

Лабораторна робота №32

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПРИ З'ЄДНАННІ ПРИЙМАЧА ТРИКУТНИКОМ.

Мета роботи

Ознайомлення з особливостями симетричного та несиметричного режимів трифазного електричного кола при з'єднанні споживачів трикутником.

Отримання навичок побудови суміщених векторних діаграм напруг та струмів для різних режимів роботи трифазного кола.

Підготовка до роботи

Вивчити рекомендовану літературу, ознайомитися з методичними вказівками до роботи, описом лабораторної установки, робочим завданням, підготувати протокол звіту і відповіді на наступні питання:

1. Що розуміють під трифазною симетричною системою ЕРС ?
2. Яке трифазне електричне коло називають симетричним ?
3. Що розуміють під фазою трифазного електричного кола ?
4. Як з'єднати трикутником: а) фази джерела; б) фази приймача ?
5. Які напруги називаються: а) фазними; б) лінійними (між фазними)? Як відраховуються їх додатні значення при з'єднанні трикутником?
6. Які співвідношення між фазними та лінійними струмами і напругами в симетричному трифазному колі при з'єднанні трикутником?
7. Як розрахувати струми в трифазному колі при з'єднанні приймача трикутником через відомі комплексні лінійні напруги \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} на вході лінії, та комплексні опори фаз $\underline{Z}_{A'B'}$, $\underline{Z}_{B'C'}$, $\underline{Z}_{C'A'}$. У двох випадках:
 - а) $Z_{lA} = Z_{lB} = Z_{lC} = 0$;
 - б) $Z_{lA} = Z_{lB} = Z_{lC} \neq 0$.
8. Як вимірюється активна потужність трифазного кола ?

9. Як визначити кут зсуву за фазою між напругою та струмом, користуючись показами амперметра, вольтметра і ватметра ?

Опис лабораторної установки

Трифазним джерелом енергії є блок трифазної напруги навчально-дослідного стенду (НДЛС), який складається з трьох незалежно регульованих від нуля до 39 В джерел синусоїдної напруги частотою 50 Гц. Кут зсуву за фазою між напругами дорівнює 120 електричних градусів. Максимальний струм кожного джерела 1А. Діючі значення напруг і струмів вимірюються універсальними електронними приладами. Активні потужності вимірюються ватметрами електродинамічної системи. Досліджуване електричне коло складається на наборному полі стенду.

Порядок виконання роботи

1. На наборному полі НДЛС скласти коло (рис.32.1), з однаковими опорами лінійних провідників $\underline{Z}_{лА} = \underline{Z}_{лВ} = \underline{Z}_{лС} = R_l$, та опорами навантаження $\underline{Z}_{A'B'} = \underline{Z}_{B'C'} = \underline{Z}_{C'A'} = R_\phi$.

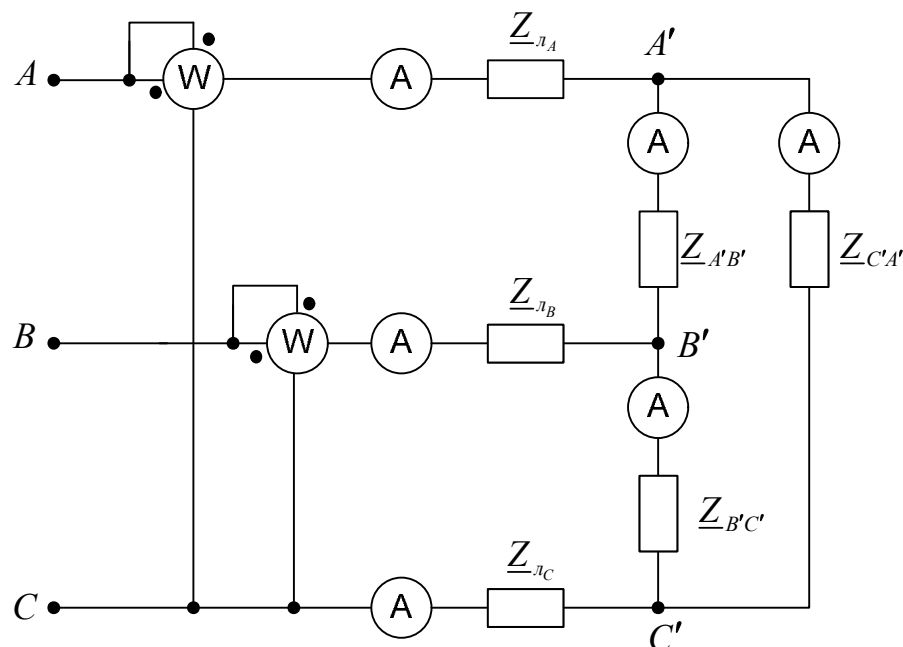


Рис. 32.1

Занести до таблиці 32.1 значення струмів, напруг та потужностей наступних режимів роботи резистивного кола:

1.а - при симетричному навантаженні усіх фаз;

1.б - при обриві одного з лінійних проводів однієї з фаз;

1.в - при відключенні одного з приймачів енергії.

2. Створити несиметричний режим роботи. Для цього замість активного опору R_{BC} відімкнути конденсатор C_2 , а замість активного опору R_{CA} підключити індуктивну котушку L_2 . Занести до табл. 32.1 значення струмів, напруг та покази ватметрів, для наступних режимів роботи:

2. а - при несиметричному навантаженні фаз;

2. б - при обриві одного з лінійних проводів;

2. в - при відключенні одного з приймачів енергії.

Обробка результатів експерименту

1. За даними табл. 32.1 для кожного з досліджених режимів побудувати у масштабі векторно-топографічні діаграми напруг та струмів.

2. Користуючись діаграмами для дослідів за пунктом 2 визначити кути зсуву фаз між напругою та струмом кожного приймача енергії. Результати розрахунків занести до табл. 32.2.

Таблиця 32.2

Номер досліду	Кути зсуву за фазою		
	$\varphi_{A'B'}$	$\varphi_{B'C'}$	$\varphi_{A'B'}$
2.а			
2.б			
2.в			

3. Користуючись результатами вимірів напруг, струмів та кутів зсуву за фазою, обчислити для всіх досліджених режимів активну потужність трифазного кола. Зіставити її з сумою показів ватметрів.

4. Зробити висновки по роботі

а) про вплив несиметрії навантаження на режим роботи трифазного електричного кола;

б) про особливості режиму роботи фаз, що залишились в роботі при аварійних ситуаціях в трифазному колі.

Методичні вказівки

Загальна характеристика трифазного електричного кола та основні положення щодо нього наведені у методичних вказівках до лабораторної роботи №31. Розглянемо особливості роботи та розрахунку трифазного кола при з'єднанні споживачів трикутником.

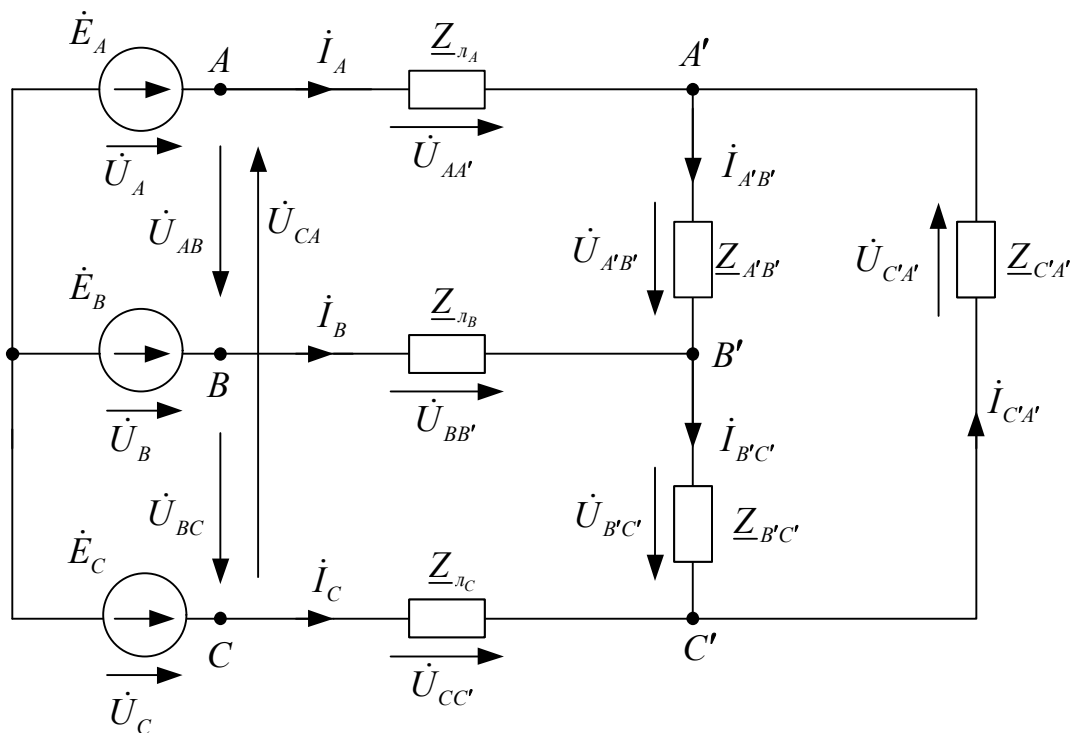


Рис. 32.2

Початки обмоток трифазного джерела позначають літерами A , B , C , а їх кінці, відповідно, літерами x , y , z . При з'єднанні обмоток джерела трикутником, об'єднуються кінець першої обмотки x з початком другої B , кінець другої y з початком третьої C , а кінець третьої z з початком першої A , як це показано на рис. 32.2. Вузли трикутника навантаження позначають літерами A' , B' , C' . Вони з'єднуються з затискачами A , B , C джерела

лінійними проводами $A-A'$, $B-B'$, $C-C'$. Струми, що проходять у лінійних проводах, називаються лінійними і позначаються \dot{I}_A , \dot{I}_C , \dot{I}_B .

Кожна обмотка джерела називається фазою джерела. Кожний опір навантаження $\underline{Z}_{A'B'}$, $\underline{Z}_{B'C'}$, $\underline{Z}_{C'A'}$ називається фазою навантаження. Фази джерела та навантаження характеризуються фазними напругами та фазними струмами. Фазні напруги джерела позначають: \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} . Відповідно фазні напруги споживача - $U_{A'B'}$, $U_{B'C'}$, $U_{C'A'}$. За другим законом Кірхгофа: $\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$. У потужного трифазного генератора опорамі фазних обмоток можна знехтувати і вважати, що в кожній фазі напруга дорівнює ЕРС (рис. 32.2):

$$U_{AB} = E_{AB}; U_{BC} = E_{BC}; U_{CA} = E_{CA}.$$

Лінійні напруги на початку трифазної лінії електропередачі дорівнюють відповідним фазним напругам трифазного джерела. Лінійні напруги в кінці трифазної лінії електропередачі дорівнюють відповідним фазним напругам трифазного споживача. Напруга на проводах лінії, відрахована у напрямку лінійного струму, називається спадом напруги на лінії і позначається: $\dot{U}_{AA'}$, $\dot{U}_{BB'}$, $\dot{U}_{CC'}$. Напрямки позитивного відліку струмів, напруг та ЕРС при з'єднанні трикутником обмоток джерела і опорів навантаження показані на рис. 32.2.

Трифазне джерело є симетричним, якщо створює сукупність ЕРС, однакових за величиною і частотою, які зсунені між собою на третину періоду:

$$\dot{E}_A = U_\ell e^{j0}; \dot{E}_B = U_\ell e^{-j120^\circ}; \dot{E}_C = U_\ell e^{j120^\circ}.$$

Симетрична трифазна лінія електропередачі має однакові опори лінійних проводів: $\underline{Z}_{\ell A} = \underline{Z}_{\ell B} = \underline{Z}_{\ell C}$. Трифазне навантаження буде симетричним, якщо комплексні опори всіх його фаз однакові: $\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_{BC} = \underline{Z}_{CA}$. Симетричне трифазне електричне коло складається з

симетричного джерела, з'єднаного з симетричним навантаженням симетричною лінією електропередачі.

У симетричному трифазному колі:

1) лінійні струми $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ утворюють симетричну систему:

$$\dot{I}_B = a^2 \dot{I}_A; \quad \dot{I}_C = a \dot{I}_A, \quad \text{де } a = e^{j120^\circ}.$$

2) фазні струми також утворюють симетричну систему:

$$\dot{I}_{B'C'} = a^2 \dot{I}_{A'B'}; \quad \dot{I}_{C'A'} = a \dot{I}_{A'B'}$$

3) діюче значення лінійного струму в $\sqrt{3}$ більше за фазне:

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi$$

4) взаємне розміщення векторів фазних та лінійних струмів при прямому чергуванні фаз зображене на рис. 32.3.

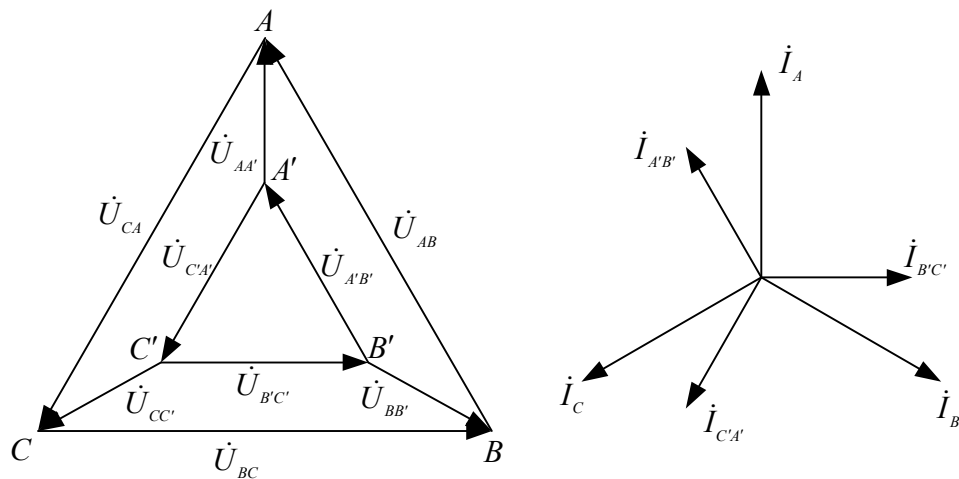


Рис. 32.3

У трифазному колі рис.32.2 лінійні струми зв'язані рівнянням за першим законом Кірхгофа: $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$. Лінійні струми зв'язані з фазними також першим законом Кірхгофа :

$$\text{для вузла } A' \quad \dot{I}_A = \dot{I}_{A'B'} - \dot{I}_{C'A'};$$

$$\text{для вузла } B' \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{B'C'} - \dot{I}_{A'B'}; \quad (32.1)$$

$$\text{для вузла } C' \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{C'A'} - \dot{I}_{B'C'}.$$

Напруги, обумовлені цими струмами в опорах лінії та споживача, зв'язані з напругою джерела рівняннями за другим законом Кірхгофа:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AA'} + \dot{U}_{A'B'} - \dot{U}_{BB'};$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BB'} + \dot{U}_{B'C'} - \dot{U}_{CC'};$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CC'} + \dot{U}_{C'A'} - \dot{U}_{AA'};$$

$$\dot{U}_{A'B'} + \dot{U}_{B'C'} + \dot{U}_{C'A'} = 0.$$

Напруга та струм у кожному з опорів зв'язані між собою через закон Ома:

$$\dot{U}_{AA'} = \dot{I}_A \underline{Z}_{лА}; \quad \dot{U}_{BB'} = \dot{I}_B \underline{Z}_{лВ}; \quad \dot{U}_{CC'} = \dot{I}_C \underline{Z}_{лС};$$

$$\dot{U}_{A'B'} = \dot{I}_{A'B'} \underline{Z}_{A'B'}; \quad \dot{U}_{B'C'} = \dot{I}_{B'C'} \underline{Z}_{B'C'}; \quad \dot{U}_{C'A'} = \dot{I}_{C'A'} \underline{Z}_{C'A'}.$$

Розрахунок фазних струмів у трифазному колі, при з'єднанні приймачів трикутником та відомих лінійних напругах, виконується за формулами:

$$\dot{I}_{A'B'} = \frac{\dot{U}_{A'B'}}{\underline{Z}_{A'B'}}; \quad \dot{I}_{B'C'} = \frac{\dot{U}_{B'C'}}{\underline{Z}_{B'C'}}; \quad \dot{I}_{C'A'} = \frac{\dot{U}_{C'A'}}{\underline{Z}_{C'A'}}.$$

Лінійні струми розраховують за рівняннями (32.1).

Якщо лінійні проводи мають опори, якими знехтувати не можна, розрахунок слід виконувати у такій послідовності:

- 1) перетворити трикутник опорів навантаження на еквівалентну зірку;
- 2) розрахувати лінійні струми за методикою розрахунку «зірки» без нульового проводу, наведеною у лабораторній роботі №31;
- 3) за другим законом Кірхгофа через відомі лінійні струми розрахувати напруги на лінійних проводах та фазах споживача;
- 4) за законом Ома обчислити струми в фазах споживача, з'єданого трикутником.

Результати розрахунків або вимірювань струмів та напруг доцільно ілюструвати побудовою векторної діаграми кола. Приклад такої діаграми для електричного кола, зображеного на рис. 32.1 з активними опорами лінійних проводів та фаз навантаження наведений на рис. 32.4.

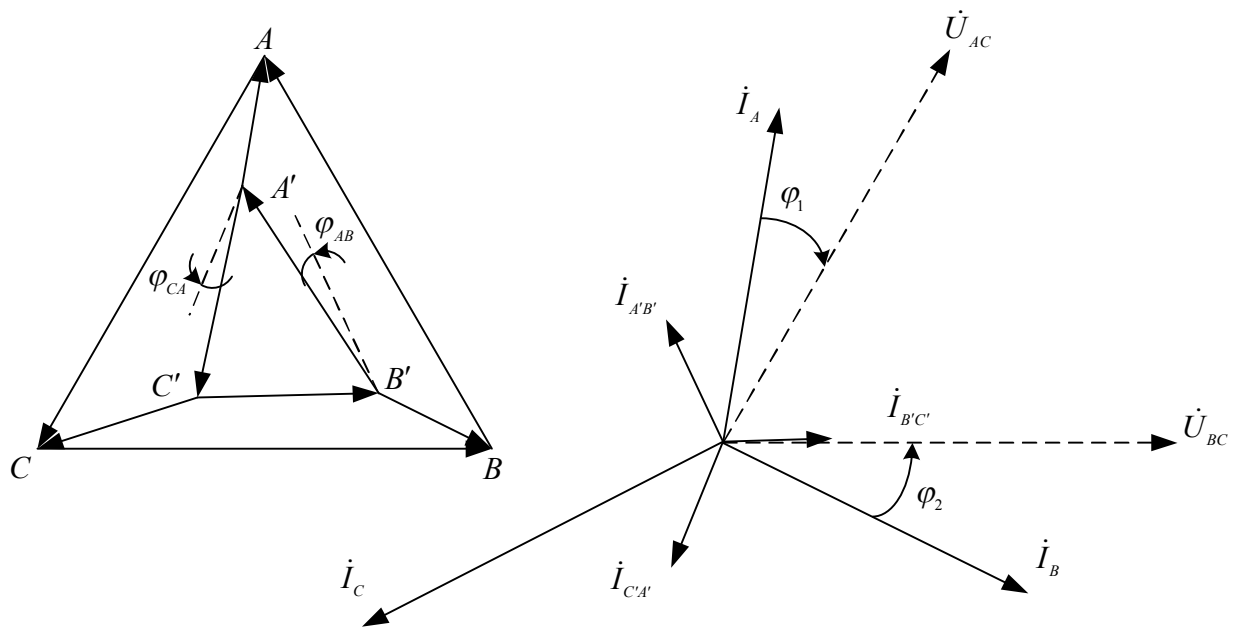


Рис. 32.4

Користуючись вимірами активних потужностей P_1 та P_2 , діючих значень всіх струмів та напруг цього електричного кола, подібну діаграму будують у такій послідовності:

1) У масштабі напруг M_U будують трикутник векторів лінійних напруг джерела, при цьому спочатку горизонтально відкладають вектор U_{BC} потім знаходять положення точки A , роблячи засічки з кінців вектора U_{BC} (з точки B - радіусом який дорівнює U_{AB} , а з точки C - радіусом, що дорівнює у масштабі напрузі U_{CA}).

2) Обчислюють за показом першого ватметра $\cos \varphi_1 = P_1 / U_{AB} I_A$ і сам кут φ_1 . У масштабі M_I з довільної точки малюнку відкладають вектор I_A під кутом φ_1 до напруги U_{AC} . Подібним чином обчислюють $\cos \varphi_2 = P_2 / U_{BC} I_B$, та кут φ_2 . Вектор струму I_B відкладають під кутом φ_2 до напруги U_{BC} . Проміжна перевірка виконується за першим законом Кірхгофа побудовою вектора струму I_C :

$$I_C = -I_A - I_B. \quad (32.2)$$

Для перевірки порівняємо величину I_C із значенням, виміряним під час досліду. Якщо перевірка не виконується, необхідно послідовно змінювати знаки кутів φ_1 та φ_2 до виконання рівняння (32.2).

3) Із точок A, B, C відкладають вектори спадів напруг на проводах лінійних проводів. З'єднуючи точки A', B', C' , одержують вектори напруг навантаження. Таким чином знаходимо напруги $\dot{U}_{A'B'}$, $\dot{U}_{B'C'}$, $\dot{U}_{C'A'}$ на затискачах споживача. Для перевірки правильності побудови діаграми порівнюємо ці напруги з виміряними під час досліду.

4) За першим законом Кірхгофа лінійні та фазні струми зв'язані між собою залежностями:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AC}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}. \quad (32.3)$$

Отже, з кінців відповідного вектора лінійного струму радіусами, які дорівнюють значенням фазних струмів приймача $I_{A'B'}$, $I_{B'C'}$, $I_{C'A'}$ робимо засічки, які дають можливість визначити вектори $\dot{I}_{A'B'}$, $\dot{I}_{B'C'}$, $\dot{I}_{C'A'}$. Визначаємо кути зсуву фаз $\varphi_{A'B'}$, $\varphi_{B'C'}$, $\varphi_{C'A'}$ між напругою та струмом на кожному з опорів трикутника навантаження. Ці кути не повинні перевищувати 90 градусів і відповідати характеру підключеного до електричного кола споживача.

Остаточна перевірка розрахунків електричного кола виконується за рівнянням енергетичного балансу.

Питання для самостійної роботи

1. Пояснити, як подати несиметричну систему напруг трьома симетричними складовими.

2. Активну потужність трипровідного трифазного електричного кола звичайно вимірюють двома ватметрами. Визначити, при яких кутах зсуву за фазою симетричного кола:

а) покази ватметрів однакові ($P_1 = P_2$); б) показ $P_1 = 0$;

в) показ $P_2 = 0$; г) $P_1 \leq 0$; д) $P_2 \leq 0$; е) $P_1 = -P_2$.

Література:

1. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб та ін.; За заг.ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2004. – Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – С. 191-217.

2. Лінійні електричні кола синусоїдального та періодичного несинусоїдного струму: Навч. посіб./ Щерба А.А., Курило І.А., Кудря Є.А, Намацалюк І.Н., Чибеліс В.І., Перетятко Ю.В. – К.: Лазурит-Поліграф, 2012. – С.113-185

