

# ТРИФАЗНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ

- Основни понятия и определения
- Видове трифазни вериги
- Начини на свързване в трифазните вериги
- Мощности

# 1. Основни понятия и определения

Дефиниции:



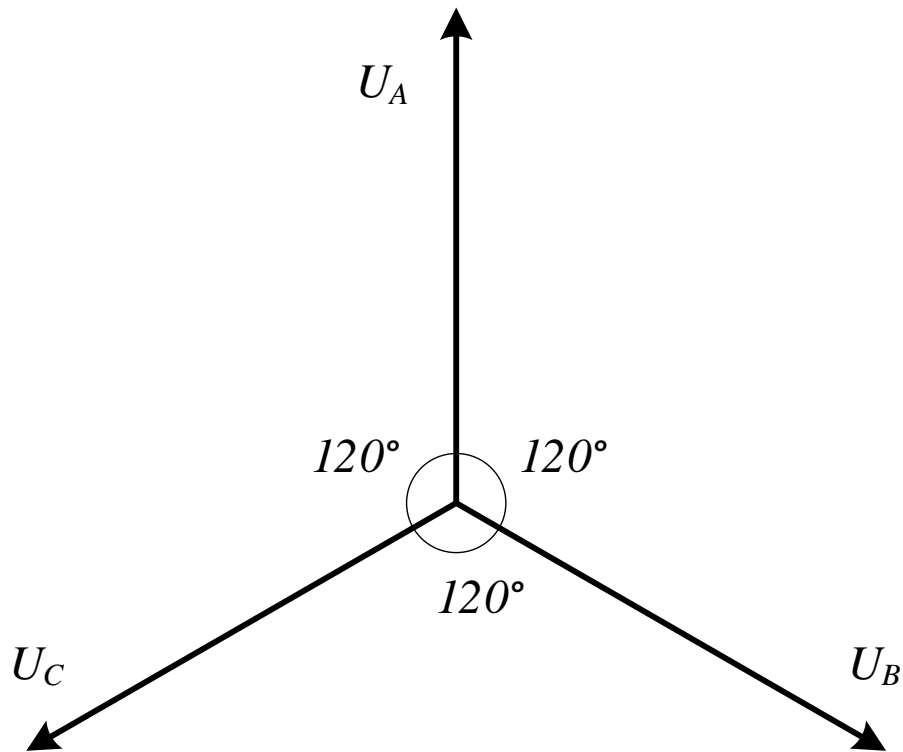
- Трифазна система от синусоидално изменящи се във времето електрически величини
- Симетрична трифазната система от синусоидално изменящи се величини
- Несиметрична трифазната система от синусоидално изменящи се величини

Изобразяване на симетрична трифазна система от е.д.н. :

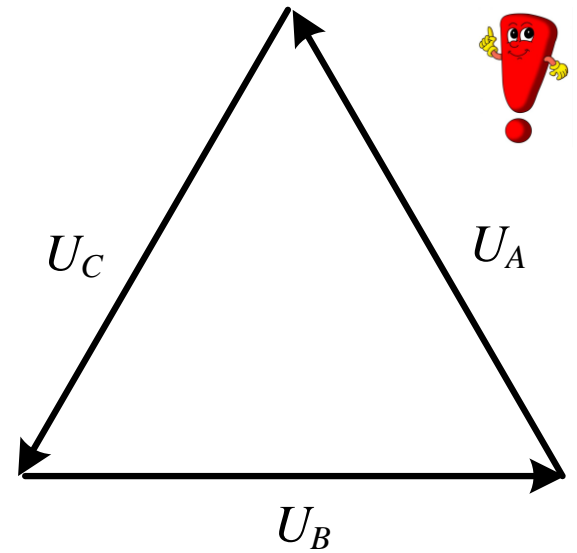
- аналитично

$$\begin{aligned} e_A &= E_{Am} \cdot \sin(\omega.t) \\ e_B &= E_{Bm} \cdot \sin\left(\omega.t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ e_C &= E_{Cm} \cdot \sin\left(\omega.t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned}$$

- изобразяване чрез вектори

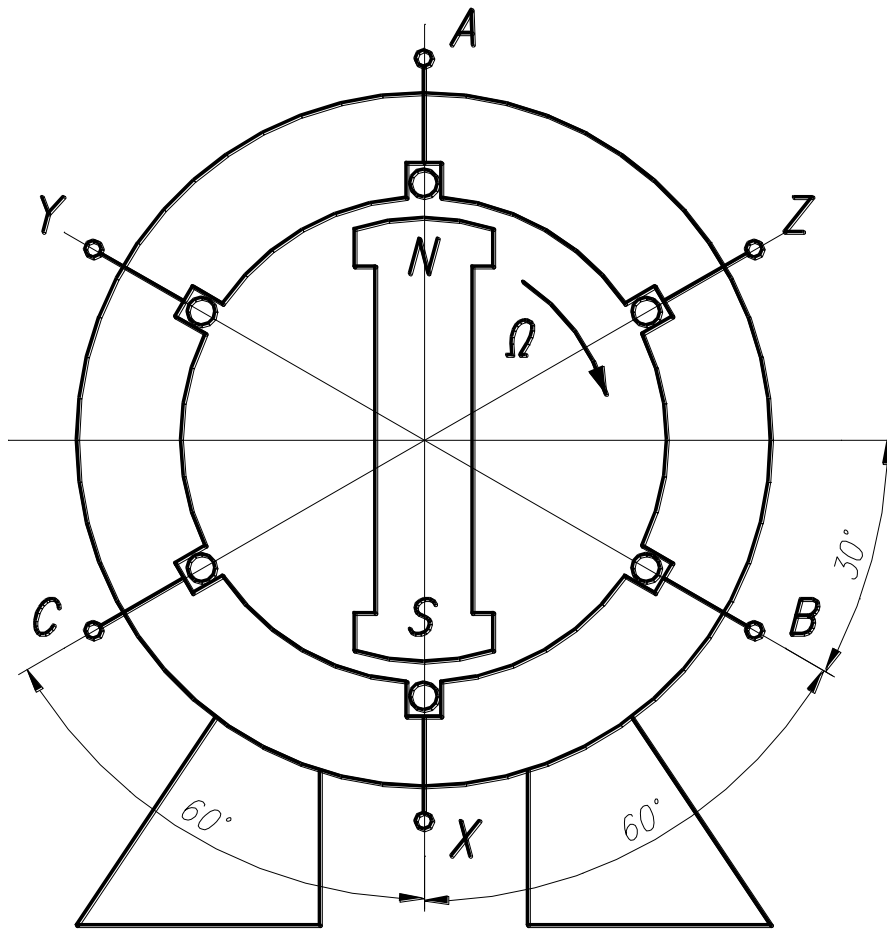


или



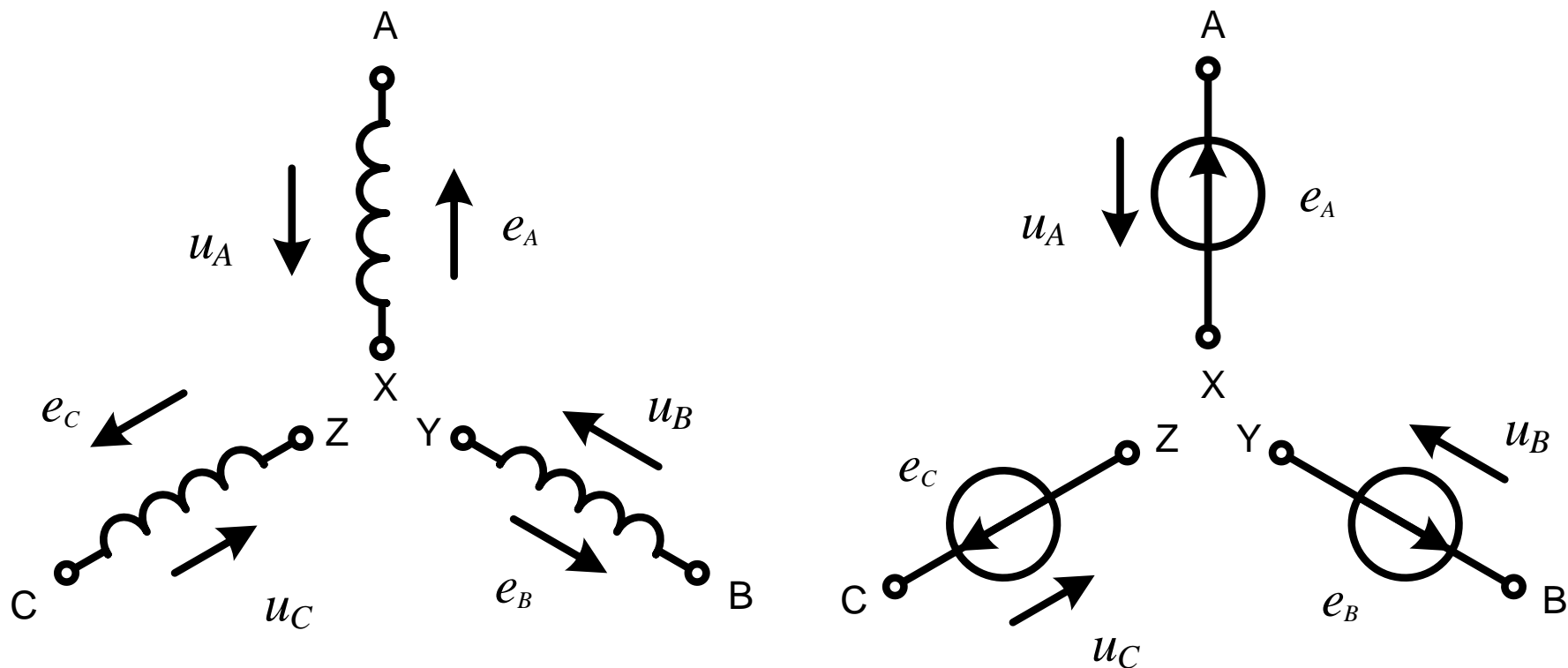


## Трифазен източник - дефиниция

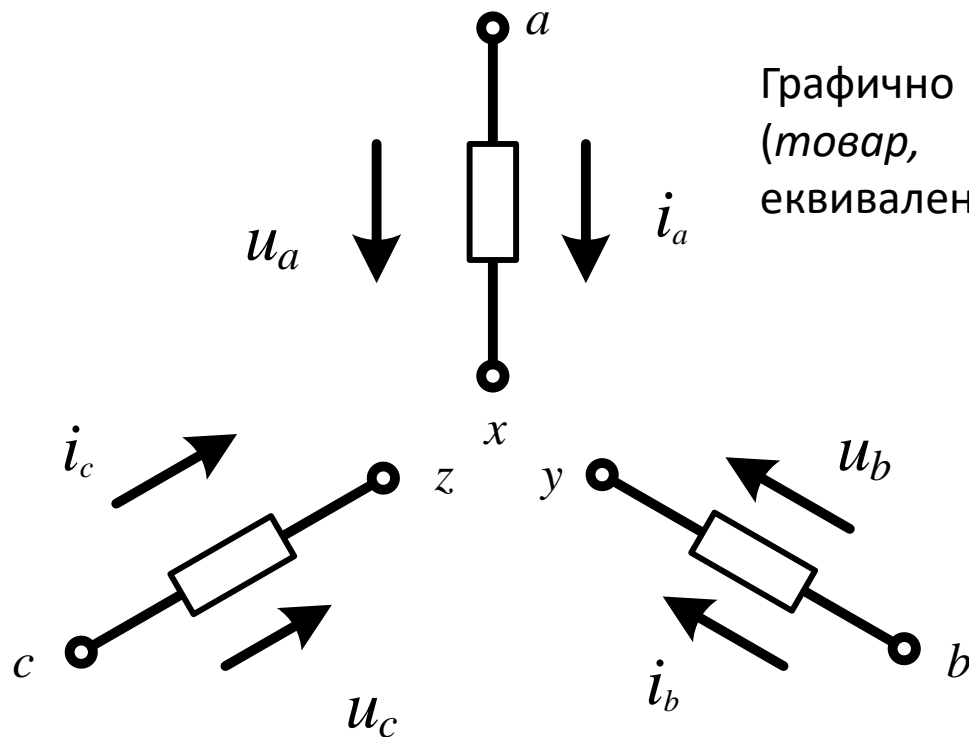


Симетрична трифазна система от е.д.н.  
се индукира в намотките на трифазен  
променливотоков (синхронен) генератор.

Графичните означения на трите намотки на трифазен генератор, използвани в еквивалентните електрически схеми, са показани по-долу.



Двата извода на всяка фаза не са равностойни. Единият е **начало**, а другият е **край**.



Графично означение на трифазен консуматор (товар, потребител), използвано в еквивалентните електрически схеми.



**Трифазна електрическа верига** – съвкупност от трифазен източник, трифазен консуматор и предавателните линии.

Във всяка трифазна електрическа верига началата на източника и консуматора се свързват. Проводниците се наричат **линейни**.

**2. Видове трифазни вериги** – според броя на проводниците, които свързват източник и консуматор

Ако веригата само **3 линейни проводника**, то тя е **трипроводна**. Маркировката на линейните проводници – **L1, L2, L3**.

В някои случаи е възможно и много полезно да има и четвърти спомагателен проводник, който се нарича **неутрален (нулев)**. Когато го има, веригата е **четирипроводна**. Маркировката на нулевия проводник – **N**. Когато нулев и защитен проводник са обединени, маркировката е **PEN**.

Съществуват и **петпроводни трифазни електрически вериги – за безопасност!**

Тогава маркировката на нулев проводник – **N**, маркировката на защитен – **PE** (нулев и защитен са отделни проводници).

## 2.1. Видове токове и напрежения в трифазните вериги

**А)** В трифазните вериги се различават следните напрежения:

**а) фазни напрежения**

- ✓ За източника:  $U_A, U_B, U_C$
- ✓ За консуматора:  $U_a, U_b, U_c$

**б) линейни напрежения** – напрежения между два линейни проводника (имат два индекса)

- ✓ За източника:  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$
- ✓ За консуматора:  $U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}$

**Б)** В трифазните вериги се различават следните токове:

**а) фазни токове** – протичат през съответните фази

- ✓ За източника:  $i_A, i_B, i_C$  – посоката им е от край към начало
- ✓ За консуматора:  $i_a, i_b, i_c$  – посоката им е от начало към край

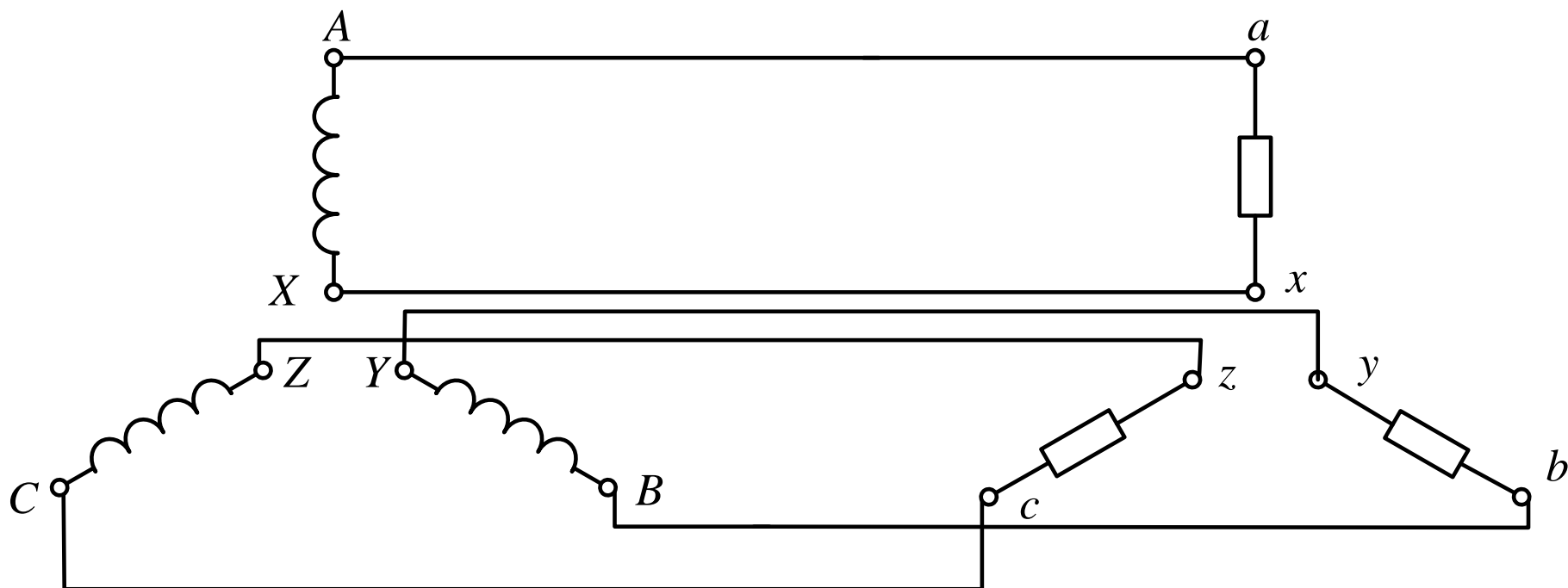
**б) линейни токове** – протичат по линейните проводници

$$i_{Aa}, i_{Bb}, i_{Cc}$$



### 3. Начини на свързване при трифазните вериги

#### 3.1. Несвързана трифазна електрическа верига

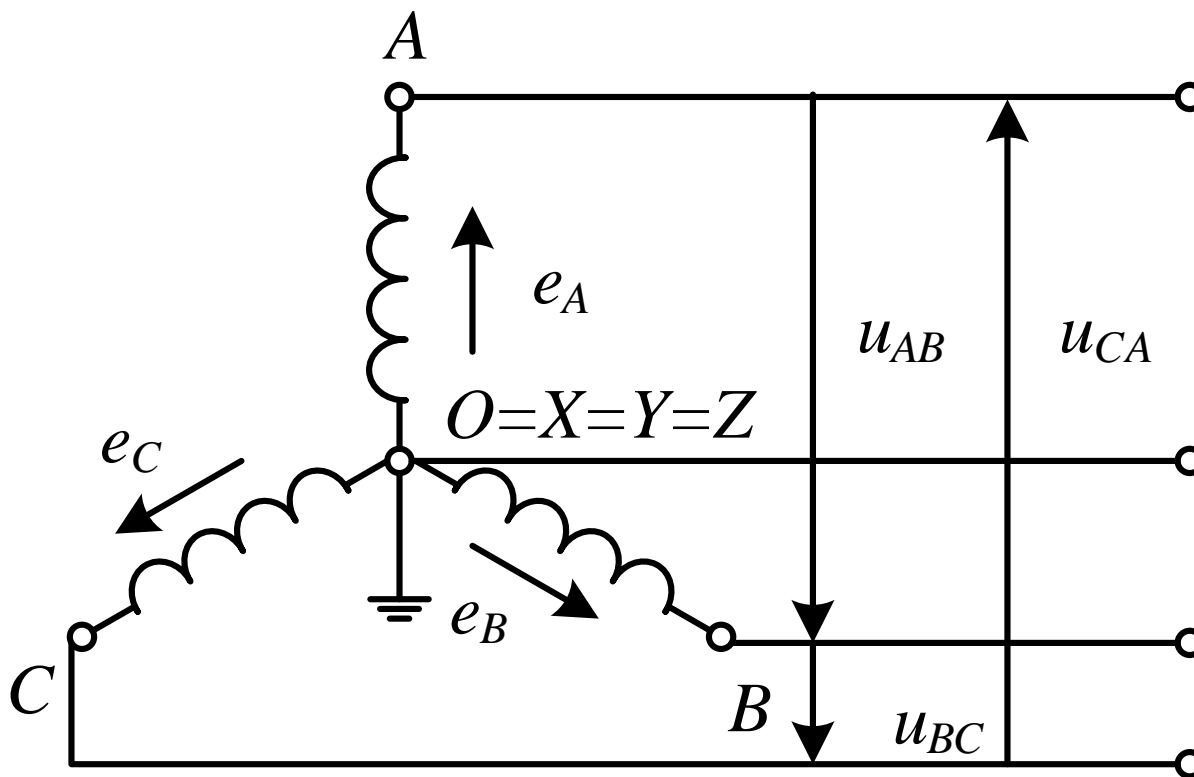


### 3.2. Свързана трифазна електрическа верига

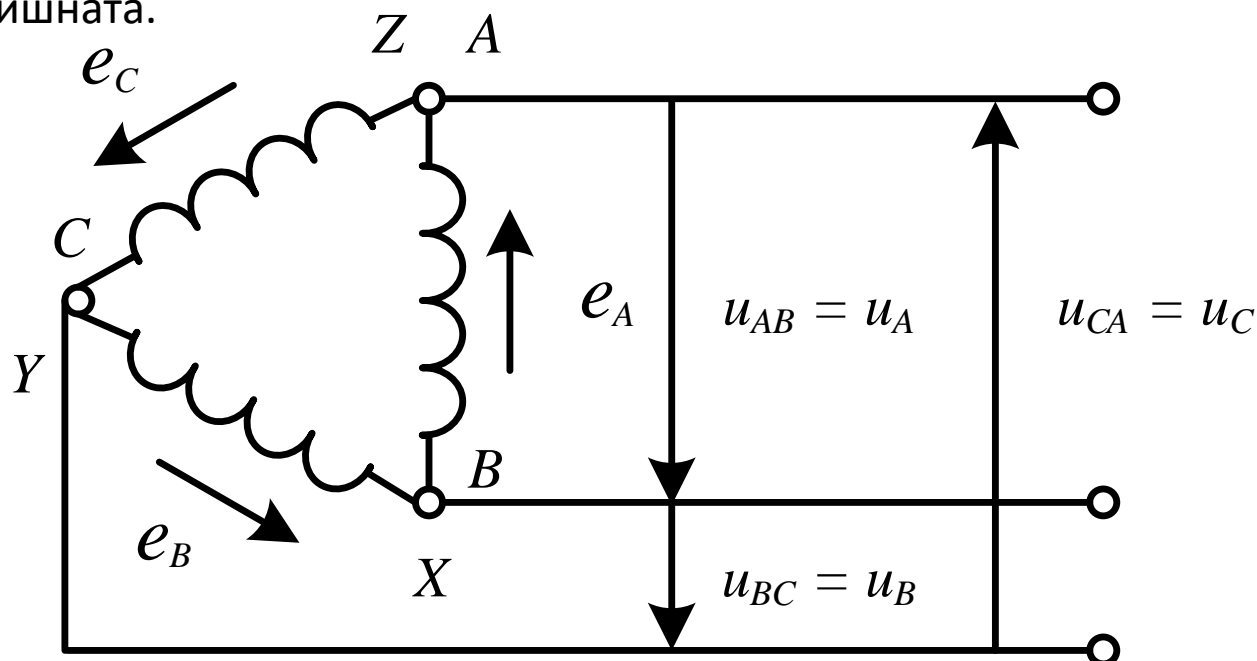
Недостатъка на несвързаните електрически вериги се избягва при така наречените **свързани трифазни електрически вериги**.

Възможните начини за свързване са:

**а) свързване „звезда“**  $Y$  – когато краищата на всички фази са свързани в една обща точка, наричана **звезден център (нулева точка, неутрала)**.



**б) свързване „триъгълник“  $\Delta$**  – когато началото на всяка следваща фаза е свързано с края на предишната.



**ВАЖНО!** В практиката фазите на **генератора** се свързват само в „звезда“, тъй като присвързване в „триъгълник“ и най-малката несиметрия в е.д.н. предизвиква протичане на значителни токове в затворения контур, образуван от фазите на генератора.

**Консуматорите** могат да се свързват както в „звезда“, така и в „триъгълник“.

При принципния анализ на трифазни електрически вериги, с цел опростяване на анализа, се правят следните допускания:

- ✓ Системата е.д.н. на източника се счита за симетрична.
- ✓ Собствения импеданс на източника се пренебрегва  $Z_I \rightarrow 0$ , т.е.

$$E_A \equiv U_A; E_B \equiv U_B; E_C \equiv U_C$$

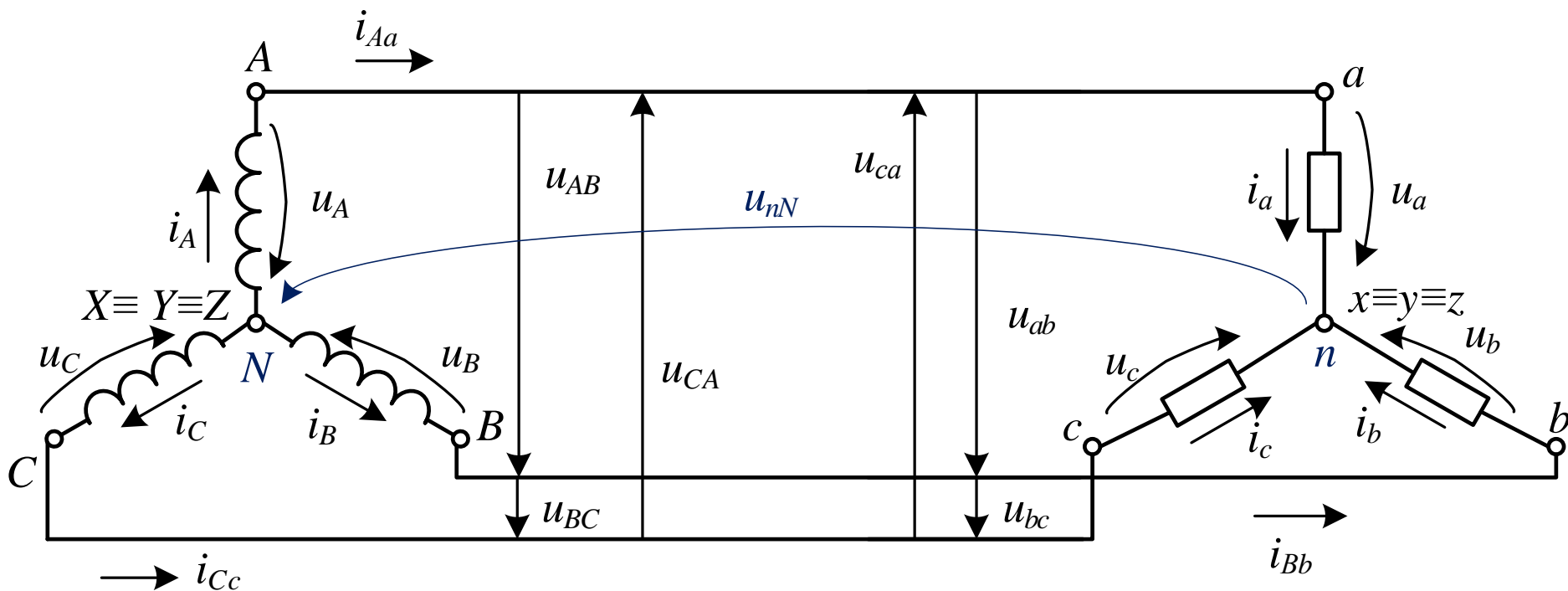
- ✓ Импеданса на линейните проводници се пренебрегва  $Z_L \rightarrow 0$

#### 4. Свързване на консуматора в „звезда“ (трифазната верига е свързана „звезда – звезда“)



При свързване на консуматора в „звезда“  $\Upsilon$  веригата може да бъде **трипроводна** или **четирипроводна**.

##### 4.1. Трипроводна трифазна верига



Източник:

- ✓ Фазни напрежения:  $u_A, u_B, u_C$
- ✓ Линейни напрежения:  $u_{AB}, u_{BC}, u_{CA}$
- ✓ Фазни токове:  $i_A, i_B, i_C$

Консуматор:

- ✓ Фазни напрежения:  $u_a, u_b, u_c$
- ✓ Линейни напрежения:  $u_{ab}, u_{bc}, u_{ca}$
- ✓ Фазни токове:  $i_a, i_b, i_c$

Линейни токове:  $i_{Aa}, i_{Bb}, i_{Cc}$

## А) фазни и линейни напрежения

### а) фазни и линейни напрежения за източника

Ако за контура, образуван от фаза **A**, фаза **B** и напрежението  $U_{AB}$ , се запише **II закон на Кирхоф**, се получава:

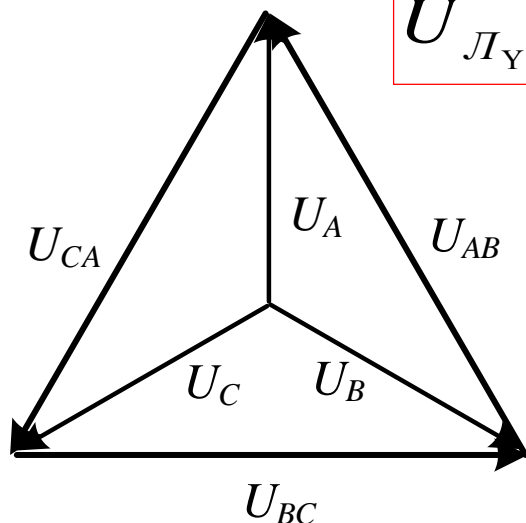
$$U_{AB} + U_B + U_A = 0 \quad \text{следователно} \quad U_{AB} = U_A - U_B$$

аналогично и за другите контури:

$$U_{BC} = U_B - U_C$$

$$U_{CA} = U_C - U_A$$

Следователно векторите на трите линейни напрежения образуват равностранен триъгълник.



$$U_{L_Y} = \sqrt{3} \cdot U_{\Phi_Y}$$



При трифазната електрическа мрежа НН в нашата страна е в сила

$$U_L / U_\Phi = 400 / 230 \text{ , V}$$



**Системата фазни и линейни напрежения на трифазните генератори винаги е симетрична, което се осигурява от тяхното конструктивно изпълнение.**

**б) фазни и линейни напрежения за консуматора**

Ако за контура, образуван от **фаза A, фаза a** и **напрежението  $u_{nN}$** , се запише II закон на Кирхоф, се получава:

$$u_{nN} - u_A + u_a = 0 \quad \text{следователно} \quad u_a = u_A - u_{nN}$$

аналогично и за другите контури:

$$u_b = u_B - u_{nN}$$

$$u_c = u_C - u_{nN}$$

Тук се разглеждат два случая:

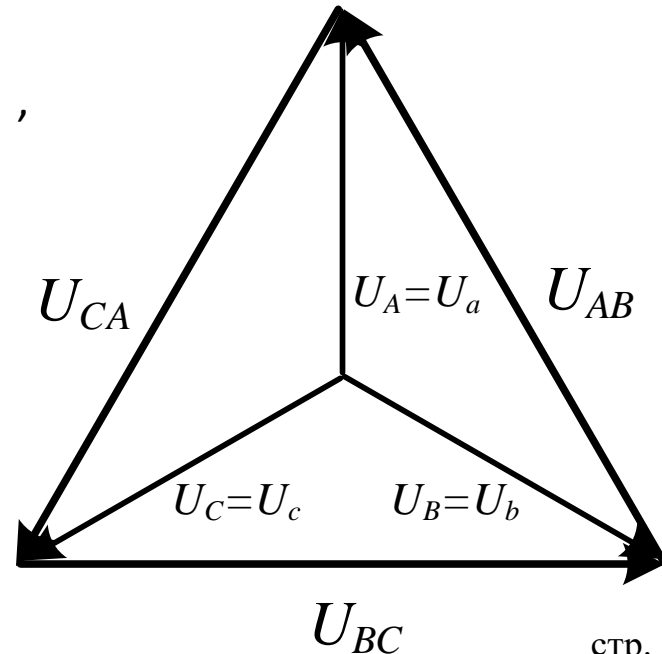
✓ **1-ви случай:** Ако товара е **симетричен**, т.е.  $Z_a = Z_b = Z_c$ , то напрежението

$$u_{nN} = 0,$$

Тогава  $u_a = u_A$ ,  $u_b = u_B$ ,  $u_c = u_C$ ,

т.е. фазните напрежения на консуматора съвпадат с фазните напрежения на източника.

Следователно **системата фазни напрежения на консуматора е симетрична**.

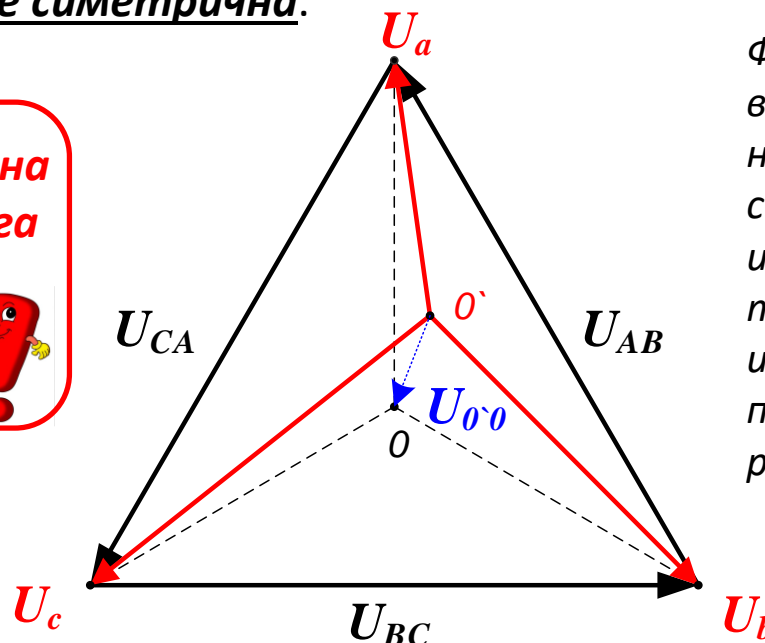




✓ **2-ри случай:** Ако товара е **несиметричен**, т.е.  $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$ , то напрежението  $u_{nN} \neq 0$ . Следователно системата фазни напрежения на консуматора не е симетрична.

Това е **недопустимо!**

**Следователно използването на трипроводна трифазна верига е позволено, ако е сигурно, че товара е симетричен!**



Фазните напрежения вследствие на несиметричния товар стават несиметрични и между звездните точки на консуматора и на източника се получава потенциална разлика.

## Б) токове

Тъй като от схемата е очевидно, че **фаза А, първия линеен проводник е фаза а** са свързани последователно, то  $i_a = i_{Aa} = i_A$

Аналогично

$$i_b = i_{Bb} = i_B$$

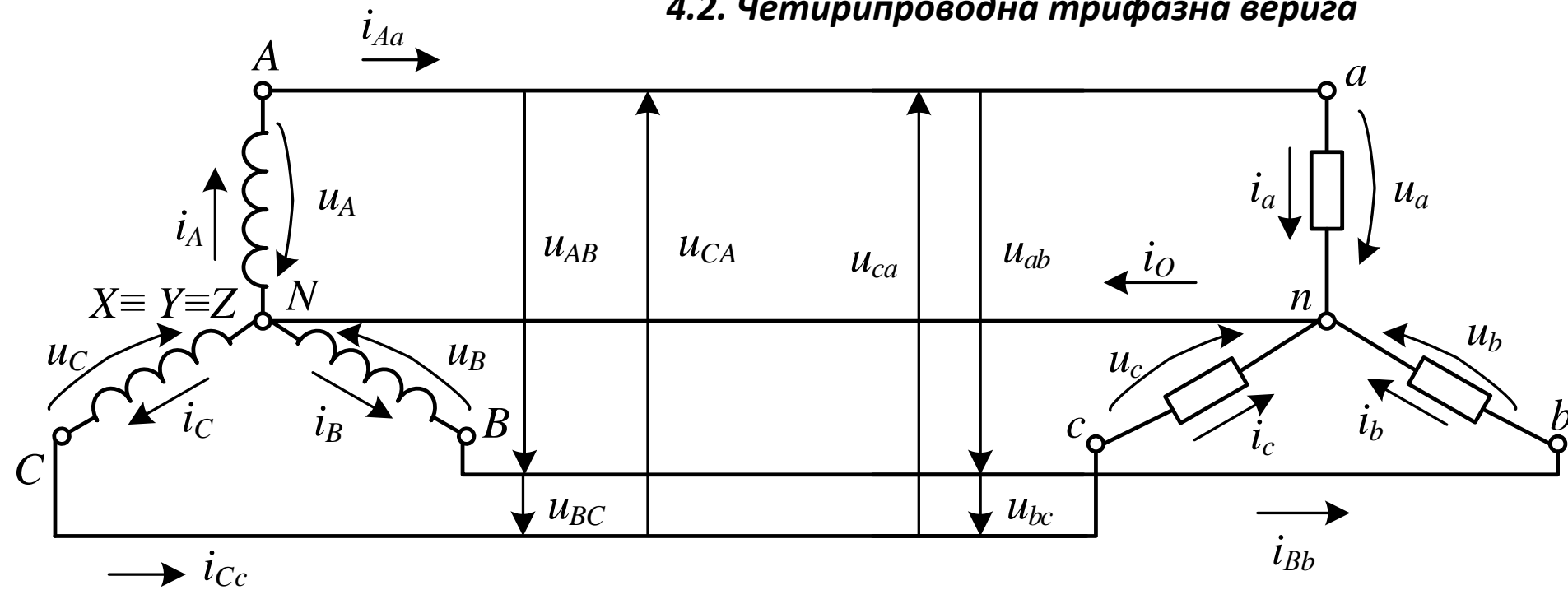
$$i_c = i_{Cc} = i_C$$

Следователно

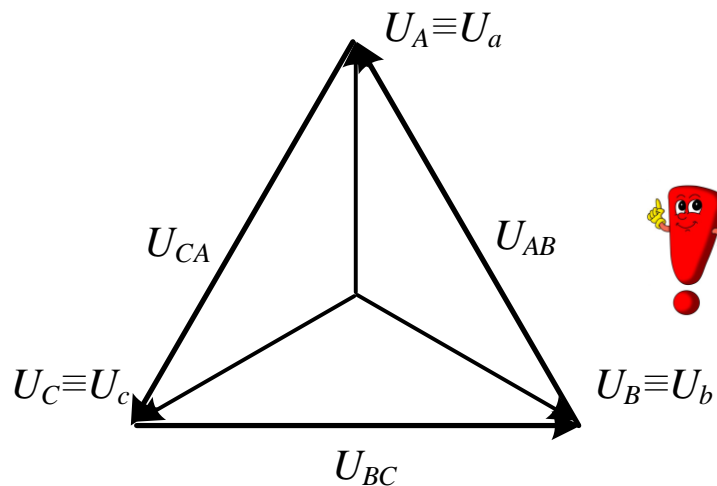
$$I_{LY} = I_{\Phi Y}$$



## 4.2. Четирипроводна трифазна верига



A) напрежения



При четирипроводна трифазна верига четвъртият проводник (свързващ  $n$  и  $N$ )

ще направи напрежението  $u_{nN} = 0$ .

$$U_{\text{Л}_Y} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{Ф}_Y}$$

При четирипроводна трифазна верига фазните напрежения на консуматора съвпадат с фазните напрежения на източника безусловно (т.е. Не зависи от симетричността на консуматора).

**Б) токове**

Тъй като от схемата е очевидно, че **фаза А, първия линеен проводник е фаза а** са свързани последователно, то

Аналогично  $i_a = i_{Aa} = i_A$

$$i_b = i_{Bb} = i_B$$

$$i_c = i_{Cc} = i_C$$

Следователно

$$I_{L_Y} = I_{\Phi_Y}$$



При свързване на четирипроводна трифазна верига има още един десети ток, токът протичащ през нулевия проводник.

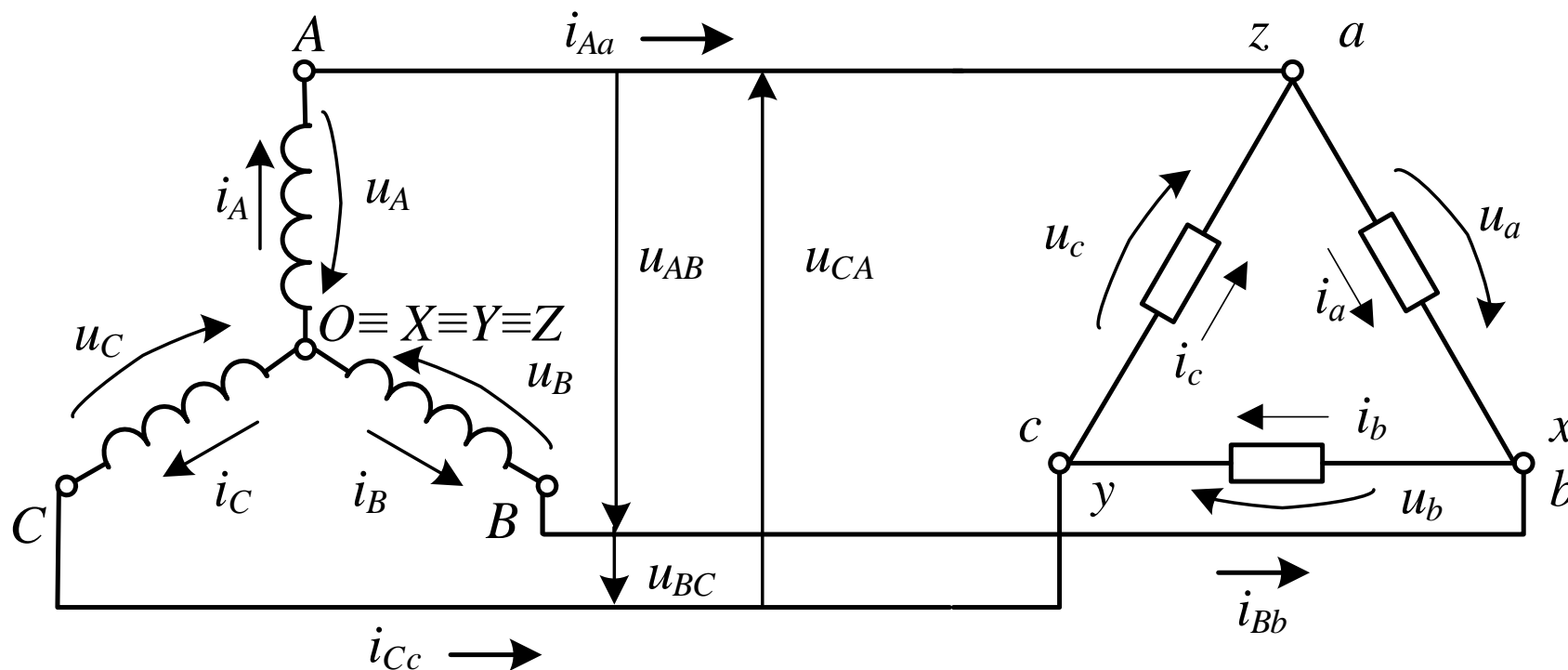
$$i_0 = i_a + i_b + i_c = i_A + i_B + i_C$$

**Звездния център** може да бъде свързан така:

- ✓ Звездният център няма връзка със земя;
- ✓ Звездният център има връзка със земя
  - Директно свързване (ефективно)
  - Свързване през някакво съпротивление (реактивно).

## 5. Свързване на консуматора в „триъгълник“ (трифазната верига е свързана „звезда – триъгълник“)

При свързване на консуматора в „триъгълник“  $\Delta$  веригата може да бъде само **трипроводна**.



## А) фазни и линейни напрежения

При свързване на консуматора в „триъгълник“  $\Delta$  системата от фазните му напрежения е **симетрична**, независимо дали консуматора е симетричен или не.

$$u_a = u_{AB}$$

$$u_b = u_{BC}$$

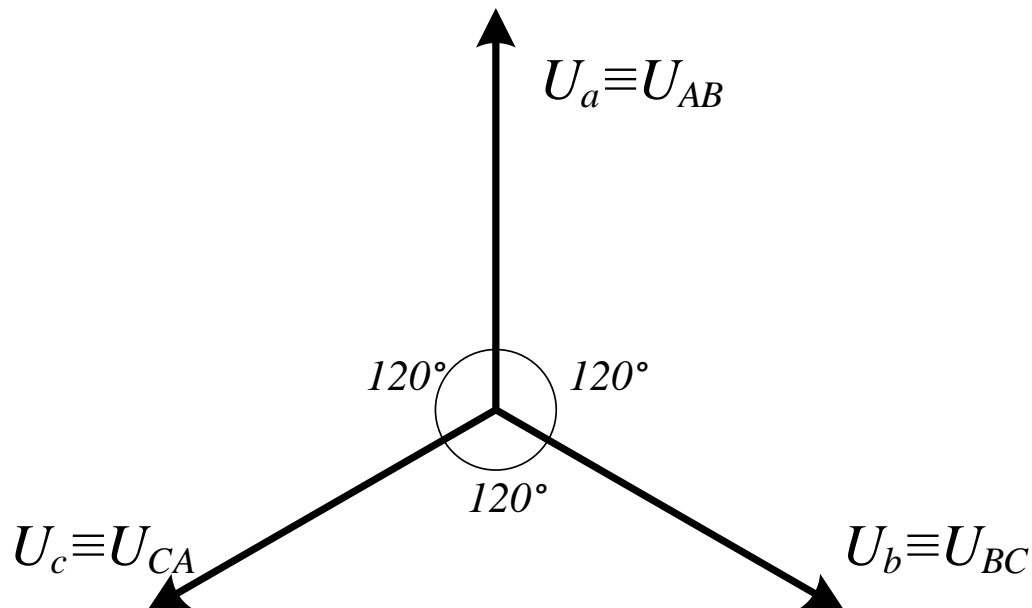
$$u_c = u_{CA}$$



$$U_{Л_{\Delta}} = U_{\Phi_{\Delta}}$$



**ВИНАГИ!**



**Б) токове**

Връзката между линейните токове и фазните токове на консуматора могат да се получат ако се приложи / закон на Кирхоф (закона за токовете) за възлите, които са върхове на  $\Delta^{\text{ка}}$  на консуматора.

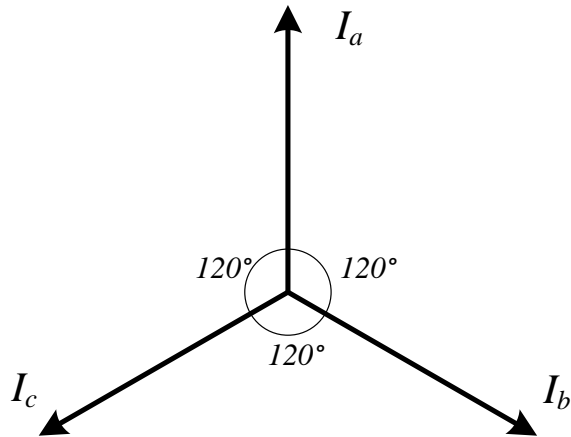
за връх „a“   $i_{Aa} = i_a - i_c$

за връх „b“   $i_{Bb} = i_b - i_a$

за връх „c“   $i_{Cc} = i_c - i_b$

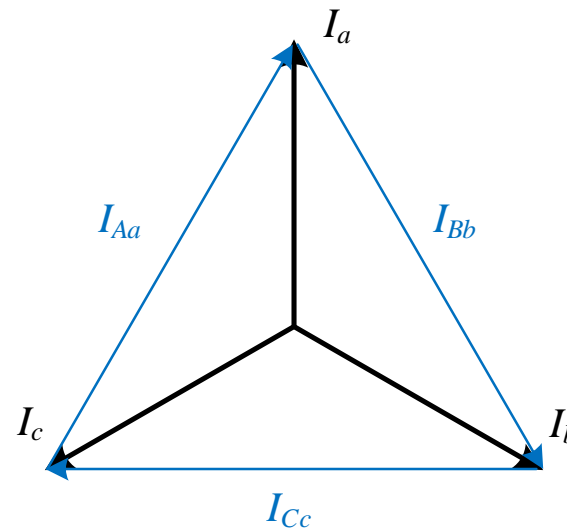
Тук се разглеждат два случая:

- ✓ **1-ви случай**: Ако товара е **симетричен**, т.е.  $Z_a = Z_b = Z_c$ , то системата от фазни токове на консуматора също е симетрична,



т.е. Фазните токове са равни помежду си по големина и са отместени спрямо фазните напрежения на един и същи ъгъл, а помежду си са отместени на  $120^\circ$ .

Тогава  $\Delta^{\text{ка}}$  на линейните токове ще бъде равностраничен триъгълник с гонещи се стрелки, т.е. и линейните токове ще образуват симетрична система.



$$I_{L\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{\Phi\Delta}$$

**САМО ПРИ СИМЕТРИЧЕН ТОВАР!**

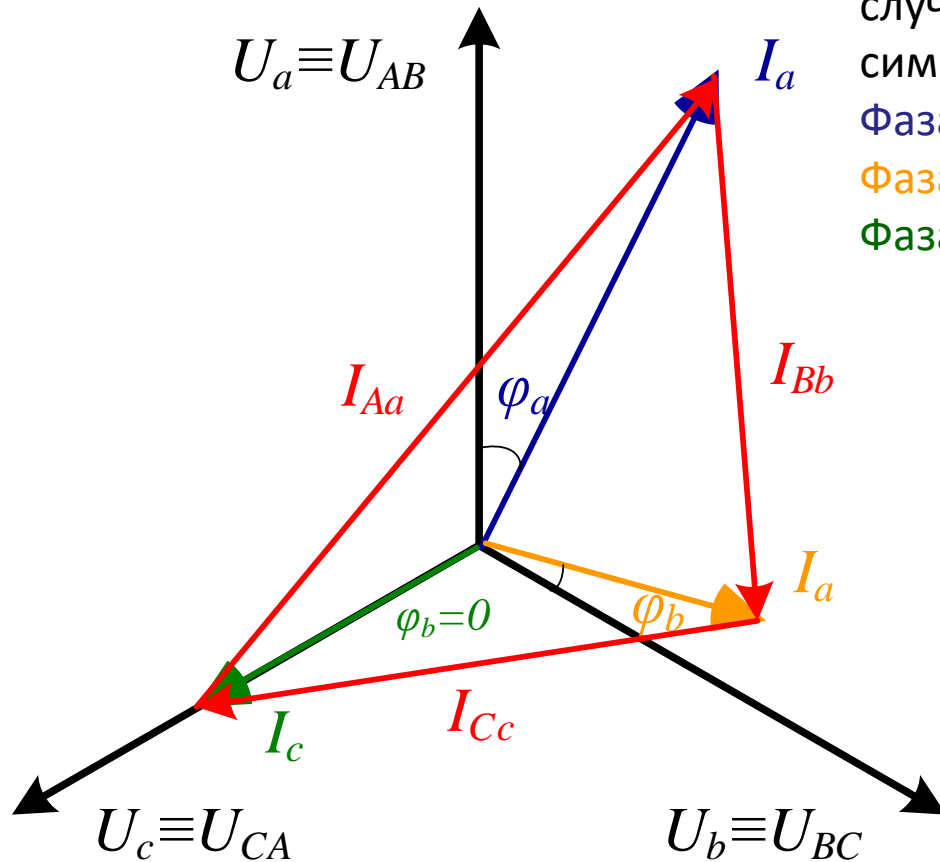
- ✓ **2-ри случай:** Ако товара е **несиметричен**, т.е.  $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$  ,  
то системата фазни токове на консуматора **не е симетрична**.

На векторната диаграма е показан общ случай, при който консуматорът не е симетричен:

Фаза **a**: активно-индуктивен консуматор

Фаза **b**: активно-капацитивен консуматор

Фаза **c**: активен консуматор (резонанс)



$$i_{Aa} = i_a - i_c$$

$$i_{Bb} = i_b - i_a$$

$$i_{Cc} = i_c - i_b$$



## 6. Мощности в трифазните вериги

При определяне на мощностите се спазват следните принципи:

- ✓ Трифазните електрически вериги са електрически вериги при стационарни синусоидални режими, т.е. Важи всичко от  $RLC$  – веригите;
- ✓ Цялото е сума от частите си.

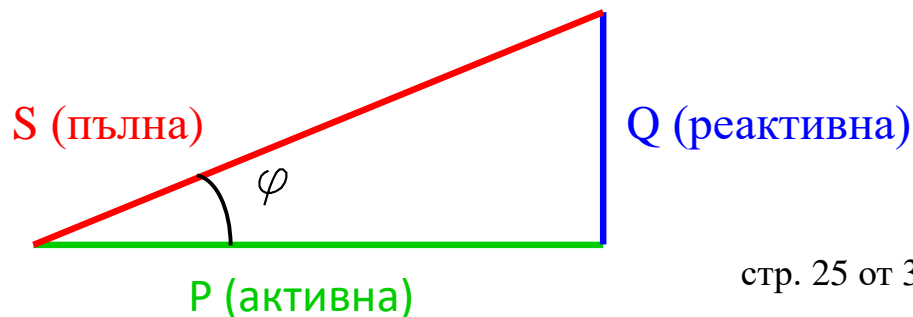
$$p = p_a + p_b + p_c = u_a \cdot i_a + u_b \cdot i_b + u_c \cdot i_c \quad \text{моментна мощност;}$$

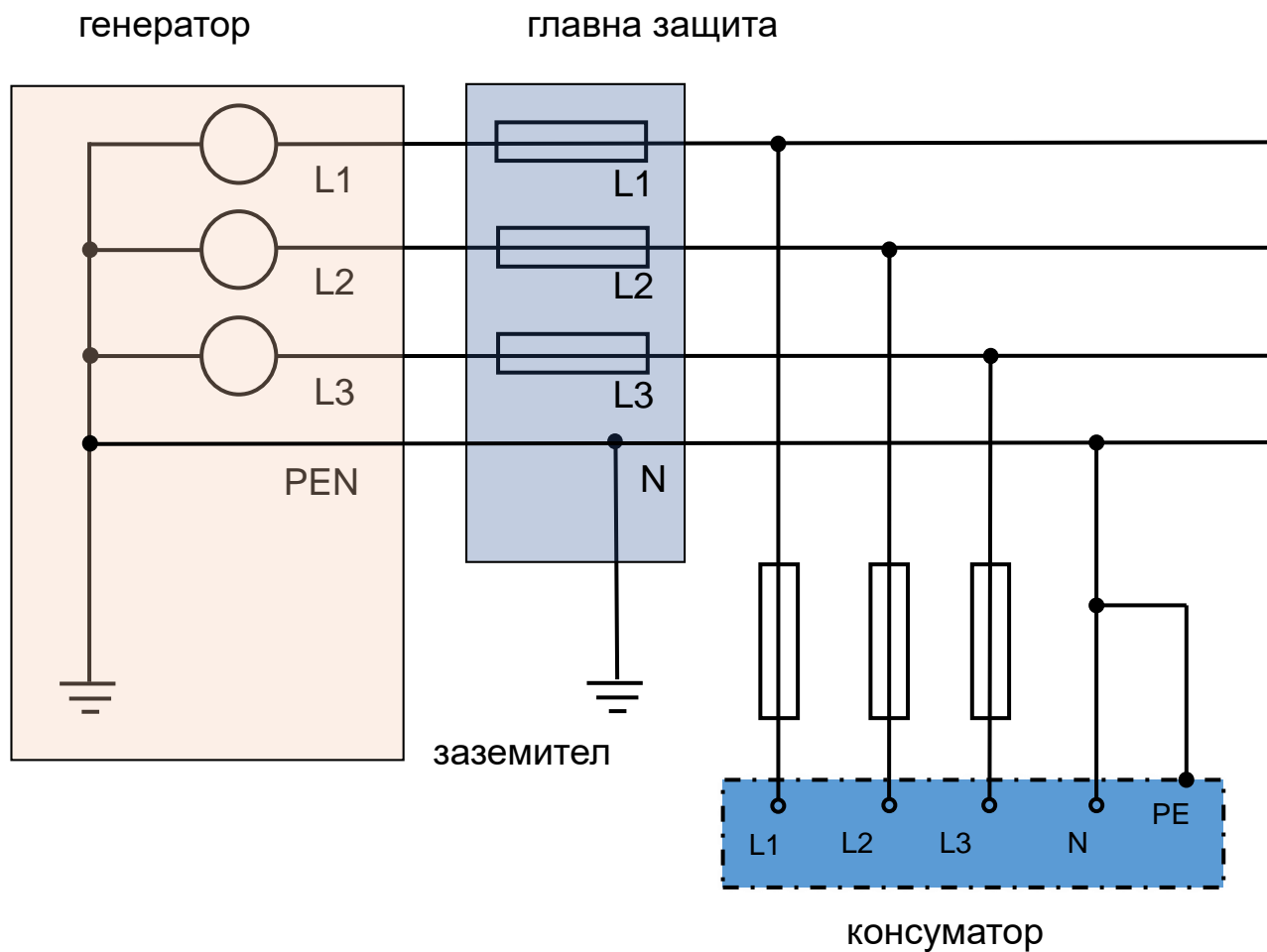
$$P = P_a + P_b + P_c = U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c \quad \text{активна мощност;}$$

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c = U_a I_a \sin \varphi_a + U_b I_b \sin \varphi_b + U_c I_c \sin \varphi_c \quad \text{реактивна мощност;}$$

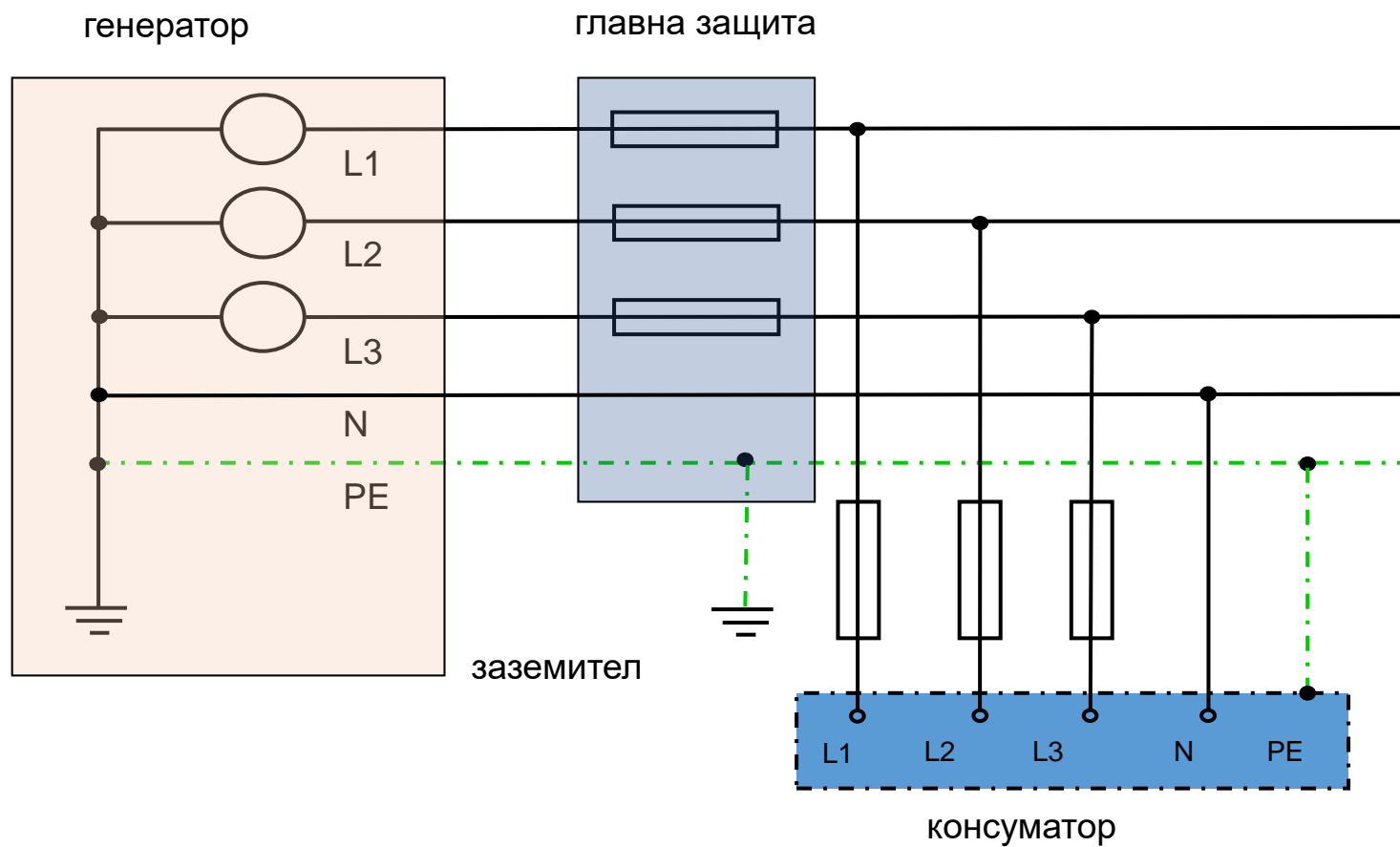
$$S = S_a + S_b + S_c = U_a I_a + U_b I_b + U_c I_c \quad \text{пълна мощност.}$$

**триъгълник на  
мощностите**





Четирипроводна трифазна електрическа верига, при която нулевия и защитния проводници са обединени (с маркировка *PEN*).



Петпроводна трифазна електрическа верига, при която има специално изведен защитен проводник с *маркировка PE*, отделно от нулевия проводник с *маркировка N*.

