

Міністерство освіти та науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-  
інтегрованих технологій

**04-03-407М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи №9 з навчальної дисципліни  
**«Електротехніка»**  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за  
освітньо-професійною програмою «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані  
технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково –методичною  
радою з якості ННІ ЕАВГ  
Протокол № 3 від 26.11.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 9 з навчальної дисципліни «Електротехніка» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання . [Електронне видання] / Маланчук Є. З., Христюк А. О. – Рівне : НУВГП, 2024. – 18 с.

Укладачі: Маланчук Є. З., д.т.н., професор кафедри АЕКІТ;  
Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри АЕКІТ.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор,  
завідувач кафедри АЕКІТ.

Керівник освітньої програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»: Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

© Є. З. Маланчук,  
А. О. Христюк, 2024  
© НУВГП, 2024

## **Робота 9. Дослідження трифазної системи при з'єднанні споживачів трикутником**

### **9.1. Мета роботи**

Вивчити основні властивості і застосування трифазних кіл при з'єднанні джерела і споживачів трикутником. Дослідити режими роботи трифазних кіл при рівномірному і нерівномірному навантаженні фаз, а також при обриві фази або одного із лінійних проводів. Навчитися розраховувати трифазні кола при навантаженні фаз активними опорами.

#### ***The purpose of the work***

To study the main properties and application of three-phase circuits when connecting the source and consumers by a triangle. Explore the modes of operation of three-phase circuits with uniform and uneven loading of the phases, as well as when a phase or one of the linear wires is broken. Learn how to calculate three-phase circuits when the phases are loaded with active resistances.

### **9.2. Короткі теоретичні відомості**

Якщо обмотки трифазного генератора (трансформатора) з'єднати між собою так, щоб кінець першої був з'єднаний з початком другої, кінець другої з початком третьої, а кінець третьої з початком першої і до точок з'єднань підключити лінійні провoda, то одержимо з'єднання трикутником (рис. 9.1). Трикутником з'єднуються і споживачі. В замкнутому контурі обмоток генератора при відсутності навантаження (режим холостого ходу) струм протікати не буде, бо сума миттєвих значень е.р.с. буде дорівнювати нулю, оскільки вони будуть рівні за амплітудою, але зміщені за фазою на кут  $2\pi/3$ .

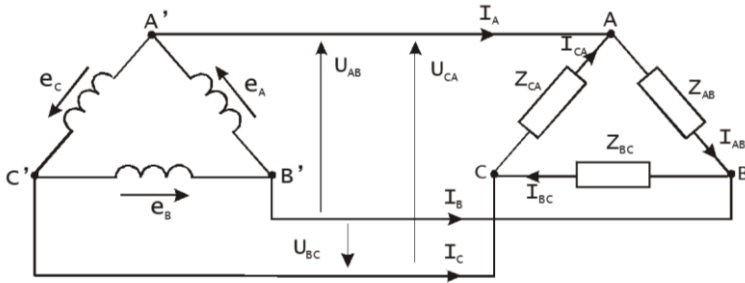


Рис.9.1

В схемі, наведеній на рис.9.1, трикутник повних опорів ( $Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA}$ ) з'єднаний з трикутником фазних обмоток генератора (трансформатора) лінійними проводами.

Напруги між лінійними проводами дорівнюють напругам між початком і кінцем кожної фази, тобто

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_{\phi}. \quad /9.1/$$

Лінійні струми  $I_A, I_B, I_C$  не дорівнюють фазним струмам. Співвідношення між ними можна знайти на підставі першого закону Кірхгофа, згідно з яким сума миттєвих значень струмів в будь-якому вузлі (розгалуженні) електричного кола дорівнює нулю. Згідно з цим законом запишемо, що

$$\begin{aligned} i_A + i_{CA} - i_{AB} &= 0; \\ i_B + i_{AB} - i_{BC} &= 0; \\ i_C + i_{BC} - i_{CA} &= 0. \end{aligned} \quad /9.2/$$

Із рівнянь /9.2/ видно, що лінійні струми дорівнюють різниці суміжних фазних струмів:

$$\begin{aligned} i_A &= i_{AB} - i_{CA}; \\ i_B &= i_{BC} - i_{AB}; \\ i_C &= i_{CA} - i_{BC}. \end{aligned} \quad /9.3/$$

Замінивши в рівняннях /9.3/ миттєві значення струмів векторами, одержимо:

$$\begin{aligned}\bar{I}_A &= \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}; \\ \bar{I}_B &= \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB}; \\ \bar{I}_C &= \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}.\end{aligned}\tag{9.4}$$

На підставі рівнянь /9.4/ можна побудувати векторну діаграму струмів і знайти співвідношення між лінійними і фазними струмами. На рис.9.2 побудована векторна діаграма для випадку

$$Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z \text{ і } \cos \varphi = \frac{r_{AB}}{Z} = \frac{r_{BC}}{Z} = \frac{r_{CA}}{Z}.$$

Фазні струми визначали за законом Ома:  $I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}}$ ;  $I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}}$  і

$$I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}}.$$

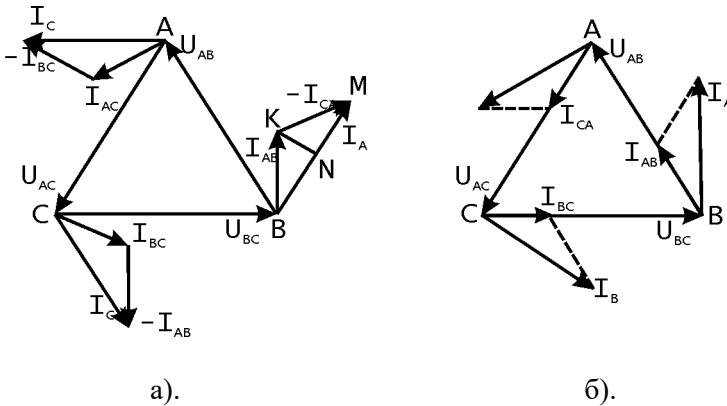


Рис.9.2

Із трикутника струмів ВКМ знаходимо

$$I_A = BM = 2BN = 2I_{AB} \cos 30^\circ = 2I_{AB} \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}I_{AB}.$$

Отже, при з'єднанні симетричного споживача трикутником лінійні струми більші за фазні у  $\sqrt{3}$  разів. Якщо система несиметрична, то фазні струми будуть різними, різними будуть і кути зсуву фаз, але

методика побудови векторної діаграми і визначення лінійних струмів залишається такою ж самою.

На рис.9.2, б побудована векторна діаграма при нерівномірному навантаженні фаз активними опорами, що характерне при живленні освітлення лампами розжарювання житлових будинків.

Граничним випадком нерівномірного навантаження фаз є збільшення опору фази до безмежності ( $Z_{\phi} = \infty$ ), що відповідає режиму обриву фази у місці з'єднання з лінійним проводом. У цьому випадку струму в обірваній фазі, наприклад, у фазі  $AB$ , не буде ( $I_{AB}=0$ ). Струми в інших фазах не зміняться, бо не змінились фазні напруги. Проте лінійні струми  $I_A$  і  $I_B$  згідно з рівнянням /9.4/ зменшаться і стануть рівними відповідним фазним:  $I_A=I_{CA}$  і  $I_B=I_{BC}$ . Лінійний струм  $I_C=I_{CA} - I_{BC}$  не зміниться.

На рис. 9.3, а побудована векторна діаграма напруг і струмів при активному навантаженні і обриві фази  $AB$ , яка відповідає рівнянням /8.4/ за умови  $I_{AB}=0$ .

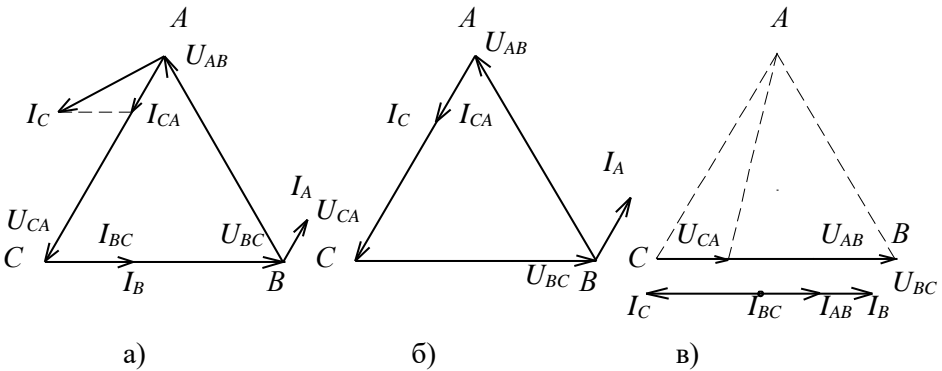


Рис. 9.3.

Якщо до обриву фази  $AB$  додати ще обрив фази  $BC$ , то трифазна система перетвориться в однофазну і струм буде протікати тільки в фазі  $CA$ . Лінійні струми  $I_A$  і  $I_C$  будуть рівні за величиною і протилежні за напрямком, як витікає з рівнянь /9.4/ при підстановці  $I_{AB}=I_{BC}=0$ . Векторна діаграма для цього випадку побудована на рис. 9.3, в.

Окрім обриву фаз, може виникнути і обрив лінійного проводу. У цьому випадку нормальний режим збережеться у фазі  $BC$ , якщо

обривано лінійний провід  $A$ . Дві інші фази будуть з'єднані послідовно і до них буде прикладена повна лінійна напруга. Тому падіння напруг в них розподілиться пропорційно опорам фаз.

На рис.9.3,в наведені діаграми напруг і струмів при різних активних опорах фаз і обриві лінійного провода  $A$ . Як слідує із рис. 9.3,в у цьому випадку

$$\begin{aligned} U_{BC} &= U_{CA} + U_{AB}; \\ I_B &= I_{BC} + I_{AB}; \\ I_C &= I_{CA} + I_{BC}. \end{aligned} \quad /9.5/$$

Як і при з'єднанні зіркою активна і реактивна потужності при з'єднанні трикутником дорівнюють відповідно сумі активних і реактивних потужностей фаз:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = U_{AB}I_{AB} \cos\varphi_{AB} + U_{BC}I_{BC} \cos\varphi_{BC} + U_{CA}I_{CA} \cos\varphi_{CA}, \quad /9.6/$$

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = U_{AB}I_{AB} \sin\varphi_{AB} + U_{BC}I_{BC} \sin\varphi_{BC} + U_{CA}I_{CA} \sin\varphi_{CA}, \quad /9.7/$$

При симетричному навантаженні зсуви фазних струмів відносно фазних напруг однакові ( $\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi$ ) і тому

$$\begin{aligned} P &= U_{\phi} \cos\varphi (I_{AB} + I_{BC} + I_{CA}) = 3U_{\phi}I_{\phi} \cos\varphi; \\ Q &= 3U_{\phi}I_{\phi} \sin\varphi. \end{aligned} \quad /9.8/$$

Повна потужність кола

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad /9.9/$$

Із порівняння співвідношень між лінійними та фазними напругами при з'єднанні трифазних кіл зіркою та трикутником виходить, що при однакових фазних напругах на споживачах лінійний струм при з'єднанні трикутником в  $\sqrt{3}$  раз більше, ніж при з'єднанні зіркою, а лінійні напруги мають співвідношення зворотне – в  $\sqrt{3}$  разів менше. Потужність кола не змінюється.

У зв'язку з більшим значенням струму в лінії для живлення споживачів, з'єднаних трикутником, необхідно використовувати

провідники з більшим поперечним перерізом /а значить дорожчі/, ніж при живленні споживачів, з'єднаних зіркою. Тому трифазні кола, з'єднані трикутником, в низьковольтних мережах використовують лише тоді, коли за умов електробезпеки необхідна нижча (у  $\sqrt{3}$  разів) напруга живлення споживачів.

### ***Brief theoretical information***

If the windings of a three-phase generator (transformer) are connected to each other in such a way that the end of the first is connected to the beginning of the second, the end of the second to the beginning of the third, and the end of the third to the beginning of the first, and linear wires are connected to the connection points, then we get connection by a triangle (Fig. 9.1). Consumers are also connected by a triangle. In the closed circuit of the generator windings, when there is no load (idle mode), the current will not flow, because the sum of the instantaneous values of the E.M.F. will be zero, since they will be equal in amplitude, but shifted in phase by an angle  $2\pi/3$ .

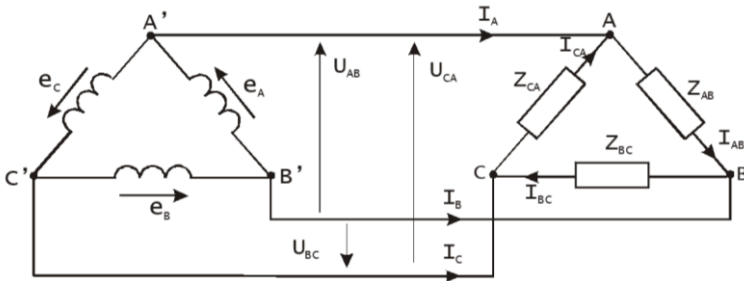


Fig. 9.1

In the diagram shown in fig. 9. 1, the triangle of total resistances ( $Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA}$ ) is connected to the triangle of the phase windings of the generator (transformer) by linear wires.

The voltages between the linear wires are equal voltages between the beginning and the end of each phase , i.e

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_{\phi} \quad /9.1/$$



Line currents  $I_A, I_B, I_C$  are not equal to phase currents. The relationship between them can be found on the basis of KirHoff's first law, according to which the sum of the instantaneous values of currents in any node (branch) of an electric circuit is zero. According to this law, we write that

$$\begin{aligned} i_A + i_{CA} - i_{AB} &= 0; \\ i_B + i_{AB} - i_{BC} &= 0; \\ i_C + i_{BC} - i_{CA} &= 0. \end{aligned} \quad / 9.2/$$

It can be seen from equations /9.2/ that the line currents are equal to the difference of adjacent phase currents:

$$\begin{aligned} i_A &= i_{AB} - i_{CA}; \\ i_B &= i_{BC} - i_{AB}; \\ i_C &= i_{CA} - i_{BC}. \end{aligned} \quad / 9.3/$$

Having replaced the instantaneous values of the currents by vectors in equations /9.3/, we obtain:

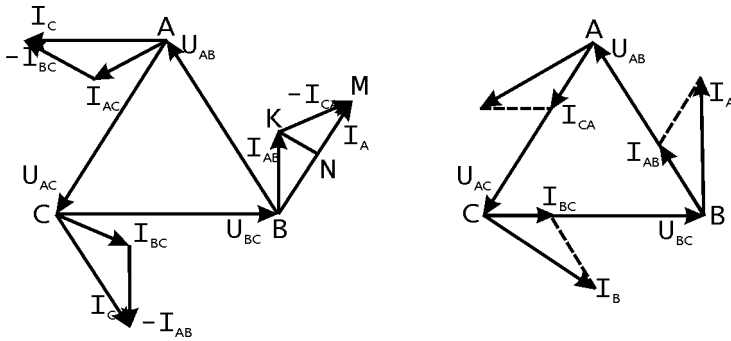
$$\begin{aligned} \bar{I}_A &= \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}; \\ \bar{I}_B &= \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB}; \\ \bar{I}_C &= \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}. \end{aligned} \quad / 9.4/$$

On the basis of equations / 9.4/ it is possible to construct a vector diagram of currents and find the ratio between line and phase currents. In fig. 9.2 a vector diagram is constructed for case

$$Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z \text{ i } \cos \varphi = \frac{r_{AB}}{Z} = \frac{r_{BC}}{Z} = \frac{r_{CA}}{Z}.$$

Phase currents were determined according to Ohm's law

$$: I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}}; I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}} \text{ and } I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}}$$



a). b).  
 Fig.9 . 2

From the triangle of currents VKM we find  $I_A = BM = 2BN = 2I_{AB} \cos 30^\circ = 2I_{AB} \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}I_{AB}$ .

Therefore, when a symmetrical consumer is connected by a triangle, the line currents are times greater than the phase currents  $\sqrt{3}$ . If the system is not symmetrical, then the phase currents will be different, the phase shift angles will also be different, but the method of constructing a vector diagram and determining the linear currents remains the same.

Fig. 9.2, b shows a vector diagram with an uneven load of phases by active resistances, which is typical when powering lighting with incandescent lamps in residential buildings.

The limiting case of uneven phase loading is an increase in phase resistance to infinity ( $Z_\phi = \infty$ ), which corresponds to the mode of phase interruption at the point of connection with a linear wire. In this case, there will be no current in the interrupted phase, for example, in phase AB ( $I_{AB} = 0$ ). The currents in the other phases will not change, because the phase voltages have not changed. However, the line currents  $I_A$  and  $I_B$  according to equation /9.4/ will decrease and become equal to the corresponding phase currents:  $I_A = I_{CA}$  and  $I_B = I_{BC}$ . The line current  $I_C = I_{CA} - I_{BC}$  will not change.

In fig. 9.3, and a vector diagram of voltages and currents with active load and interruption of phase  $AB$  is constructed, which corresponds to equation /9.4/ under the condition  $I_{AB} = 0$ .

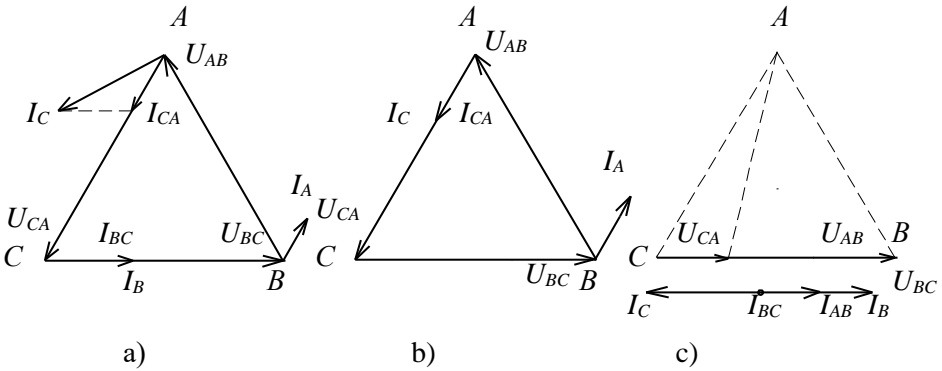


Fig. 9.3.

If to the interruption of the  $AB$  phase, an interruption of the  $BC$  phase is added, the three-phase system will turn into a single-phase system and the current will flow only in the  $CA$  phase. The linear currents  $I_A$  and  $I_C$  will be equal in magnitude and opposite in direction, as follows from equations /9.4/ when substituting  $I_{AB} = I_{BC} = 0$ . The vector diagram for this case is built in fig. 9.3, b.

In addition to a phase break, a line wire break may also occur. In this case, the normal mode will remain in the  $BC$  phase if the linear wire  $A$  is broken. The other two phases will be connected in series and the full line voltage will be applied to them. Therefore, the voltage drop in them will be distributed in proportion to the phase resistances.

Fig. 9.3, c shows diagrams of voltages and currents with different active phase resistances and a break in the linear wire  $A$ . As follows from fig. 8.3, in this case

$$\begin{aligned}
 U_{BC} &= U_{CA} + U_{AB}; \\
 I_B &= I_{BC} + I_{AB}; \\
 I_C &= I_{CA} + I_{BC}.
 \end{aligned}
 \tag{9.5}$$

As with a star connection, the active and reactive powers in a delta connection are equal to the sum of the active and reactive powers of the phases, respectively:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = U_{AB}I_{AB} \cos\varphi_{AB} + U_{BC}I_{BC} \cos\varphi_{BC} + U_{CA}I_{CA} \cos\varphi_{CA}, \quad /9.6/$$

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = U_{AB}I_{AB} \sin\varphi_{AB} + U_{BC}I_{BC} \sin\varphi_{BC} + U_{CA}I_{CA} \sin\varphi_{CA}, \quad /9.7/$$

With a symmetrical load, the shifts of the phase currents relative to the phase voltages are the same ( $\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi$ ) and therefore

$$P = U_{\phi} \cos\varphi (I_{AB} + I_{BC} + I_{CA}) = 3U_{\phi}I_{\phi} \cos\varphi; \quad /9.8/$$

$$Q = 3U_{\phi}I_{\phi} \sin\varphi.$$

Full circle power

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad /9.9/$$

From a comparison of the ratios between line and phase voltages when three-phase circuits are connected by a star and a triangle, it turns out that with the same phase voltages on consumers, the line current when connected by a triangle is twice  $\sqrt{3}$  as much as when connected by a star, and the line voltages have the opposite ratio -  $\sqrt{3}$  times less. The power of the circuit does not change.

Due to the higher value of the current in the line for powering consumers connected by a triangle, it is necessary to use conductors with a larger cross-section /and therefore more expensive/ than when powering consumers connected by a star. Therefore, three-phase circuits connected by a triangle are used in low-voltage networks only when, under the conditions of electrical safety, a lower ( $\sqrt{3}$  times) supply voltage of consumers is required.

### 9.3. Програма роботи

1. Дослідити роботу трифазної системи при нерівномірному навантаженні фаз активними і реактивними опорами.

2. Дослідити роботу трифазної системи при рівномірному і нерівномірному навантаженні фаз активними опорами.
3. Дослідити роботу трифазної системи при обриві однієї та двох фаз і нерівномірному їх навантаженні активними опорами.
4. Дослідити роботу трифазної системи при обриві одного лінійного провода.
5. Побудувати векторні діаграми для всіх режимів роботи і зробити висновки про перерозподіл струмів та напруг.

### ***Work program***

1. Explore the operation of a three-phase system with uneven loading of the phases by active and reactive resistances.
2. Explore the operation of a three-phase system with uniform and uneven loading of the phases by active resistors.
3. Explore the operation of a three-phase system in case of interruption of one and two phases and their uneven loading by active resistances.
4. Explore the operation of a three-phase system when one linear wire breaks.
5. Construct vector diagrams for all operating modes and draw conclusions about the redistribution of currents and voltages.

### **9.4. Опис лабораторної установки**

Дослідження проводяться на лабораторному стенді УИЛС, в якому знаходяться:

- джерело трьох фазних регульованих напруг з виводами початків і кінців фазних обмоток трансформатора;
- блоки змінних і постійних опорів;
- цифрові вимірювальні прилади.

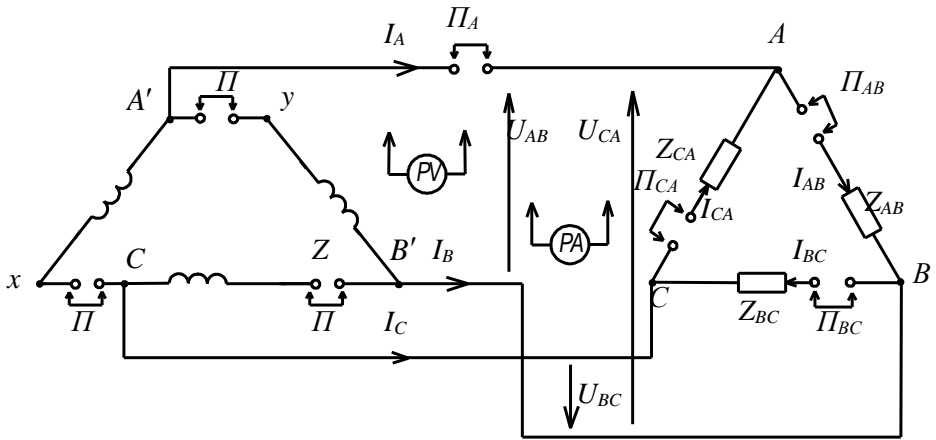


Рис. 9.4

Схема електричного кола для дослідження трифазної системи при з'єднанні джерела (трансформатора) і споживачів трикутником, наведена на рис. 9.4.

Для з'єднання елементів кола використовують перемички, а для підключення вимірювальних приладів – провідники.

## Description of the laboratory installation

Research is carried out at the laboratory stand of UILS, in which there are :

- a source of three-phase adjustable voltages with outputs of the beginnings and ends of the phase windings of the transformer;
- blocks of variable and constant resistances;
- digital measuring devices.

The electrical circuit diagram for researching a three-phase system with a triangle connection of the source (transformer) and consumers is shown in Fig. 9.4. to connect circuit elements, and conductors are used to connect measuring devices.

## 9.5. Порядок виконання роботи

1. Скласти коло згідно схеми рис. 9.4 зі всіма перемичками. В якості опорів  $Z_{AB}$  використайте індуктивну котушку,  $Z_{BC}$  – ємність і

активний опір,  $Z_{CA}$  - резистор. Величини їх виберіть такими, щоб при фазній напрузі  $20$  або  $30V$  фазні струми не перевищували номінальних струмів опорів і  $Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$  (режим 1).

Користуючись цифровими вольтметром і міліамперметром, виміряти лінійні напруги, фазні і лінійні струми. Дані вимірювань занести в табл. 1.

2. Замінити активно-реактивні опори  $Z_{AB}$  і  $Z_{BC}$  активними так, щоб  $R_{AB}$  був більшим за  $R_{AC}$  приблизно на одну третину, а  $R_{BC}$  – меншим  $R_{CA}$  на одну четверту. Після цього, не змінюючи напруги живлення, виміряти всі струми і напруги. Дані вимірювань занести в табл. 1 (режим 2).

Таблиця 1.

Режим роботи	$I_A,$ A	$I_B,$ A	$I_C,$ A	$I_{AB},$ A	$I_{BC},$ A	$I_{CA},$ A	$U_{AB},$ B	$U_{BC},$ B	$U_{CA},$ B
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									

Заміняють активні опори  $R_{AB}$  і  $R_{BC}$  на опори, рівні опорів  $R_{CA}$  (режим рівномірного навантаження). Знову виміряти всі струми і напруги. Дані занести в табл. 1 (режим 3).

3. Знову встановити режим нерівномірного навантаження такий, який вказаний в п. 2. Зняти перемичку  $P_{AB}$  і виміряти всі струми і напруги. Дані занести в табл. 1 (режим 4).

Додатково зняти перемичку  $P_{BC}$  і провести вимірювання струмів та напруг. Дані вимірювань занести в табл. 1 (режим 5).

4. Поставити перемичку  $P_{AB}$  і  $P_{BC}$  і зняти перемичку  $P_A$ . Не змінюючи фазних опорів, виміряти струми і напруги в режимі обриву лінійного провада (режим 6).

5. На підставі експериментальних даних і вирахованих опорах  $Z_{AB}$  і  $Z_{BC}$  визначити для режиму 1 активні потужності фаз і повну активну потужність трифазного кола, а також  $\cos\phi$ . Для режимів 2 – 6 обчислити потужності фаз і повну потужність кола. Дані обчислень занести в табл. 2.

Таблиця 2.

Режим роботи	$P_{AB}$ ,	$P_{BC}$ ,	$P_{CA}$ ,	$P$ ,	$S$ ,	$\cos\varphi$
	$Вт$	$Вт$	$Вт$	$Вт$	$кВА$	
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

6. За даними вимірювань і обчислень побудувати в одному масштабі векторні діаграми для всіх режимів роботи трифазного кола.

### ***The order of work***

1. Make a circle according to the diagram in fig. 9.4 with all jumpers. As resistances  $Z_{AB}$ , use an inductive coil,  $Z_{BC}$  - capacitance and active resistance,  $Z_{CA}$  - a resistor. Choose their values so that with a phase voltage of 20 or 30V, the phase currents do not exceed the nominal resistance currents and  $Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$  (mode 1).

Using a digital voltmeter and milliammeter, measure line voltages, phase and line currents. Enter the measurement data in the table. 1.

2. Replace active-reactive supports  $Z_{AB}$  and  $Z_{BC}$  active so that  $R_{AB}$  is greater than  $R_{AC}$  by about one-third, and  $R_{BC}$  is smaller than  $R_{CA}$  by one fourth. After that, without changing the supply voltage, measure all currents and voltages. Enter the measurement data in the table. 1 (mode 2).

Table 1.

Regime work	$I_A$ , A	$I_B$ , A	$I_C$ , A	$I_{AB}$ , A	$I_{BC}$ , A	$I_{CA}$ , A	$U_{AB}$ , V	$U_{BC}$ , V	$U_{CA}$ , V
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									



Replace the active supports  $R_{AB}$  and  $R_{BC}$  with supports equal to the resistance  $R_{CA}$  (uniform load mode). Measure all currents and voltages again. Enter the data in the table. 1 (mode 3).

3. Re-establish the uneven load mode as specified in point 2. Remove the  $\Pi_{AB}$  jumper and measure all currents and voltages. Enter the data in the table. 1 (mode 4).

Additionally, remove the jumper  $\Pi_{BC}$  and measure currents and voltages. Enter the measurement data in the table. 1 (mode 5).

4. Place jumper  $\Pi_{AB}$  and  $\Pi_{BC}$  and remove jumper  $\Pi_A$ . Without changing the phase resistances, measure the currents and voltages in the linear wire break mode (mode 6).

5. Based on experimental data and calculated resistances  $Z_{AB}$  and  $Z_{BC}$  determine for mode 1 the active power of the phases and the total active power of the three-phase circuit, as well as  $\cos\varphi$ . For modes 2 - 6, calculate the power of the phases and the total power of the circuit. Enter the calculation data in the table. 2.

Table 2.

Regime work	$P_{AB},$	$P_{BC},$	$P_{CA},$	$P,$	$S,$	$\cos\varphi$
	$Wt$	$Wt$	$Wt$	$Wt$	$kVA$	
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

6. According to the data of measurements and calculations, construct vector diagrams on the same scale for all modes of operation of a three-phase circuit.

## 9.6. Контрольні запитання

1. Як здійснити з'єднання споживачів трикутником?
2. При з'єднанні споживачів трикутником яке співвідношення буде між лінійними і фазними напругами?

3. При з'єднанні споживачів трикутником яке буде співвідношення між лінійними і фазними струмами при рівномірному навантаженні фаз?
4. Як побудувати векторну діаграму напруг і струмів за відомими опорами фаз і фазними напругами?
5. Що зміниться в трифазній системі при обриві однієї фази?
6. Що зміниться в трифазній системі при обриві двох фаз?
7. Що зміниться в трифазній системі при обриві лінійного проводу?
8. Як визначити активну потужність трифазної системи при рівномірному навантаженні фаз?
9. Чому буде дорівнювати  $\cos\varphi$  трифазної системи, яка живить три двигуни однакової потужності, якщо коефіцієнти потужності їх рівні і дорівнюють  $0,85$ ?
10. У яких випадках використовують з'єднання трифазних споживачів трикутником?

### ***Control questions***

1. How to connect consumers with a triangle?
2. When connecting consumers with a triangle, what will be the ratio between line and phase voltages?
3. When consumers are connected by a triangle, what will be the ratio between line and phase currents with uniform phase loading?
4. How to build a vector diagram of voltages and currents based on known phase resistances and phase voltages?
5. What will change in a three-phase system when one phase breaks?
6. What will change in a three-phase system when two phases are interrupted?
7. What will change in a three-phase system when a linear wire breaks?
8. How to determine the active power of a three-phase system with a uniform phase load?
9. Why will *the*  $\cos\varphi$  of a three-phase system, which feeds three motors of the same power, be equal if their power coefficients are equal and equal to  $0.85$  ?
10. In what cases is the triangle connection of three-phase consumers used?