, сумарна ж потужність споживача  $P = P_a + P_b + P_c$  відповідає дійсній потужності.

3. Побудувати векторні діаграми струмів і напруг для всіх режимів навантаження.

4. За даними табл.7.1 для активно-симетричного режима навантаження написати вирази фазних і лінійних струмів, напруг у комплексному вигляді в алгебраїчній та показовій формах (табл.7.2).

5. Зробити короткі висновки по роботі.

Таблиця 7.2

U	I <sub>ф</sub>	I <sub>л</sub>
В	А	А
$\dot{U}_{ab} =$	$\dot{I}_{ab} =$	$\dot{I}_A =$
$\dot{U}_{bc} =$	$\dot{I}_{bc} =$	$\dot{I}_B =$
$\dot{U}_{ca} =$	$\dot{I}_{ca} =$	$\dot{I}_C =$

### Контрольні питання та завдання.

1. Яким чином з'єднуються джерела і навантаження трикутником? Намалуйте електричну схему такого з'єднання.

2. Які струми вважаються фазними й лінійними? Як вони вимірюються?

3. Яке співвідношення між лінійними й фазними струмами для симетричного й несиметричного навантаження, з'єданого трикутником, у векторній та алгебраїчній формі?

4. Вкажіть умови симетрії трифазного споживача енергії.

5. Як визначаються активна й реактивна потужності для симетричного й несиметричного навантажень за дослідними даними?

6. Написати комплекси фазних опорів і чисельно визначити силу лінійних і фазних струмів для випадку з'єднання навантаження трикутником,  $U_{\phi} = 12$  В:

- у фазі а - активне навантаження;
- у фазі в - індуктивне навантаження;
- у фазі с - ємнісне навантаження.

Прийняти модулі всіх фазних опорів рівними 4 Ом кожний.

7. Поясніть будову векторної діаграми напруг і струмів для несиметричного навантаження.

### Додаток

Приклад побудови сумісної векторної діаграми напруг і струмів для несиметричного навантаження з'єднаного зіркою без нейтрального проводу з допомогою програми MATHCAD.

$$\begin{aligned}
 U_A &:= 220 \cdot e^{j \frac{\pi}{3}} \text{ V} & I_A &:= 1.6 \cdot e^{j \frac{\pi}{18}} \text{ A} \\
 U_B &:= 220 \cdot e^{-j \frac{2\pi}{3}} \text{ V} & I_B &:= 1.8 \cdot e^{-j \frac{\pi}{1.4}} \text{ A} & U_{nN} &:= 50 \cdot e^{-j \frac{\pi}{1.8}} \text{ V} \\
 U_C &:= 220 \cdot e^{j \frac{2\pi}{3}} \text{ V} & I_C &:= 1.3 \cdot e^{j \frac{\pi}{1.6}} \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$U_L := \begin{pmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \\ U_C \\ U_A \end{pmatrix} \quad U_f := \begin{pmatrix} U_A \\ U_{nN} \\ U_B \\ U_{nN} \\ U_C \\ U_{nN} \end{pmatrix} \quad I_f := \begin{pmatrix} I_A \\ 0 \\ I_B \\ 0 \\ I_C \\ 0 \end{pmatrix} \cdot 50 \quad U_N := \begin{pmatrix} U_{nN} \\ 0 \end{pmatrix}$$

