

Лабораторна робота №31

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПРИ З'ЄДНАННІ ДЖЕРЕЛА І ПРИЙМАЧА ЗІРКОЮ

Мета роботи:

Ознайомлення з особливостями симетричних та несиметричних режимів роботи трифазного електричного кола при з'єднанні фаз джерела і приймача зіркою.

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. Яка трифазна система ЕРС, напруг і струмів вважається симетричною?
2. Що розуміють під фазою трифазного кола ?
3. Які переваги трифазних систем порівняно з однофазними?
4. Дати визначення поняттям : "симетричний приймач", "симетричне трифазне коло", "симетричний режим роботи трифазного кола".
5. Які співвідношення між фазними та лінійними напругами і струмами при симетричному режимі трифазного кола?
6. Яке призначення нульового проводу в трифазному електричному колі?
7. Як будується суміщена векторна діаграма струмів і напруг трифазного кола ?
8. Як виміряти активну потужність трифазного споживача ?
9. Як визначити кут зсуву за фазою між напругою і струмом, користуючись амперметром, вольтметром та ватметром ?

Опис лабораторної установки

Трифазним джерелом енергії є блок трифазної напруги навчально-дослідного стенду (НДЛС), який складається з трьох незалежно регульованих від 0 до 39 В джерел синусоїдної напруги частотою 50 Гц. Зсув за фазою між напругами дорівнює 120 електричних градусів. Максимальний струм кожного джерела 1 А. 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. З'єднати зіркою окремі фази трифазного джерела (рис.31.1).

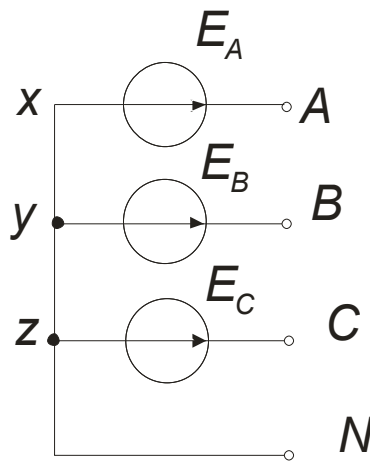


Рис.31.1

2. Відповідно до номеру бригади встановити напруги кожної з фаз джерела однаковими у межах, зазначених у табл. 31.1.

Таблиця 31.1

Номер	1	2	3	4	5	6	7	8
U_{ϕ}, B	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Виміряти фазні та лінійні напруги симетричного трифазного джерела. Результати вимірювань занести до табл.31.2 (режим 1).

4. Поміняти місцями полюси джерела фази A. Знову виміряти фазні та лінійні напруги трифазного джерела. Результати вимірювань занести до табл.31.2 (режим 2).

Обробка результатів експерименту

Усі розрахунки проводяться в системі СІ . Записи експериментальних даних – в кратних одиницях (міліамперах, міліватах тощо).

1. Для режиму **1** (табл. 31.2) впевнитися, що виконується співвідношення $U_L = \sqrt{3}U_\phi$.

2. Для режиму **2** (табл.31.2) за допомогою векторної діаграми визначити величину лінійних напруг U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} через відомі фазні напруги та порівняти їх з вимірами цих напруг.

3. За даними експериментів, наведеними у табл. 31.3 та 31.4, побудувати суміщені векторні діаграми напруг і струмів для кожного з досліджених режимів.

4. Для досліджених режимів обчислити комплексні значення опорів фаз навантаження \underline{Z}_A , \underline{Z}_B , \underline{Z}_C , використовуючи значення величин, наведених у табл. 31.3. Результати обчислень занести до табл. 31.5.

5. Вважаючи відомими лінійні напруги та комплексні опори фаз навантаження трифазного кола, схема якого зображена на рис. 31.2, розрахувати та занести до табл. 31.5 значення напруг, струмів та потужностей для зазначених викладачем режимів

Таблиця 31.5

Режим	Задані величини						Обчислені значення							
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	\underline{Z}_A	\underline{Z}_B	\underline{Z}_C	U_{AN}	U_{BN}	U_{CN}	I_A	I_B	I_C	P_1	P_2
а														
б														
в														
г														
д														

6. Порівняти результати розрахунків з експериментальними даними.

7. Зробити висновки по роботі:

а) про вплив нейтрального проводу на режим роботи трифазного електричного кола;

б) про вплив зміни характеру та величини опорів навантаження на напруги окремих фаз за наявності нейтрального проводу та при його відсутності.

Методичні вказівки

Генерування, розподіл та споживання електричної енергії на промисловій частоті зазвичай реалізується за допомогою трифазних систем, які складаються з трифазних джерел, споживачів та ліній електропередачі. Трифазне джерело генерує, як правило, симетричну систему електрорушійних сил (ЕРС), що є сукупністю трьох синусоїдних ЕРС однакової частоти та амплітуди, зсунутих за фазою на кут $\alpha = k \frac{2\pi}{3}$, де $k=1,2,3$.

Фази позначаються початковими літерами латинського алфавіту A, B, C . Миттєві значення ЕРС окремих фаз джерела позначають e_A, e_B, e_C . А їх діючі значення E_A, E_B, E_C

Електричне коло, в якому діє трифазне джерело, називається трифазним. Ділянка трифазного кола, через яку проходить один і той же струм, називається фазою цього кола. Вирізняють фази джерела, приймача та лінії електропередачі.

На практиці застосовуються зв'язані трифазні системи, в яких ЕРС окремих фаз джерела з'єднані зіркою (рис.31.1), або трикутником.

Спільний вузол фазних ЕРС з'єднаних зіркою, називається нульовим, чи нейтральним вузлом генератора і позначається літерою N .

Напруги між затискачами A, B, C та нульовою точкою N трифазного джерела

$$\dot{U}_{AN} = \dot{E}_A; \quad \dot{U}_{BN} = \dot{E}_B; \quad \dot{U}_{CN} = \dot{E}_C$$

називаються фазними напругами джерела. Напруги між затискачами A, B, C трифазного джерела

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN}; \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN}; \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN}$$

називаються лінійними напругами джерела.

На рис. 31.4 наведена векторна діаграма напруг трифазного симетричного генератора з прямим чергуванням фаз.

Враховуючи, що діючі значення усіх фазних напруг однакові ($U_{AN} = U_{BN} = U_{CN} = U_{\phi}$), з векторної діаграми одержимо:

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3}U_{\phi} e^{+j\pi/6} = U_{\ell} e^{j\pi/6}; \quad \dot{U}_{BC} = U_{\ell} e^{-j\pi/2}; \quad \dot{U}_{CA} = U_{\ell} e^{+j5\pi/6}$$

Отже, діючі значення лінійної та фазної напруг у симетричному трифазному джерелі зв'язані між собою співвідношенням $U_{\ell} = \sqrt{3}U_{\phi}$. Трифазний приймач називається симетричним, якщо комплексні опори усіх його фаз однакові. Трифазне коло називається симетричним, якщо воно складається з симетричного генератора, симетричного приймача та симетричної трифазної лінії. У симетричному трифазному колі трифазні системи струмів і напруг також будуть симетричними. Режим трифазного кола, в якому трифазні системи напруг і струмів симетричні, називається симетричним.

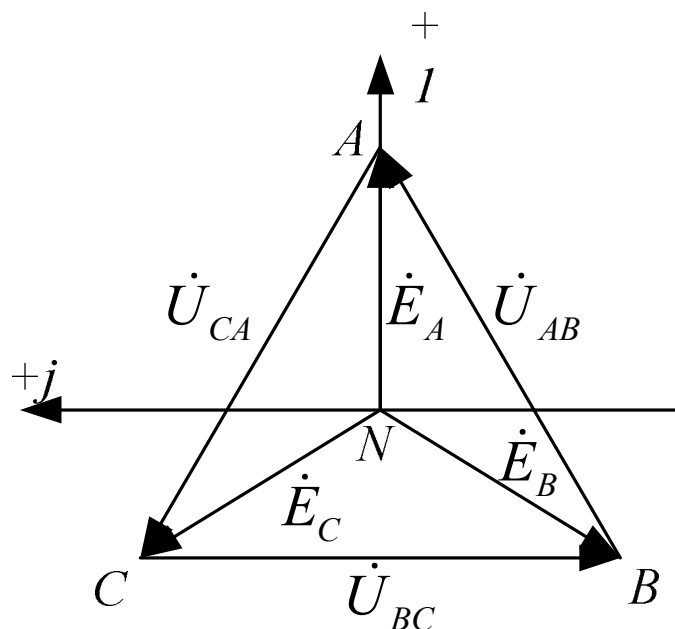


Рис. 31.4

Якщо опори фаз джерела та приймача з'єднані зіркою, отримаємо чотирипровідне трифазне коло, в якому нульові точки генератора N та

споживача N' з'єднані нульовим (нейтральним) проводом (рис. 31.2). Нульовий провід використовується для забезпечення незалежності режиму кожної з фаз від зміни навантаження інших фаз.

Режим трифазного кола при з'єднанні фаз генератора та приймача зіркою розраховують, зазвичай, методом двох вузлів. Спочатку визначають напругу між нульовими точками (зсув нейтралі):

$$\dot{U}_{N'N} = \frac{\dot{U}_{AN} \underline{Y}_A + \dot{U}_{BN} \underline{Y}_B + \dot{U}_{CN} \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N} \quad (31.1)$$

де \underline{Y}_A , \underline{Y}_B , \underline{Y}_C , \underline{Y}_N - комплексні провідності фаз споживача та нейтрального проводу:

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A}; \quad \underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B}; \quad \underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C}; \quad \underline{Y}_N = \frac{1}{\underline{Z}_N}. \quad (31.2)$$

Далі обчислюють напруги на фазах приймача:

$$\dot{U}_{AN'} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{N'N}; \quad \dot{U}_{BN'} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{N'N}; \quad \dot{U}_{CN'} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{N'N}. \quad (31.3)$$

Напрямок струмів у фазах та в нульовому проводі рекомендується обирати такими, як на рис. 31.2.

Тоді лінійні (вони ж і фазні) струми розраховуються за законом Ома:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN'}}{\underline{Z}_A} = \dot{U}_{AN'} \underline{Y}_A;$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_{BN'}}{\underline{Z}_B} = \dot{U}_{BN'} \underline{Y}_B;$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{CN'}}{\underline{Z}_C} = \dot{U}_{CN'} \underline{Y}_C;$$

$$\dot{I}_N = \frac{\dot{U}_{N'N}}{\underline{Z}_N} = \dot{U}_{N'N} \underline{Y}_N \quad \text{чи} \quad \dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

Чим меншим буде опір \underline{Z}_N , тим меншою буде напруга зсуву нейтралі $\dot{U}_{N'N}$, і тим менше відрізняться напруги споживача від однойменних

фазних напруг трифазного джерела. Якщо нульовий провід відсутній ($Y_N = 0$), розрахунок проводиться у тій же послідовності, але при цьому $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$.

За відсутності нульового проводу при розрахунку раціонально використовувати не фазні, а лінійні напруги джерела. У цьому випадку фазні напруги споживача визначають за формулами:

$$\dot{U}_{AN'} = \frac{\dot{U}_{AB} \underline{Y}_B - \dot{U}_{CA} \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}; \quad \dot{U}_{BN'} = \frac{\dot{U}_{BC} \underline{Y}_C - \dot{U}_{AB} \underline{Y}_A}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C};$$

$$\dot{U}_{CN'} = \frac{\dot{U}_{CA} \underline{Y}_C - \dot{U}_{BC} \underline{Y}_B}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}.$$

Струм та напругу симетричного трифазного кола можна розраховувати лише для однієї фази, наприклад, для фази A . Дійсно, як випливає з (31.1), при $\underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C = \underline{Y}$, зсув нейтралі дорівнює нулю, незалежно від величини опору \underline{Z}_N . При цьому $\dot{U}_{AN'} = \dot{U}_{AN}$ та $\dot{I}_A = \dot{U}_{AN} \underline{Y}_A$, а струми інших фаз будуть дорівнювати: $\dot{I}_B = \dot{I}_A e^{-\frac{j2\pi}{3}}$; $\dot{I}_C = \dot{I}_A e^{\frac{j2\pi}{3}}$.

У трифазному електричному колі виконується баланс потужностей, зокрема, сумарна активна потужність усіх фаз генератора дорівнює сумарній активній потужності трифазного споживача.

У чотирипровідному трифазному електричному колі сумарну активну потужність вимірюють за допомогою трьох ватметрів (рис.31.2). Кожен з них вимірює активну потужність, яка генерується однією з фаз джерела:

$$P_A = U_{AN} I_A \cos \varphi_A; \quad P_B = U_{BN} I_B \cos \varphi_B; \quad P_C = U_{CN} I_C \cos \varphi_C,$$

де $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ - кути зсуву фаз, відповідно, між векторами фазних напруг генератора $\dot{U}_{AN}, \dot{U}_{BN}, \dot{U}_{CN}$ та струмів $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$.

У трипровідному трифазному електричному колі активну потужність, що споживається трифазним приймачем, визначають як суму показів двох ватметрів, підключених за схемою рис. 31.3:

$$P_1 = U_{AC} I_A \cos \varphi_1, P_2 = U_{BC} I_B \cos \varphi_2, P = P_1 + P_2$$

де φ_1 - кут зсуву фаз між лінійною напругою \dot{U}_{AC} та струмом \dot{I}_A ; φ_2 - кут зсуву фаз між лінійною напругою \dot{U}_{BC} та струмом \dot{I}_B . Слід враховувати, що один з кутів (φ_1 або φ_2) за модулем може перевищувати 90 градусів. У цьому випадку стрілка електродинамічного ватметра відхилиться вліво від нулевої відмітки шкали. У цьому випадку перемикач полярності ватметра з положення "+" переводять в положення "-" і показ ватметра записують від'ємним.

Результати вимірювань, чи розрахунків струмів та напруг трифазного кола, супроводжують побудовою суміщеної векторної діаграми. На рис. 31.5, як приклад, наведена суміщена векторна діаграма трифазного кола, зображеного на рис.31.2 при несиметричному навантаженні фаз, коли комплексні опори \underline{Z}_A та \underline{Z}_B - мають активно-індуктивний, а \underline{Z}_C - активно-емнісний характер. Опір \underline{Z}_N - суто активний.

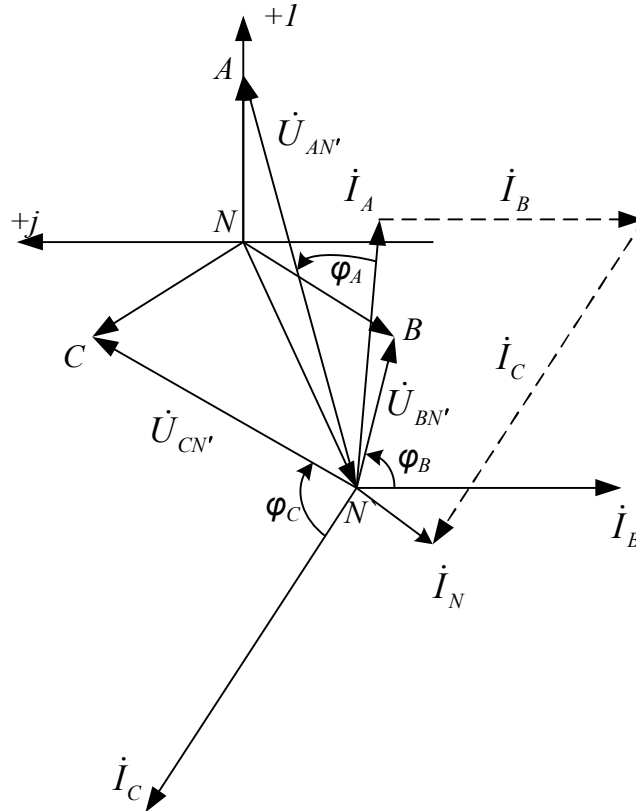


Рис. 31.5

При побудові діаграми комплексний потенціал нульової точки генератора рекомендується вважати нульовим. На діаграмі позначаються комплексні напруги фаз генератора.

За результатами вимірювань діаграма будується у такій послідовності:

1) З точок A, B, C роблять засічки радіусами, які у масштабі дорівнюють, відповідно, напругам $U_{AN'}$, $U_{BN'}$, $U_{CN'}$. Місце перетину цих засічок відповідає точці N' ; будуються вектори $\dot{U}_{AN'}$, $\dot{U}_{BN'}$, $\dot{U}_{CN'}$ та $\dot{U}_{N'N}$.

2) З точки N' згідно з масштабом струмів, відкладають вектори струмів $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$. Геометрична сума векторів $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ дорівнює вектору струму \dot{I}_N в нульовому проводі.

Під час експерименту кути зсуву фаз визначають за допомогою фазометра, чи обчислюють через покази ватметра, вольтметра та амперметра. При цьому слід чітко уявляти, відносно якої напруги визначається кут (фазної або лінійної, генератора або споживача), залежно від того, куди підімкнена обмотка напруги вимірювального приладу.

Питання для самостійної роботи

1. Проаналізувати, за яких умов послідовність чергування фаз напруг приймача стане зворотною порівняно з послідовністю чергування фаз генератора в схемі, що зображена на рис. 31.3.

2. Визначити, за яких умов один з ватметрів схеми рис. 31.3, при симетричному навантаженні:

- а) показує нуль;
- б) дає від'ємний показ.

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

3. Перхач В.С. Теоретична електротехніка: Лінійні кола: Підручник. К: Вища школа., 1992. - 439 с.

4. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники, Т1. Учебник. - Л.: Энергоиздат, 1981. - 536 с.

5. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей: Учебник. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.