

## Лабораторна робота № 1

### Дослідження лінійного електричного кола постійного струму

**Мета роботи** – дослідити співвідношення між напругами і струмами в розгалуженому електричному колі постійного струму.

#### Розрахункові формули

Значення ЕРС  $E$  і внутрішнього опору  $R_{\text{вн}}$  джерела живлення розраховуються за результатами вимірювання напруги і струму на навантаженні для двох режимів:

$$\begin{cases} E = I_1 R_{\text{вн}} + U_1 \\ E = I_2 R_{\text{вн}} + U_2 \end{cases} \quad (1.1)$$

Відна і взаємна провідності віток визначаються за формулами:

$$g_{kk} = \frac{I_k}{E_k}, \quad g_{mk} = \frac{I_m}{E_k}$$

#### Робоче завдання

- Зібрати схему за рис. 1.1. Виміряти струм і напругу для трьох режимів навантаження. Режим змінюється повзунком регульовального реостата  $R_{\text{нав}}$ . Результати вимірювань занести в табл. 1.1.
- За результатами вимірювань табл. 1.1 визначити середні значення внутрішнього опору  $R_{\text{вн}}$  та ЕРС  $E$  джерела живлення.
- Побудувати графіки залежностей  $U = f_1(I)$  та  $E = f_2(I)$  за результатами вимірювань та розрахунків табл. 1.1. Графіки побудувати на одній координатній площині.
- Зібрати схему по рис. 1.2. Виміряти струми у вітках і напруги на елементах схеми. Результати вимірювань занести в табл. 1.2.
- Перенести джерело енергії з першої вітки в третю (рис. 1.3) і повторити вимірювання. Результати вимірювань занести в табл. 1.3.

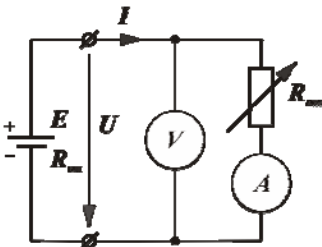


Рис. 1.1

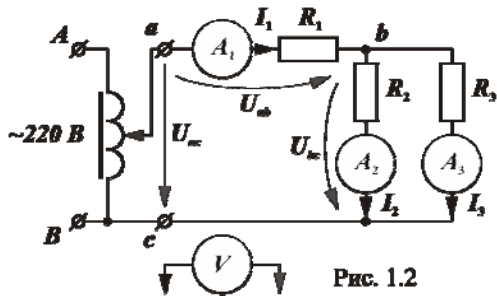


Рис. 1.2

Таблиця 1.1.

Виміряно			Обчислено	
№ досліду	$U, B$	$I, A$	$R_{вн}, Ом$	$E, B$
1				
2				
3				

Таблиця 1.2.

Виміряно					Обчислено						
$U, B$	$U_1, B$	$U_{BC}, B$	$I_1, A$	$I_2, A$	$I_3, A$	$g_{11}, См$	$g_{21}, См$	$g_{31}, См$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$

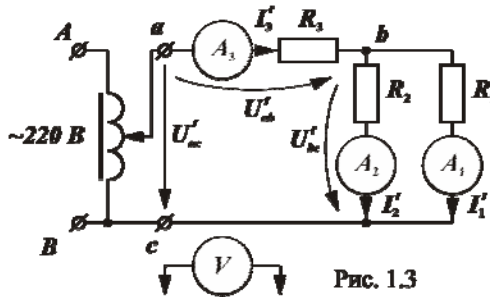


Рис. 1.3

Таблиця 1.3.

Виміряно					Обчислено						
$U', B$	$U'_1, B$	$U'_{BC}, B$	$I'_1, A$	$I'_2, A$	$I'_3, A$	$g_{13}, См$	$g_{23}, См$	$g_{33}, См$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$

6. За результатами вимірювань п.п. 4 та п.п. 5 визначити опори елементів, входні і взаємні провідності віток:

$$\text{для рис. 1.2: } R_1 = U_{ab}/I_1, \quad R_2 = U_{bc}/I_2, \quad R_3 = U_{bc}/I_3,$$

$$g_{11} = I_1/U_{ac}, \quad g_{21} = I_2/U_{ac}, \quad g_{31} = I_3/U_{ac};$$

$$\text{для рис 1.3: } R_1 = U'_{bc}/I'_1, \quad R_2 = U'_{bc}/I'_2, \quad R_3 = U'_{ab}/I'_3,$$

$$g_{13} = I'_1/U'_{ac}, \quad g_{23} = I'_2/U'_{ac}, \quad g_{33} = I'_3/U'_{ac}.$$

Порівняти значення провідностей  $g_{13}$  та  $g_{31}$ , зробити висновки.

7. За відомими опорам  $R_1, R_2, R_3$  обчислити провідності  $g_{11}, g_{21}, g_{31}$ .

8. Відновити схему рис.1.2 Опір  $R_3$  замінити реостатом  $R_{нав}$ . Виміряти струми в колі для п'яти режимів:

$I_3=0$  – холостий хід вітки з реостатом;

$I_3=I_{к.з.}$  – коротке замикання вітки з реостатом;

$I_3=0,25 \cdot I_{к.з.}$ ,  $I_3=0,5 \cdot I_{к.з.}$ ,  $I_3=0,75 \cdot I_{к.з.}$  – режими навантаження.

Результати вимірювань занести в табл. 1.4.

9. За результатами вимірювань табл. 1.4 обчислити: потужність третьої вітки –  $P_3$ , вхідний опір схеми рис. 1.2 по відношенню до затискачів  $BC$  при відключеному реостаті (холостому ході) –  $R_{вх. BC}$ .

10. Визначити опір  $R_{вх. BC}$  аналітично, знаючи параметри  $R_1, R_2, R_{вн.}$

Таблиця 1.4.

№ досліджу	Виміряно				Обчислено
	$I_1, A$	$I_2, A$	$I_3, A$	$U_{BC}, B$	$P_3, Вт$
1. (х.х.)					
2. ( $0,25 \cdot I_{к.з.}$ )					
3. ( $0,5 \cdot I_{к.з.}$ )					
4. ( $0,75 \cdot I_{к.з.}$ )					
5. (к.з.)					

11. Побудувати графіки залежностей  $P_3=f_1(I_3)$ ,  $U_{BC}=f_2(I_3)$  за табл. 1.4.

12. Накреслити схему еквівалентного генератора та вказати його параметри (еквівалентну ЕРС, вхідний опір).

### **Контрольні запитання**

1. Сформулюйте закон Ома для ділянки та повного електричного кола.

2. Сформулюйте перший та другий закони Кірхгофа.

3. Для схеми рис.1.2 запишіть систему рівнянь за законами Кірхгофа.

Користуючись дослідними даними табл.1.2. перевірте їх виконання.

4. Сформулюйте теорему взаємності.

5. Визначіть взаємну провідність  $g_{21}$  за відомими опорами  $R_1, R_2, R_3$ .

6. Складіть баланс потужності для схеми рис.1.2.

7. Назвіть особливості наступних режимів роботи: холостий хід, коротке замикання, навантаження, узгоджений, номінальний.

8. Поясніть суть методу еквівалентного генератора. Сформулюйте теорему компенсації.

9. Як із дослідів визначити параметри еквівалентного генератора?

## Лабораторна робота № 2

### *Нерозгалужене коло синусоїдального струму. Резонанс напруг.*

**Мета роботи** – дослідити співвідношення між електричними величинами в нерозгалуженому колі змінного струму; дослідити резонанс напруг; навчитись будувати векторні, топографічні та колові діаграми.

### *Розрахункові формули*

Повний, активний та реактивний опір котушки індуктивності:

$$R_K = P_K / I_K^2, Z_K = U_K / I_K, X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}.$$

### *Робоче завдання*

1. Зібрати схему по рис. 2.1. За допомогою ЛАТРа (лабораторний автотрансформатор) встановити напругу, при якій струм в колі рівний 0,2...0,3 А. Виміряти напругу, потужність і струм для першої котушки. Підключити замість першої котушки другу, повторити вимірювання. За отриманими даними розрахувати параметри котушок. Результати вимірювань і обчислень звести в табл. 2.1.

2. Зібрати схему по рис. 2.2. Встановити ЛАТРОм напругу  $U=100$  В. Виміряти величини, які приведені в табл. 2.2. За результатами вимірювань побудувати топографічну діаграму. Обрати масштаби напруги ( $m_U, B/cm$ ) та струму ( $m_I, A/cm$ ). Побудову можна почати з вектора  $U_{dc}$ . З кінця  $U_{dc}$  провести дугу радіусом рівним  $U_{cв}$ . З початку  $U_{dc}$  провести дугу радіусом рівним  $U_{dв}$ . Перетин дуг визначає положення точки  $в$ . Положення точок  $к$ ,  $а$  визначається аналогічно. Вектор струму  $I$  проводиться перпендикулярно до вектора  $U_{dc}$  через його початок.

3. Використовуючи одну з котушок зібрати схему по рис. 2.3. Знаючи параметри котушки (табл. 2.1), підрахувати ємність, при якій в послідовному колі виникне резонанс напруг. Встановити ЛАТРОм напругу  $U=40$  В і протягом досліду підтримувати її сталою. Змінюючи ємність конденсатора провести вимірювання для режиму резонансу, а також для двох значень ємності  $C < C_{рез}$  і для двох значень  $C > C_{рез}$ . Результати вимірювань занести в табл. 2.3. За результатами вимірювань побудувати векторні діаграми для трьох режимів:  $C < C_{рез}$ ,  $C = C_{рез}$ ,  $C > C_{рез}$  (задає викладач).

4. Розрахувати величини, приведені в табл. 2.3. Побудувати за даними табл. 2.3 залежності  $Z_{вх}=f_1(C)$ ,  $I=f_2(C)$ ,  $U_C=f_3(C)$ . Вісь ємності для трьох залежностей сумістити. Осі опору, струму і напруги розмістити поряд

5. Знаючи параметри котушки  $R_K$  та  $X_K$ , визначити, при якому значенні  $X_C$  вхідний опір схеми такий же, як і при  $X_C=0$ .

6\*. Побудувати колову діаграму струму при зміні  $X_C$ . По діаграмі визначити: а)  $X_C$  і ємність  $C_{рез}$  при резонансі; порівняти з результатами вимірю-

вань; б) по коловій діаграмі визначити струми для трьох значень ємності, приведених в табл. 2.3.

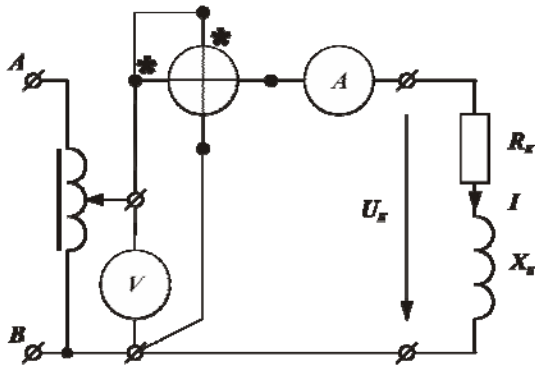


Рис. 2.1

Таблиця 2.1.

Виміряно						Обчислено					
$U_1, B$	$P_1, Bm$	$I_1, A$	$U_2, B$	$P_2, Bm$	$I_2, A$	$R_1, Ом$	$X_1, Ом$	$Z_1, Ом$	$R_2, Ом$	$X_2, Ом$	$Z_2, Ом$

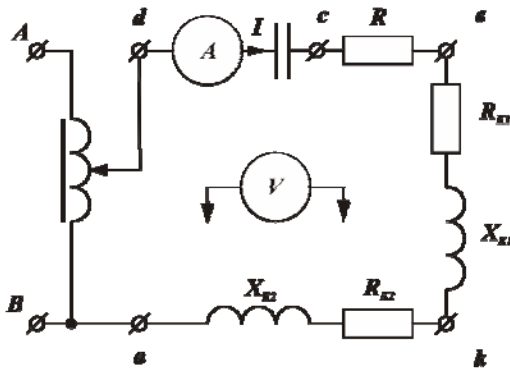


Рис. 2.2

Таблиця 2.2.

$I, A$	$U_{da}, B$	$U_{dc}, B$	$U_{ce}, B$	$U_{ek}, B$	$U_{ka}, B$	$U_{de}, B$	$U_{dk}, B$

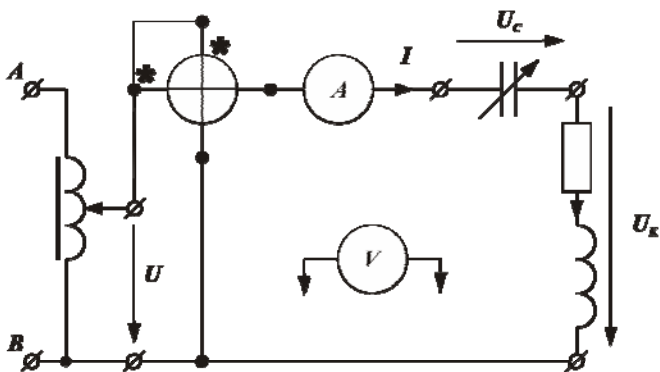


Рис. 2.3

Таблиця 2.3.

Ємність конденсатора $C, \text{ мкФ}$	Виміряно					Обчислено			
	$U, \text{ В}$	$U_C, \text{ В}$	$U_K, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$P, \text{ Вт}$	$X_C, \text{ Ом}$	$Z_{\text{ex}}, \text{ Ом}$	$\cos \varphi$	$\varphi, \text{ град}$
$C = C_{\text{рез}} =$									

**Контрольні запитання**

1. Чим відрізняється активний опір від реактивного?
2. Що таке індуктивний, ємнісний опір? Від чого вони залежать?
3. Як визначити активний, реактивний та повний опір котушки?
4. Як визначити ємність конденсатора?
5. Що таке резонанс напруг? Які його ознаки при проведенні дослідів?
6. Яким чином в послідовному колі можна досягти резонансу напруг?
7. Поясніть хід залежностей  $Z_{\text{ex}} = f_1(C)$ ,  $I = f_2(C)$ ,  $U_C = f_3(C)$ .
8. Перевірте виконання другого закону Кірхгофа для схеми рис. 2.3, користуючись дослідними даними табл. 2.3.
9. Поясніть побудову векторної діаграми для послідовного кола.
10. Як будується колова діаграма струму в послідовному колі?

### Лабораторна робота № 3

#### Розгалужене коло синусоїдального струму. Резонанс струмів

**Мета роботи** – дослідити співвідношення між електричними величинами в розгалуженому колі змінного струму; дослідити резонанс струмів.

#### Розрахункові формули

Із трикутника струмів (рис. 3.1) визначаємо зсуви фаз між напругою і струмами:

$$\cos \alpha = \frac{I_K^2 + I_C^2 - I^2}{2I_K I_C}; \quad \varphi_K = 90^\circ - \alpha;$$

$$\cos \gamma = \frac{I_K^2 + I^2 - I_C^2}{2I_K I}; \quad \varphi = \varphi_K - \gamma,$$

де  $I_K, I_C, I$  – відповідно струм котушки, конденсатора та нерозгалуженої частини кола.

Активний і реактивний опори котушки:

$$R_K = \frac{U \cos \varphi_K}{I_K}; \quad X_L = \frac{U \sin \varphi_K}{I_K}.$$

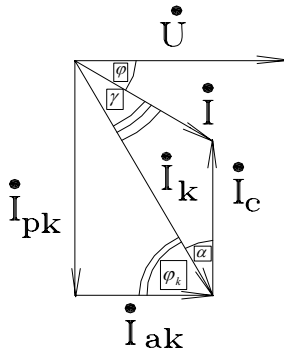


Рис. 3.1

#### Робоче завдання

1. Зібрати схему по рис. 3.2. Змінюючи ємність від максимуму (6...8 значень, включаючи  $C=0, C=\infty$ ) і підтримуючи при цьому напругу постійною, занести покази приладів в табл. 3.1.

2\*. Згідно отриманих результатів побудувати колову діаграму вектора загального струму.

3. Для одного з режимів приведених в табл. 3.1 (за завданням викладача) побудувати в масштабі векторну діаграму напруг і струмів. З її допомогою визначити параметри елементів кола в цьому режимі, а також активну, реактивну і повну потужності кола.

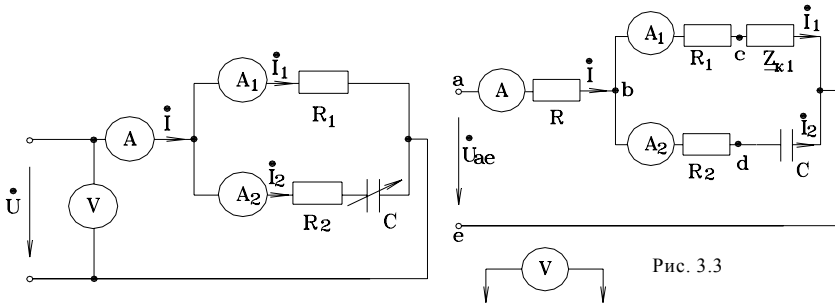


Рис. 3.2

Рис. 3.3

Таблиця 3.1.

$C, \text{мкФ}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$
0				
20				
40				
60				
80				
100				
$\infty$				

4. Опір  $R_1$  замінити котушкою, опір  $R_2$  вилучити зі схеми. Встановити ЛАТРОм напругу  $U=40 \text{ В}$ . Змінюючи ємність батареї конденсаторів, досягти резонансу струмів. Провести вимірювання для режиму резонансу, а також для двох значень ємності  $C < C_{рез}$  і для двох значень  $C > C_{рез}$ . Результати вимірювань занести до табл. 3.2.

5. За результатами вимірювань обчислити величини, що наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Ємність конденсатора $C, \text{мкФ}$	Виміряно					Обчислено					
	$C, \text{мкФ}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$X_C, \text{Ом}$	$Z_{вх}, \text{Ом}$	$\cos \varphi$	$\varphi, \text{град}$	$R_K, \text{Ом}$	$X_L, \text{Ом}$
$C=C_{рез} =$											



## Лабораторна робота № 4

### Дослідження трифазного кола при з'єднанні споживачів зіркою

**Мета роботи** – ознайомитися з особливостями роботи трифазного кола при з'єднанні джерела і приймача по схемі зірка.

#### Робоче завдання

1. Зібрати схему по рис. 4.1. Виміряти струми і напруги для трьох режимів:

а) симетричне навантаження – у всіх фазах увімкнені лампові реостати з однаковою кількістю ламп однакової потужності;

б) несиметричне навантаження – ламповий реостат у фазі *A* замінити батареєю конденсаторів;

в) обрив лінійного проводу *C*.

Результати вимірювань занести в табл.4.1.

2. За результатами вимірювань побудувати векторні діаграми фазних напруг і струмів для трьох режимів роботи. З векторних діаграм визначити значення  $I_N$  і порівняти отримані значення з результатами вимірювань.

3. Лампові реостати у фазах *B* і *C* замінити відповідно котушкою і батареєю конденсаторів. Виміряти напруги і струми.

4. Поміняти місцями котушку і батарею конденсаторів. Повторити вимірювання. Результати вимірювань пп. 3 і 4 занести до табл. 4.2.

5. Згідно виміряних результатів пп. 3 і 4 побудувати векторну діаграму напруг і струмів. Визначити з неї струм в нейтральному проводі. Порівняти отримані значення з результатами вимірювань. Чому при тих же споживачах струми  $I_N$  для пп. 3 і 4 різні?

6. Відключити нейтральний провід в схемі по рис. 4.1. Провести вимірювання для трьох режимів, перерахованих у п. 1. Результати вимірювань занести до табл. 4.3.

7. Побудувати векторні діаграми напруг і струмів для трьох режимів. Для режиму несиметричного навантаження перевірити виконання рівності:

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

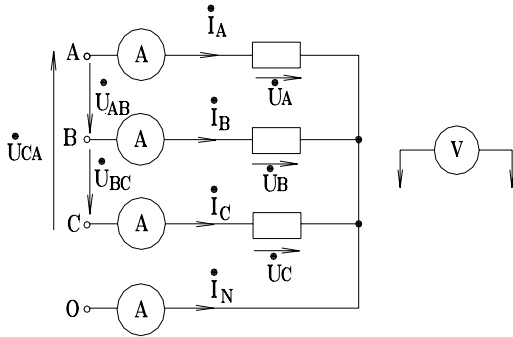


Рис. 4.1

Таблиця 4.1.

Режим навантаження	Фазні напруги			Лінійні напруги			Струми в лінійних і нейтральному проводах			
	$U_{A,B}$	$U_{B,B}$	$U_{C,B}$	$U_{AB,B}$	$U_{BC,B}$	$U_{CA,B}$	$I_{A,A}$	$I_{B,A}$	$I_{C,A}$	$I_{N,A}$
Симетричне										
Несиметричне										
Обрив провoda C										

Таблиця 4.2.

Режим навантаження	$U_{A,B}$	$U_{B,B}$	$U_{C,B}$	$U_{AB,B}$	$U_{BC,B}$	$U_{CA,B}$	$I_{A,A}$	$I_{B,A}$	$I_{C,A}$	$I_{N,A}$
Котушка у фазі B										
Котушка у фазі C										

Таблиця 4.3.

Режим навантаження	$U_{A,B}$	$U_{B,B}$	$U_{C,B}$	$U_{AB,B}$	$U_{BC,B}$	$U_{CA,B}$	$U_{0'0,B}$	$I_{A,A}$	$I_{B,A}$	$I_{C,A}$
Симетричне										
Несиметричне										
Обрив провoda C										

Таблиця 4.4.

Режим навантаження	$U_{A,B}$	$U_{B,B}$	$U_{C,B}$	$U_{AB,B}$	$U_{BC,B}$	$U_{CA,B}$	$U_{0'0,B}$
Ємність у фазі A							
Котушка у фазі A							

8. Увімкнути в фазу  $A$  батарею конденсаторів, у фази  $B$  і  $C$  увімкнути однакові лампові реостати. Виміряти фазні і лінійні напруги.

9. Батарею конденсаторів замінити котушкою. Повторити вимірювання. Результати вимірювань пп. 6 і 9 занести у табл. 4.4.

10. Побудувати векторні діаграми фазних і лінійних напруг. З векторних діаграм визначити напругу зміщення нейтралі  $U_{0'0}$ . Отримані значення порівняти з результатами вимірювань.

### ***Контрольні запитання:***

1. Яке навантаження називається симетричним?

2. Побудувати векторну діаграму напруг і струмів для схеми з нейтральним проводом, якщо опори фаз:  $R_A = \omega L_B = \frac{1}{\omega C_C}$ .

3. Визначить струм в нейтральному проводі, якщо навантаження у фазах  $A$  і  $B$  –активне, однакової потужності, а лінійний провід  $C$  обірваний.

4. Визначить комплекси фазних і лінійних струмів, якщо опори фаз  $R_A = \omega L_B = \frac{1}{\omega C_C}$  при обриві нейтрального проводу і  $U_{\text{ф.генератора}} = 127 \text{ В}$ .

5. Чому не можна вмикати освітлювальні прилади за схемою «зірка-зірка» без нейтрального проводу?

## Лабораторна робота № 5

### Дослідження трифазного кола при з'єднанні фаз трикутником

**Мета роботи** – дослідити співвідношення між фазними і лінійними струмами і напругами на елементах кола при з'єднанні по схемі трикутник. Виміряти потужність в трифазному колі за схемою двох ватметрів і побудувати векторні діаграми для різних режимів.

#### Робоче завдання

1. Зібрати схему за рис. 5.1. Виміряти струми і напруги для трьох режимів: а) симетричне навантаження – у всіх фазах увімкнені однакові лампові реостати; б) несиметричне навантаження – ламповий реостат між точками В і С замінити батареєю конденсаторів; в) обірваний лінійний провід С.

Результати вимірювань занести в табл. 5.1. За результатами вимірювань побудувати векторні діаграми напруг і струмів для всіх режимів роботи. При побудові векторної діаграми вектор  $\dot{U}_{AB}$  розмістити по дійсній осі комплексної площини.

2. Записати комплекси фазних струмів для всіх режимів, вважаючи  $\dot{I}_{AB} = I_{AB}$ . Визначити комплекси лінійних струмів, використовуючи співвідношення:  $\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$ ;  $\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$ ;  $\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$ . Результати обчислень записати в табл. 5.2. Порівняти модулі комплексів  $\dot{I}_A$ ,  $\dot{I}_B$ ,  $\dot{I}_C$  з результатами вимірювань.

3. За результатами вимірювань для несиметричного навантаження визначити симетричні складові струмів  $\dot{I}_0$ ,  $\dot{I}_1$ ,  $\dot{I}_2$ .

4. Зібрати схему за рис. 5.2. В кожен фазу навантаження увімкнути однакові лампові реостати. Результати вимірювань записати в табл. 5.3. За результатами вимірювань побудувати векторну діаграму фазних і лінійних струмів. Визначити з діаграми комплекси лінійних струмів. Вектори  $\dot{U}_{Aa}$ ,  $\dot{U}_{Bb}$ ,  $\dot{U}_{Cc}$  розмістити виходячи з положення векторів лінійних струмів в залежності від характеру опорів, увімкнених між споживачем і джерелом в розсічку фазного провода.

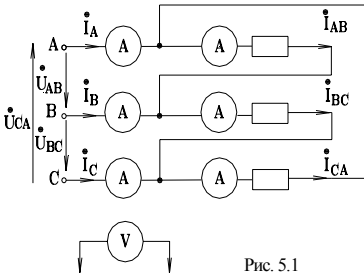


Рис. 5.1

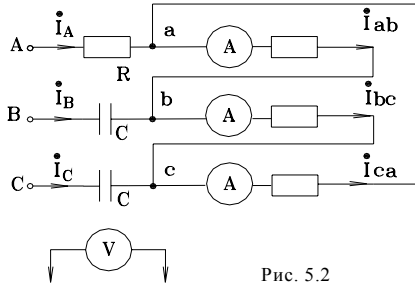


Рис. 5.2

Таблиця 5.1.

Режим навантаження	Фазні напруги, В			Фазні струми, А			Лінійні струми, А		
	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$
Симетричне									
Несиметричне									
Обрив провуда С									

Таблиця 5.2.

Режим навантаження	Комплекси фазних і лінійних струмів, А					
	$\dot{I}_{AB}$	$\dot{I}_{BC}$	$\dot{I}_{CA}$	$\dot{I}_A$	$\dot{I}_B$	$\dot{I}_C$
Симетричне						
Несиметричне						
Обрив провуда С						

Таблиця 5.3.

Виміряно									Обчислено					
Напруга джерела, В			Напруга споживачів, В			Спад напруг в лінії, В			Фазні струми, А			Комплекси лінійних струмів, А		
$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_{av}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$	$U_{Aa}$	$U_{Bb}$	$U_{Cc}$	$I_{av}$	$I_{bc}$	$I_{ca}$	$\dot{I}_A$	$\dot{I}_B$	$\dot{I}_C$

**Контрольні запитання:**

1. Як з'єднати споживачі «трикутником»?
2. Які співвідношення між лінійними і фазними величинами в схемі «трикутник»?
3. Як вимірюється потужність в трипровідній трифазній мережі?
4. Як будують топографічну діаграму напруг в схемі «трикутник»?

## Лабораторна робота № 6

### Електричне коло зі взаємною індуктивністю

**Мета роботи** – навчитися визначати параметри котушок  $R$ ,  $L$ , коефіцієнт взаємної індукції  $M$ , дослідити співвідношення між струмами і напругами в різноманітних схемах за наявності магнітного зв'язку між котушками.

#### Розрахункові формули

$$X_M = E_{2M} / I_1 \text{ – опір взаємної індукції;}$$

$$M = X_M / 2\pi f \text{ – взаємна індуктивність;}$$

$$K = M / \sqrt{L_1 L_2} \text{ – коефіцієнт зв'язку;}$$

$R_{BH} = R_{22} X_H^2 / (R_{22}^2 + X_{22}^2)$ ;  $X_{BH} = -X_{22} X_M^2 / (R_{22}^2 + X_{22}^2)$  – вносимі активний та реактивний опори, де  $R_{22} = R_2 + R_H$ ;  $X_{22} = \omega L_2 + X_H$ .

Активний та реактивний опір котушки:

$$R = P / I^2 ; X = \sqrt{(U/I)^2 - R^2}$$

#### Робоче завдання

1. Зібрати схему по рис. 6.1. Результати вимірювань для обох котушок записати в табл. 6.1. За результатами вимірювань визначити параметри котушок  $R$ ,  $X$ ,  $L$ , вважаючи, що  $f = 50$  Гц.

2. Зібрати схему (рис. 6.2.). Показання приладів записати в табл. 6.2. За результатами вимірювань визначити  $X_M$ ,  $M$ ,  $K$ .

3. Зібрати схему за рис. 6.3. Виміряти струми і напруги. Поміняти місцями дроти, що підходить до однієї з котушок. Вимірювання повторити. Результати вимірювань занести в табл. 6.3.

$$Z = U / I ; R = R_1 + R_2 ; X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

За результатами вимірювань виконати розмітку затискачів котушок; вирахувати взаємну індуктивність  $M = (X_C - X_B) / 4\omega$  і порівняти з результатом, отриманим в п.2; побудувати векторні діаграми для випадку зустрічного і узгодженого вмикання котушок. З векторних діаграм визначити напруги  $U_1$ ,  $U_2$  і порівняти їх з результатами вимірювань.

4. Зібрати схему (рис. 6.4). Результати вимірювань записати в табл. 6.4. Визначити вхідні опори котушок  $Z_1$ ,  $Z_2$  і всього кола  $Z$ ; побудувати векторні діаграми струмів і напруг для обох режимів, використовуючи рівняння:

$$\dot{I} - \dot{I}_1 - \dot{I}_2 = 0; \dot{U} = \dot{I}(R_1 + j\omega L_1) \pm j\omega M \dot{I}_2; \dot{U} = \pm j\omega \dot{I}_1 + \dot{I}_2(R_2 + j\omega L_2).$$

5. Зібрати схему для дослідження повітряного трансформатора (рис. 6.5). Виміри провести для трьох режимів роботи: а) холостого ходу; б) навантаження; в) короткого замикання. Результати вимірювань занести до

табл. 6.5. Побудувати векторні діаграми для всіх режимів роботи. Обчислити  $Z_{ex}$ ,  $Z_{вн}$ ,  $R_n$ . Чим викликана зміна значення  $Z_{ex}$ ?

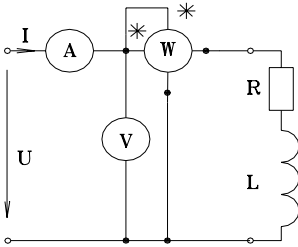


Рис. 6.1

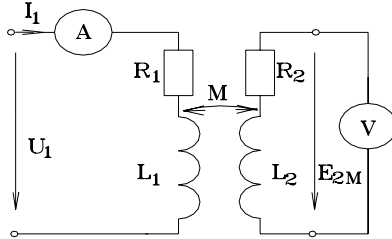


Рис. 6.1

Таблиця 6.1.

Виміряно			Обчислено			
Котушка	$U, B$	$I, A$	$P, Вт$	$R, Ом$	$X, Ом$	$L, Гн$
Перша						
Друга						

Таблиця 6.2.

Виміряно		Обчислено	
$I_1, A$	$E_{2M}, B$	$X_M, Ом$	$M, Гн$

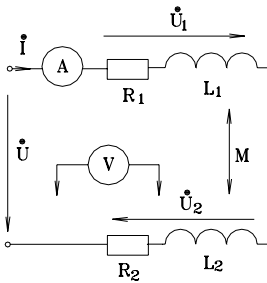


Рис. 6.3

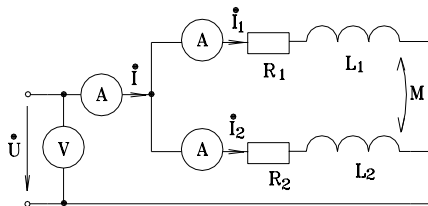


Рис. 6.4

Таблиця 6.3.

Ввімкнення	Виміряно			Обчислено		
	$U, B$	$U_1, B$	$U_2, B$	$I, A$	$Z, Ом$	$R, Ом$
Узгоджене						
Зустрічне						

Таблиця 6.4.

Ввімкнення	Виміряно			Обчислено		
	$U, B$	$I, A$	$I_1, A$	$I_2, A$	$Z, Ом$	$Z_1, Ом$
Узгоджене						
Зустрічне						

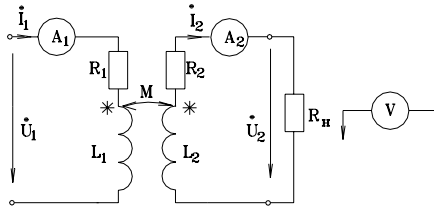


Рис. 6.5

Таблиця 6.5.

Режим роботи	Виміряно				Обчислено		
	$U_1, B$	$I_1, A$	$U_2, B$	$I_2, A$	$Z_{вх}, Ом$	$Z_{вн}, Ом$	$R_H, Ом$
Холостий хід							
Навантаження							
Коротке замикання							

**Контрольні запитання:**

1. Записати формули для визначення параметрів котушки  $R, X, L$ .
2. Записати формули для визначення  $X_M, M$  і  $K$ .
3. Знаючи параметри котушок, побудувати векторні діаграми для послідовного з'єднання при зустрічному і узгодженому увімкненнях, вважаючи струм:  $I=1 A$ .
4. Знаючи параметри котушок і опір взаємної індукції, визначити струми при паралельному зустрічному включенні котушок і напрузі  $U=220 B$ .
5. Визначити опори кожної з віток для попереднього пункту  $Z_1 = \dot{U}/\dot{I}_1$  і  $Z_2 = \dot{U}/\dot{I}_2$ , порівняти їх з опорамі  $Z_{K1} = R_1 + j\omega L_1$  і  $Z_{K2} = R_2 + j\omega L_2$ .
6. Записати рівняння електричної рівноваги повітряного трансформатора.

## Лабораторна робота №7

### Дослідження пасивного чотириполосника в колах синусоїдного струму

**Мета роботи** – навчитись визначати коефіцієнти чотириполосника і параметри його схем заміщення.

#### Розрахункові формули

Коефіцієнт чотириполосника визначається по формулам

$$\underline{A}_{11} = \sqrt{\underline{Z}_{1x}\underline{Z}_{1k} / \underline{Z}_{2k}(\underline{Z}_{1x} - \underline{Z}_{1k})}; \quad \underline{A}_{21} = \underline{A}_{11} / \underline{Z}_{1x}; \quad \underline{A}_{12} = \underline{A}_{11}\underline{Z}_{2k};$$
$$\underline{A}_{22} = \underline{A}_{12} / \underline{Z}_{1k}.$$

Вхідні опори пасивного чотириполосника при х.х. і КЗ в режимах прямого і оберненого живлення

$$\underline{Z}_{1x} = \frac{U'_{1x}}{I'_{1x}}; \quad \underline{Z}_{1k} = \frac{U'_{1k}}{I'_{1k}}; \quad \underline{Z}_{2x} = \frac{U'_{1x}}{I'_{1x}}; \quad \underline{Z}_{2k} = \frac{U'_{1k}}{I'_{1k}}.$$

Зсув фаз між напругою і струмом

$$\varphi = \arccos(P / UI)$$

Параметри Т-подібного (рис. 7.1, а) і П - подібного (рис.7.1, б) схем заміщення чотириполосника

$$\underline{Z}_1 = \frac{\underline{A}_{11} - 1}{\underline{A}_{21}}; \quad \underline{Z}_2 = \frac{\underline{A}_{22} - 1}{\underline{A}_{21}}; \quad \underline{Z}_3 = \frac{1}{\underline{A}_{21}}; \quad \underline{Z}_4 = \underline{A}_{12}; \quad \underline{Z}_5 = \frac{\underline{A}_{12}}{\underline{A}_{22} - 1}; \quad \underline{Z}_6 = \frac{\underline{A}_{12}}{\underline{A}_{11} - 1}.$$

#### Робоче завдання

1. Зібрати схему (рис. 7.2). Виміряти напруги і струми при х.х. і КЗ в режимі прямого живлення ( живлення підводиться до затискачів 1-2). Результати вимірів записати в табл. 7.1. Для визначення знаку кута підключається конденсатор. Якщо при підключенні конденсатора показання амперметру  $A_1$  збільшується, знак кута „-“, і навпаки.

2. Поміняти місцями провід, що підключений до затискачів 1 і 3. Повторити виміри х.х. і КЗ. Результати вимірів записати в табл. 7.2.

3. За результатами вимірів розрахувати комплексні вхідні опори чотириполосника. Результати розрахунків записати в табл. 7.3.

4. Відновити схему прямого живлення. Результати вимірів при трьох значеннях опорів навантаження записати в табл. 7.4. Для всіх режимів підтримувати  $U_1 = const$ .

5. Визначити коефіцієнти чотириполосника  $\underline{A}_{11}$ ,  $\underline{A}_{12}$ ,  $\underline{A}_{21}$ ,  $\underline{A}_{22}$ .

6. Визначити опори Т- і П-подібної схем заміщення чотириполосника.

7. Для всіх значень  $R_2$ ,  $U_1$  з табл. 7.4 розрахувати струми  $\dot{I}_1$  і  $\dot{I}_2$  по формулам

$$i_2 = \frac{U_1}{A_{11}R_2 + A_{12}}; \quad i_1 = \frac{A_{21}R_2 + A_{22}}{i_2}$$

Результати розрахунків записати в табл.7.5.

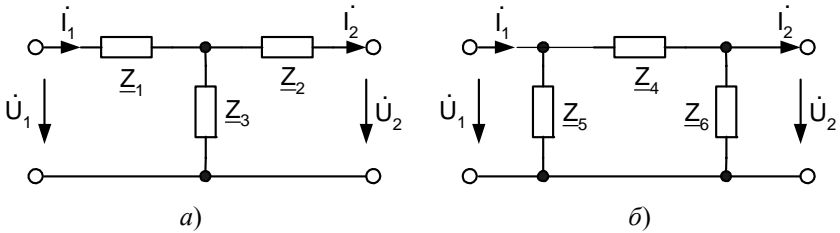


Рис. 7.1

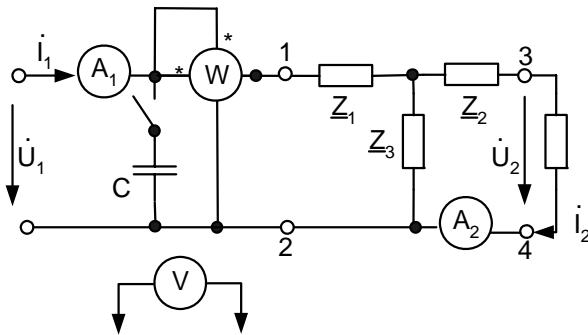


Рис. 7.2

Таблиця 7.2

Прямий холостий хід					Пряме коротке замикання				
$P_{10},$ кВт	$U_{10},$ В	$I_{10},$ А	$U_{20},$ В	знак кута $\varphi_{10}$	$P_{1К},$ кВт	$U_{1К},$ В	$I_{1К},$ А	$I_{2К},$ А	знак кута $\varphi_{1К}$

Таблиця 7.2

Зворотний холостий хід					Зворотнє коротке замикання				
$P'_{10},$ кВт	$U'_{10},$ В	$I'_{10},$ А	$I'_{20},$ А	знак кута $\varphi_{10}$	$P'_{1К},$ кВт	$U'_{1К},$ В	$I'_{1К},$ А	$I'_{2К},$ А	знак кута $\varphi_{1К}$

Таблиця 7.3

Вхідні комплексні опори чотириполюсника			
$Z_{1x}$	$Z_{1k}$	$Z_{2x}$	$Z_{2k}$

Таблиця 7.4

Режим навантаження	Виміряно						Обчислено			
	$U_1, B$	$I_1, A$	$P_1, Вт$	$U_2, B$	$I_2, A$	знак кута $\varphi_1$	$\cos \varphi_1$	$\varphi, град$	$P_2, Вт$	$R_2, Ом$
1										
2										
3										

Таблиця 7.5

Режим навантаження	$R_2, Ом$	$I_2, A$	$I_1, A$
1			
2			
3			

**Контрольні запитання:**

1. Порядок визначення коефіцієнтів чотириполюсника за результатами дослідів.
2. Обчисліть коефіцієнти чотириполюсника через опори Т- і П-подібної схем заміщення.
3. Запишіть вирази для комплексних опорів  $Z_{1x}$ ,  $Z_{1k}$ ,  $Z_{2x}$ ,  $Z_{2k}$  через параметри Т- і П-подібної схем заміщення чотириполюсника.
4. Визначіть опори Т-подібної схеми заміщення чотириполюсника перетворенням трикутника опорів  $Z_4$ ,  $Z_5$ ,  $Z_6$  в еквівалентну зірку.
5. Визначіть опори П-подібної схеми заміщення перетворенням зірки опорів  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  в еквівалентний трикутник.