

Лабораторна робота №6

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА, З'ЄДНАНОГО ЗІРКОЮ

Мета роботи – дослідити основні режими роботи трифазного кола при з'єднанні споживачів зіркою; визначити співвідношення між значеннями лінійних й фазних струмів та напруг; з'ясувати вплив нейтрального поводу; навчитися будувати за дослідними даними векторні діаграми струмів і напруг для симетричного і несиметричного навантаження фаз.

Основні відомості і рекомендації

Електрична енергія в сучасних умовах виробляється переважно джерелами енергії із трифазною системою напруг. Пояснюється це тим, що трифазна система змінного струму є найбільш економічною.

Основною перевагою трифазної системи перед однофазною є те, що вона забезпечує передачу і розподіл енергії з меншими електричними втратами і витратою матеріалу проводів. Крім того, трифазна система дає можливість створювати обертове магнітне поле, що використовується в двигунах трифазного струму, які мають безперечні техніко-економічні переваги перед однофазними двигунами.

Трифазні кола - найпоширеніший різновид багатofазних кіл. В них діють три синусоїдні ЕРС однакові за амплітудою і частотою, але зсунуті у часі одна від одної на третину періоду (тобто на кут 120°).

Перш ніж розпочати дослідження трифазного кола, необхідно засвоїти основні поняття, що стосуються трифазних кіл.

Окремі електричні кола, які входять до складу трифазної системи називаються **фазами**.

Трифазну систему синусоїдних ЕРС (або струмів) називають **симетричною**, якщо всі ЕРС (або струми) однакові за величиною і кожна з них відстає (або випереджає) за фазою від попередньої на однаковий кут. Якщо ці умови не задовольняються, то система ЕРС (або струмів) є **несиметричною**.

Трифазні кола, в яких комплексні опори всіх фаз однакові ($\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C$), називаються **симетричними**, відповідно $R_A = R_B = R_C$, $X_A = X_B = X_C$ та $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C$; за інших умов — трифазні кола **несиметричні**.

Трифазну систему електричних кіл називають **незв'язаною**, якщо кола, які утворюють цю систему, не з'єднані електрично між собою. Якщо ж кола електрично з'єднані, то трифазну систему називають **зв'язаною**. На практиці більше поширена зв'язана система.

Кожна обмотка (фаза) генератора має два кінці, один з яких називають початком, а другий – кінцем. Вибір початків (A, B, C) і кінців (X, Y, Z) обмоток довільний. Але в генераторах доцільно називати початками і кінцями відповідні, симетрично розміщені, кінцеві точки обмоток. У такому разі

система ЕРС буде **симетричною**, якщо до цього умовно вибрати однаковим напрям усіх ЕРС: від початків до їх кінців або навпаки – від кінців обмоток до їх початків .

Для створення зручнішої, вигіднішої трифазної системи кінці обмоток генератора і споживачів електрично з'єднують зіркою або трикутником.

З'єднання обмоток генератора **зіркою** вважають таким, коли всі початки або кінці обмоток мають одну спільну, так звану нейтральну (або нульову) точку. Зв'язок між генератором і споживачами здійснюється електричними проводами, що йдуть від кінців усіх обмоток, а іноді й від нейтральної точки генератора. Провід, що йде від кінця обмоток генератора до споживача, називають **лінійним**, а той, що йде від нейтральної (або нульової) точки – **нейтральним** (або нульовим) проводом.

При з'єднанні обмоток генератора **трикутником** початок обмотки кожної фази з'єднують з кінцем обмотки наступної фази. Зв'язок генератора із споживачами здійснюється **лінійними** проводами, що виходять з спільних точок обмоток генератора.

ЕРС, що індукується в обмотках генератора, напруги на затискачах цих обмоток і струми, що проходять по них, називаються **фазним** и ЕРС (e_ϕ, \dot{E}_ϕ), напругами (u_ϕ, \dot{U}_ϕ) і струмами (i_ϕ, \dot{I}_ϕ), а напруги між лінійними проводами і струми, що проходять у них, – **лінійними** напругами (u_L, \dot{U}_L) і струмами (i_L, \dot{I}_L).

З'єднання споживачів зіркою і трикутником виконують аналогічно до відповідних з'єднань обмоток генератора. Визначення фазних і лінійних напруг і струмів для споживачів залишаються такими самими, як і для генераторів.

Надалі умовимось у трифазній системі кіл струми направляти так, щоб усі лінійні струми були направлені до споживачів, а фазні струми в сторонах трикутника – за рухом годинникової стрілки. Фазні струми в променях зірки споживачів, будуть сходиться в нейтральній точці. Результуючий струм i_0 по нейтральному проводу піде до нейтральної точки генератора (N).

Напрями всіх ЕРС і напруг відповідатимуть напрямам відповідних струмів.

Для симетричної трифазної ЕРС в будь-який момент часу дійсні співвідношення:

$$\begin{aligned}e_A + e_B + e_C &= 0, \\ \dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C &= 0.\end{aligned}$$

Трифазне коло, в якому обмотки генератора і споживача з'єднані зіркою, показано на рис.6.1.

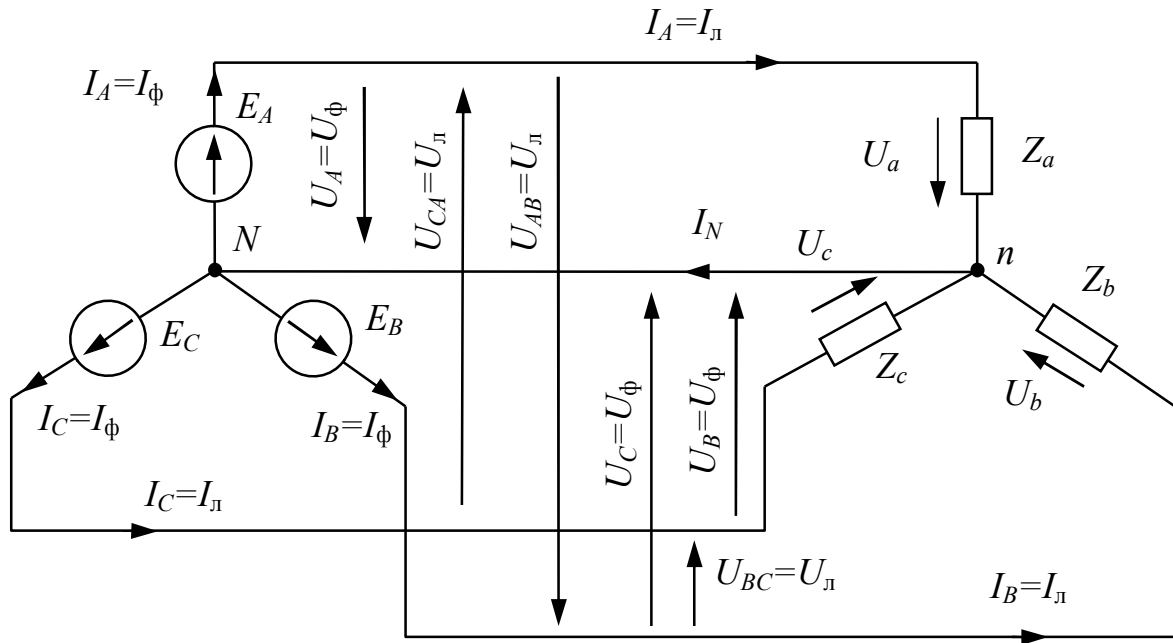


Рис 6.1

Зі схеми видно, що при з'єднанні споживачів зіркою його фазами протікають ті ж струми, що й лінійними проводами. Тобто фазні струми дорівнюють відповідним лінійним струмам:

$$I_{\phi} = I_{Л}.$$

Фазні струми споживача визначають за законом Ома:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A}, \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B}, \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_C}.$$

Згідно з першим законом Кірхгофа струм в нейтральному проводі дорівнює:

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

При з'єднанні споживача зіркою, незалежно від величини й характеру опорів його фаз, а також від того, є або відсутній нейтральний провід, між лінійними й фазними напругами споживача існують наступні співвідношення, отримані згідно з другим законом Кірхгофа:

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

Миттєві значення ЕРС що утворюють симетричну систему:

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

якщо рахувати, що початкова фаза ЕРС e_A дорівнює нулю.
В комплексному вигляді фазні ЕРС записуються так:

$$\begin{aligned} \dot{E}_A &= E_m e^{j0^\circ}, \\ \dot{E}_B &= E_m e^{-j120^\circ}, \\ \dot{E}_C &= E_m e^{j120^\circ}. \end{aligned}$$

Оскільки трифазні кола є різновидом складних електричних кіл, їх можна розрахувати, застосовуючи відомі методи розрахунку складних кіл.

Найбільш простіше виконується розрахунок симетричних трифазних кіл. Для цього достатньо провести розрахунок однієї фази. В інших фазах струми й напруги перебувають в умовах симетрії. Зазвичай, окремо кожна фаза становить просте коло. На рис.6.2 зображено векторну діаграму для симетричного трифазного кола, з'єднаного зіркою, у випадку коли споживач має активно-індуктивний характер.

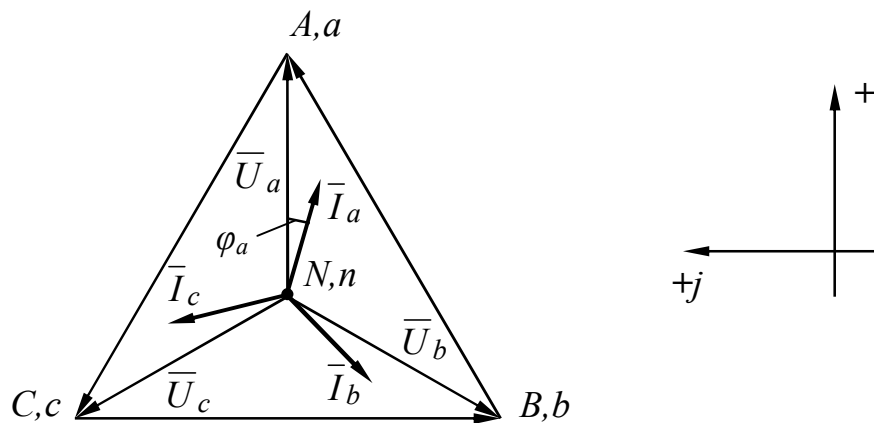


Рис 6.2

З векторної діаграми видно, що лінійні напруги більші від фазних у $\sqrt{3}$ раз, тобто $U_{\text{Л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{Ф}}$.

Оскільки фазні напруги та фазні опори споживача електроенергії рівні між собою, то й фазні струми при симетричному навантаженні також рівні між собою і зміщені відносно фазних напруг на рівні кути $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi_{\text{Ф}}$, визначених з виразу:

$$\operatorname{tg} \varphi_a = \operatorname{tg} \varphi_b = \operatorname{tg} \varphi_c = \frac{X_a}{R_a} = \frac{X_b}{R_b} = \frac{X_c}{R_c}.$$

В трифазному колі з симетричним навантаженням струм у нейтральному проводі, визначений як векторна сума фазних струмів, виявляється рівним нулю, то в такому випадку цей провід стає непотрібним і застосовувати його нема рації.

Якщо навантаження є несиметричним, то комплексні опори всіх трьох фаз $\underline{Z}_a, \underline{Z}_b, \underline{Z}_c$ у загальному випадку не рівні між собою $\underline{Z}_a \neq \underline{Z}_b \neq \underline{Z}_c$.

Нехтуючи опором лінійних проводів, можна вважати, що лінійні напруги споживача незалежно від характеру навантаження рівні відповідним лінійним напругам генератора, тобто система лінійних напруг і при несиметричному навантаженні симетрична.

При наявності нейтрального проводу та несиметричному навантаженні (опором нейтрального проводу нехтуємо) потенціал нейтральної точки споживача дорівнює потенціалу нейтральної точки генератора. Отже, фазні напруги споживача рівні відповідним фазним напругам генератора.

В цьому випадку геометрична сума фазних струмів трифазної системи, відповідно до першого закону Кірхгофа для нейтральної точки, дорівнює струмові в нейтральному проводі

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

Сумісну векторну діаграму напруг і струмів для несиметричного навантаження з нейтральним проводом показано на рис.6.3.

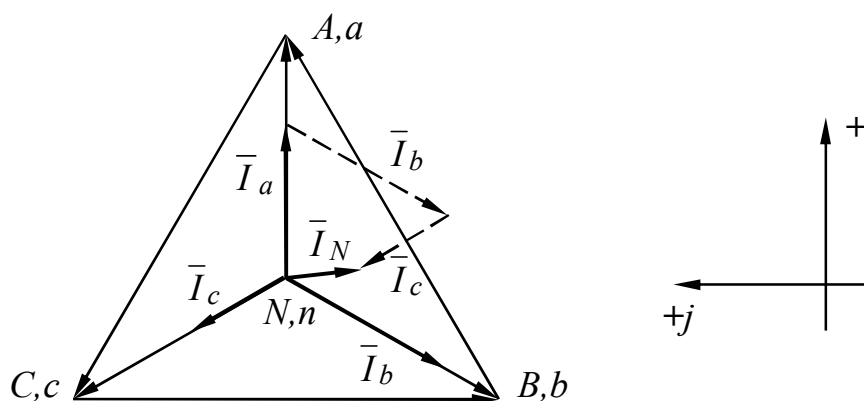


Рис 6.3

При відключенні нейтрального проводу, за умови несиметричного навантаження, потенціал нейтральної точки (n) споживача електроенергії не дорівнює потенціалу нейтральної точки (N) генератора, тому що ці точки не з'єднані між собою. В цьому випадку нейтральна точка (n) на векторній діаграмі споживача зміститься відносно свого вихідного положення в інше (n'), для якого геометрична сума фазних струмів споживача дорівнює нулю:

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

У цьому випадку сумісна векторна діаграма напруг і струмів приймає вигляд, представлений на рис.6.4, з якої видно, що в разі несиметричного навантаження в трифазній системі без нейтрального проводу фазні напруги споживача не дорівнюють одна одній - одні фазні напруги можуть бути менші в порівнянні з фазними напругами генератора, а інші - більші.

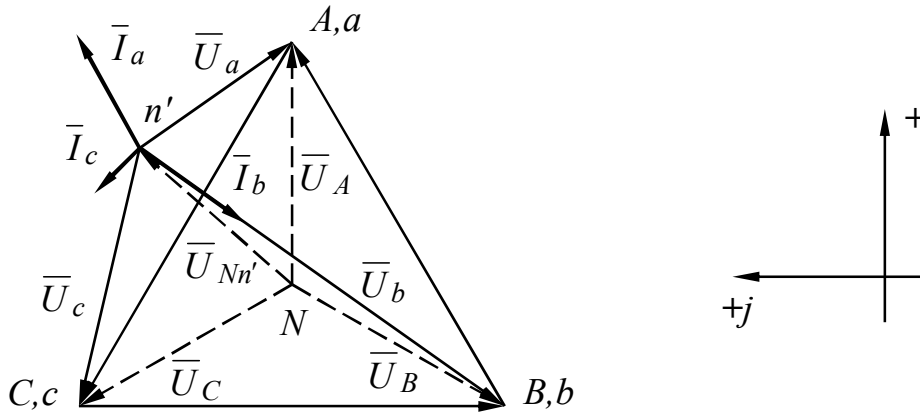


Рис 6.4

Розрахунок несиметричного трифазного кола необхідно проводити як розрахунок складного кола, застосовуючи формулу, що визначає напругу між нейтральними точками джерела і приймача енергії.

Коротке замикання однієї фази споживача електроенергії, з'єднаного зіркою без нейтрального проводу, варто розглядати як окремий випадок несиметричного навантаження, при якому напруга на короткозамкненій фазі споживача дорівнює нулю, а значення напруг на двох інших фазах збільшується до значень, рівних лінійним напругам (рис.6.5). Нейтральна точка (n) на векторній діаграмі зміщується в цьому випадку у вершину трикутника лінійних напруг (n'), що відповідає короткозамкненій фазі. При цьому напруга (\dot{U}_{Nn}) між нейтральними точками генератора і споживача стає рівною фазній напрузі генератора живлення.

Струм у короткозамкненій фазі залежить від опорів, увімкнених у дві інші фази споживача. Геометрична сума векторів всіх трьох фазних струмів дорівнює нулю.

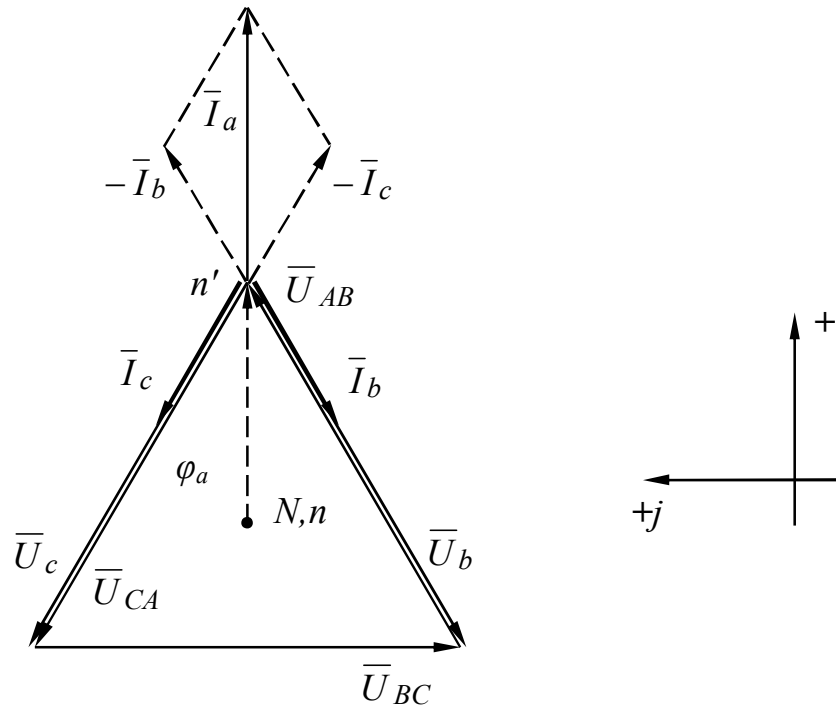


Рис 6.5

Відключення навантаження в одній з фаз трифазного кола, з'єднаного зіркою без нейтрального проводу можна розглядати як окремий випадок несиметричного навантаження, коли опір розвантаженої фази дорівнює нескінченності. В такому випадку, якщо опори двох інших фаз виявляються однакові, то нейтральна точка (n) на векторній діаграмі переміститься в точку (n'), що знаходиться посередині однієї із сторін трикутника лінійних напруг (рис.6.6).

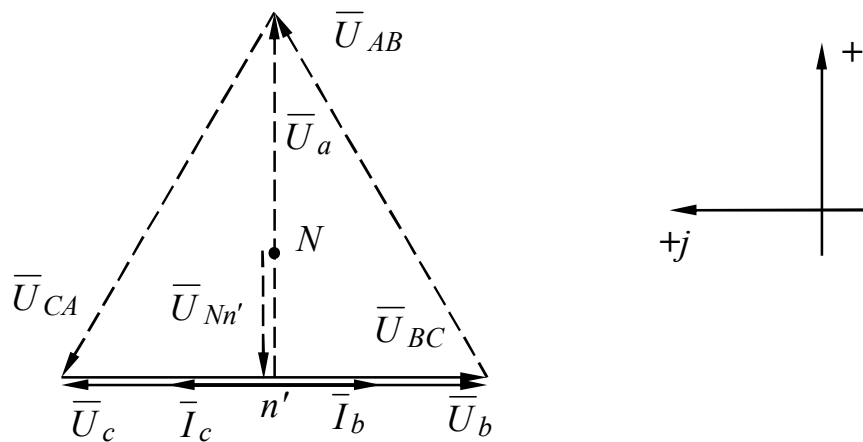


Рис 6.6

В разі обриву лінійного проводу трифазний споживач перебуває під

лінійною напругою, тому що жодна із точок навантаження не буде під потенціалом обірваного лінійного проводу. У цьому випадку векторна діаграма трифазного споживача, з'єднаного зіркою, та за відсутності нейтрального проводу набуває вигляду, який наведено на рис. 6.7.

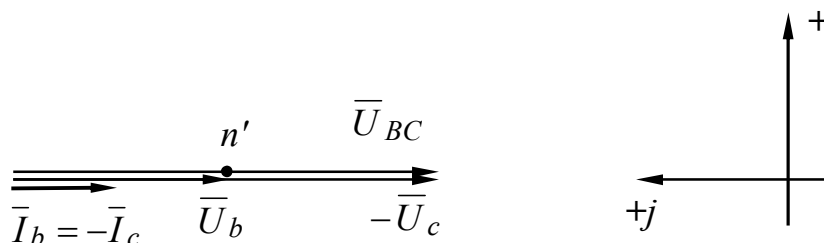


Рис 6.7

Побудова векторних діаграм починається з побудови векторів напруги симетричного джерела. Відкладаємо в масштабі три вектори однакових по модулю фазних напруг $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ з кутом 120° між ними. З'єднавши точки А, В, С, згідно з рівняннями $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C, \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$ будуємо вектори лінійних напруг джерела. При наявності лінійних і нейтрального проводів потенціали відповідних точок джерела й приймача збігаються, отже, діаграма справедлива й для трифазного навантаження.

Вектори струмів будуємо відносно фазних напруг навантаження під кутом φ , враховуючи його знак (рис 6.2). Без нейтрального проводу і при несиметричному режимі потенціали точок N і n різні. Положення точки n визначаємо перетином фазних напруг споживача.

Виконуючи дану лабораторну роботу, необхідно розібратися з питанням вимірювання потужності трифазного кола, що має важливе практичне значення. Активну потужність симетричного кола можна вимірювати одним ватметром. Якщо коло є несиметричним, варто скористатися методом трьох ватметрів. Вимірювати реактивну потужність для симетричному навантаженні можна за допомогою одного ватметра, у якому обмотка струму ввімкнена, наприклад, у фазу А, а обмотка напруги підключена на «чужі фази» В і С.

Порядок виконання роботи.

1. Ознайомитися з вимірювальними приладами та устаткуванням, що використовується в ході роботи, а також зі схемою підключення вимірювального комплексу К505 для вимірювання струмів, напруг і потужностей у трифазних трипровідних і чотирипровідних електричних колах.

2. Дослідити трифазне коло, з'єднане зіркою з нейтральним проводом (див. рис.6.8).

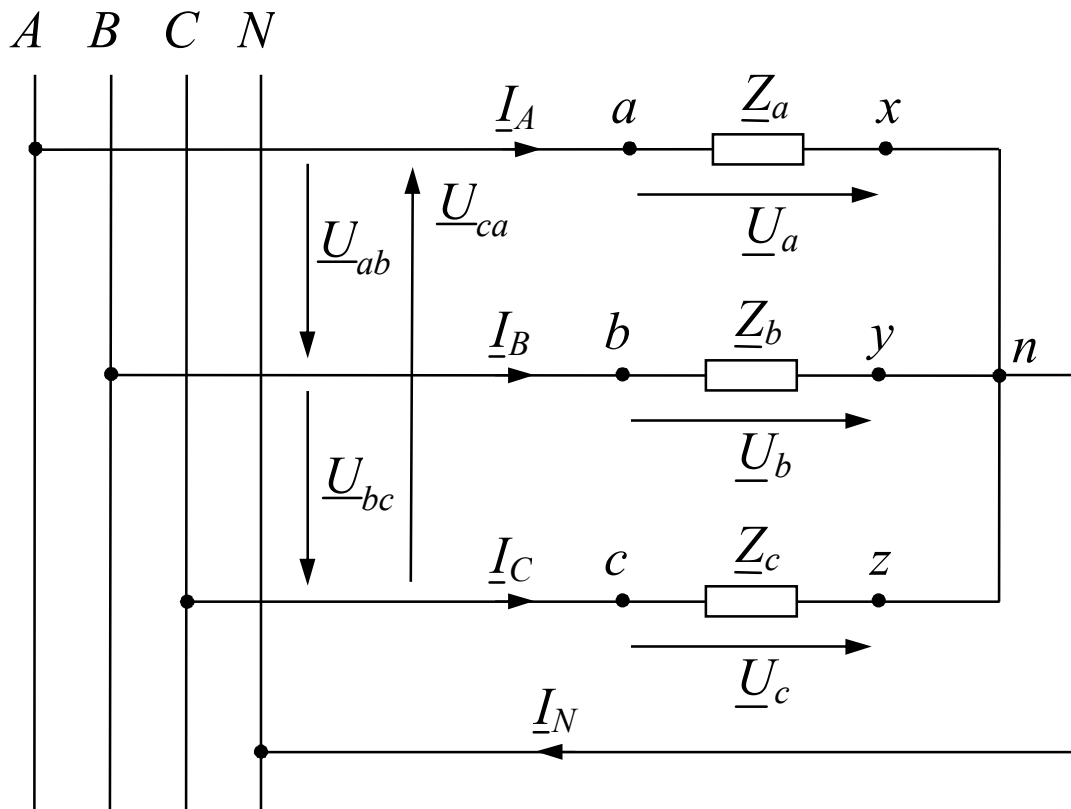


Рис 6.8

3. Зібрати чотирипровідне трифазне коло за монтажною схемою (рис.6.9), 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.

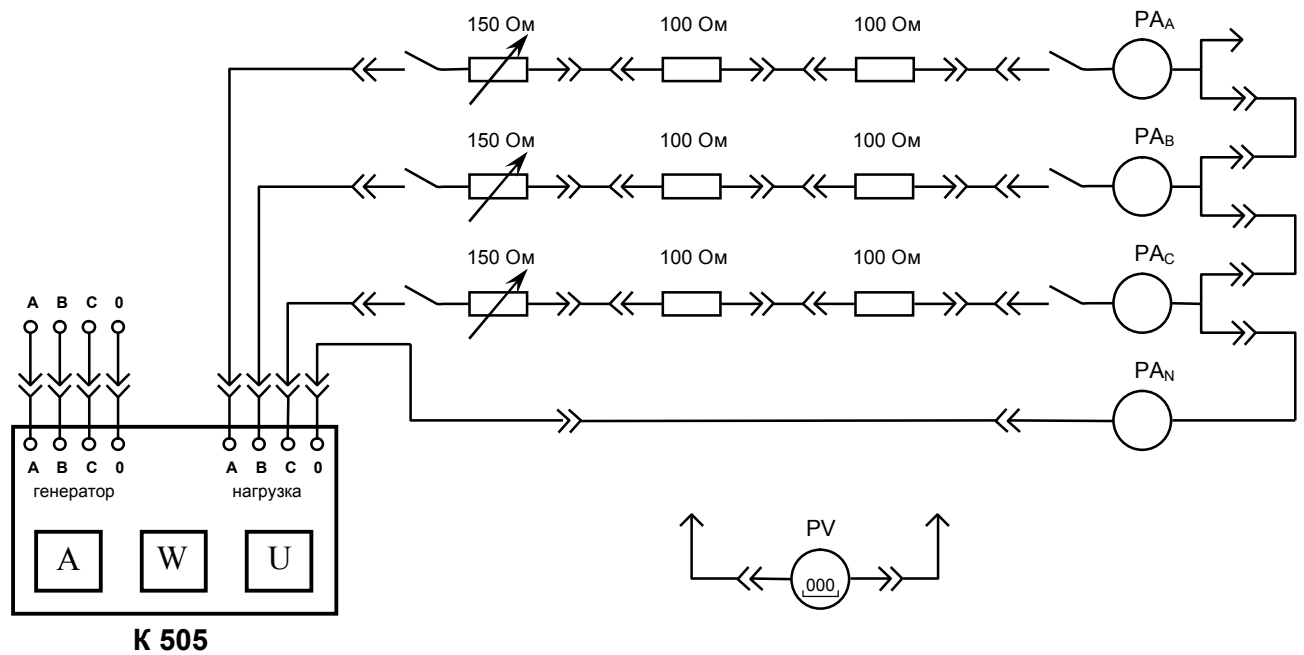


Рис 6.9

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

5. Виміряти струми й потужності у фазах за допомогою вимірювального комплексу К505. Вимірювання фазних і лінійних напруг здійснити цифровим вольтметром, по черзі підключаючи його до відповідних точок кола. Дані вимірювань занести до таблиці 6.1.

6. Виконати дослід "активно-несиметричний режим навантаження". Для цього необхідно за допомогою змінних резисторів встановити різні 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 один із вимикачів розташованих на панелі 2 і виконати дії зазначені у п.5. Після виконання вимірів повернути вимикач у вихідний стан.

Таблиця 6.1

Режим навантаження	Дані вимірювань													Результати обчислень	
	U_a	U_b	U_c	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	I_a	I_b	I_c	I_N	P_a	P_b	P_c	P	$U_{л}/U_{ф}$
	В	В	В	В	В	В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Від.од.
Активно-симетричний															
Активно-несиметричний															
Обрив одного лінійного проводу															
Розвантаження однієї фази															
Активно-індуктивний															
Активно-емнісний															

9. Виконати дослід " активно-індуктивний режим навантаження ". Для цього скласти коло відповідно до рис.6.10, в якості індуктивності використовувати котушку індуктивності розташовану на панелі 4. Далі виконати дії зазначені у п.5.

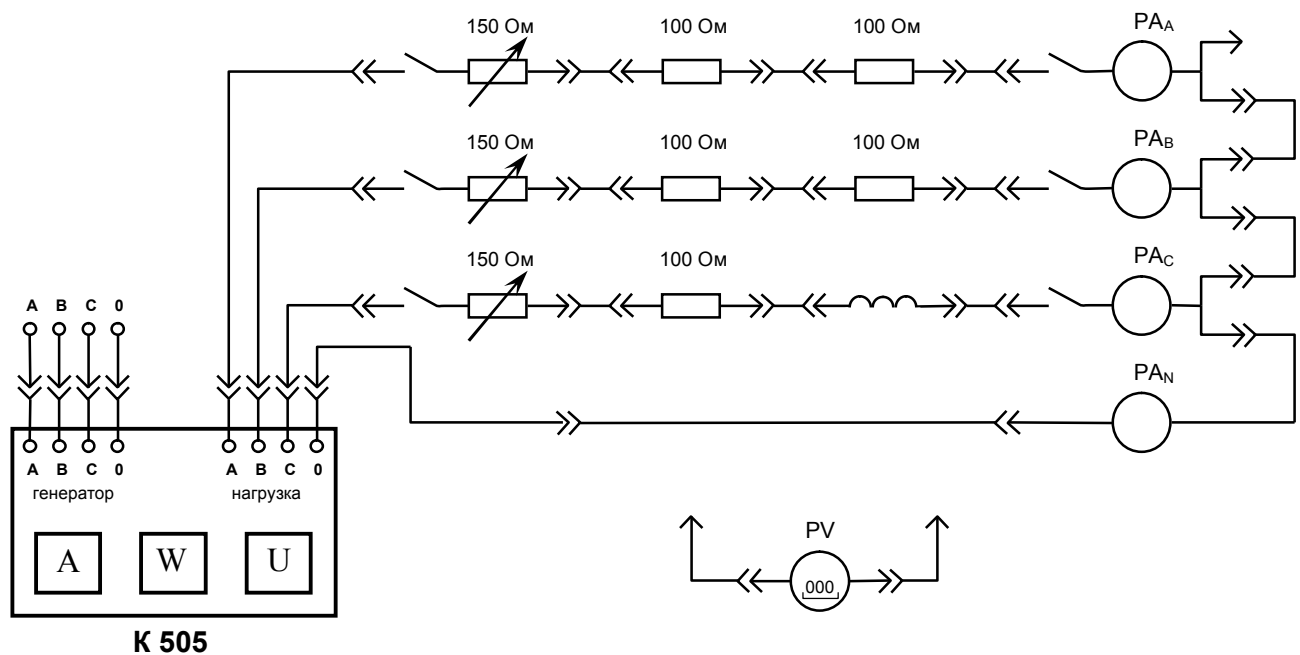


Рис 6.10

10. Виконати дослід " активно-ємнісний режим навантаження ". Для цього необхідно скласти коло відповідно до рис.6.11, використовуючи ємність розташовану на панелі 4 . Далі виконати дії зазначені у п.5.

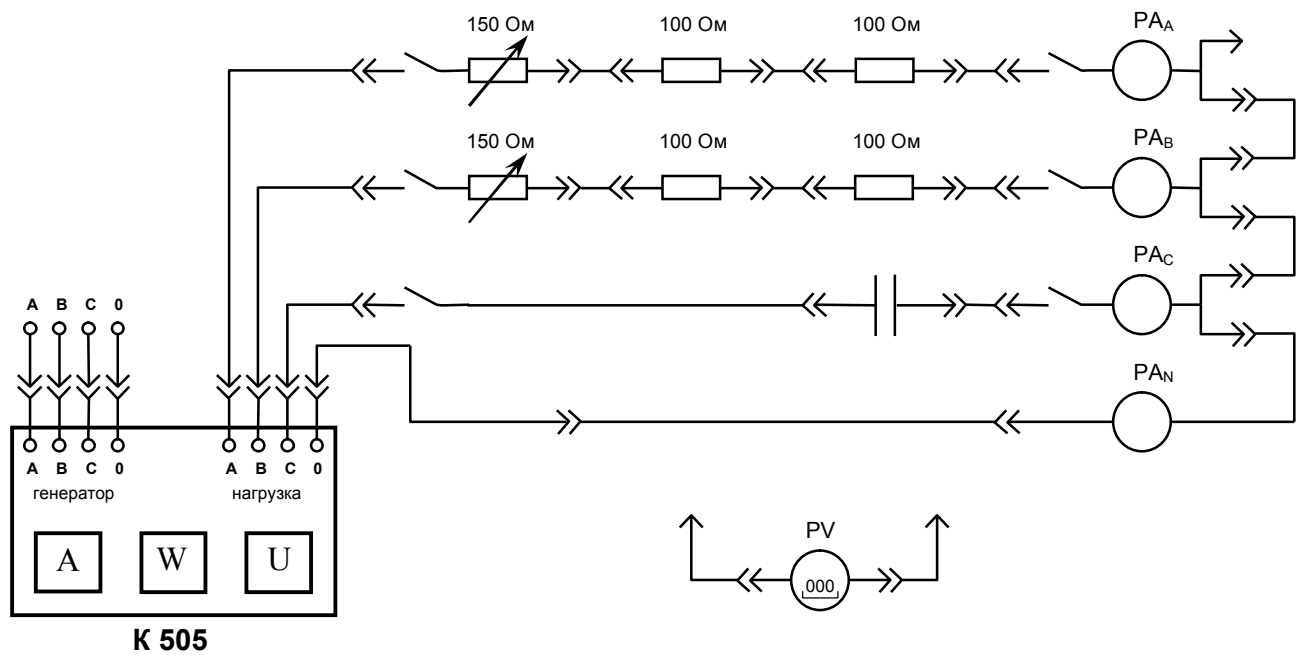
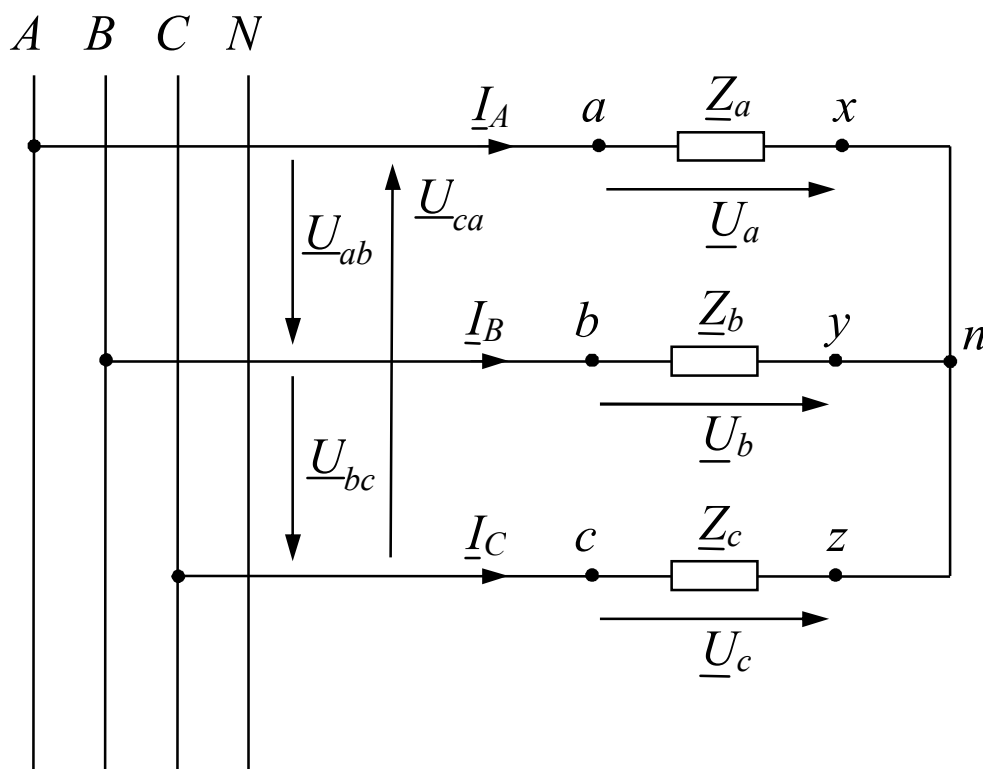


Рис 6.11

11. Дослідити трифазне коло, з'єднане зіркою без нейтрального проводу (див. рис.6.12).



Завдання по роботі.

1. Дослідити трипровідне трифазне електричне коло, з'єднане зіркою, й визначити співвідношення між лінійними й фазними струмами і напругами в симетричному та несиметричному режимах роботи.
2. Дослідити чотирипровідне трифазне електричне коло, з'єднане зіркою, й визначити співвідношення між лінійними й фазними струмами і напругами для симетричного та несиметричного режимів роботи.
3. Для кіл, що досліджувались, побудувати векторні діаграми струмів і напруг для всіх режимів навантаження.
4. Визначити графічно по векторних діаграмах у прийнятих масштабах:
5. струм у нейтральному проводі для режиму обриву одного лінійного проводу;
6. напругу зміщення нейтральної точки для кола без нейтрального проводу.
7. За даними табл.6.1 для одного з режимів навантаження написати комплекси фазних і лінійних напруг, струмів (табл.6.3).
8. Зробити короткі висновки по роботі.

Таблиця 6.3

U_{Φ}	U_L	I_{Φ}
В	В	А
$\dot{U}_a =$	$\dot{U}_{ab} =$	$\dot{I}_A =$
$\dot{U}_b =$	$\dot{U}_{bc} =$	$\dot{I}_B =$
$\dot{U}_c =$	$\dot{U}_{ca} =$	$\dot{I}_C =$

Контрольні питання та завдання.

1. Записати миттєве значення ЕРС симетричного трифазного джерела.
2. Які напруги називаються фазними й лінійними? Як вони вимірюються?
3. Яке призначення має нейтральний провід? Чому не ставлять запобіжник у нейтральному проводі?
4. Від чого залежить фазна напруга на затискачах приймача при відсутності нейтрального проводу?
5. Яке співвідношення між лінійними й фазними напругами для симетричного й несиметричного навантажень?
6. Як визначаються активна й реактивна потужності для симетричного й несиметричного навантажень за дослідними даними?
7. Написати комплекси фазних опорів і чисельно визначити силу струмів для випадку схеми з нейтральним проводом, $U_{\Phi} = 12$ 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.

8. Знайти графічно й аналітично в загальному вигляді силу струму в нейтральному проводі у випадку обриву одного лінійного проводу, врахувавши, що до обриву навантаження було симетричним.