

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Основи електрики та електроніки, електричні
вимірювання та їх стандартизація»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

за темою № 13 - Вироблення змінного струму та його основні параметри

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1

Розробник: викладач циклової комісії Авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, спеціаліст вищої категорії, Юрко О.О.

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

План лекції:

1. Вироблення змінного струму.
2. Основні параметри синусоїдального струму.
3. Трифазна система змінного струму.
4. З'єднання споживачів зіркою та трикутником.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна:

1. Болюх В. Ф., Данько В. Г., Гончаров Є. В. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки. Харків: Планета-Прінт, 2019. 248 с.
2. Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якименко Ю. І. Напівпровідникові прилади: Підручник. Київ: ІВЦ Видавництво "Політехніка", 2003. 338 с.
3. Кармазін В.В., Семенець В.В. Курс загальної фізики. Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ: Кондор, 2016. 786 с.
4. Коваль Ю. О., Гринченко Л. В., Милютченко І. О., Рибін О. І. Основи теорії кіл. Ч. 1. Харків: Компанія СМІТ, 2008. 432 с.
5. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Теорія і практикум: навч. посіб. Київ: Каравела, 2004. 432 с.
6. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 133 с.

Допоміжна:

1. Андріяшик М. В., Вербицький Б. І., Король А.М. Курс фізики. Київ: Фламенко, 2008. 530 с.
2. Готра З. Ю., Лопатинський І. Є., Лукіянець Б. А., Микитюк З. М., Петрович І. В. Фізичні основи електронної техніки: Підручник. Львів: Видавництво "Бескид Бит", 2004. 880 с.
3. Гумен Б. М., Гуржій А. М., Співак В. М. Основи теорії електричних кіл: у 3 кн. Київ: Вища шк., 2003.
4. Дмитрієва В. Ф. Фізика: Навч. посіб, Київ: Техніка, 2008. 648 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <https://www.youtube.com/channel/UCWfhBu4fAt126ZbxREz3IBw>

Текст лекції

1. Вироблення змінного струму.

На практиці частіше використовують енергію змінного струму ніж постійного. Переваги використання змінного струму у порівнянні з постійним полягають насамперед у тому, що електроенергію можна передавати на далекі відстані при значно вищій напрузі, а це економічно вигідно. Тобто змінний струм можна трансформувати. Електродвигуни та генератори змінного струму компактніші і мають кращий ККД.

Змінним називають такий струм, величина та напрям протікання якого змінюються з часом. Змінний струм, який використовується в промисловості, побуті і т. д. є такий, що змінюється в часі за синусоїдним законом і виробляється генераторами змінного струму. Його будову у спрощеній формі зображено на рис. 1. Основні складові спрощеної моделі генератора: постійний магніт, обертова рамка $k1, k2$; контактні кільця $K1, K2$ і щітки $Щ1, Щ2$. У рамці, що обертається в магнітному полі, змінюється величина магнітного потоку, що проходить через її площину. Якщо рамка перпендикулярна до силових ліній, то $\alpha = 0$ (рис. 3, б) і потік Φ – максимальний $\Phi = \Phi_{\max}$. При повороті рамки величина потоку зменшується:

$$\Phi = \Phi_{\max} \cos \alpha$$

Якщо рамка обертається рівномірно з кутовою швидкістю ω та має початкову фазу φ_e , то $\alpha = \omega t + \varphi_e$, а магнітний потік змінюється у часі:

$$\Phi = \Phi_{\max} \cos(\omega t + \varphi_e)$$

За законом електромагнітної індукції (закон М. Фарадея - 1831р.) створюється змінна ЕРС індукції, що дорівнює швидкості зміни магнітного потоку:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Phi_{\max} \cos(\omega t + \varphi_e)}{dt} = \omega \Phi_{\max} \sin(\omega t + \varphi_e) = E_{\max} \sin(\omega t + \varphi_e)$$

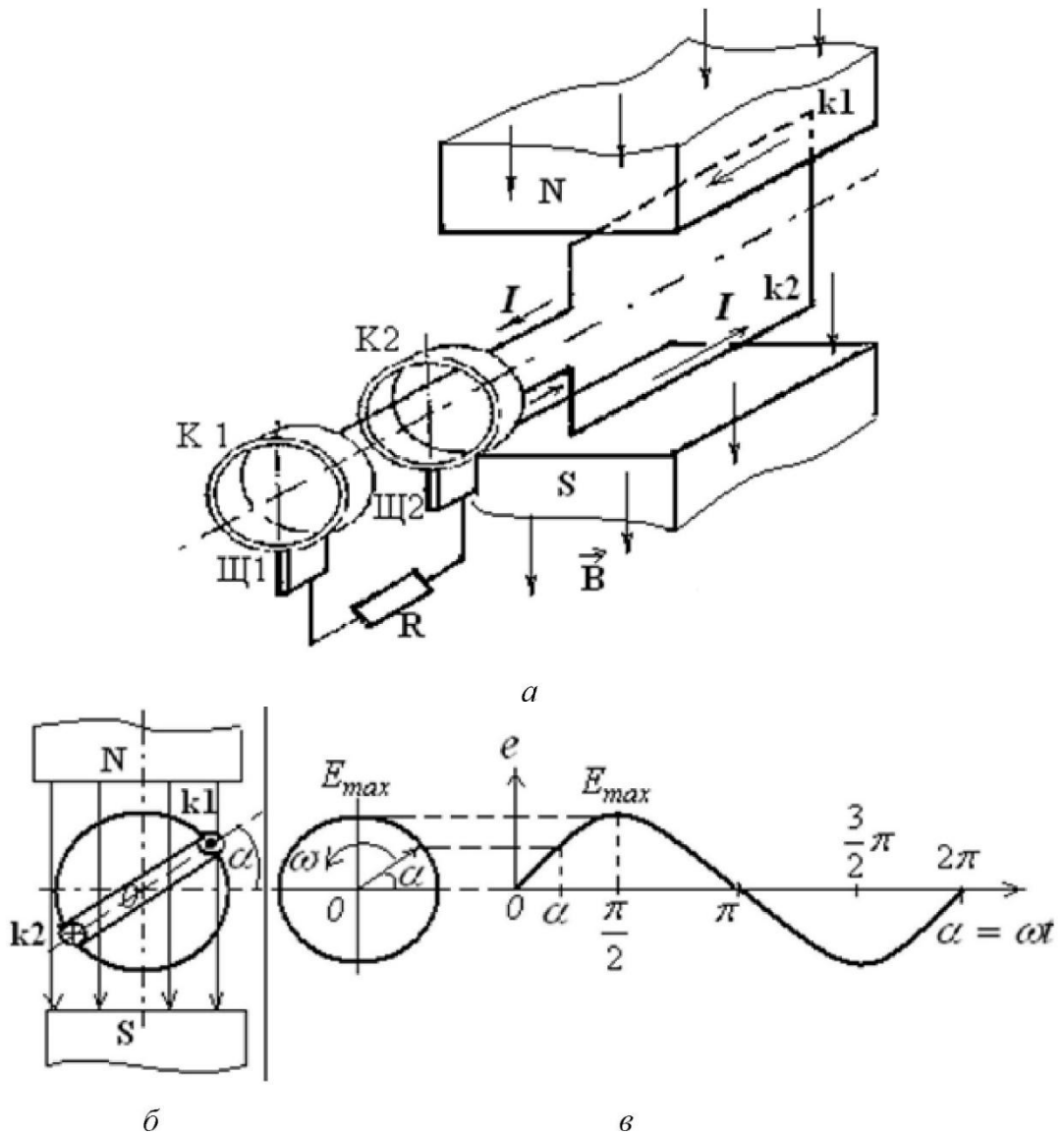


Рисунок 1 – Схема генератора змінного струму та графічне зображення характеру ЕРС і струму, що виникають у рамці.

Отже, при обертанні рамки, при її вертикальному розташуванні буде індукуватися найбільше значення ЕРС, а при горизонтальному положенні ЕРС дорівнюватиме нулю. Напрямок індукованого струму можна визначити за правилом правої руки.

В загальному вигляді останні вирази набудуть такого вигляду:

$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi); e = E_{\max} \sin(\omega t + \varphi); u = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$$

Отже, кожна електрична величина, яка змінюється за законом синуса, характеризується амплітудою E_{\max} , I_{\max} , U_{\max} , фазою $\omega t \pm \varphi$, початковою фазою φ , циклічною частотою ω .

2. Основні параметри синусоїдального струму.

Діюче, ефективне або середньоквадратичне значення у випадку синусоїдального струму:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_m.$$

Діючим (ефективним) значенням змінного струму називають таке значення постійного струму, при якому на однаковому активному опорі кола за той самий час виділиться така сама кількість енергії, що й при змінному. Діючі значення сили струму, напруги та Е.Р.С. позначають прописними латинськими літерами без індексів - I , U , E , а їх числове значення можна записати так:

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}; U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}; E = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}.$$

Зауважимо, що електровимірювальні прилади градуують у діючих значеннях згаданих величин.

Трифазною системою змінного струму називають систему трьох змінних ЕРС однакової частоти та амплітудних значень, зсунутих за фазою на 120° , створених одним джерелом енергії; лінію електропередач і споживачі електроенергії.

3. Трифазна система змінного струму

Створення трифазного змінного струму здійснюється за допомогою трифазного генератора електричної енергії, схематично зображеного на рис. 2.

Генератор складається з ротора і статора. Ротор є джерелом магнітного поля і являє собою систему постійних магнітів (на рисунку постійний електромагніт), що живляться від джерела постійного струму. Статор, як і ротор, виготовляють з електромагнітної сталі, що має високу магнітну проникність та малі втрати на перемагнічування. У середині статора (в пазах магнітопроводу циліндричної форми) розташовані три однакові котушки (обмотки), ізольовані одна від одної і розташовані по колу під кутом 120° . Обмотки статора іноді називають фазами, кожна із яких має початок та кінець, і на схемах відповідно позначені великими літерами А, В, С та Х; Y; Z.

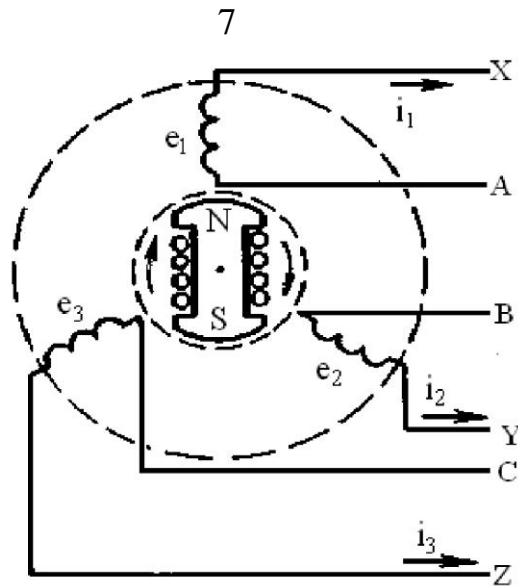


Рисунок 2 – Будова трифазного генератора змінного струму

Якщо ротор генератора обертати рівномірно з кутовою швидкістю ω за годинниковою стрілкою, то в котушках буде індукуватися ЕРС, миттєві значення яких відповідно дорівнюють:

$$\begin{aligned} e_1 &= E_m \sin \omega t; \\ e_2 &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ); \\ e_3 &= E_m \sin(\omega t - 240^\circ). \end{aligned}$$

Генератор, споживачі та лінія електропередач утворюють трифазну (багатофазну) систему. ЕРС трифазної системи можна зобразити графічно та у вигляді векторної діаграми (рис. 2 а, б).

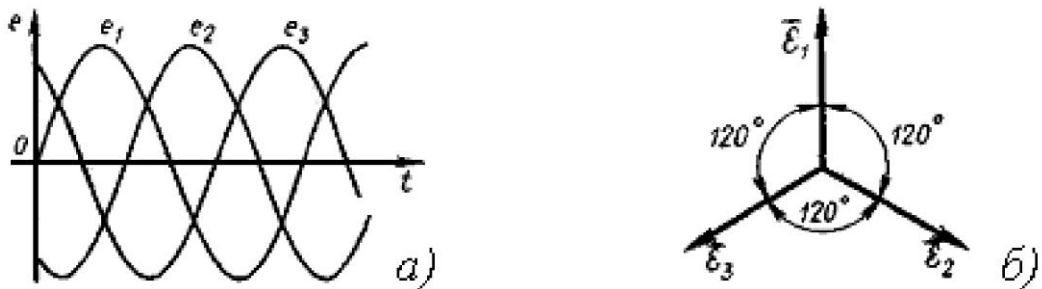


Рисунок 3 – Хвильова(а) та векторна (б) діаграми змінного струму.

У симетричних трьохфазних системах амплітудні значення напруг, ЕРС та струмів у всіх фазах однакові, а їх миттєві значення зсунуті за фазою на одну третю періоду $T/3$ або $2\pi/3$ радіан.

Багатофазну систему називають симетричною, якщо всі ЕРС (напруги, струми) однакові за величиною і кожна із них відстає (або випереджує) за фазою від попередньої на однаковий кут. Якщо ж не задовольняються ці умови, то система ЕРС (напруг, струмів) не симетрична.

4. З'єднання споживачів зіркою та трикутником.

У зв'язаній трифазній симетричній системі провідники Аа, Вв, Сс - називають лінійними проводами, а провідник Оо - нульовим проводом (рис. 4).

Миттєві значення струмів у кожній фазі будуть змінюватись за законами:

$$i_A = I_{mA} \sin \omega t, \quad i_B = I_{mB} \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right), \quad i_C = I_{mC} \sin \left(\omega t - \frac{4}{3} \pi \right).$$

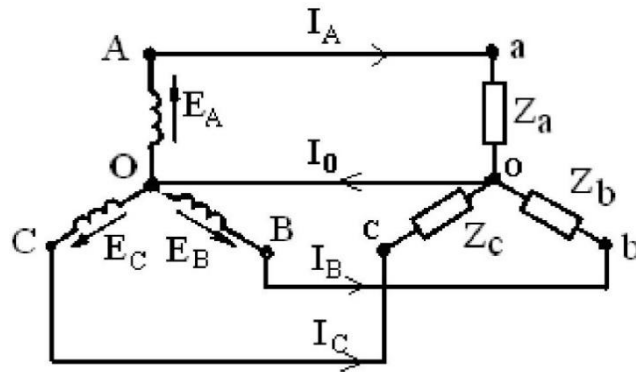


Рисунок 4 – З'єднання “зіркою”

Таке з'єднання називають “зіркою”. Можна обійтись і без нульового проводу, якщо навантаження симетричне. При цьому будемо мати трьохпровідну систему.

З'єднання споживачів “зіркою” називають таким, коли кінці споживачів з'єднуються (разом) в один вузол, а їх початки під'єднують до лінійних проводів трифазної системи (рис. 5).

Струми в лінійних провідниках називають лінійними, тобто $I_A, I_B, I_C \rightarrow I_L$.

Струми, що протікають у навантаженнях, називають фазними $I_A, I_B, I_C \rightarrow I_\phi$. При з'єднанні споживачів “зіркою” очевидно $I_\phi = I_L$.

Напруги між лінійними проводами $U_{AB}; U_{BC}; U_{CA}$ називають лінійними, а спади напруг на споживачах (напруги між лінійними проводами і нульовою точкою) $U_a; U_b; U_c$ називають фазними. При симетричному навантаженні діючі

значення фазних напруг і струмів рівні: $U_a = U_b = U_c = U_\phi; I_a = I_b = I_c = I_\phi$.

Розглянемо окремі контури трифазної системи, що зображена на рис. 5. Запишемо рівняння другого закону Кірхгофа для контурів ОАао; ОВво; ОСсо :

$$U_{AB} = U_a + (-U_b)$$

$$U_{BC} = U_b + (-U_c);$$

$$U_{CA} = U_c + (-U_a)$$

За цими рівняннями побудуємо векторну діаграму для симетричного навантаження (рис. 5).

Розглянувши рівнобедрені трикутники векторної діаграми, можна вирахувати залежність між лінійними і фазними значеннями струмів та напруг:

$2U_\phi \cos 30^\circ = U_L$; $U_L = 2U_\phi \sqrt{3}/2 = \sqrt{3} U_\phi$. Рівність лінійних і фазних струмів є очевидним, так як і фазний і лінійний струм є струмом однієї вітки.

Отже при з'єднанні споживачів зіркою: $U_L = \sqrt{3} U_\phi$; $I_L = I_\phi$.

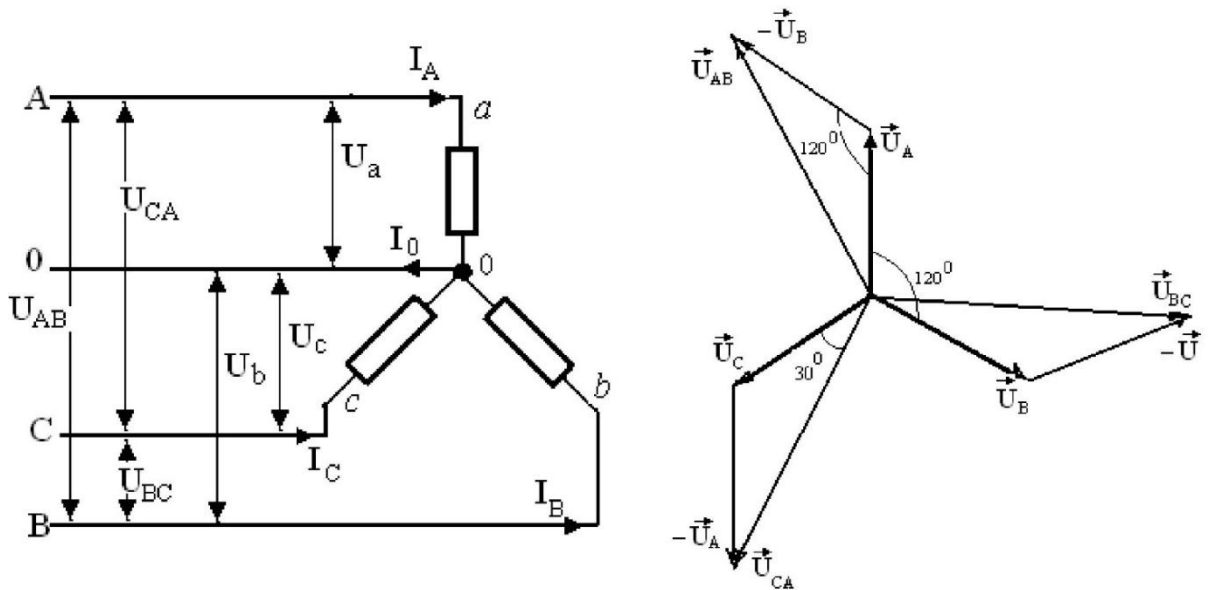


Рисунок 5 – З'єднання споживачів зіркою та векторна діаграма.

При симетричному навантаженні струми у всіх резисторах однакові. Отже струм у нульовому проводі відсутній - $I_0 = 0$.

З'єднання споживачів трикутником називають таким, коли кінець першого споживача приєднується до початку другого, кінець другого до початку третього, кінець третього до початку першого і вказані точки приєднують до лінійних проводів (рис. 6).

Очевидно напруги U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} та U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} рівні між собою, тобто $U_L = U_\phi$.

Для знаходження співвідношення між лінійними I_A , I_B , I_C та фазними I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} струмами запишемо рівняння I закону Кірхгофа у трьох вузлах а, в та с: $I_A = I_{ab} - I_{ca}$; $I_B = I_{bc} - I_{ab}$; $I_C = I_{ca} - I_{bc}$.

Векторну діаграму діючих значень струмів та напруг зображено на рис. 6. Її розпочинають будувати з лінійних та фазних напруг, які рівні між собою: $U_L = U_\phi$.

Потім відкладають фазні струми. Залежно від характеру навантаження фазний струм може співпадати з напругою при активному, відставити від неї при індуктивному та випереджати при ємнісному навантаженнях.

Співвідношення між лінійними та фазними струмами можна визначити із рівнобедрених трикутників, що зображені на діаграмі, сторонами яких є фазні та лінійні струми.

Отже при з'єднанні споживачів трикутником:
$$U_L = U_\phi, I_L = \sqrt{3}I_\phi$$

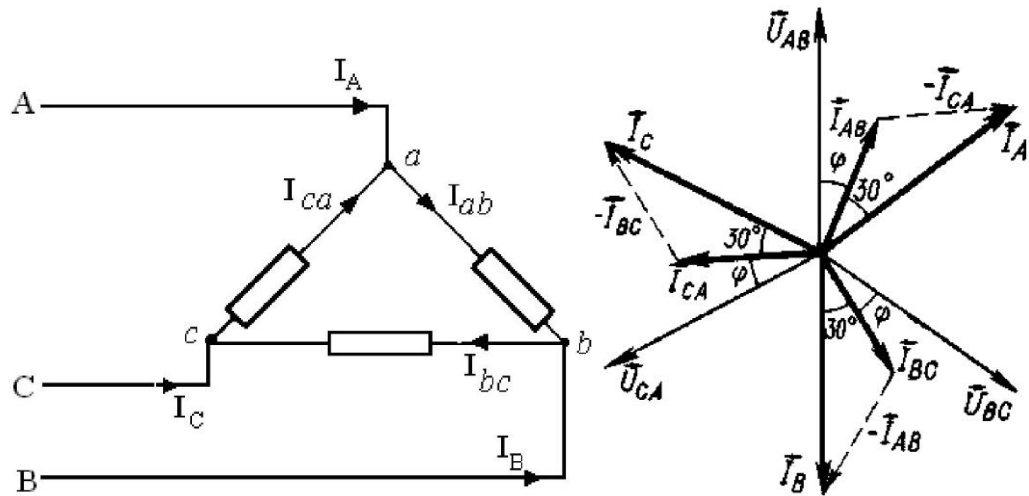


Рисунок 6 – З'єднання споживачів трикутником та векторна діаграма.

Проте, якщо один і той же споживач спочатку з'єднати «зіркою», а потім «трикутником», то споживана потужність матиме різні значення.

Співвідношення між потужностями, що споживаються навантаженнями

при з'єднанні їх спочатку «зіркою», а потім «трикутником»:

$$\frac{P_m}{P_\Delta} = 3.$$

Отже, якщо приєднати один і той же споживач до електромережі спочатку «трикутником», а потім «зіркою», то споживана потужність зміниться втричі.