

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА ТЕ12

## Дослідження електричних параметрів симетричних трифазних кіл

### 12.1. Мета роботи

Аналіз властивостей і взаємозв'язків між струмами та напругами в симетричних трифазних електричних колах. Ознайомлення із методами вимірювання параметрів трифазної системи і побудова векторних діаграм.

### 12.2. Основні теоретичні положення

Трифазним струмом називається сукупність трьох однофазних змінних струмів однакової частоти і зсунутих відносно один одного на  $1/3$  періоду ( $120^\circ$ ). Якщо в трифазній системі діють електрорушійні сили, рівні за величиною і зсунуті за фазою на  $120^\circ$ , а повні опори всіх трьох фаз як за величиною, так і за характером однакові, то такий режим називається симетричним.

В колах трифазного струму обмотки генератора і споживачі електричної енергії можуть з'єднуватися зіркою або трикутником.

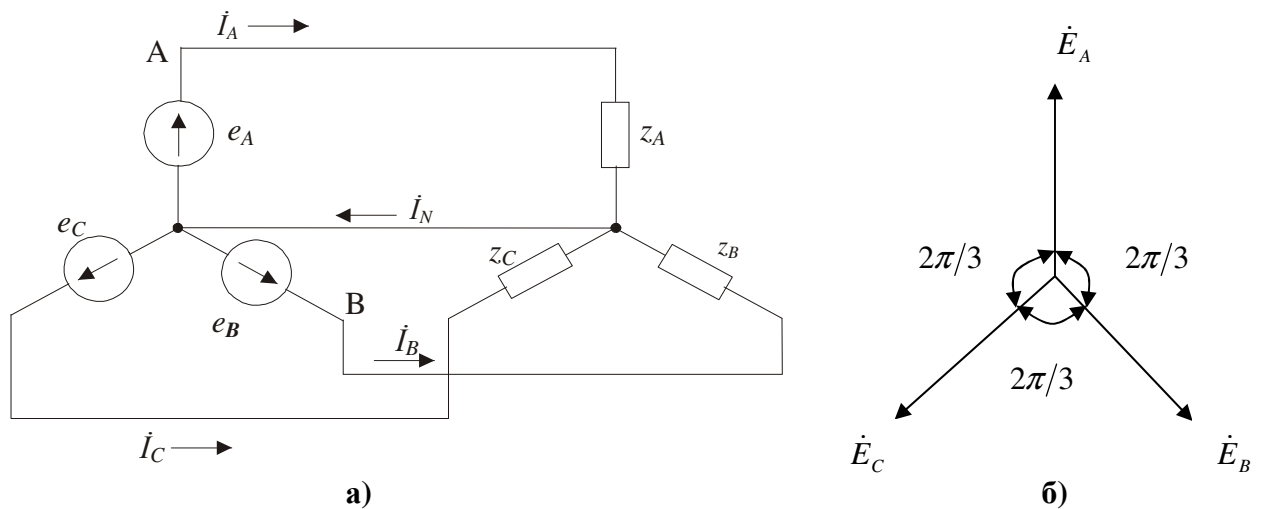


Рис. 12.1.

Перший з них (Рис.12.1а.) характеризується тим, що споживачі з'єднуються кінцями фазних обмоток в одну загальну точку. Загальні точки називають нульовими точками, а з'єднуючий їх провідник називається нейтральним. Така форма електрозабезпечення називається чотирьохпровідною. Кожен споживач фактично живиться від свого джерела, яке називається фазним, а відповідні провідники живлення називаються фазами. По такій схемі забезпечується живлення однофазних споживачів, наприклад, освітлювальні прилади, житлові будинки і квартири, ряд нагрівальних приладів та ін. При такій формі з'єднання в будь-який момент часу

$$\sum_{i=1}^3 e_i = e_A + e_B + e_C = 0.$$

Тому при симетричному навантаженні, тобто при  $Z_A = Z_B = Z_C$  для струмів, що протікають по фазним провідникам  $I_A, I_B, I_C$  і які також називаються фазними, також буде виконуватись умова

$$\sum_{i=1}^3 i_i = I_A + I_B + I_C = 0 \quad (2)$$

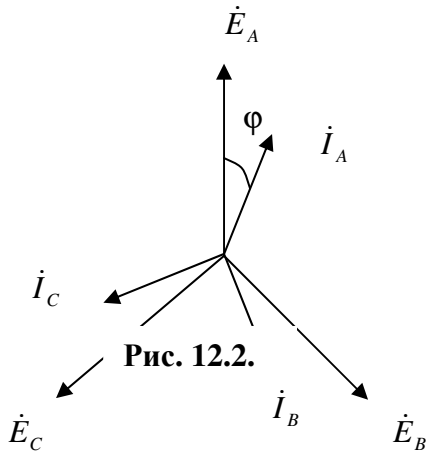


Рис. 12.2.

Рис.3.37

З формули (2) витікає, що при симетричному навантаженні струм через нейтральний провід  $I_N = 0$  і тоді нейтральний провід стає зайвим і його можливо не застосовувати. Це буде трьохпровідна трифазна система.

Для трьохпровідної системи завжди виконуються співвідношення  $I_A + I_B + I_C = 0$  незалежно від величини і характеру споживачів.

При умові, що опори провідників значно менше опорів  $Z$  (фаз), можливо вважати, що  $E_\phi = U_\phi$ .

Напруга між лінійними проводами і струми в них називаються лінійними напругами і струмами. При з'єднанні зіркою  $I_l = I_\phi$ , а з трикутника векторів (Рис.12.2) маємо  $U_l = \sqrt{3} U_\phi$ .

Комплексні значення фазних струмів можуть бути визначені по формулах:

$$I_A = \dot{U}_A / Z_A, \quad I_B = \dot{U}_B / Z_B, \quad I_C = \dot{U}_C / Z_C$$

Другий спосіб з'єднання споживачів – трикутник (Рис.12.3). Такий спосіб виключає використання нейтрального провідника, тому схема живлення називається трифазною, трьохпровідною.

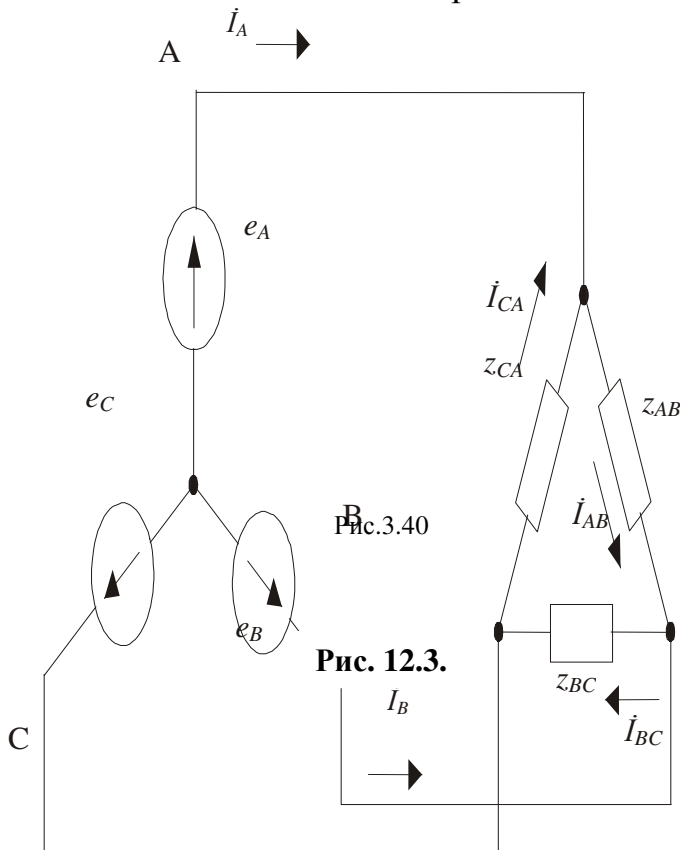


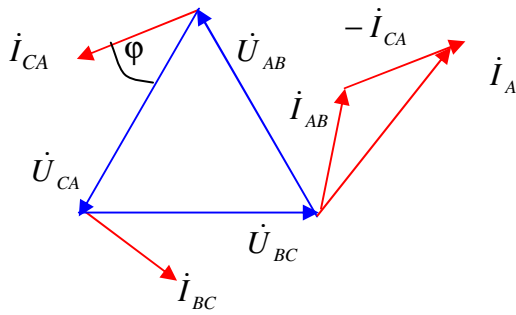
Рис.3.40

Рис. 12.3.

В таку схему живлення можна включати лише симетричні споживачі, наприклад, електричні двигуни.

При такій схемі з'єднання споживачів енергії, опори  $Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA}$  вмикаються між двома лінійними провідниками.

Тому фазні напруги споживачів, тобто, напруги на опорах, рівняються лінійним напругам трифазного джерела,



що відображається векторною діаграмою, зображеною на рис.12.4. Струми в фазах споживача:

$$i_{AB} = U_{AB} / Z_{AB}, \quad i_{BC} = U_{BC} / Z_{BC},$$

$$i_{CA} = U_{CA} / Z_{CA}$$

Лінійні струми визначаються як різниця фазних струмів.

$$i_A = i_{AB} - i_{CA}; \quad i_B = i_{BC} - i_{AB}; \quad i_C = i_{CA} - i_{BC}$$

З векторних діаграм і з формул витікає, що при симетричній системі ЕРС і симетричному навантаженні між лінійним і фазними струмами буде справедливим співвідношення:  $I = \sqrt{3} I_\phi$

### 12.3. Використання віртуальної лабораторії EWB для виконання роботи

Трьохфазне електричне коло в EWB виглядає дещо інакше, ніж на стандартній схемі. Так схема з'єднання „зірка-зірка”, що на рис.12.1а, в EWB збирається, як зображено на рис.12.5.

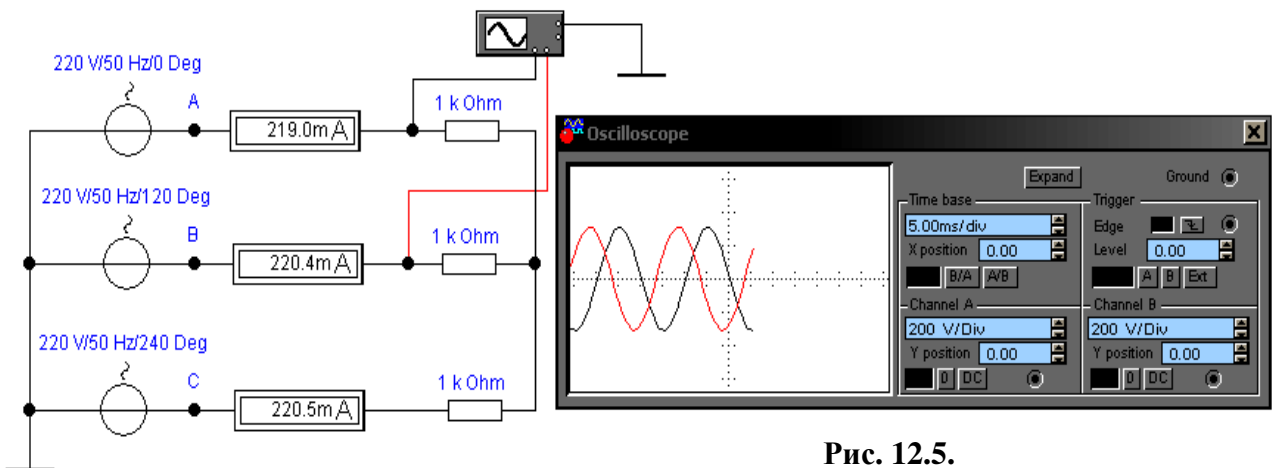
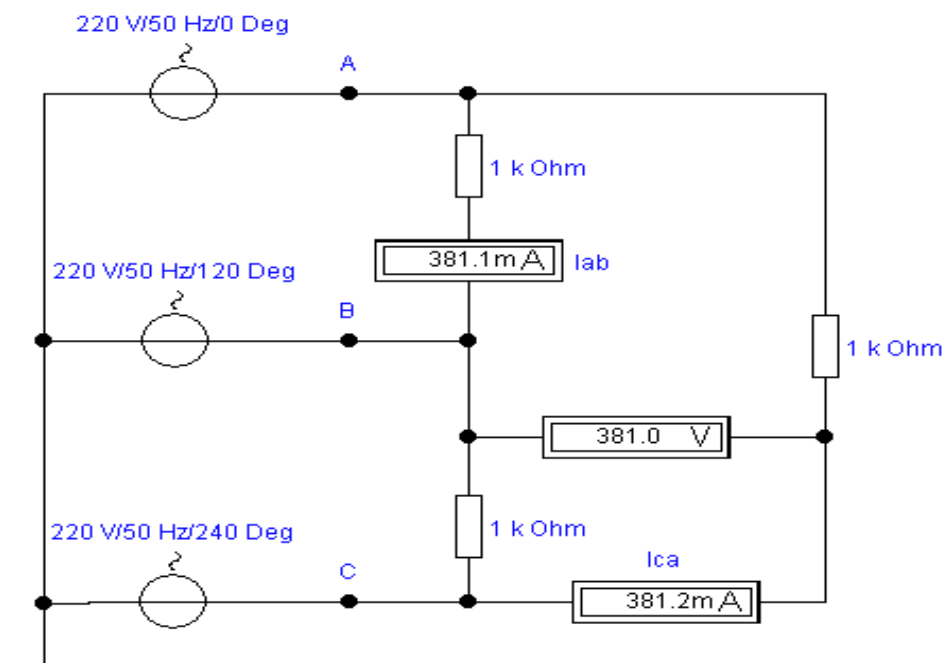


Рис. 12.5.



Якщо до джерела трифазної напруги приєднати навантаження, яке з'єднане трикутником, то схема, що на рис.12.3, в EWB буде мати вигляд, як на рис.12.6.

#### **12.4. Порядок виконання роботи**

12.4.1. Створити схему трифазної мережі з джерелами (відповідно до варіанту), що ввімкнуті „зіркою”. Заміряти лінійні напруги між кожною парою фаз  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$ . Заміряти також фазові кути між напругами  $U_A$  та  $U_{AB}$ ,  $U_B$  та  $U_{BC}$ ,  $U_C$  та  $U_{CA}$ .

12.4.2. Створити трифазне навантаження з опорами, згідно варіанту, з'єднати їх „зіркою” і приєднати до відповідних фаз трифазного джерела живлення. Заміряти струми в кожній фазі навантаження. Заміряти фазові кути між відповідними фазними напругами та струмами (Рис12.5).

12.4.3. Для  $\cos\phi$ , що вибрано за варіантом, обчислити величину реактивного опору, а потім, для заданої частоти, величини індуктивностей. Розраховані таким шляхом індуктивності встановити в схему послідовно з опорами  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ .

Заміряти фазові кути між фазними напругами та струмами. Встановити відповідність між експериментальними та розрахунковими даними.

Запропонувати схему обчислення потужності в навантаженні: в одній фазі; в трьох фазах. Привести схему для виміру: активної складової потужності; повної потужності.

12.4.4. Відключити заземлення, що встановлене в навантаженні, а вузол  $0_1$  з'єднати з вузлом  $0$  через амперметр. Пояснити показання амперметра.

12.4.5. „Зірку” опорів, в відповідності до правил еквівалентного перетворення „зірки” в „трикутник”, перерахувати в „трикутник” опорів і зібрати схему, що приведена на рис.12.5. Заміряти струми в кожній з фаз (струми лінійного або міжфазного навантаження). Обчислити відповідність між фазними та лінійними напругами.

#### **12.5. Вимоги до звіту**

12.5.1. Побудувати векторні діаграми напруг та струмів в трифазних колах, що досліджувались і привести їх обґрунтування.

12.5.2. Привести результати експериментально отриманих співвідношень між фазними та лінійними струмами і напругами. Обґрунтувати отримані результати.

12.5.3. Привести результати експериментально отриманих показників активних, реактивних, повних потужностей в фазних та лінійних навантаженнях. Побудувати відповідні векторні діаграми.

12.5.4. Порівняти результати експериментальних досліджень з теоретично отриманими результатами.

12.5.5. Пояснити результати заміру струму між двома нейтральми  $0$  і  $0_1$ .

### 12.6. Питання до атестації

12.6.1. Пояснить, що таке симетричний режим.

12.6.1. Пояснить терміни: „фаза”, „симетричне трифазне коло”, „лінійний струм”, „фазний струм”, „нейтраль”.

12.6.2. Визначити кутові співвідношення між фазними напругами симетричної трифазної системи.

12.6.3. Визначити кутові та амплітудні співвідношення між лінійними і фазними напругами симетричної трифазної системи.

12.6.4. Чим визначаються кутові співвідношення між фазними струмами та напругами.

12.6.5. Як обчислити потужність, що споживається симетричним трифазним навантаженням при з'єднанні опорів в „зірку”.

12.6.6. Пояснити співвідношення між фазними та лінійними напругами при з'єднанні навантаження в „зірку”.

12.6.7. Пояснити кутові співвідношення між лінійними і фазними напругами та відповідними струмами при з'єднанні навантаження в „трикутник”.

### 12.7. Задачі

10.7.1. Фазні струми симетричного трифазного споживача на рис.12.7 дорівнюють  $12\text{A}$ . Яким буде струм  $I_{ca}$  після перегорання запобіжника в проводі А?

10.7.2. Визначити опори фаз симетричного трифазного споживача, які з'єднані „трикутником”, якщо відомо що  $I_A=3,4\text{A}$ ,  $U=220\text{В}$  (Рис.12.8).

10.7.3. Як зміняться струми після розмикання ключа в схемі на рис.12.9?

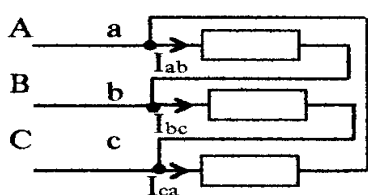


Рис. 12.7.

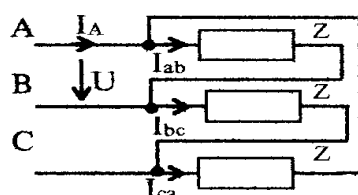


Рис. 12.8.

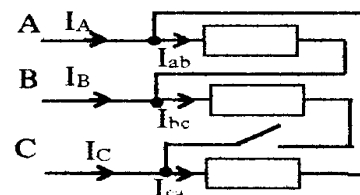


Рис. 12.9.

10.7.4. Визначити, що покаже амперметр, який увімкнено в фазний провід симетричного трифазного споживача, що з'єднано „трикутником”, якщо миттєве значення лінійного струму  $i_A=7,05\sin(314t+40^\circ)\text{A}$ .

10.7.5. Визначити фазні та лінійні струми симетричного трифазного споживача з опором фаз  $190\ \Omega$ , який підімкнули „трикутником” до трифазної симетричної системи лінійних напруг  $380\text{В}$ .

10.7.6. Визначити, що покаже амперметр, який увімкнули в лінійний провід симетричного трифазного споживача, що з'єднано „трикутником”, якщо миттєве значення фазного струму  $i_A=7,05\sin(314t+40^\circ)\text{A}$ .

10.7.7. Чому дорівнює повна потужність симетричного трифазного споживача незалежно від способу його з'єднання.

10.7.8. Чому дорівнює комплекс струму при з'єднанні несиметричного споживача „трикутником”.

12.7.9. Симетричний трифазний споживач з опором фази 5 Ом, який з'єднано „зіркою”, підімкнули до чотириповодної трифазної мережі напругою 380В. Визначити струм в нейтральному проводі.

12.7.10. Симетричний трифазний споживач з опором фази 30 Ом, який з'єднано „зіркою”, підімкнули до симетричної системи напруг. Визначити лінійний струм споживача, якщо миттєве значення лінійної напруги  $u_{AB}=282\sin(314t+30^\circ)$ В.

12.7.11. Симетричний трифазний споживач з опором фази 30 Ом, який з'єднано „зіркою”, підімкнули до симетричної системи напруг. Визначити фазний струм споживача, якщо миттєве значення лінійної напруги  $u_{AB}=282\sin(314t+30^\circ)$ В.

12.7.12. Симетричний трифазний споживач з опором фази 30 Ом, що з'єднано „трикутником”, підімкнули до симетричної системи напруг. Визначити фазний струм споживача, якщо миттєве значення лінійної напруги  $u_{AB}=282\sin(314t+30^\circ)$ В.

12.7.13. Симетричний трифазний споживач з опором фази 30 Ом, який з'єднано „трикутником”, підімкнули до симетричної системи напруг. Визначити лінійний струм споживача, якщо миттєве значення лінійної напруги  $u_{AB}=282\sin(314t+30^\circ)$ В.

12.7.14. Визначити фазні струми та активну потужність симетричного трифазного споживача, що підімкнули „зіркою” до симетричної системи лінійних напруг 415В, якщо відомі опори фаз  $R=14$  Ом,  $X=16$  Ом.

12.7.15. Визначити фазні струми, а також активну потужність симетричного трифазного споживача, який підімкнули „трикутником” до симетричної системи лінійних напруг 600В, якщо відомі опори фаз  $R=87$  Ом,  $X=-43$  Ом.

12.7.16. Визначити лінійні струми, а також активну потужність симетричного трифазного споживача, який підімкнули „трикутником” до симетричної системи лінійних напруг 600В, якщо відомі опори фаз  $R=87$  Ом,  $X=-43$  Ом.

12.7.17. Визначити показ вольтметра, що ввімкнули на лінійну напругу симетричного трифазного споживача, який з'єднано „зіркою”, якщо миттєве значення лінійного струму  $i_A=24\sin(\omega t-30^\circ)$ А, а повний опір фази споживача становить 10 Ом.

12.7.18. Як зміняться струми, якщо перегорить запобіжник? Споживач симетричний (Рис.12.10).

12.7.18. Задані лінійна напруга трифазної мережі та опір симетричного трифазного споживача. Визначте струм в проводі В при згорянні запобіжника в проводі А (Рис.12.10).

12.7.19. Струм симетричного споживача  $I_{cs}=10$ А. Яким буде струм  $I_c$ ? (Рис.12.11).

12.7.20. Струм симетричного споживача  $I_c=34,6$ А. Яким буде струм  $I_{av}$ ? (Рис.12.11).



Рис. 12.10.

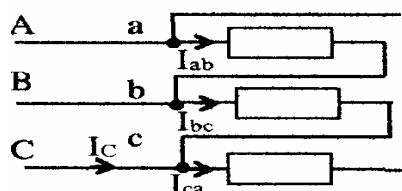


Рис. 12.11.

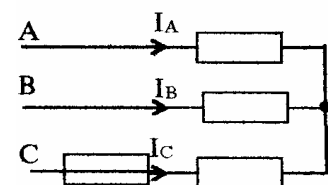


Рис. 12.12.

12.7.21. Задані лінійна напруга трифазної мережі та опір симетричного трифазного споживача. Визначте струм в провіді В при згоранні запобіжника в провіді С (Рис.12.12).

12.7.22. Вказати співвідношення між лінійними і фазними напругами та струмами симетричного трифазного споживача при з'єднанні „трикутником”.

$$1. U_{\text{л}}=U_{\text{ф}}; \quad I_{\text{л}}=\sqrt{3} I_{\text{ф}}. \quad 2. U_{\text{л}}=\sqrt{3} U_{\text{ф}}; \quad I_{\text{л}}=I_{\text{ф}}.$$

12.7.23. Трифазний споживач симетричний, якщо його опори в Омах дорівнюють:

$$\begin{array}{lll} 1. Z_a = 5, & Z_b = 3 + j4, & Z_c = 3 - j4. \\ 2. Z_a = 5, & Z_b = 5e^{-j\frac{2}{3}\pi}, & Z_c = 5e^{j\frac{2}{3}\pi}, \\ 3. Z_a = 5 - j4, & Z_b = 5 - j4, & Z_c = 5 - j4. \\ 4. Z_a = 5, & Z_b = -j5, & Z_c = j5. \end{array}$$

12.7.24. Вказати співвідношення між лінійними і фазними напругами та струмами симетричного трифазного споживача при з'єднанні „зіркою”.

$$\begin{array}{lll} 1. U_{\text{л}}=U_{\text{ф}}; & I_{\text{л}}=\sqrt{3} I_{\text{ф}}. & 2. U_{\text{л}}=\sqrt{3} U_{\text{ф}}; \quad I_{\text{л}}=I_{\text{ф}}. \\ 3. U_{\text{ф}}=\sqrt{3} U_{\text{л}}; & I_{\text{л}}=I_{\text{о}}. & 4. U_{\text{ф}}=\sqrt{2} U_{\text{А}}; \quad I_{\text{ф}}=\sqrt{2} I_{\text{л}}. \end{array}$$

12.7.25. Навантаження складається з трьох однофазних споживачів, активний опір кожного з яких однаковий і дорівнює 50 Ом ( $\cos\varphi = 1$ ), з'єднаних між собою зіркою і приєднаних до джерела, лінійна напруга якого дорівнює 380В, за допомогою трьох фазних і нульового проводів. Визначити фазну напругу і струми. Побудувати векторні діаграми.

12.7.26. До трьохфазного джерела з лінійною напругою 380В і частотою 50Гц під'єднали симетричне навантаження, що з'єднали зіркою, з повним опором в фазі 90 Ом та індуктивністю 180мГн. Визначити діючі значення лінійного струму і напруги. Побудувати векторну діаграму.

12.7.27. В трьохфазну мережу з діючим значенням лінійної напруги 220В і частотою 50Гц ввімкнули споживача, що з'єднано трикутником і має симетричне навантаження, що складається з котушки з індуктивності 0,3Гн і послідовно ввімкненого з нею резистора з активним опором 20 Ом в кожній фазі. Визначити діючу напругу лінійних і фазних струмів.

12.7.28. До джерела трьохфазної напруги з діючим значенням лінійної напруги 380В і частотою 50Гц під'єднали симетричне індуктивне навантаження, з'єднане зіркою. Діюче значення струму в кожній фазі 1,25А,  $\cos\varphi = 0,456$ . Визначити повний і активний опір навантаження та його індуктивність. Побудувати векторну діаграму.

12.7.29. До симетричної трифазної мережі з лінійною напругою 380В підключені три однакові приймача, що з'єднані по схемі „зірка”, з нульовим

проводом. Активний і реактивний опір кожного приймача дорівнюють, відповідно, 3 Ом та 4 Ом. Визначити струми в фазах і в нульовому проводі. Побудувати векторну діаграму.

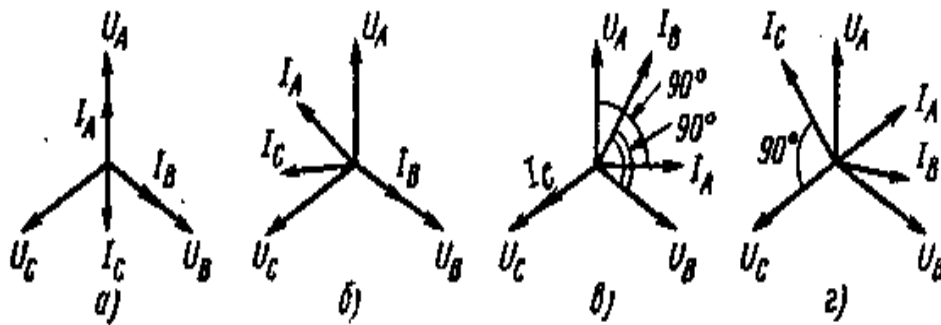


Рис. 12.13.

12.7.29. На рисунку 12.13 представлені векторні діаграми струмів і напруг для споживачів енергії, що з'єднані по схемі „зірка” і ввімкнені в трьохфазну чотирьохпровідну мережу. Визначити характер навантаження в кожній фазі.

### 12.8. Додаток

Таблиця варіантів до лабораторної роботи.

Номер варіанту	$E_{A, B, C}$ В	$R_{A, B, C}$ Ом	$\cos\varphi$
1	10	0,001	50
2	20	0,002	60
3	30	0,003	70
4	40	0,004	80
5	50	0,005	90
6	55	0,006	95
7	60	0,007	100
8	65	0,008	200
9	70	0,009	300
10	75	0,001	400
11	80	0,002	500
12	85	0,003	600
13	90	0,004	700
14	95	0,005	800
15	10	0,002	60