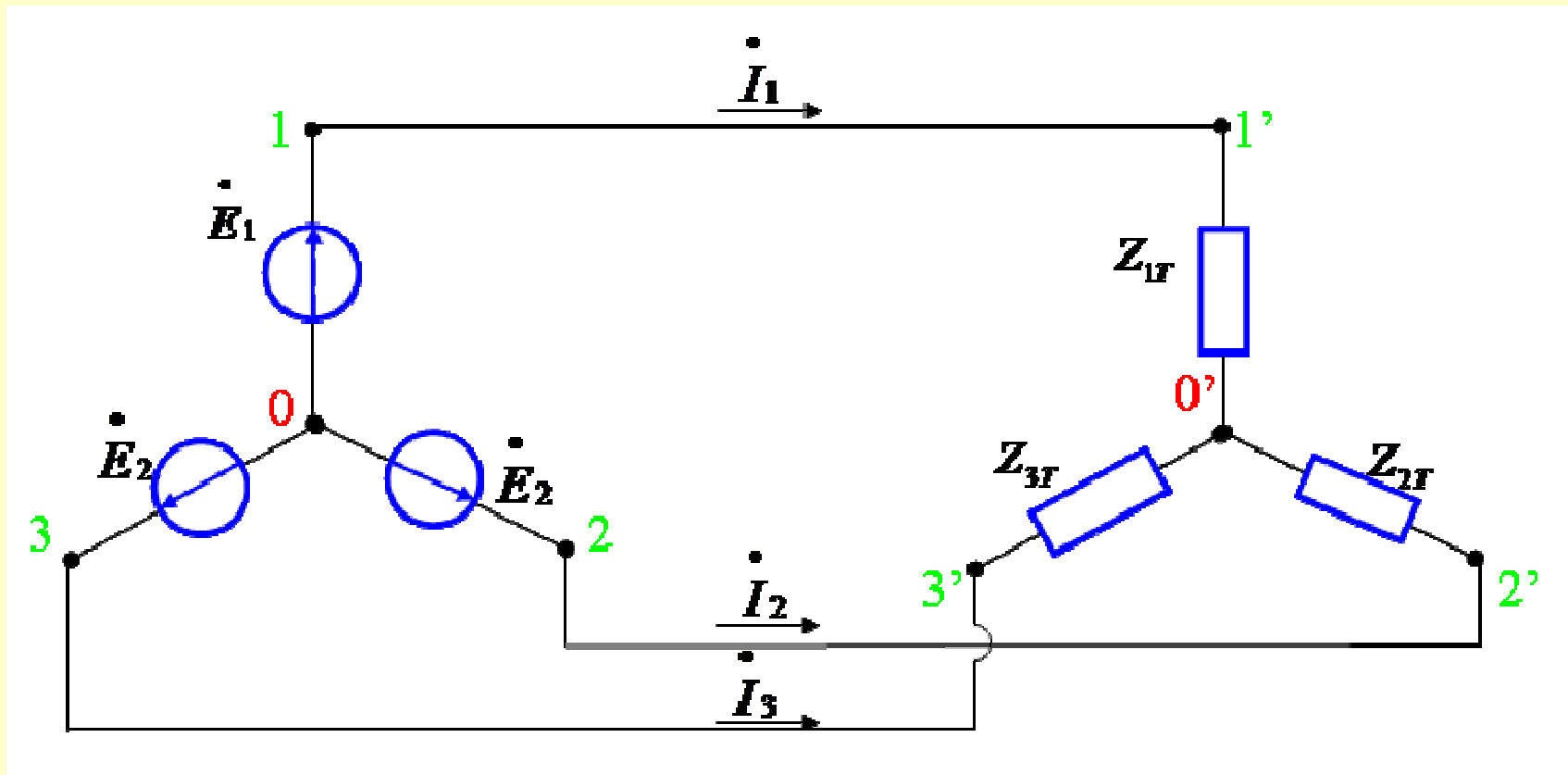


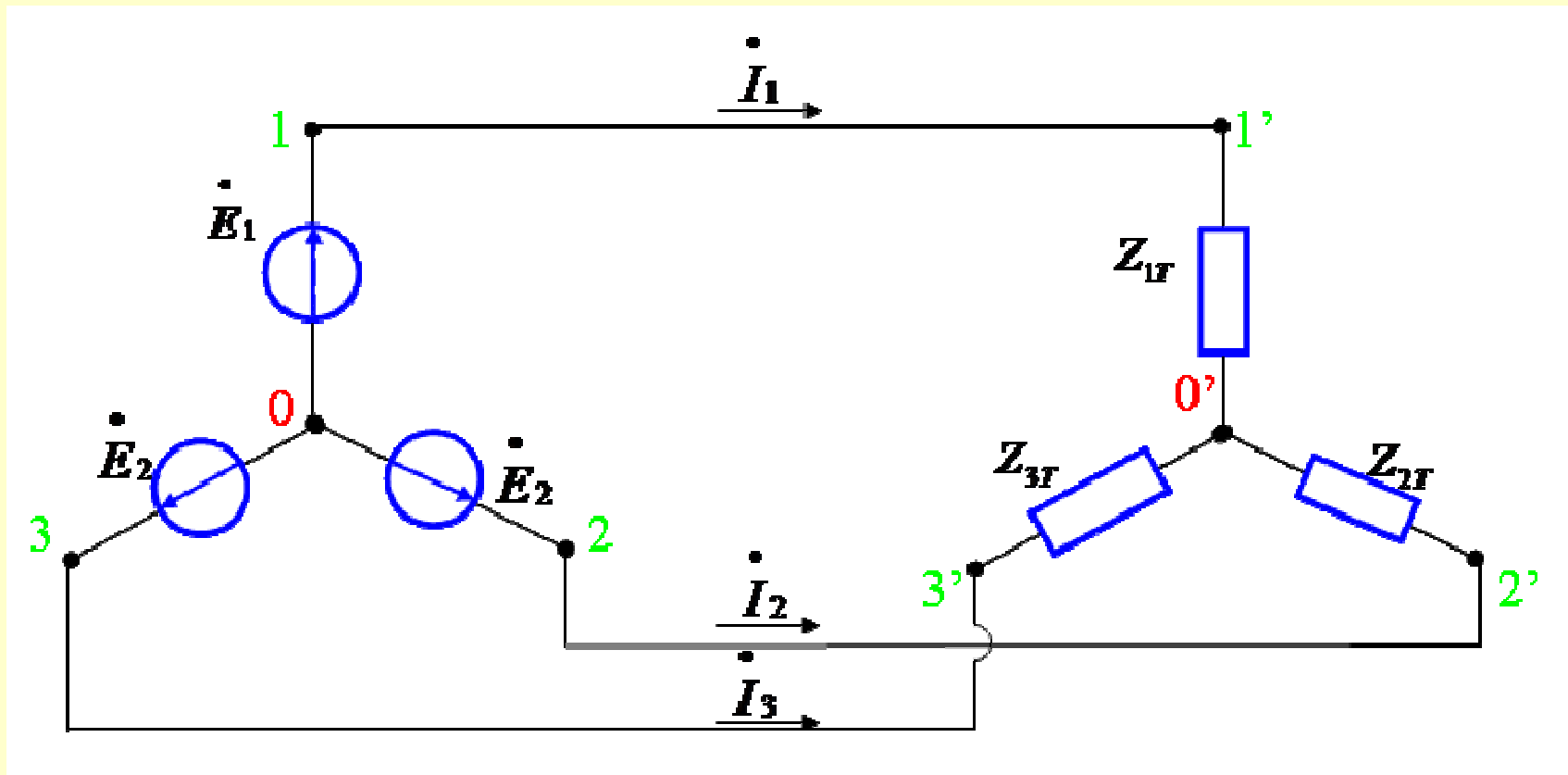
Трифазни вериги

- **Многофазна система** - съвкупност от ел.вериги, в които действат синусоидални е.д.н. с еднаква честота и отместени по фаза и са създадени от един и същи източник.



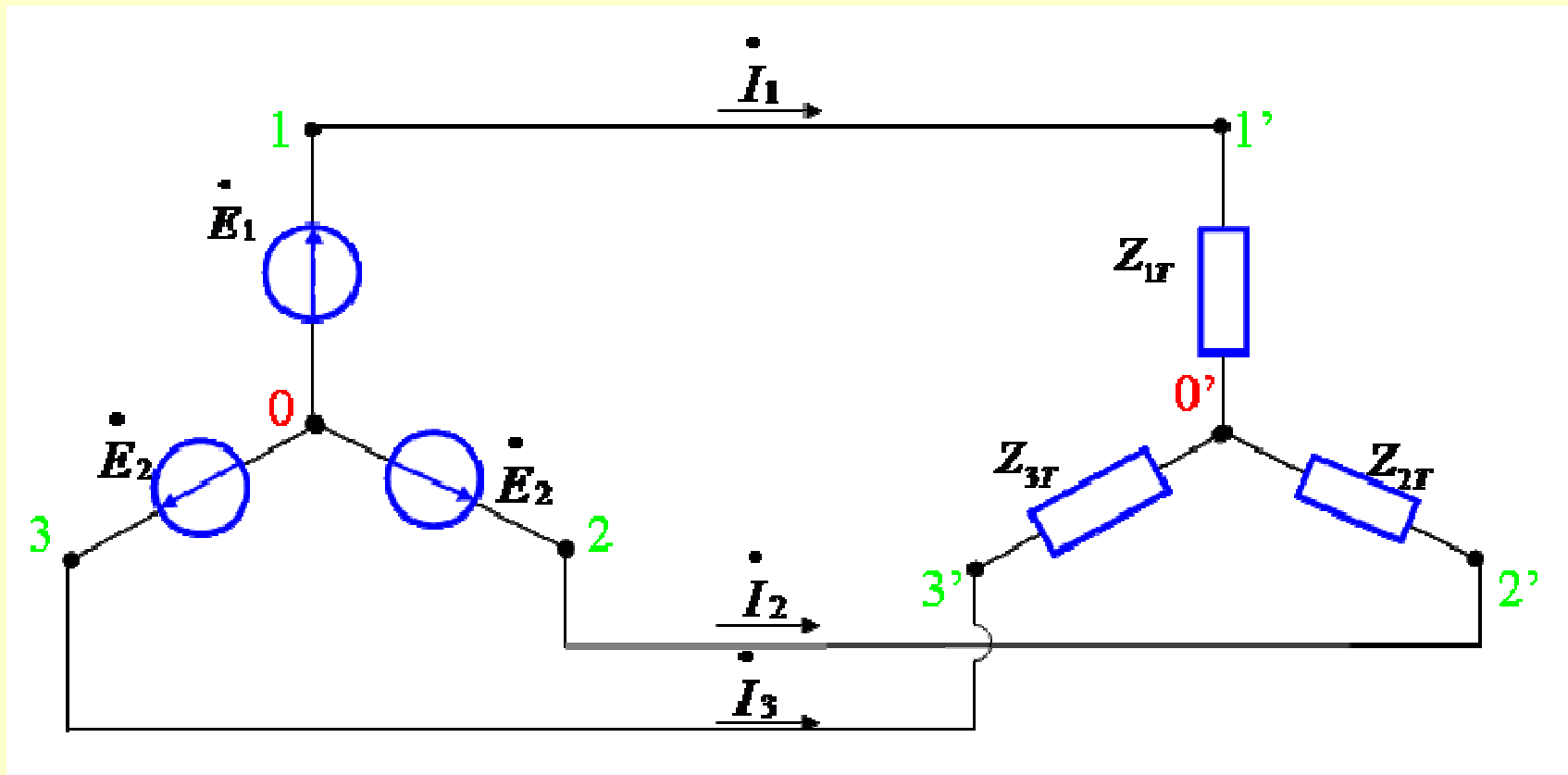
Трифазни вериги

- **Фаза** - отделните ел. вериги, в които протича един и същи ток, влизащи в състава на многофазната система се наричат фази.

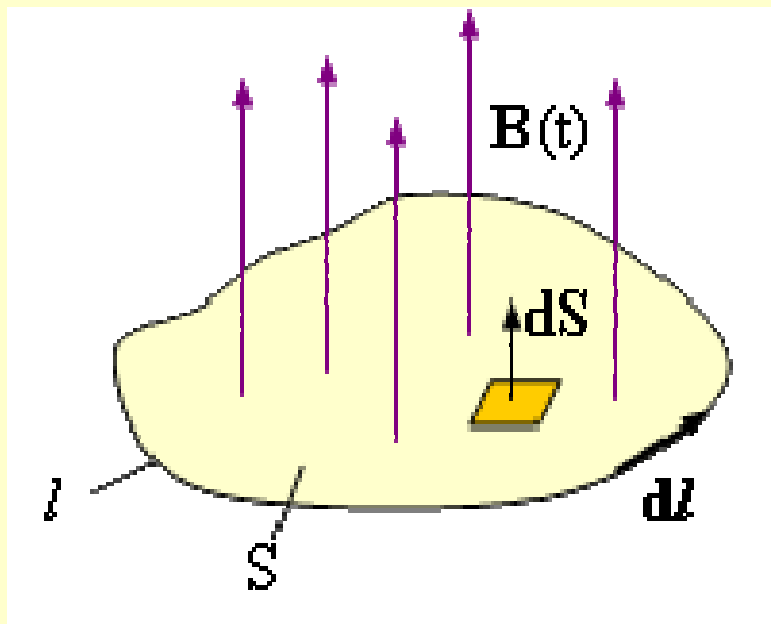


Трифазни вериги

- Броят на фазите се означава с m . При $m=3$ системата е трифазна.



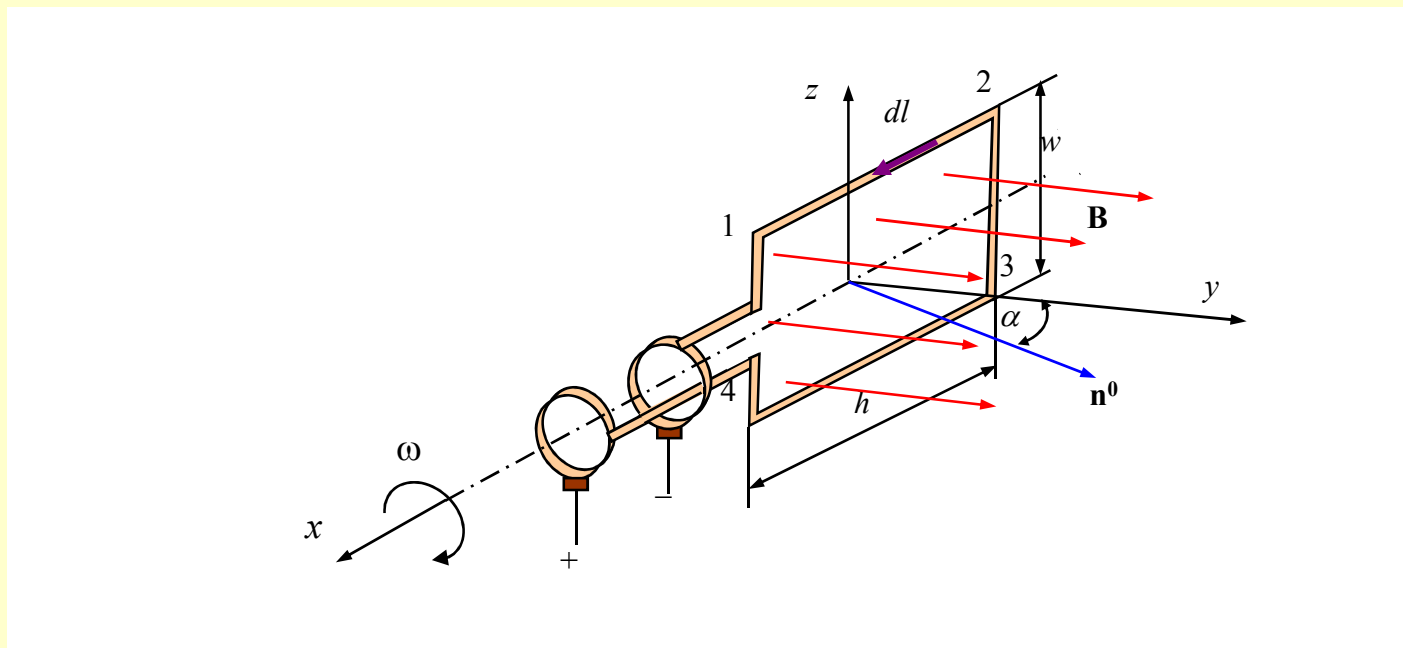
Получаването на 3-фазна система токове е аналогично на това на получаването на еднофазен ток и се основава на явлението **електромагнитна индукция**



$$e = \oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Закон за електромагнитната индукция Промяната на потока на вектора на магнитното поле \mathbf{B} през площта S , обхваната от контура l води до появата на електродвижещо напрежение e в контура

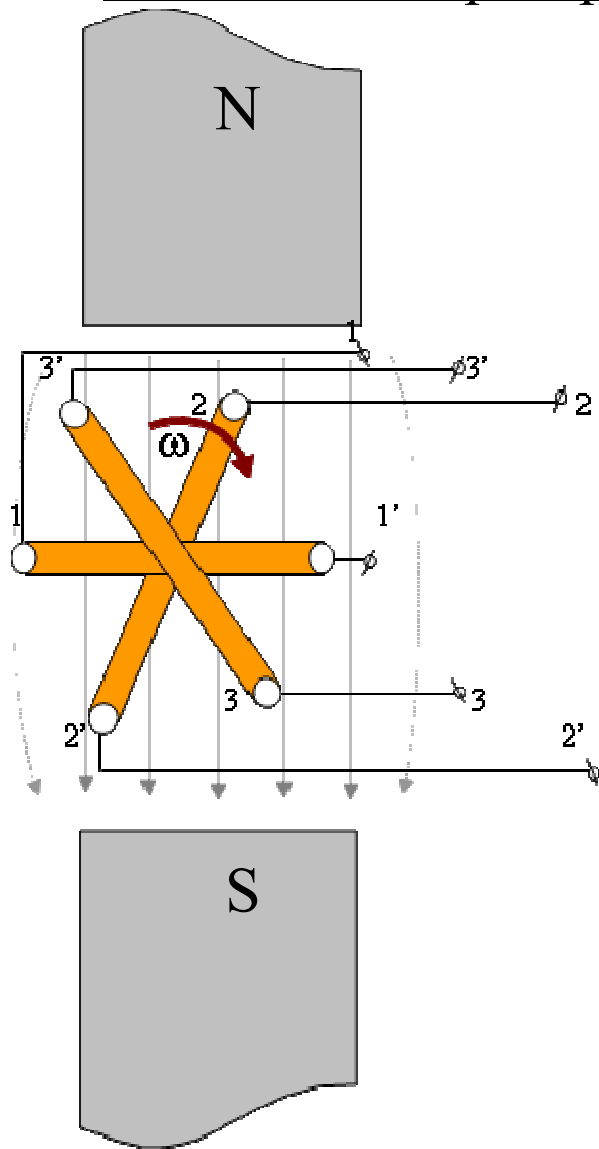
Пример: -- Правоъгълна рамка в променливо магнитно поле



a) неподвижна рамка

b) Рамката се върти около x -оста със скорост ω

3-фазна система е.д.н. се получава с помощта на 3-фазен генератор, като в ротора му има не 1, а 3 скрепени намотки, отместени в пространството на ъгъл 120^0



във **всяка** намотка се индуктира синусоидално напрежение с една и съща амплитуда, но **отместено по фаза**, равна на пространствения ъгъл между намотките

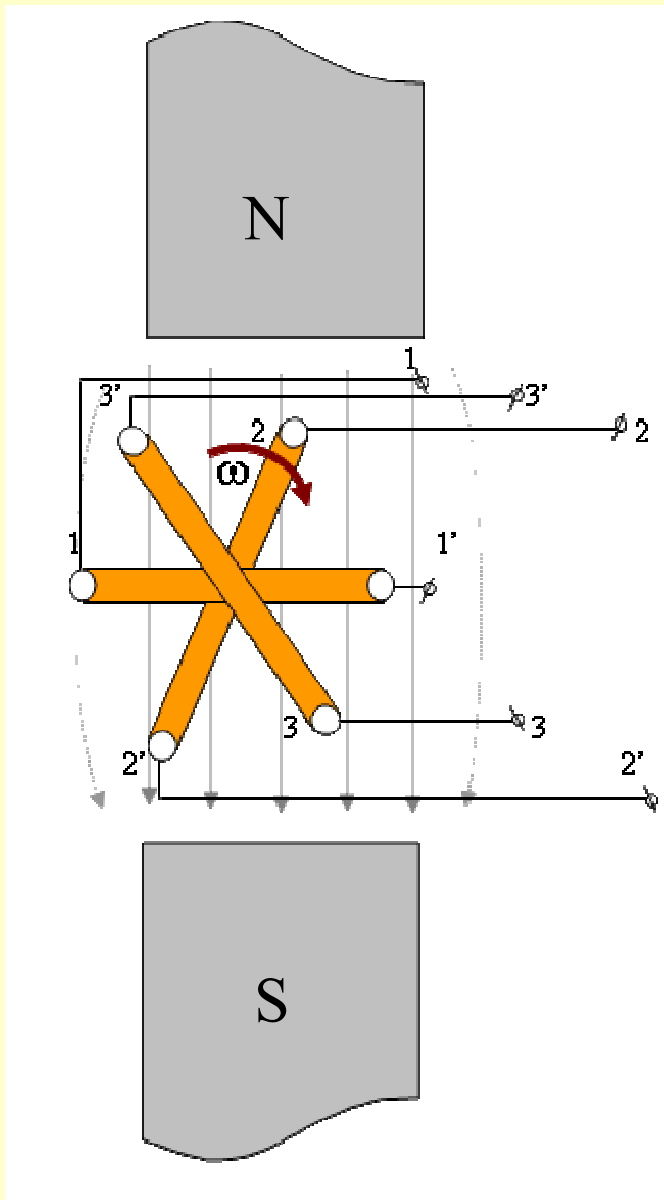
$$e_1(t) = E_{1m} \sin(\omega t + \psi_1)$$

$$e_2(t) = E_{2m} \sin(\omega t + \psi_2)$$

$$e_3(t) = E_{3m} \sin(\omega t + \psi_3)$$

$$E_{1m} \neq E_{2m} \neq E_{3m}$$

$$\psi_1 \neq \psi_2 \neq \psi_3$$



- Когато намотките имат еднакъв брой навивки и се въртят в едно и също поле с еднаква ъглова скорост, то

$$E_{1m} = E_{2m} = E_{3m}$$

$$e_1(t) = E_m \sin \omega t$$

$$e_2(t) = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_3(t) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

2.Класификации

- Симетрична система - Система, в която е.д.н. имат еднаква големина и са отместени по фаза на един и същи ъгъл

$$\alpha = \frac{2\pi}{m}$$

За трифазна система ($m=3$)

$$E_{1m} = E_{2m} = E_{3m}$$

$$\alpha = \frac{2\pi}{3} \quad \alpha = 120^{\circ}$$

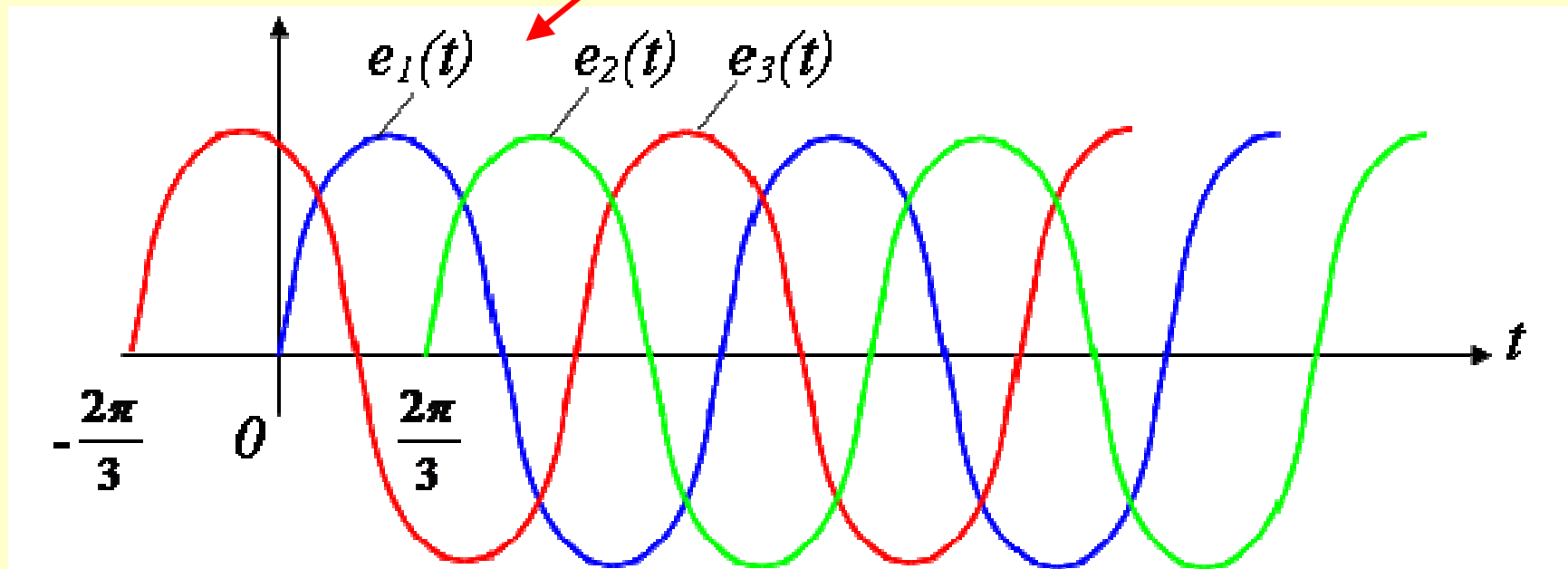
Симетрична система

$$e_1(t) = E_m \sin \omega t$$

$$e_2(t) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$e_3(t) = E_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

Последователността на фазите се определя от реда на минаване през максимума



Симетрична система

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0$$

$$e_1(t) = E_m \sin \omega t$$

$$e_2(t) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

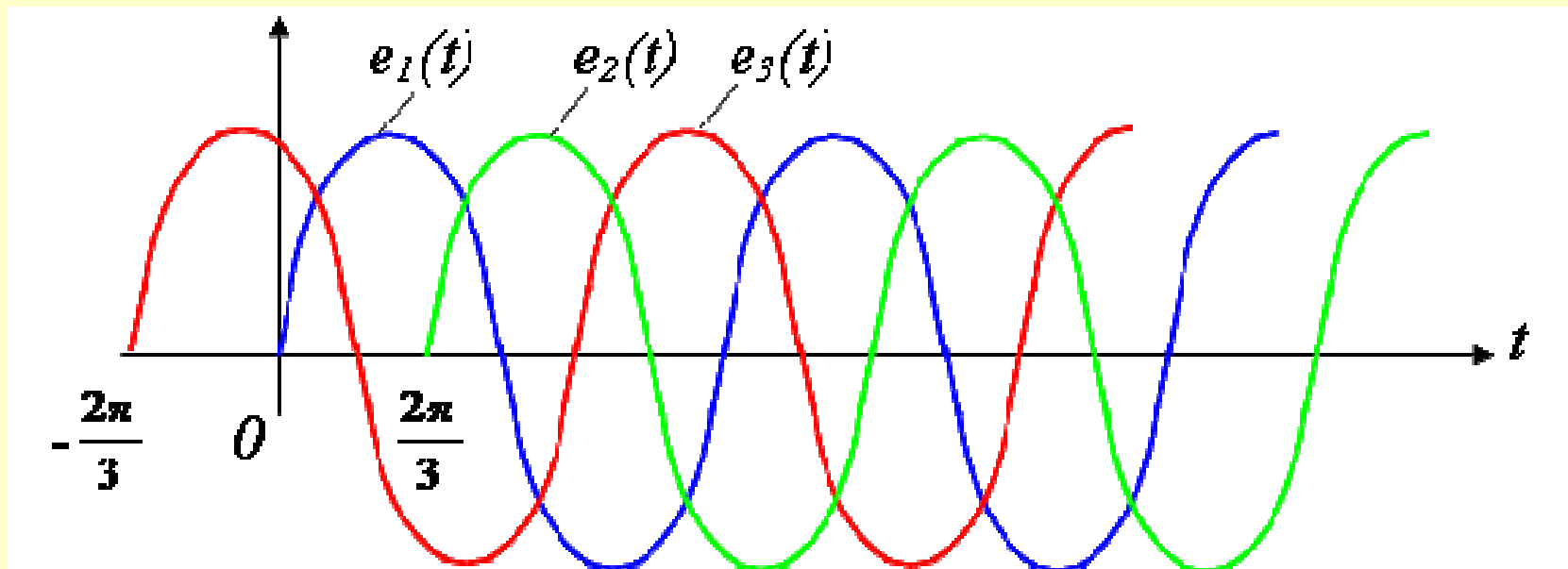
$$e_3(t) = E_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$



$$\dot{E}_1 = E$$

$$\dot{E}_2 = E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\dot{E}_3 = E \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}}$$



Симетрична система

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0$$

$$e_1(t) = E_m \sin \omega t$$

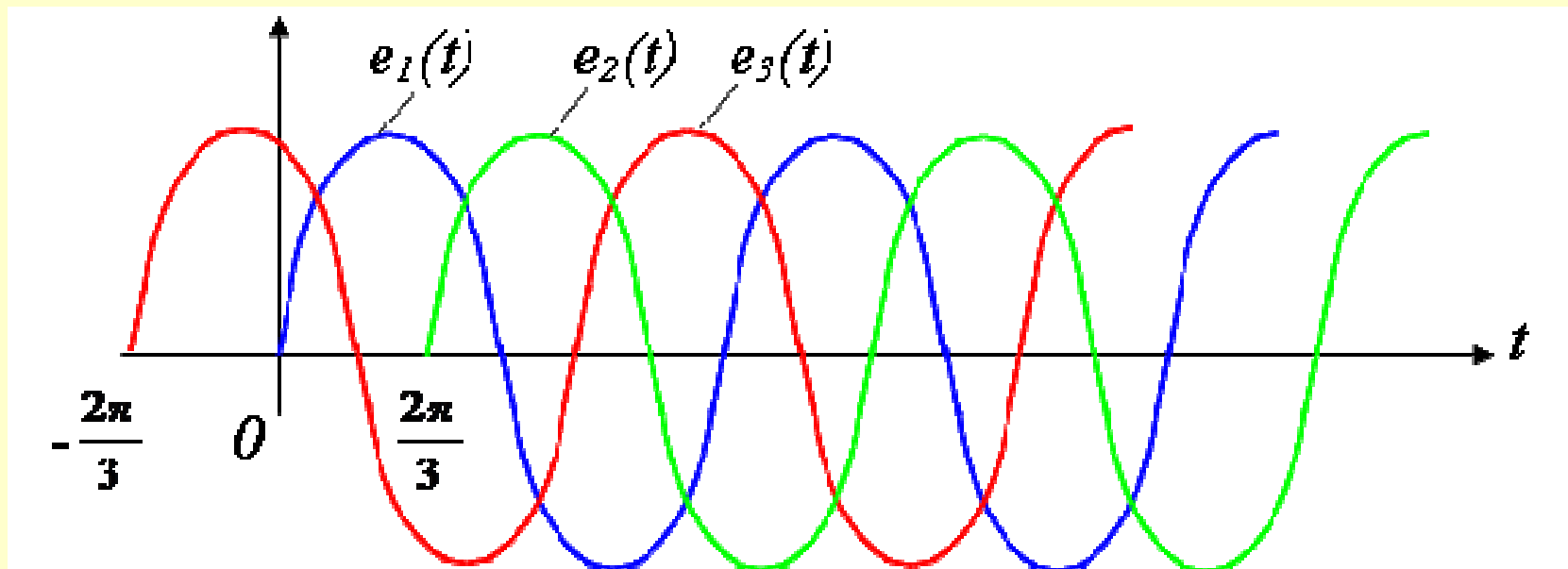
$$e_2(t) = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_3(t) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$\dot{E}_1 = E$$

$$\dot{E}_2 = E \cdot e^{-j120^\circ}$$

$$\dot{E}_3 = E \cdot e^{j120^\circ}$$



Симетрична система

$$e_1(t) = E_m \sin \omega t$$

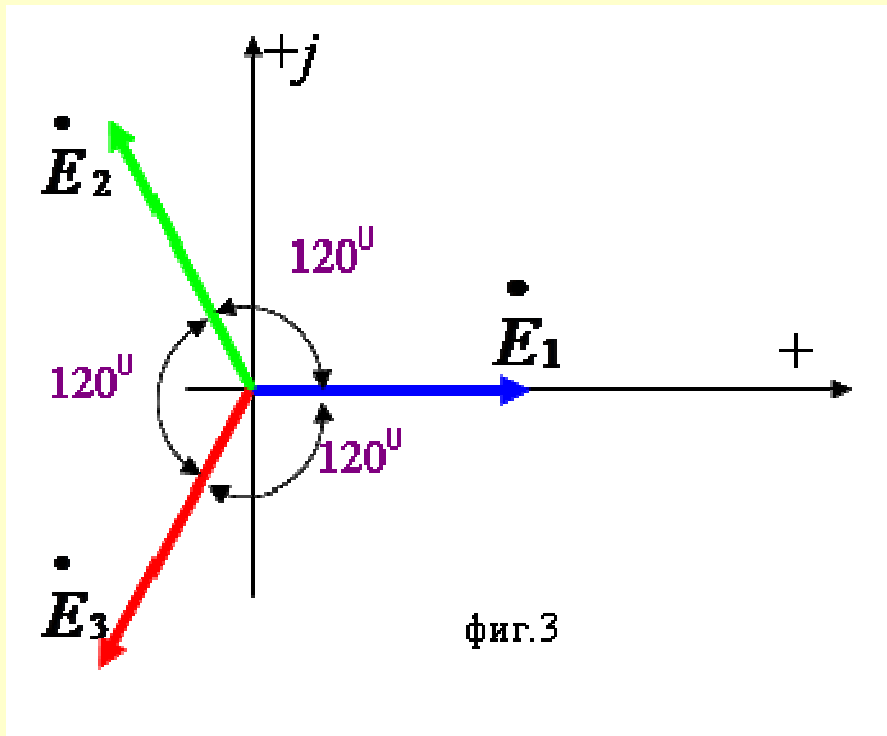
$$e_2(t) = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_3(t) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$\dot{E}_1 = E$$

$$\dot{E}_2 = E \cdot e^{-j120^\circ}$$

$$\dot{E}_3 = E \cdot e^{j120^\circ}$$



2. Оператор „а” и неговите свойства

Комплексно число $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ или $(a = e^{j120^\circ})$

$$5) 1 + a + a^2 = 1 - \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = 0$$

2. Оператор „а” и неговите свойства

Комплексно число $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ или $(a = e^{j120^\circ})$

$$e_1(t) = E_m \sin \omega t$$

$$e_2(t) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$e_3(t) = E_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$\dot{E}_1 = E$$

$$\dot{E}_2 = E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\dot{E}_3 = E \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\dot{E}_1 = E$$

$$\dot{E}_2 = a^2 E$$

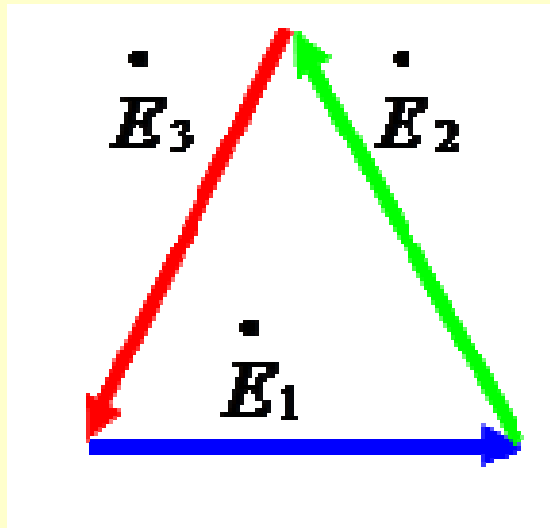
$$\dot{E}_3 = a E$$

Симетрична трифазна система

Симетричната трифазна система има следното свойство:

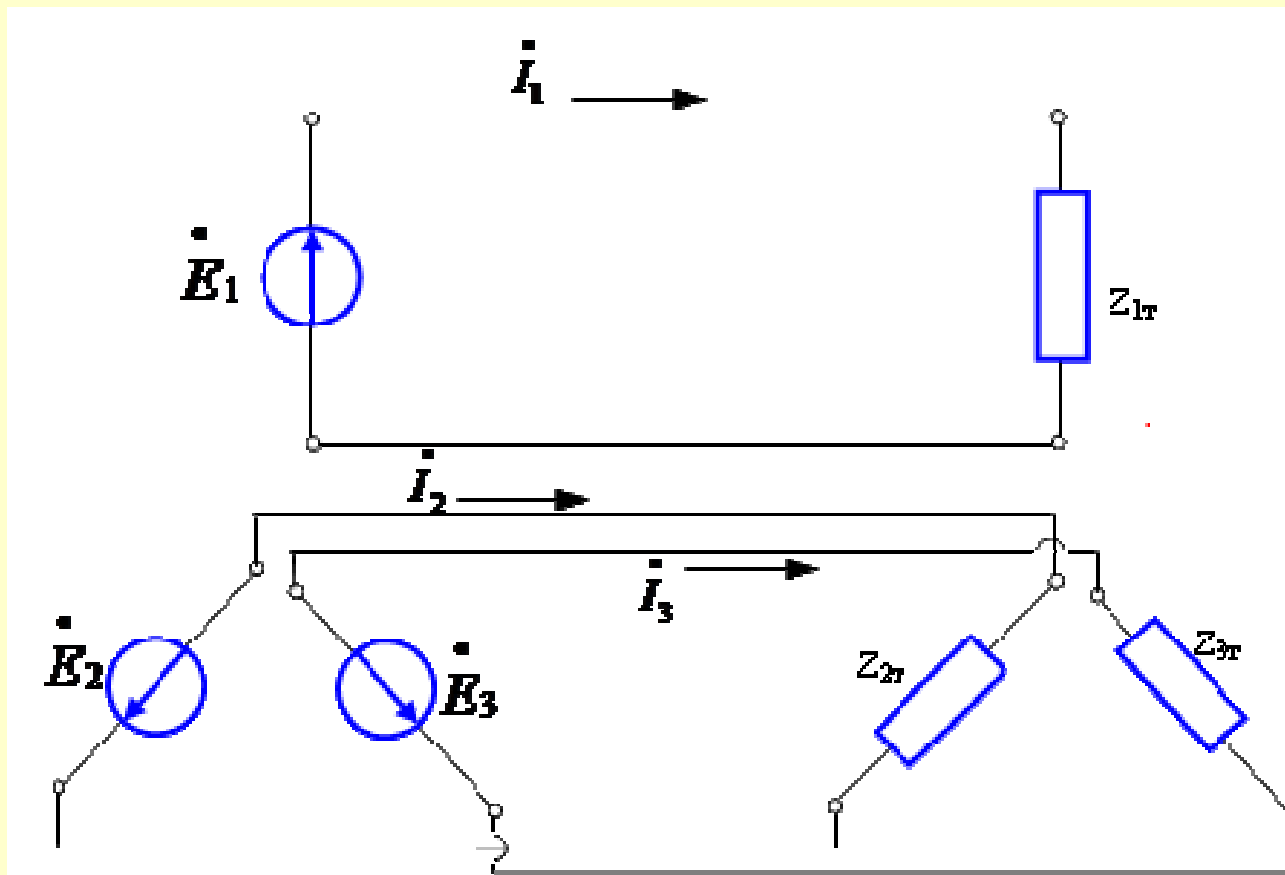
$$e_1(t) + e_2(t) + e_3(t) = 0$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_2 + \dot{E}_3 = E + a^2 E + aE = E(1 + a^2 + a) = 0$$



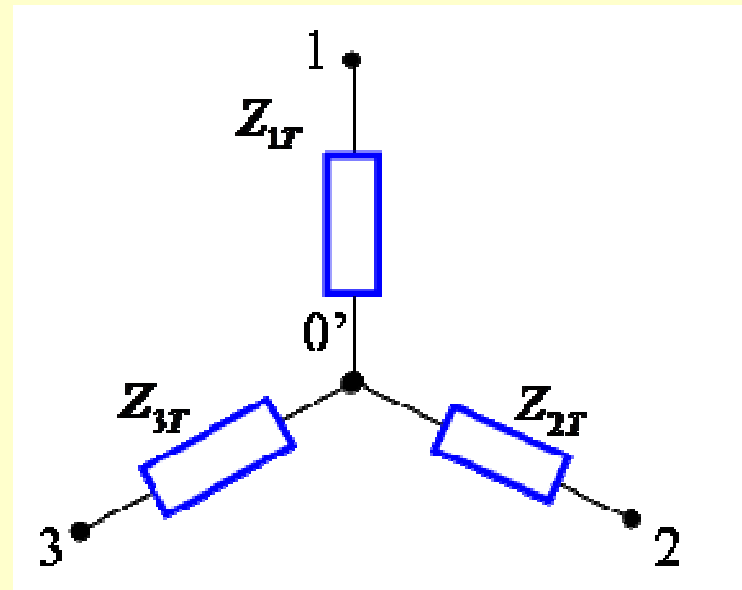
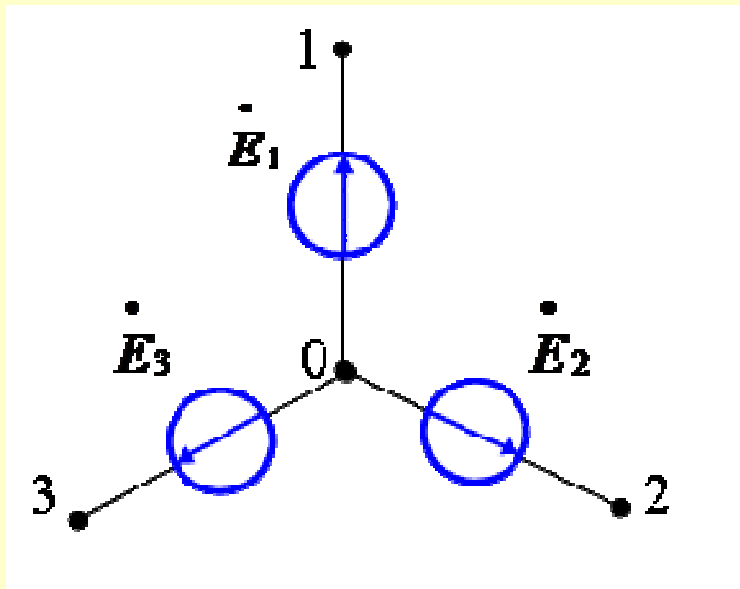
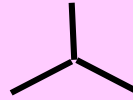
Схеми на свързване на трифазни вериги

При всяка схема на свързване генераторните намотки трябва да се свържат с товара, т.е. трябва да се свърже **3-фазен генератор с 3-фазен консуматор**.



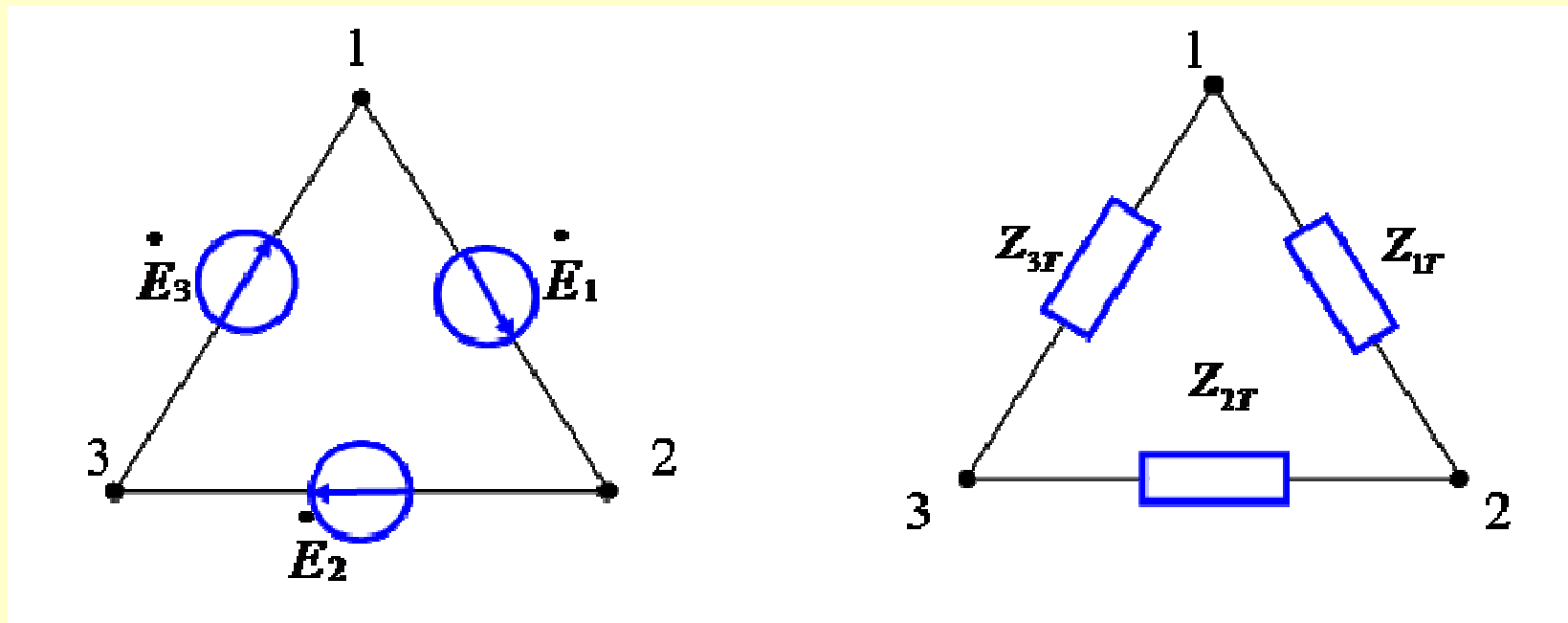
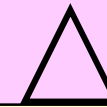
- „несвързана система” – няма ел. връзка между фазите
- При несвързана система веригата може да се анализира за всяка фаза поотделно (като при еднофазен ток).

Съединение “звезда”



- При съединение “звезда” се обединяват едноименните краища на трите намотки на генератора в една точка. Тя се нарича “звездна” или “нулева” и се означава с буква „O” за генератора и „O'” за консуматора.

Съединение “триъгълник”

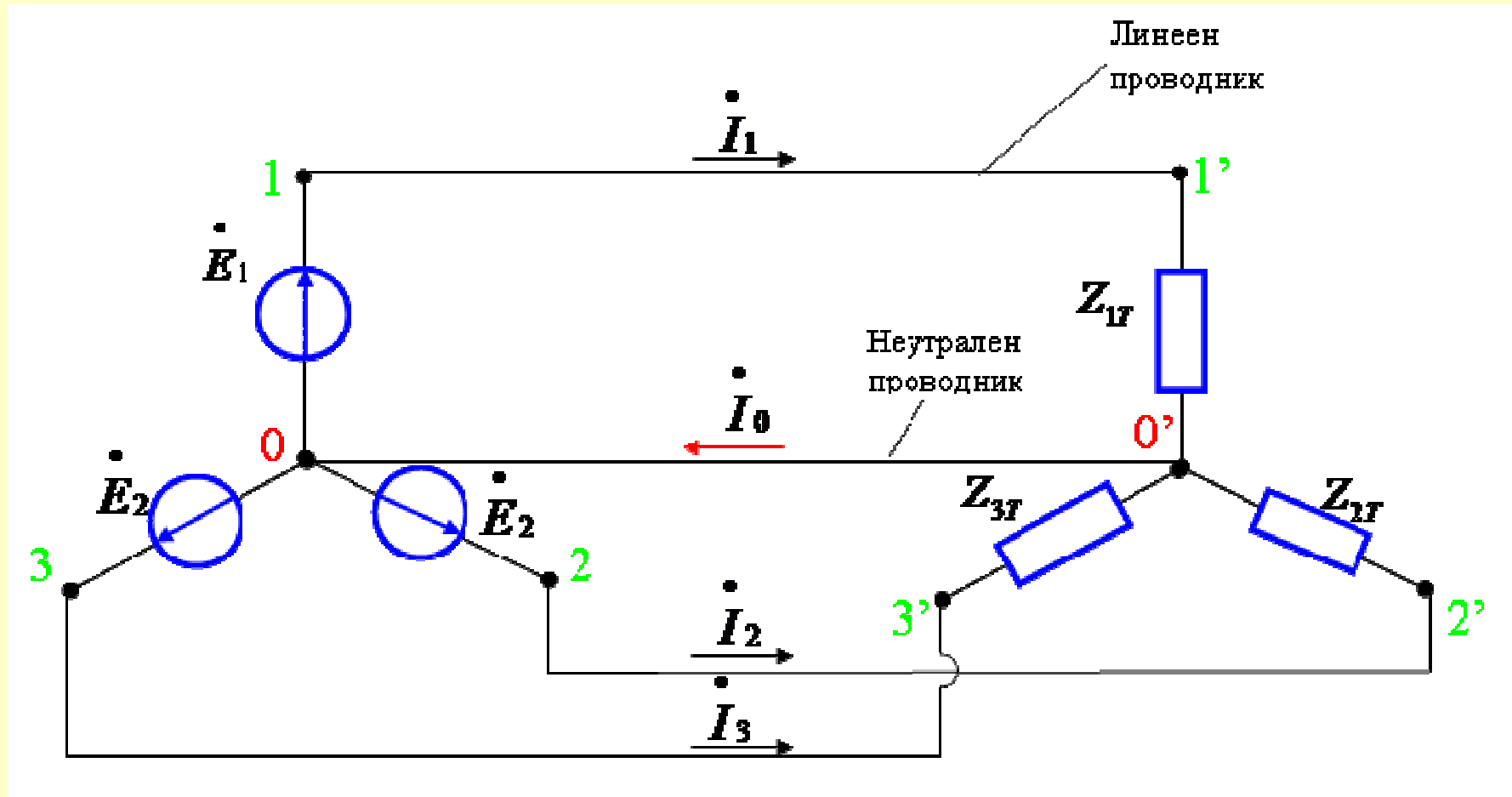


- При съединение на намотките на генератора “триъгълник” края на първата се съединява с началото на втората и т.н.
- Геометричната сума на е.д.н. в затворения “триъгълник” е нула, затова ако към фазите на генератора няма присъединен товар, по генераторната намотка няма да протича ток.

Схеми на свързване на 3-фазен генератор с 3-фазен товар:

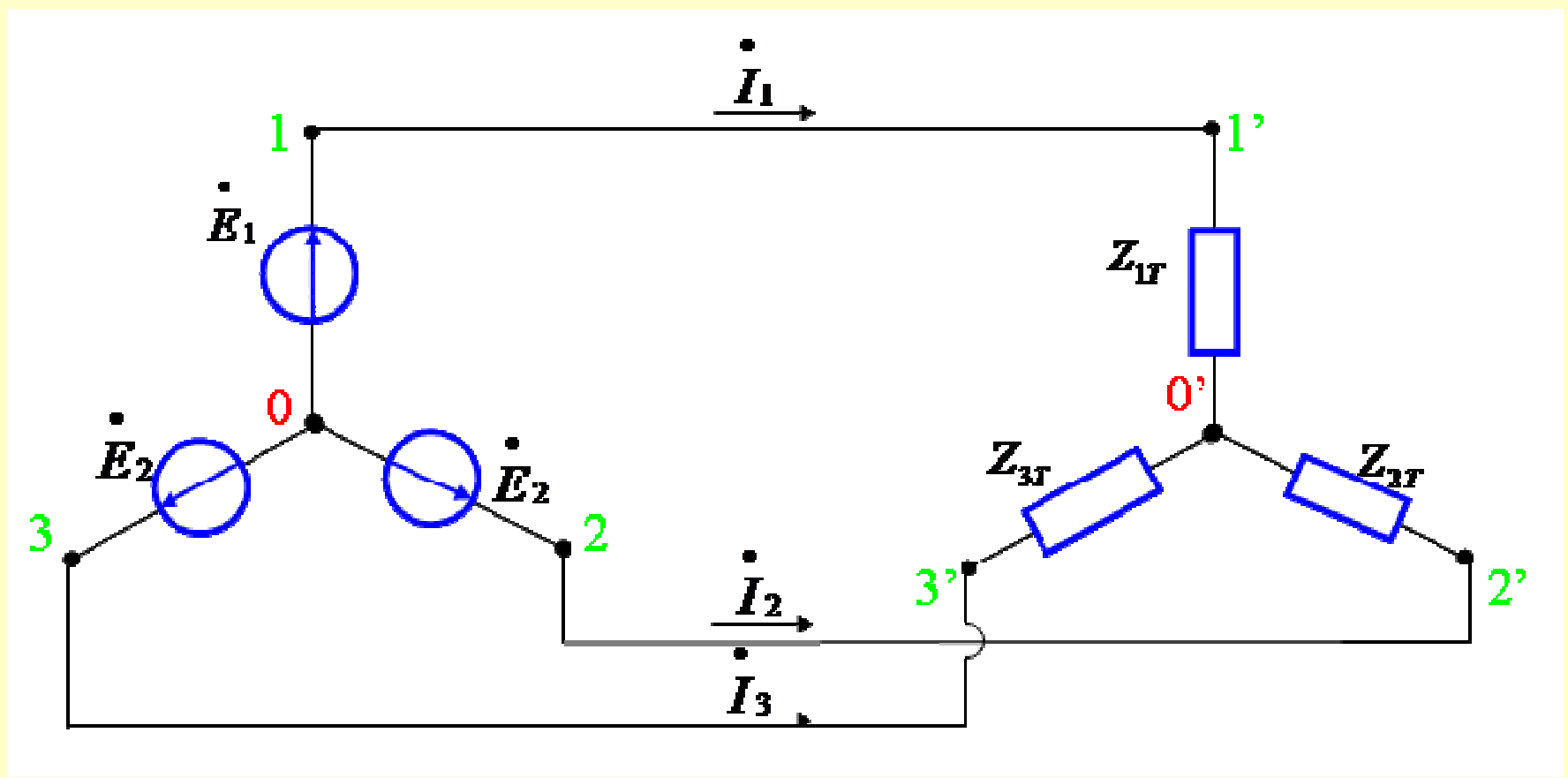
- Звезда-звезда с неутрален проводник
- Звезда-звезда без неутрален проводник
- Звезда-триъгълник
- Триъгълник-звезда
- Триъгълник-триъгълник

Звезда-звезда с неутрален проводник (Δ - Δ с неутр. пров.)

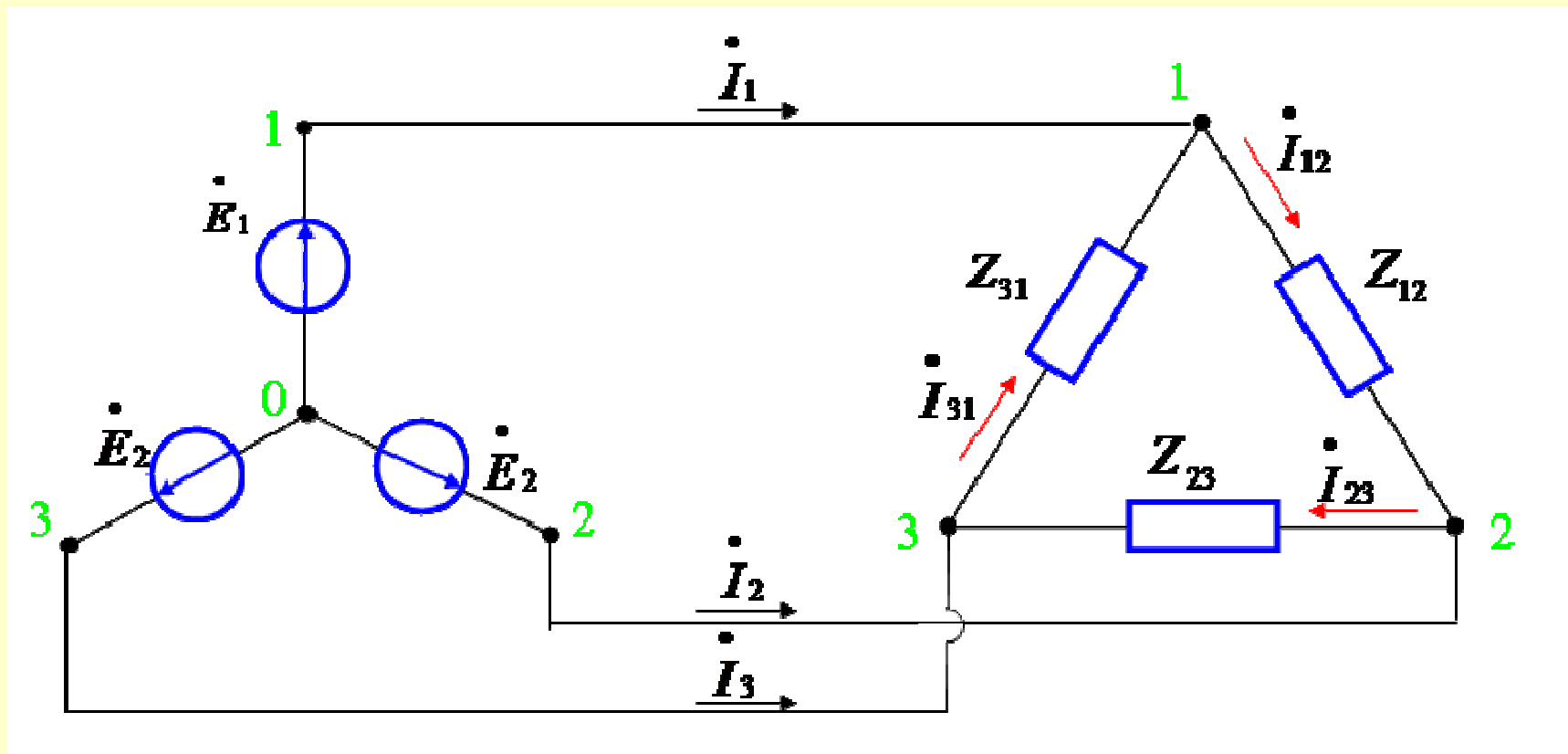


- Токовете в линейните проводници протичат от генератора към консуматора, а токът в неутралния проводник тече от консуматора към генератора

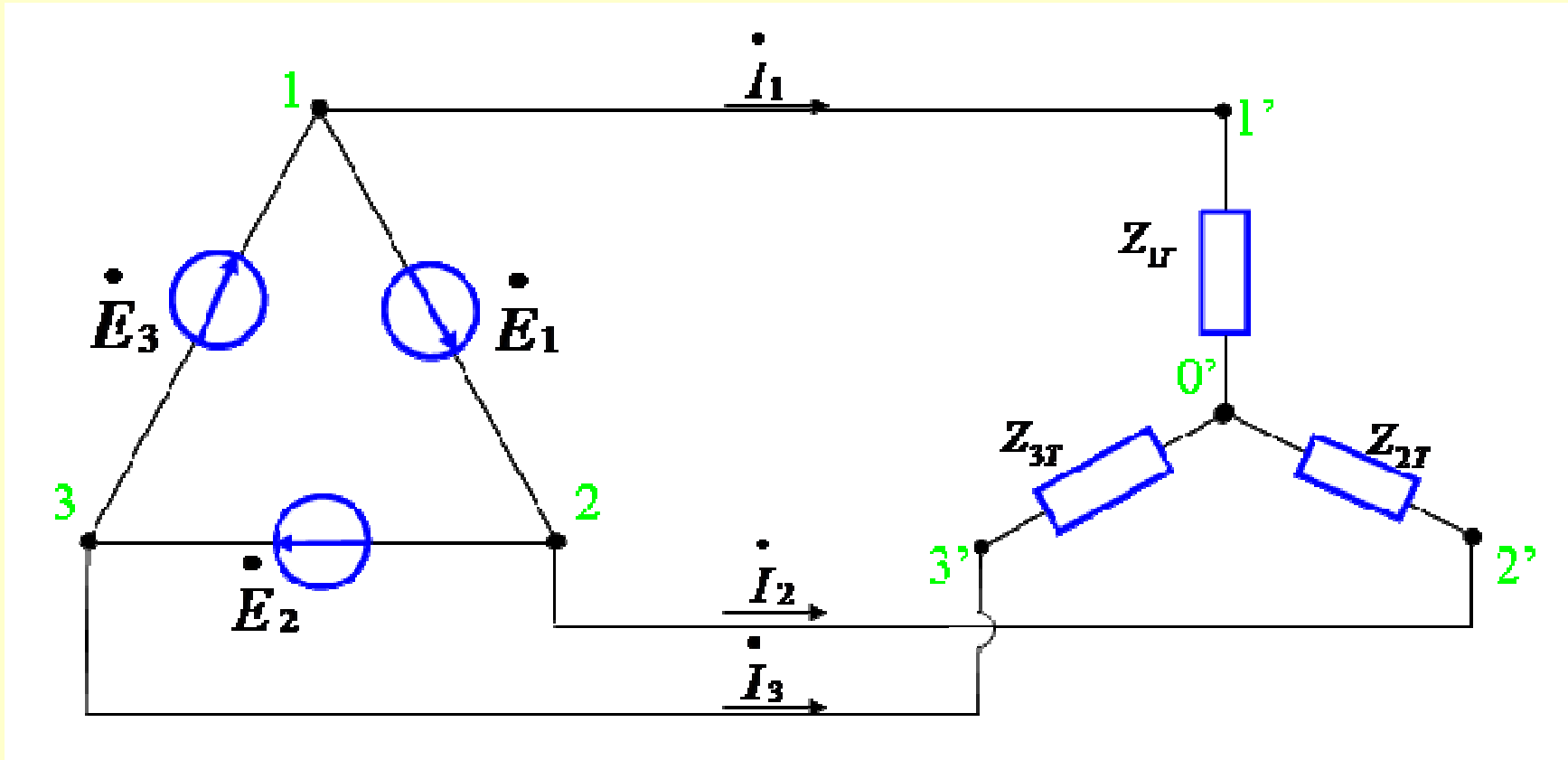
Звезда-звезда без нуטרален проводник (\star - \star без нутр. пров.)



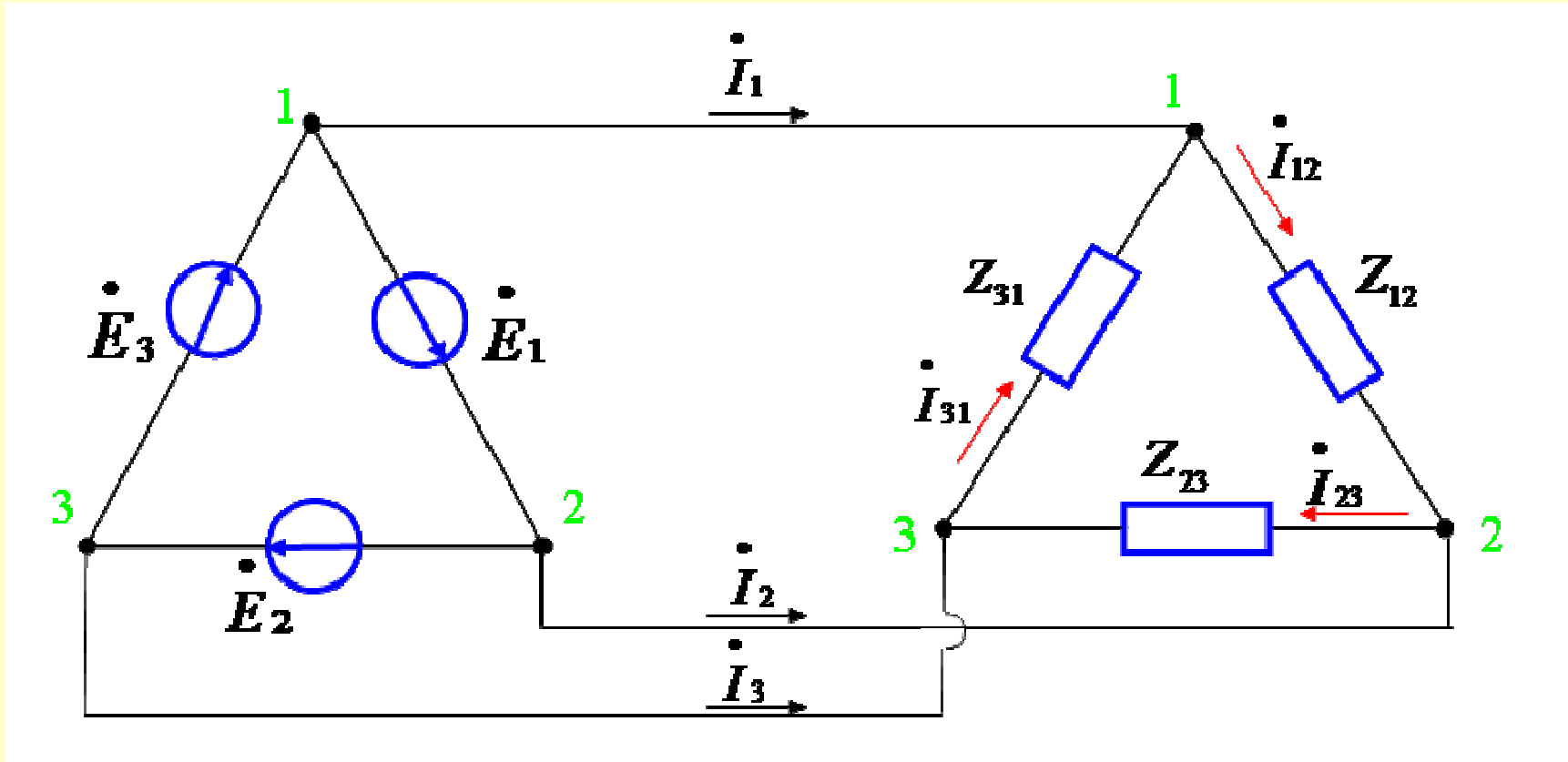
3. Звезда-триъгълник (-)



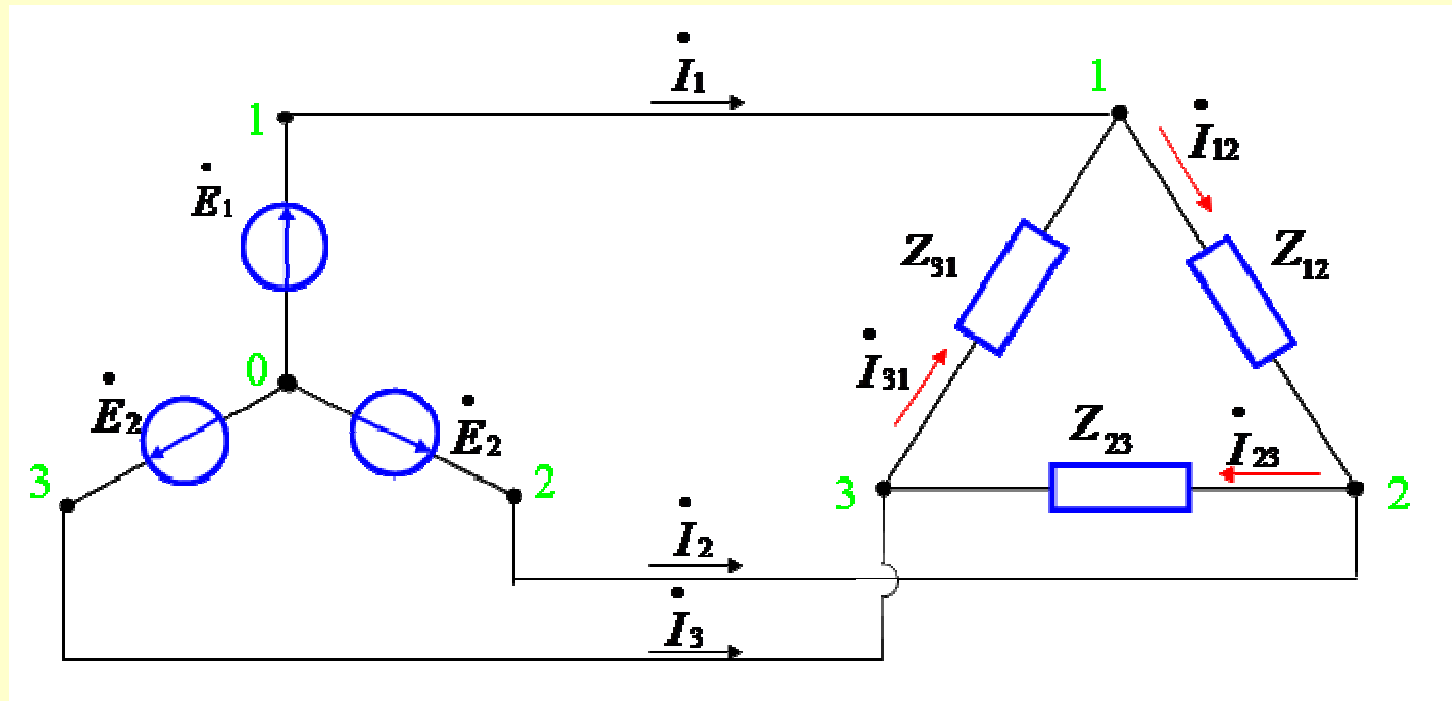
4. Триъгълник - звезда (\triangle - \star)



5. Триъгълник - триъгълник ($\triangle - \triangle$)



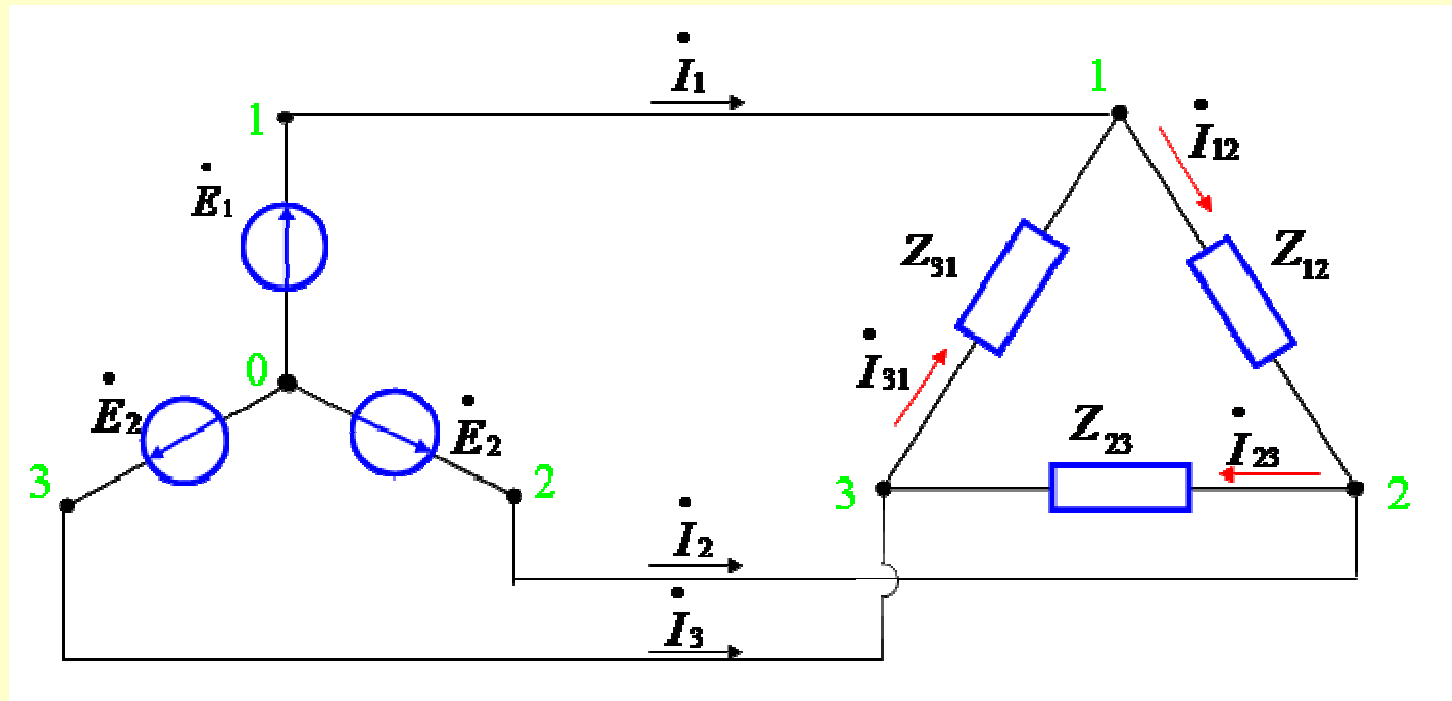
Съотношения между линейните и фазните напряжения и токове



Фазни напряжения - напряженията на отделните фази на генератора или консуматора се наричат фазни напряжения.

Линейни напряжения - напряженията между линейните проводници се наричат линейни напряжения.

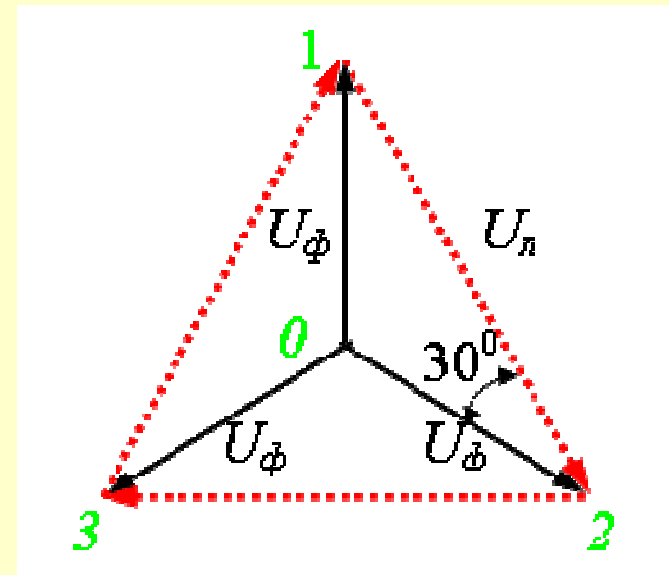
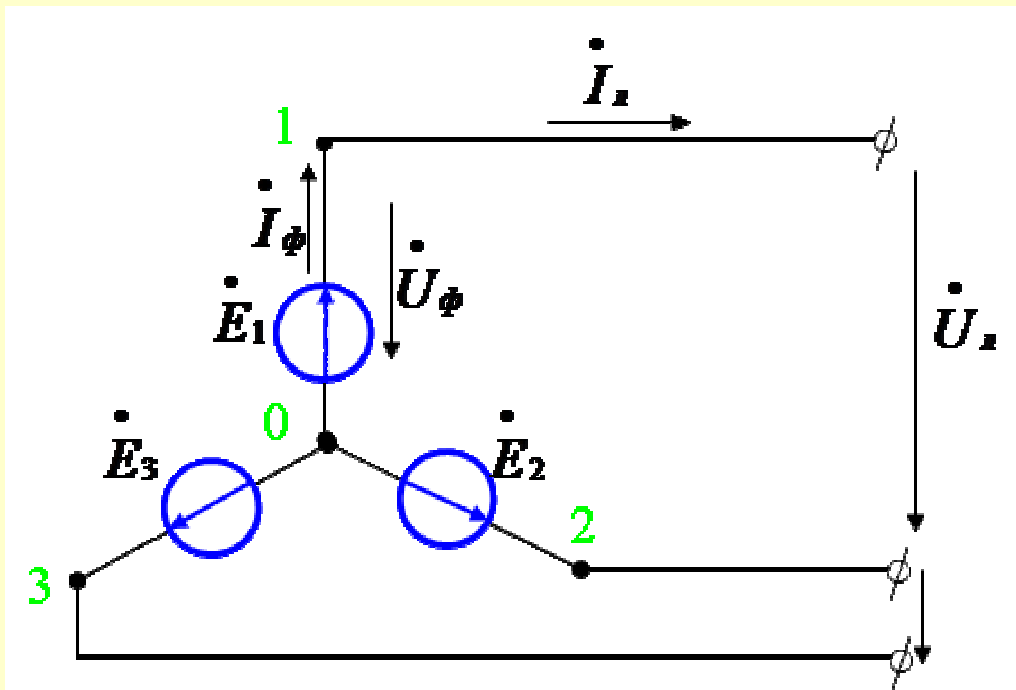
Съотношения между линейните и фазните напряжения и токове



Фазни токове – токовете в отделните фази на генератора или консуматора се наричат фазни токове.

Линейни токове - токовете в линейните проводници се наричат линейни токове .

Съотношения между напрежения и токове при
съединение „звезда”



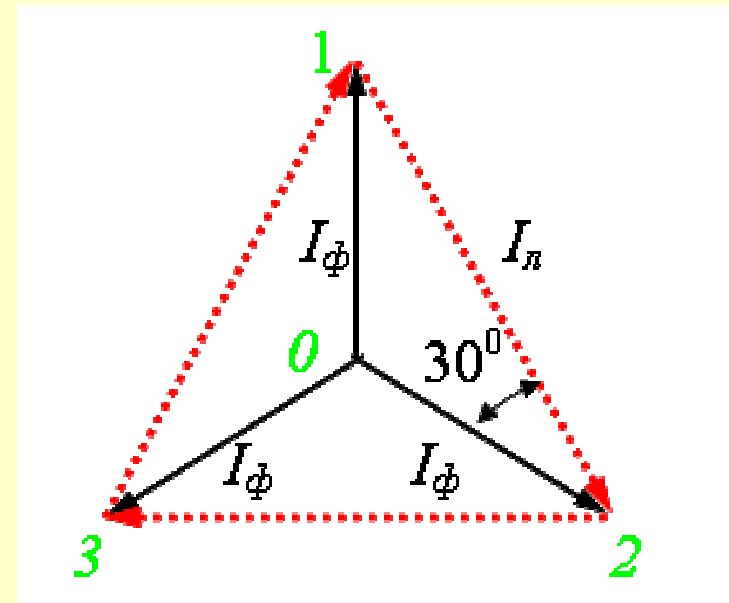
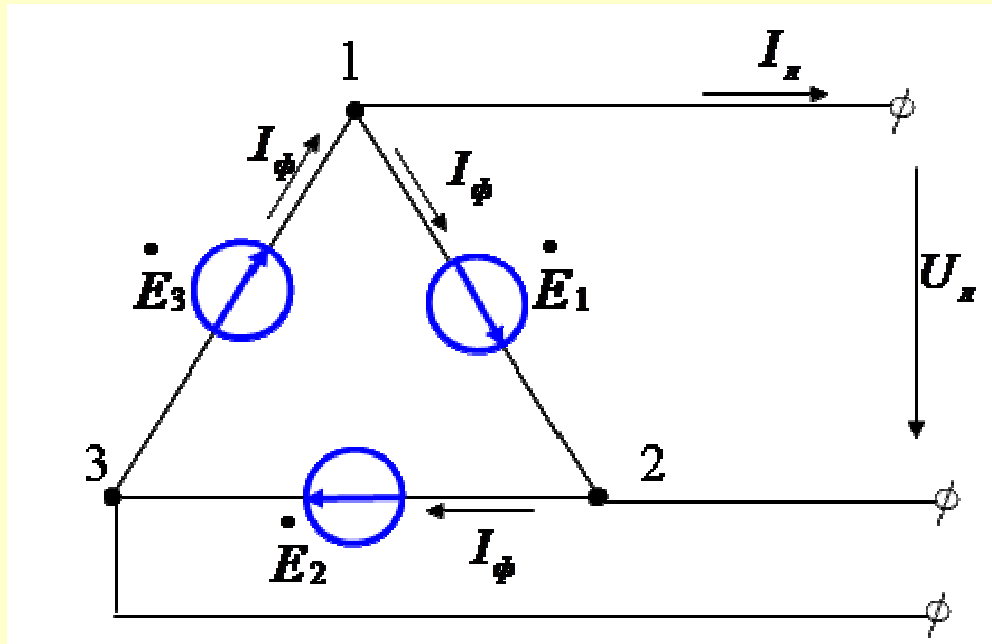
$$I_\lambda = I_\phi$$

$$U_\lambda = \sqrt{3}U_\phi$$

$$U_\lambda = 2U_\phi \cdot \cos 30^\circ = 2U_\phi \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}U_\phi$$

2. Съотношения между напрежения и токове при съединение

„ТРИЪГЪЛНИК“ () Δ



$$U_L = U_\phi$$

$$I_L = \sqrt{3}I_\phi$$

$$I_L = 2I_\phi \cdot \cos 30^\circ = 2I_\phi \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}I_\phi$$

Симетричен товар - такъв за който съпротивленията на отделните фази са еднакви:

$$Z_{1T} = Z_{2T} = Z_{3T}$$

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3$$

Мощности в трифазни вериги.

1. Моментна мощност - $p(t)$

Моментната мощност $p(t)$ се определя като сума от мощностите на отделните фази:

$$p(t) = \sum_{k=1}^3 p_k(t) = \sum_{k=1}^3 u_k(t) \cdot i_k(t)$$

2. Активна мощност- P

$$P = \sum_{k=1}^3 P_k = \sum_{k=1}^3 U_k \cdot I_k \cos \varphi_k$$

(U_k и I_k са ефективните стойности на напрежението и тока във фаза K)

Мощности в трифазни вериги.

3. Реактивна мощност - Q

$$Q = \sum_{k=1}^3 Q_k = \sum_{k=1}^3 U_k \cdot I_k \sin \varphi_k$$

4. Пълна мощност- S – ако консуматора е симетричен

$$S = \sum_{k=1}^3 S_k = 3U_k \cdot I_k$$

5. Комплексна мощност- \dot{S}

$$\dot{S} = \sum_{k=1}^3 \dot{S}_k = \sum_{k=1}^3 \dot{U}_k \cdot I_k^*$$

$$P = \operatorname{Re}[\dot{S}]$$

$$Q = \operatorname{Im}[\dot{S}]$$

При 3-фазна симетрична система и симетричен товар мощността се определя по един и същи начин независимо от свързването на товара в „звезда” или в „триъгълник”

$$P = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \cos \varphi$$

Доказателство

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_\phi \quad I_1 = I_2 = I_3 = I_\phi$$
$$S = 3U_\phi I_\phi$$

1.Свързване

$$I_l = I_\phi$$
$$U_l = \sqrt{3}U_\phi \quad \Rightarrow \quad S = 3U_\phi I_\phi = 3 \frac{U_l}{\sqrt{3}} I_l = \sqrt{3}U_l I_l$$

При 3-фазна симетрична система и симетричен товар мощността се определя по един и същи начин независимо от свързването на товара в „звезда” или в „триъгълник”

$$P = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \cos \varphi$$

Доказателство

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_\phi \quad I_1 = I_2 = I_3 = I_\phi$$
$$S = 3U_\phi I_\phi$$

2. Свързване



$$\begin{aligned} U_l &= U_\phi \\ I_l &= \sqrt{3} I_\phi \end{aligned} \Rightarrow S = 3U_\phi I_\phi = 3U_l \frac{I_l}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} U_l I_l$$

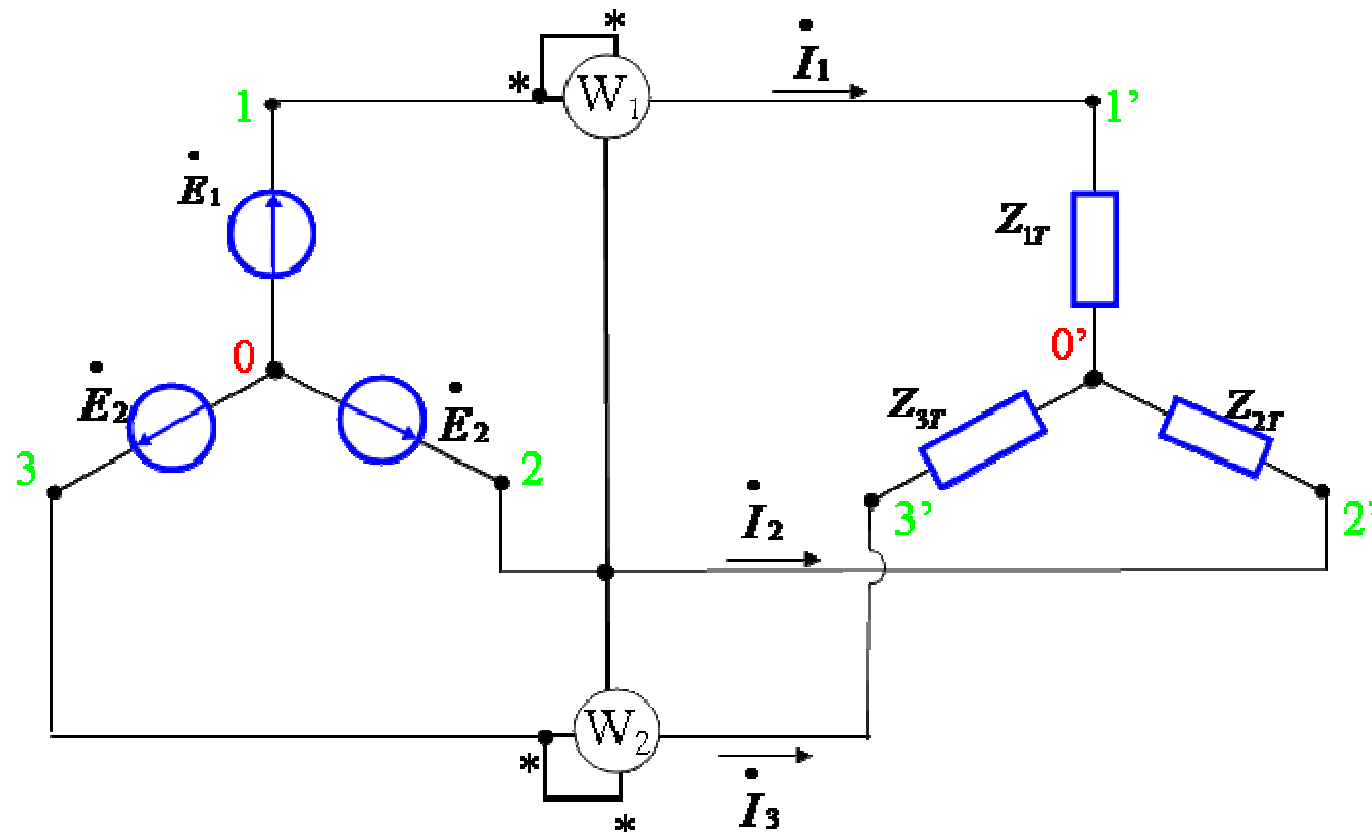
Измерване на 3-фазна мощност с помощта на 2 ватметъра

$$\dot{S} = \sum_{k=1}^3 \dot{U}_k \cdot \dot{I}_k^*$$

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$$

$$\Rightarrow \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$$

$$\Rightarrow \dot{I}_2 = -(\dot{I}_1 + \dot{I}_3)$$

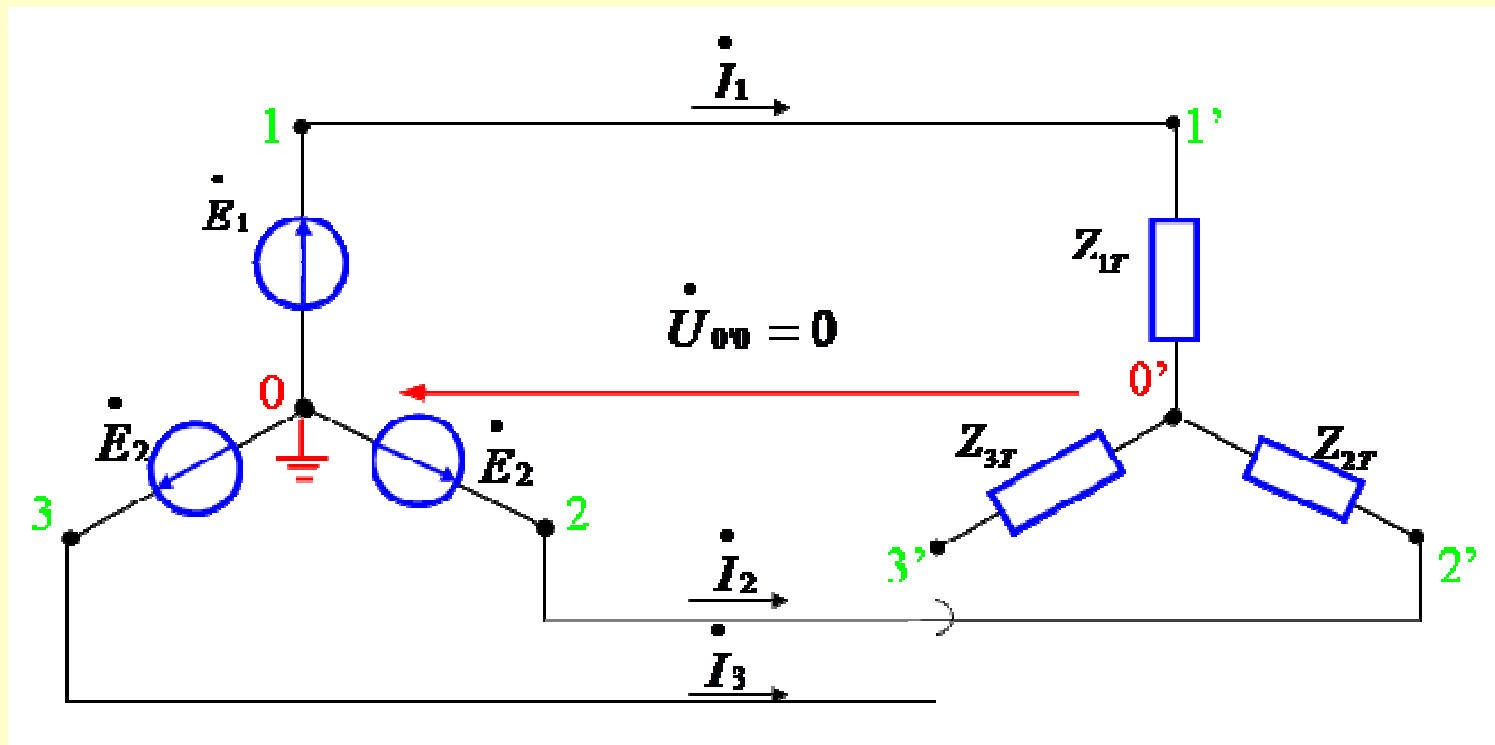


$$\dot{S} = \dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1 + \dot{U}_2 \cdot \dot{I}_2 + \dot{U}_3 \cdot \dot{I}_3 =$$

$$\dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1 - \dot{U}_2 \cdot \dot{I}_1 - \dot{U}_2 \cdot \dot{I}_3 + \dot{U}_3 \cdot \dot{I}_3 = \dot{U}_{12} \cdot \dot{I}_1 + \dot{U}_{32} \cdot \dot{I}_3$$

Анализ на трифазни симетрични вериги.

- При изследването се използват се законите на Кирхоф, както и методите и теоремите за анализ на ел.вериги.
- Наличието на симетрия позволява определено съкращаване на изчислителната процедура



Свойство на звездните точки

$$U_{0'0} = 0$$

