

Трехфазные цепи синусоидального тока

1. Элементы трехфазной цепи

Трехфазная цепь- это совокупность *трех электрических цепей (трех фаз)*, в которых действуют три ЭДС одинаковой частоты, полученные от одного источника питания и отличающиеся друг от друга по фазе (сдвиг во времени).

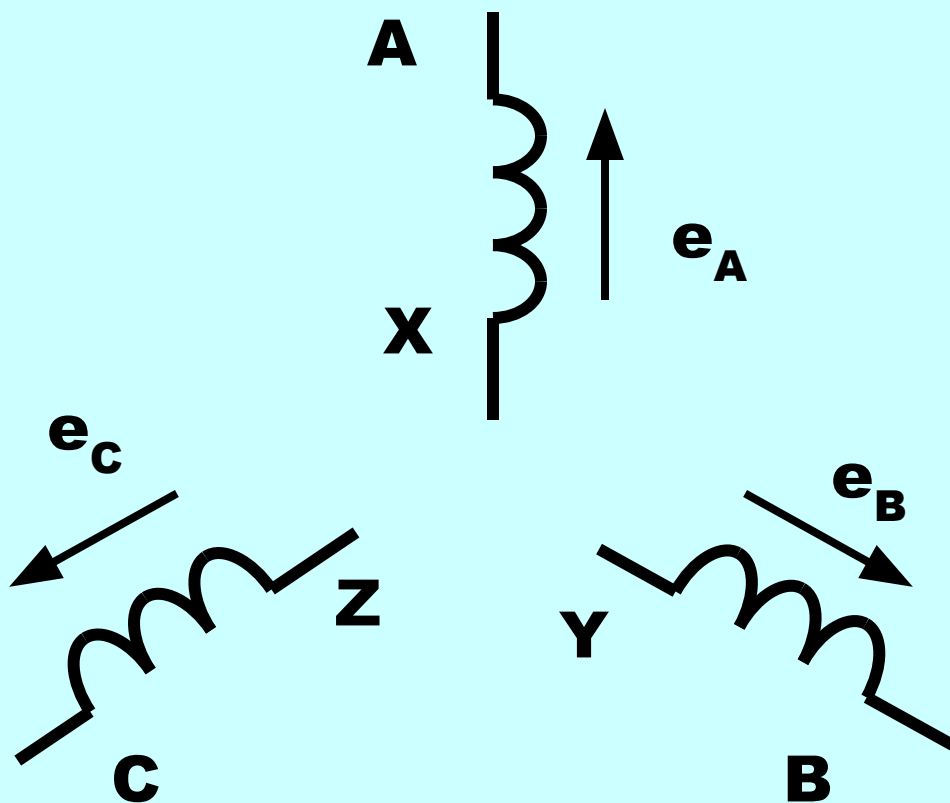
Трехфазные цепи обеспечивают высокую экономичность при производстве, передаче и преобразовании электрической энергии

Основные элементы трехфазных цепей:

- трехфазный источник электрической энергии (трехфазный генератор или трехфазный трансформатор),
- линия передачи,
- приемники электрической энергии.

Трехфазный генератор

имеет в своем составе три обмотки, смещенные в пространстве, в которых индуцируются три синусоидальные ЭДС, отличающиеся друг от друга по фазе:



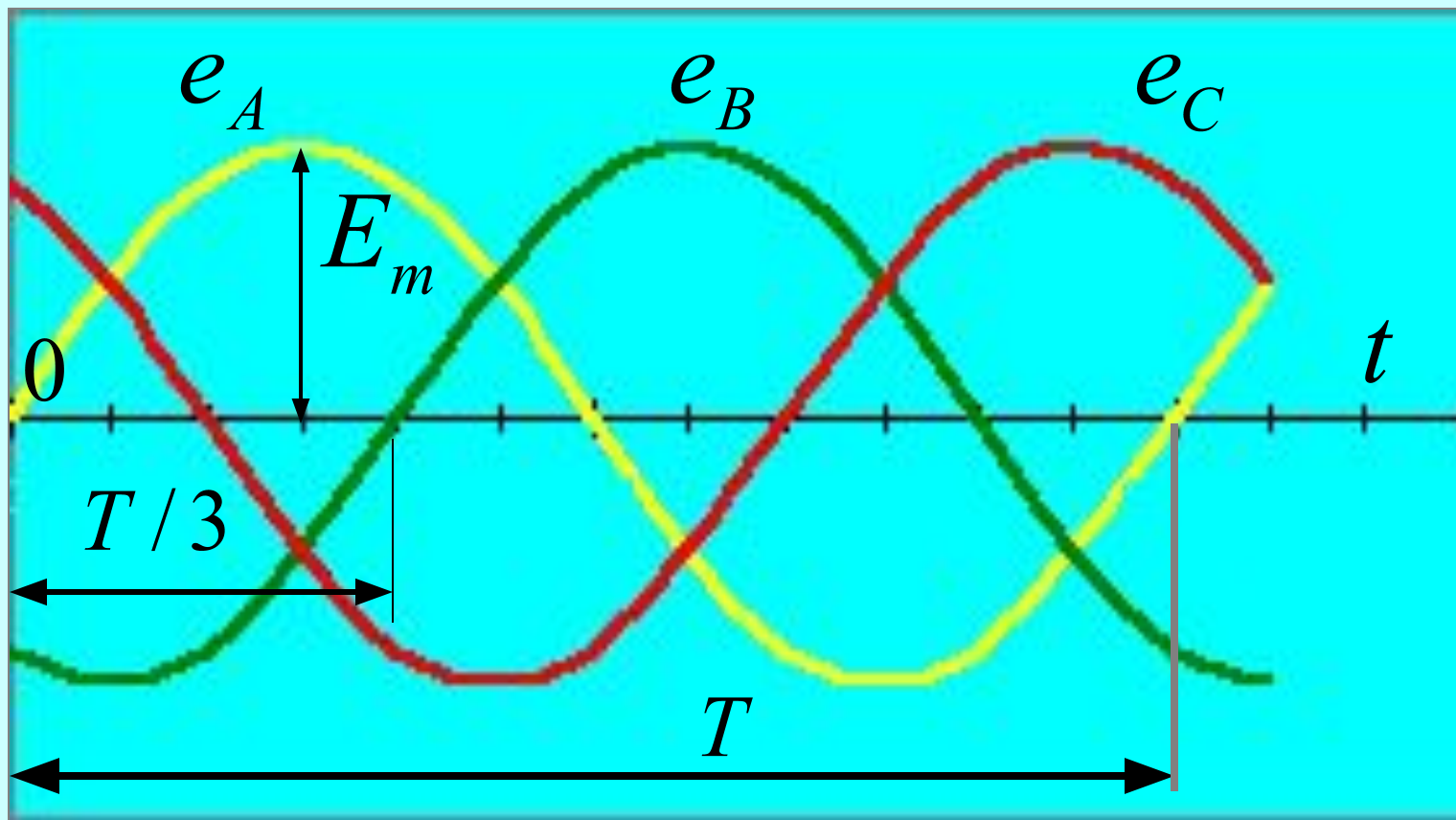
Мгновенные значения ЭДС:

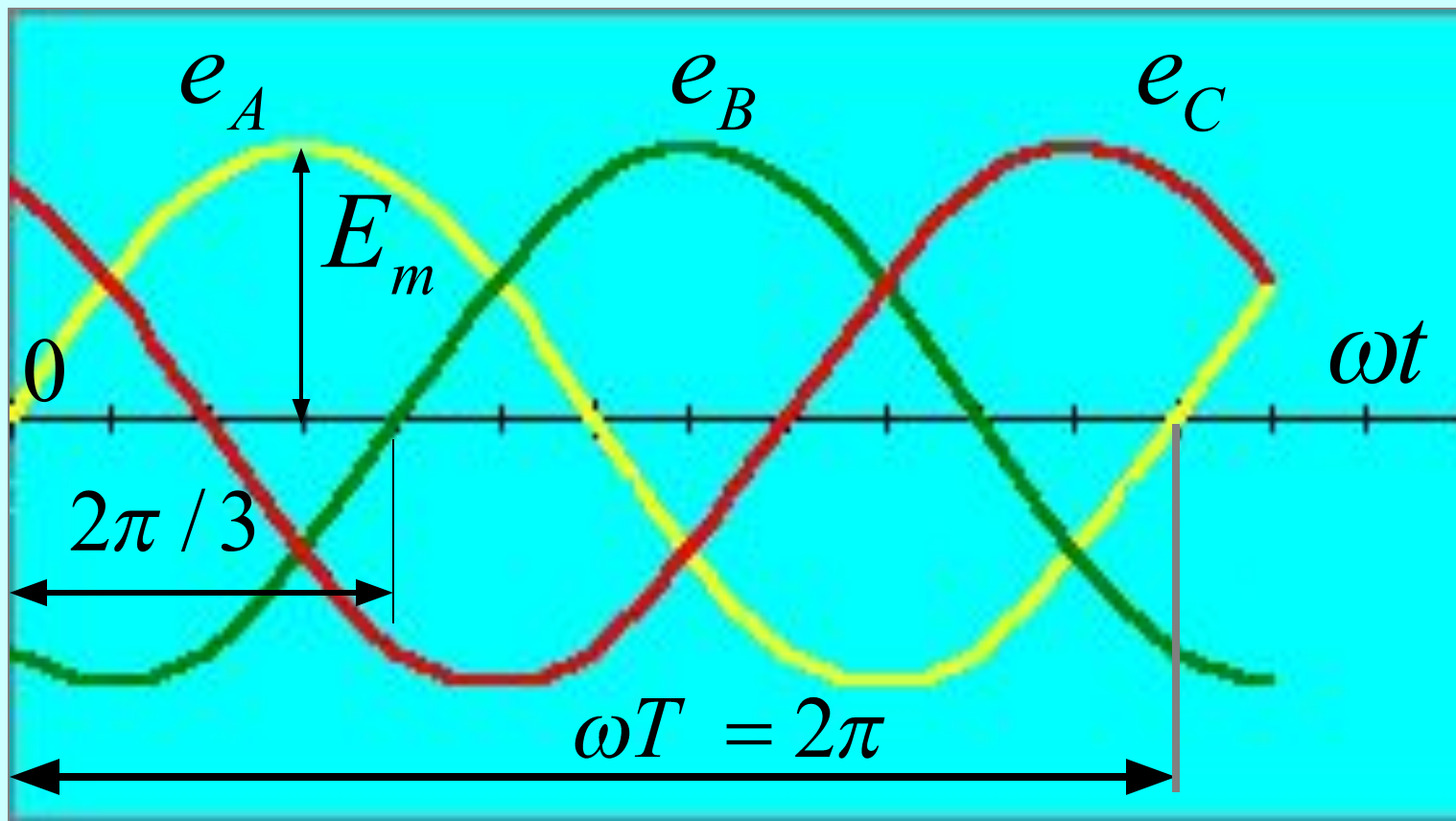
$$e_A = E_M \sin \omega t$$

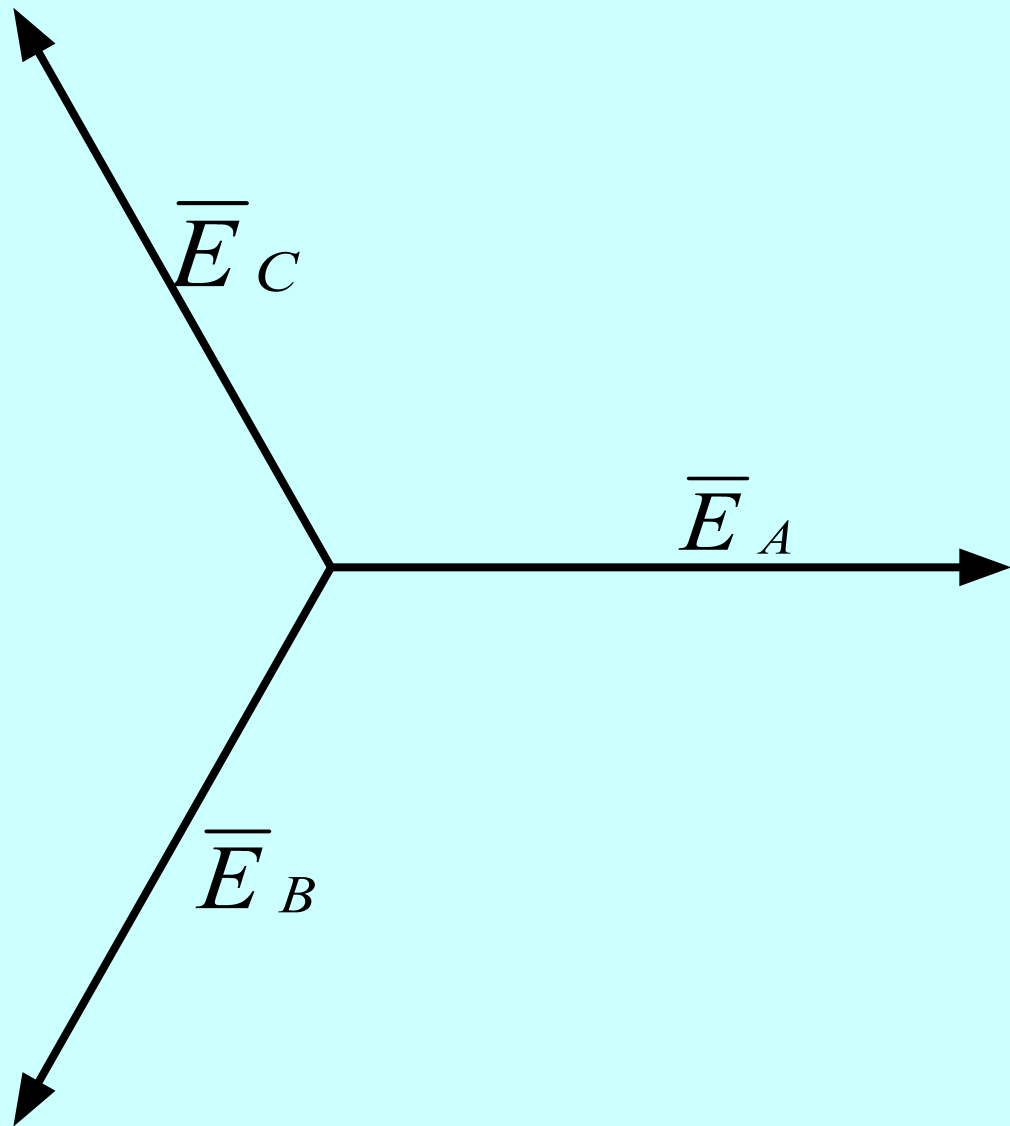
$$e_B = E_M \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$e_C = E_M \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

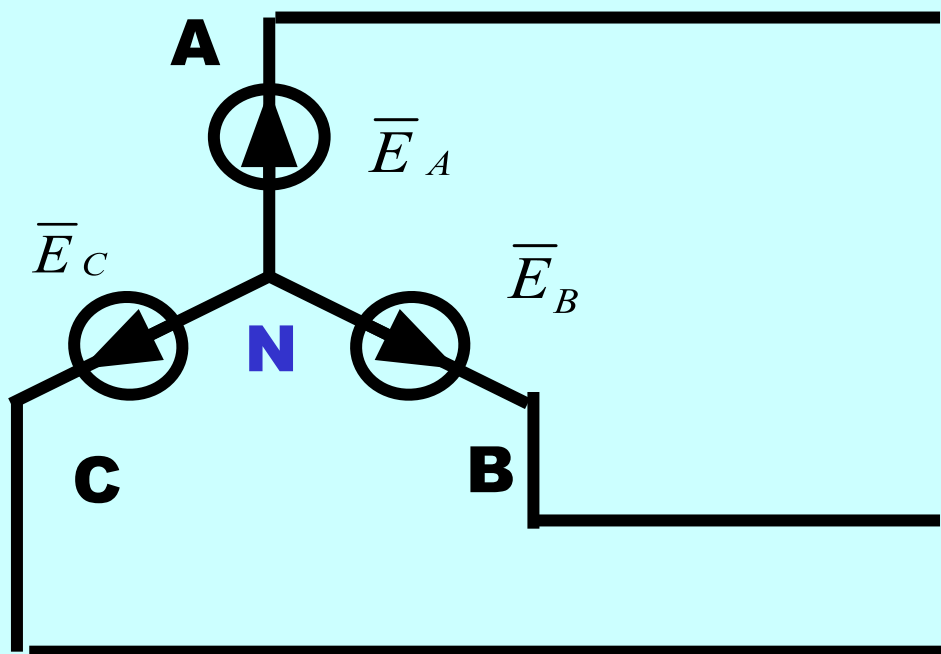
$$E = \frac{E_M}{\sqrt{2}}$$





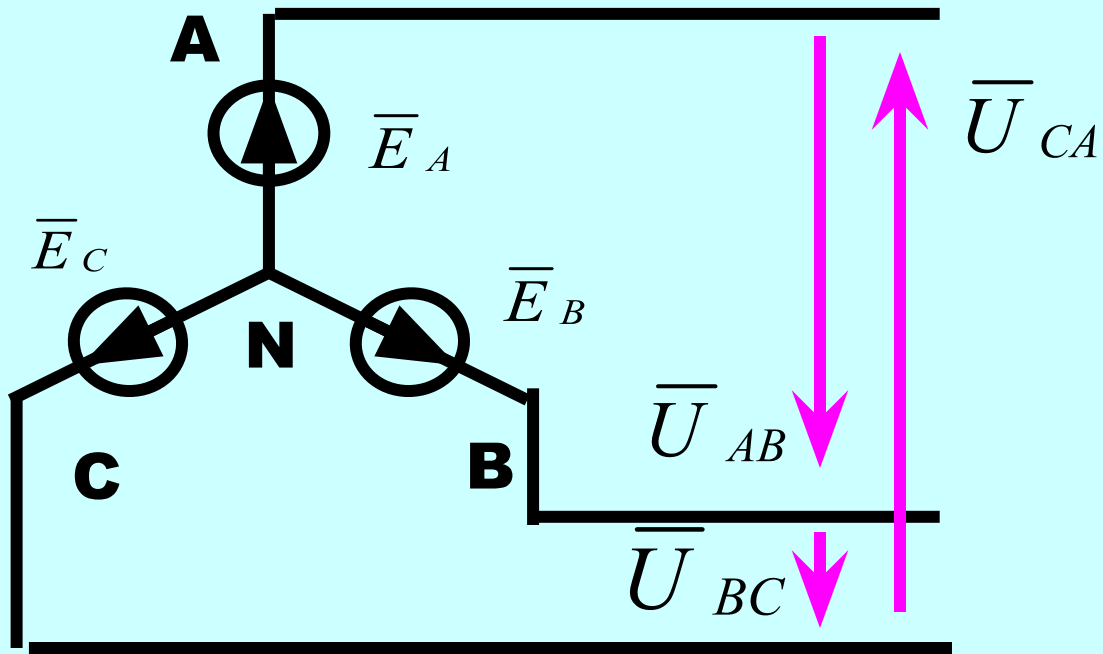


При соединении фаз источника звездой (условное обозначение Y) все концы фазных обмоток генератора соединяются в один общий узел N , называемый **нейтралью** или **нейтральной точкой**.



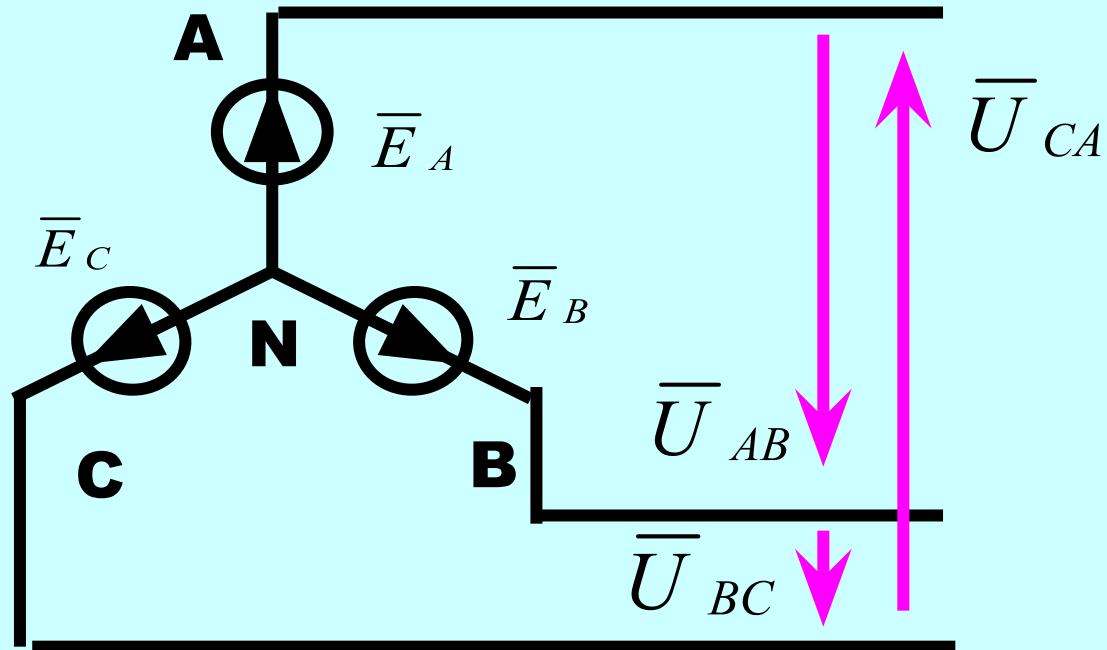
E_A, E_B, E_C – фазные ЭДС

$$E_A = E_B = E_C = E_\phi$$



Линейные напряжения : U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}

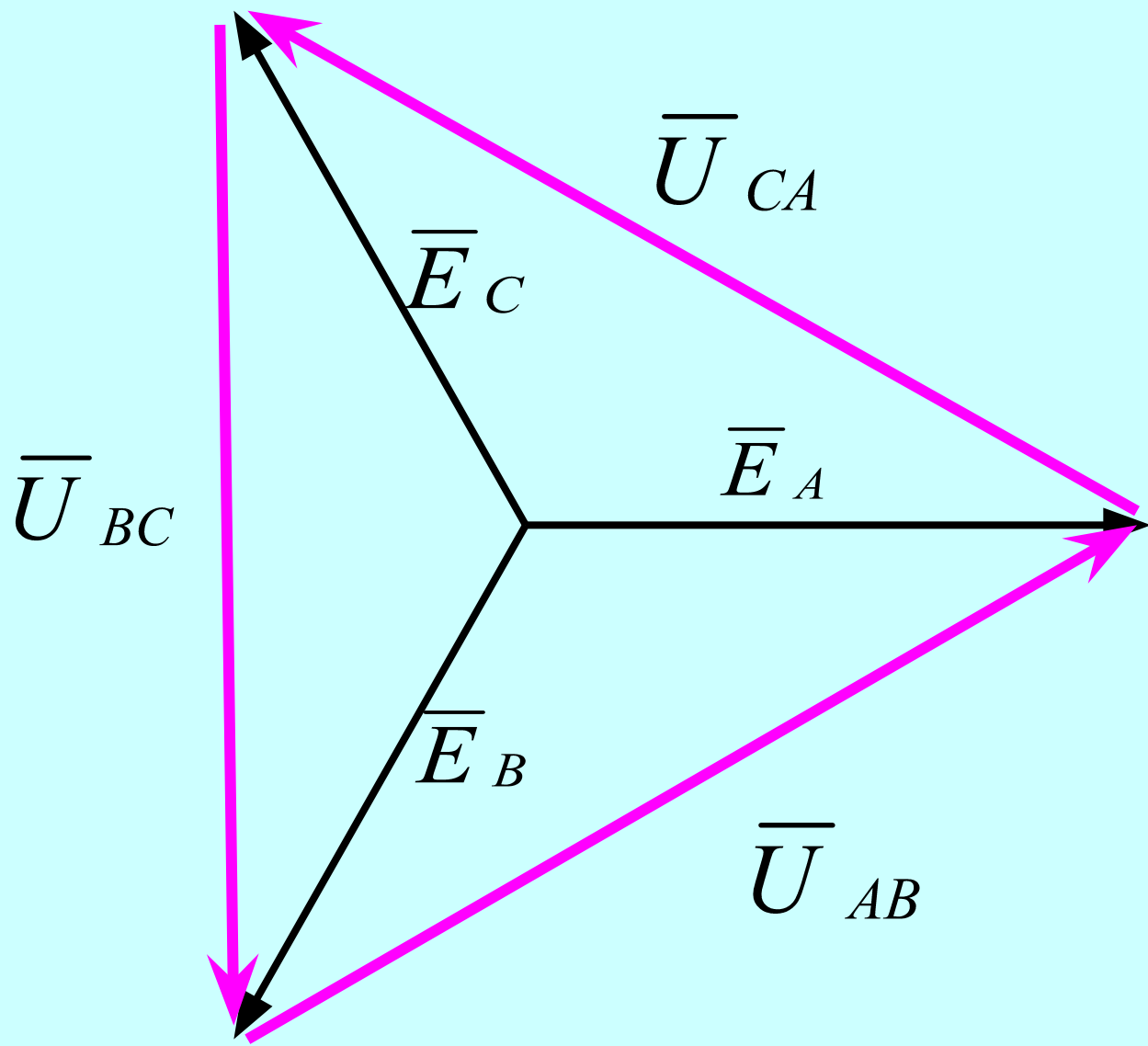
$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_{\text{Л}}$$

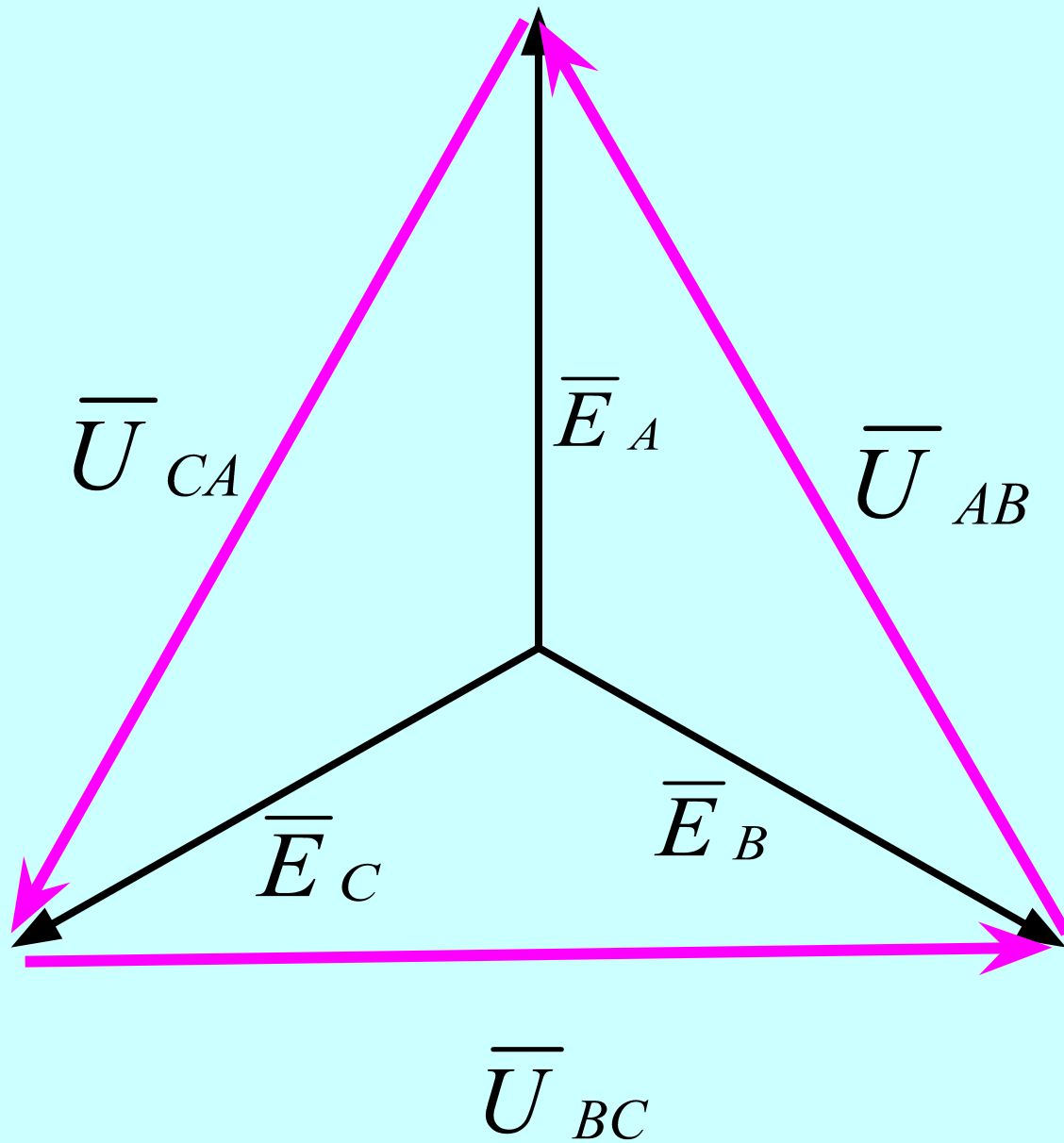


$$\bar{U}_{AB} = \bar{E}_A - \bar{E}_B$$

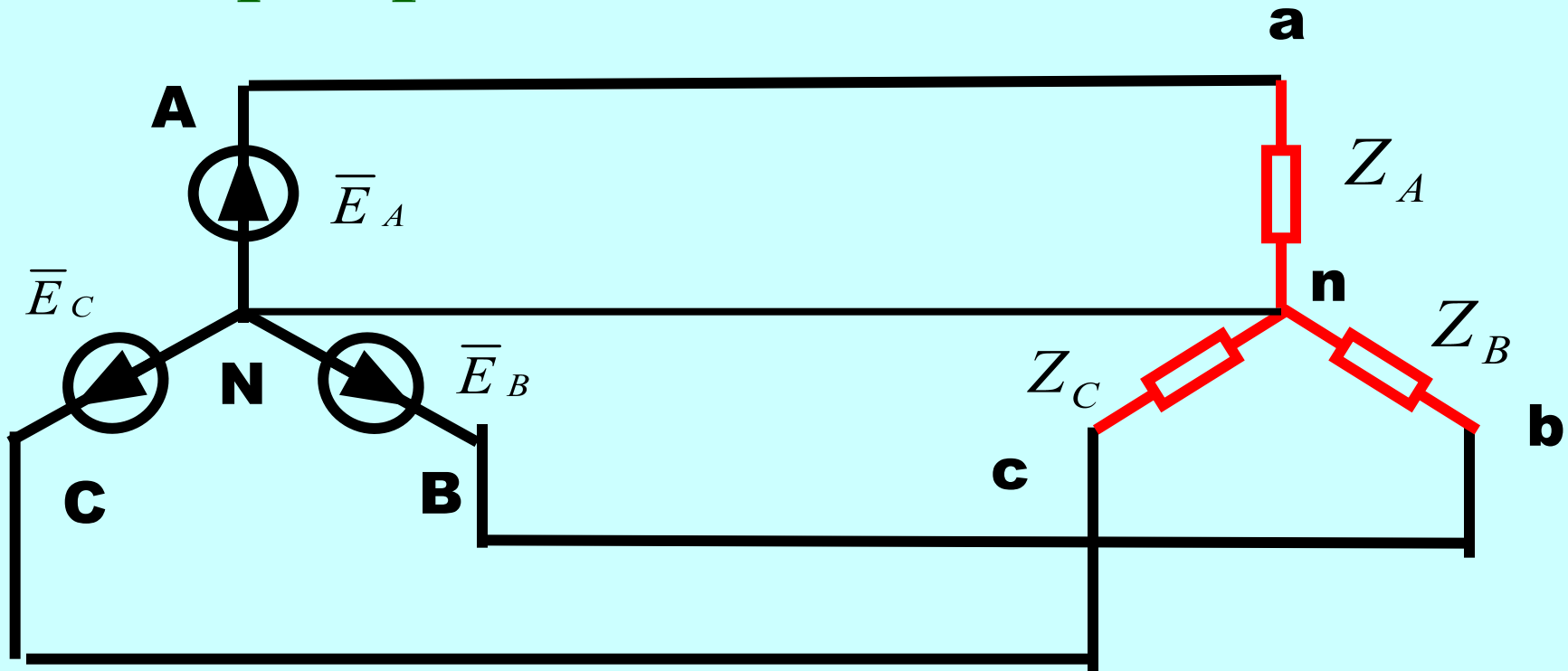
$$\bar{U}_{BC} = \bar{E}_B - \bar{E}_C$$

$$\bar{U}_{CA} = \bar{E}_C - \bar{E}_A$$





2. Четырехпроводная трехфазная цепь



Линия передачи:

A-a, B-b, C-c - линейные провода

N-n - нейтральный (нулевой) провод

Приемник несимметричный, если

$$Z_A \neq Z_B \neq Z_C$$

Приемник симметричный, если

$$Z_A = Z_B = Z_C, \varphi_A = \varphi_B = \varphi_C$$

Приемник может быть:

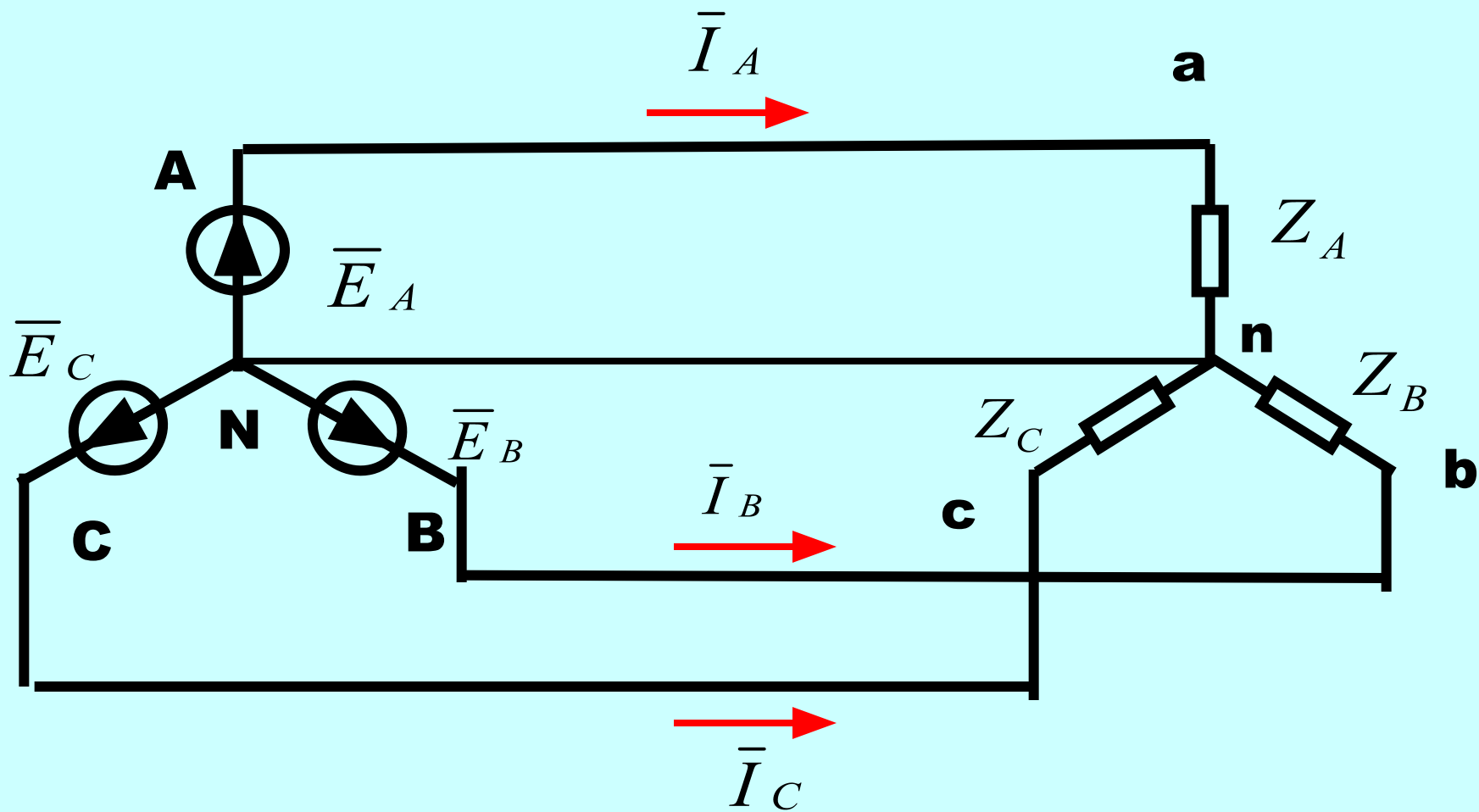
однофазным (например, осветительные приборы)

или трехфазным (например, трехфазный двигатель).

Приемник может включаться

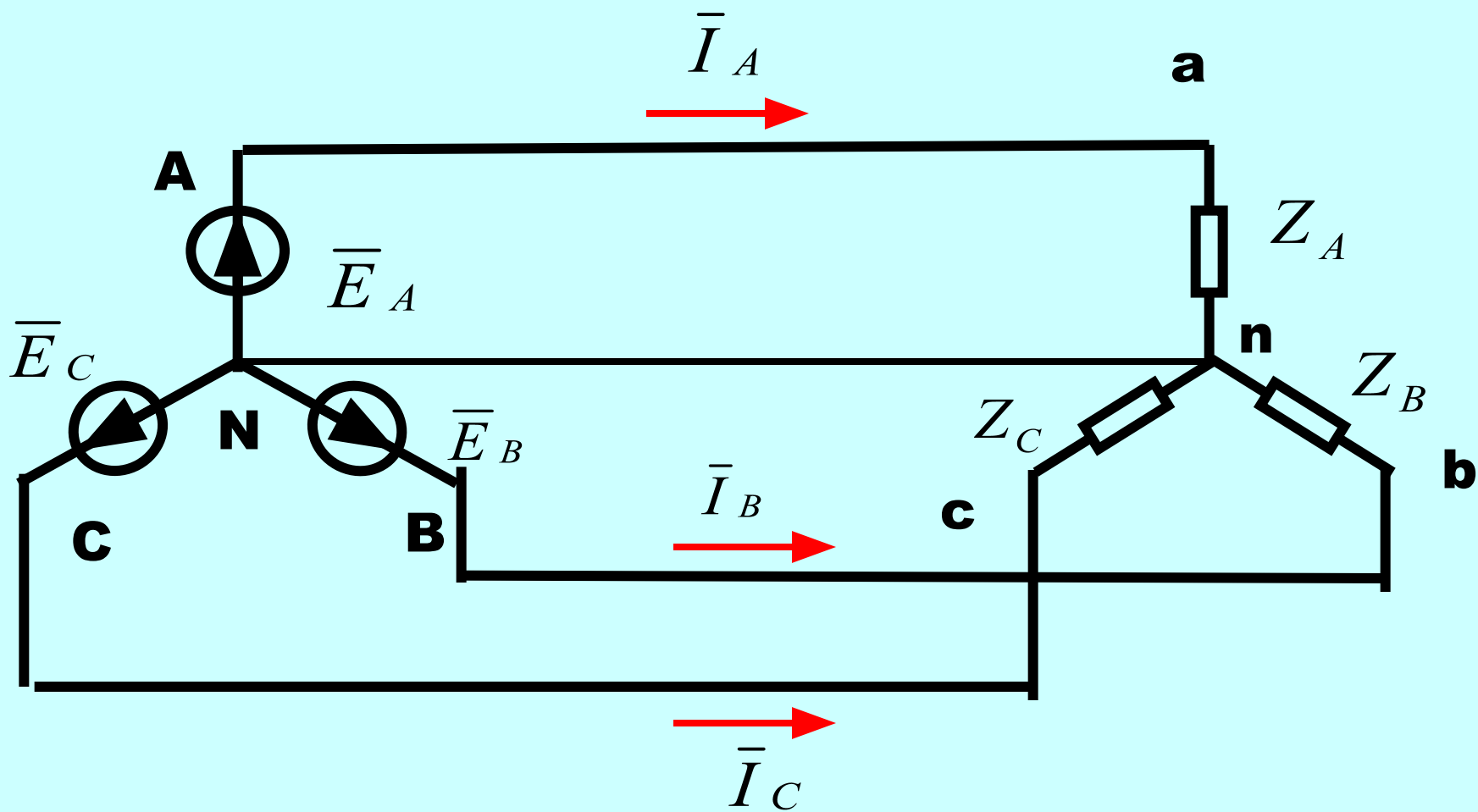
по схеме «звезда» или по схеме «треугольник»

токи в линейных проводах: $\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$



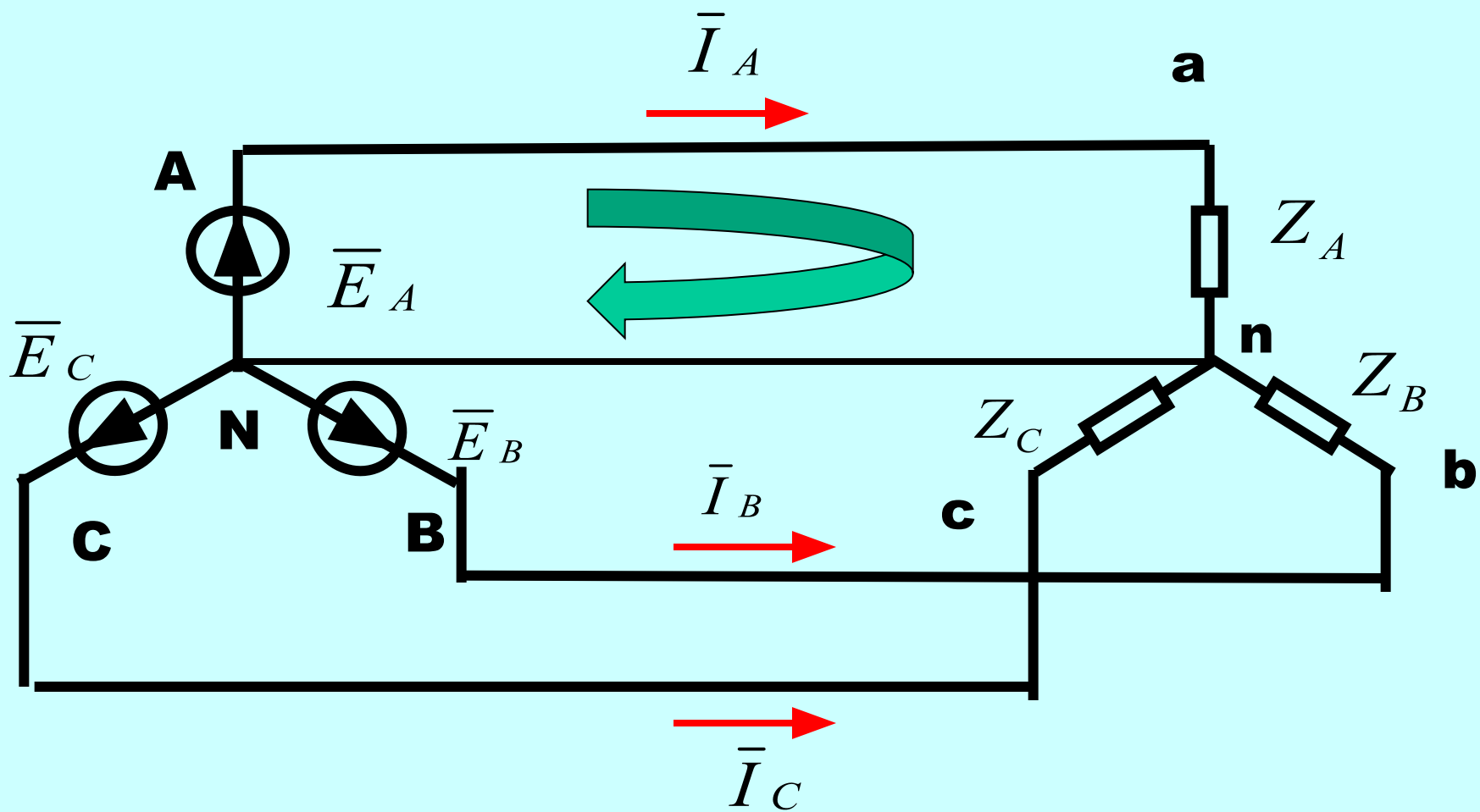
линейные и фазные (через приемник) токи
совпадают:

$$I_{\text{Л}} = I_{\text{Ф}}$$



по 2-му закону Кирхгофа для контура фазы А:

$$I_A Z_A = E_A$$



для фазы В:

$$I_B Z_B = E_B$$

для фазы С:

$$I_C Z_C = E_C$$

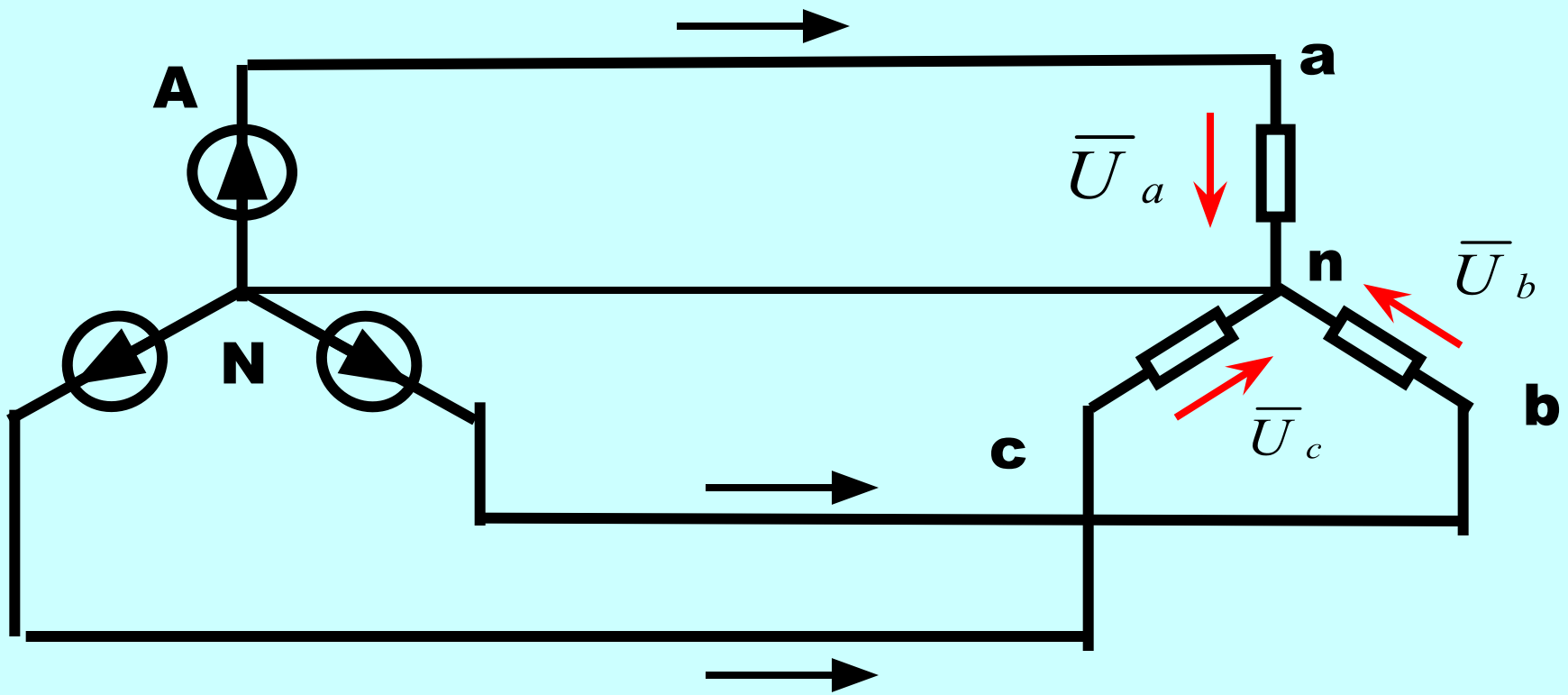
Следовательно

$$I_A = E_A / Z_A$$

$$I_B = E_B / Z_B$$

$$I_C = E_C / Z_C$$

напряжения на зажимах приемника –
фазные напряжения : \bar{U}_a , \bar{U}_b , \bar{U}_c



$$U_a = I_A Z_A$$

$$U_b = I_B Z_B$$

$$U_c = I_C Z_C$$

в четырехпроводной цепи фазные напряжения приемника совпадают с фазными ЭДС:

$$\bar{U}_a = \bar{E}_A$$

$$\bar{U}_b = \bar{E}_B$$

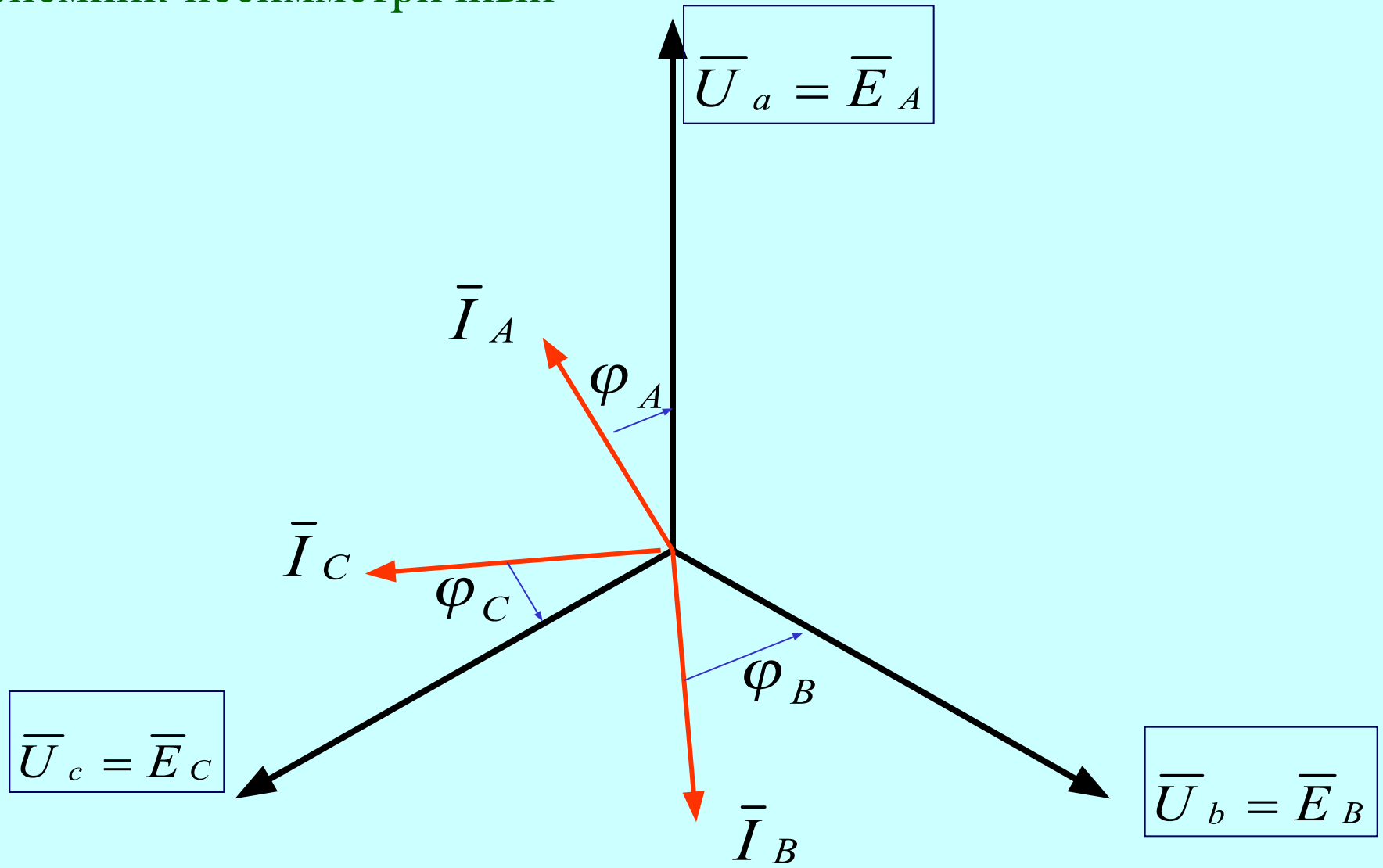
$$\bar{U}_c = \bar{E}_C$$

$\bar{U}_a = \bar{E}_A$

$\bar{U}_c = \bar{E}_C$

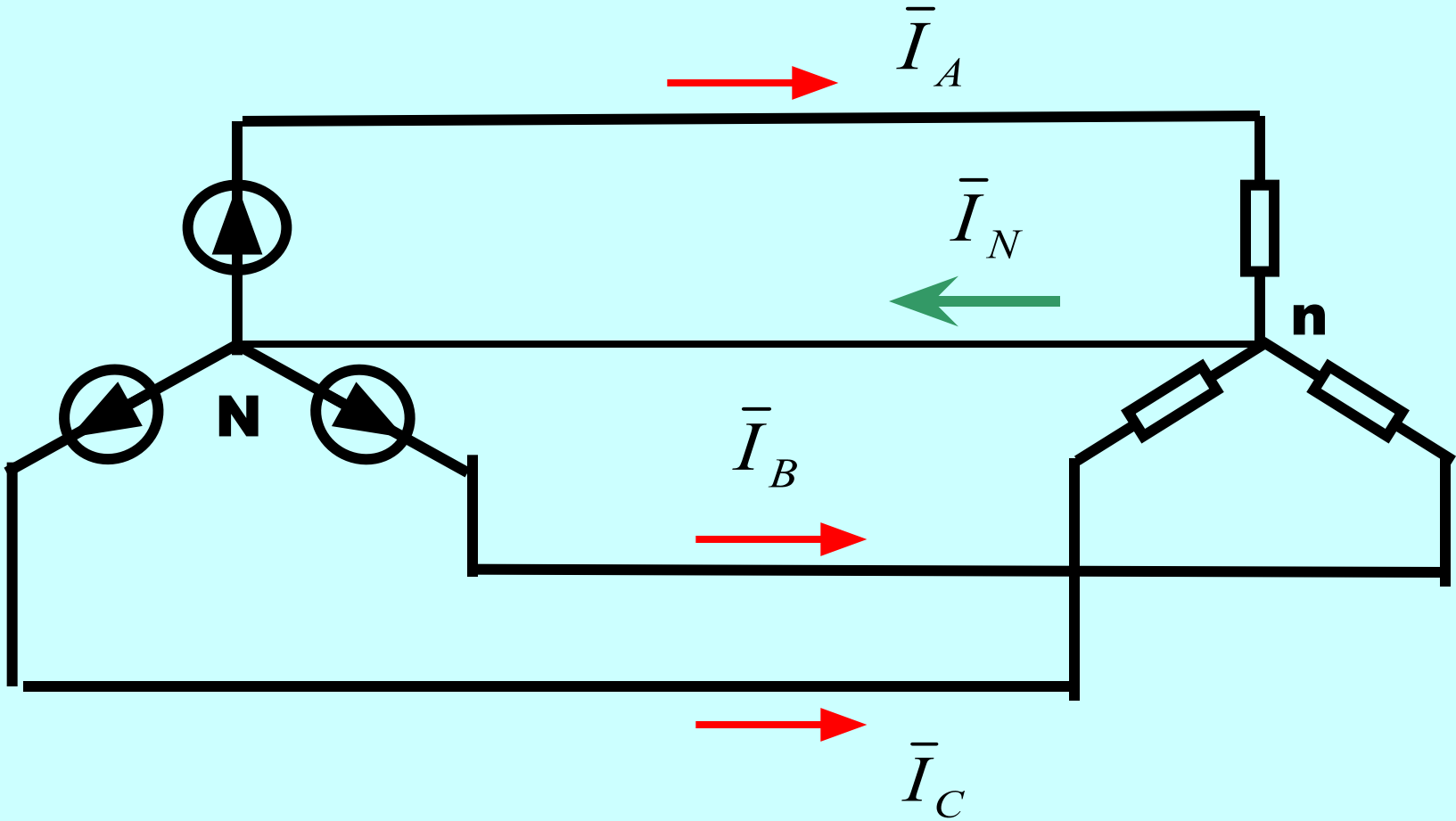
$\bar{U}_b = \bar{E}_B$

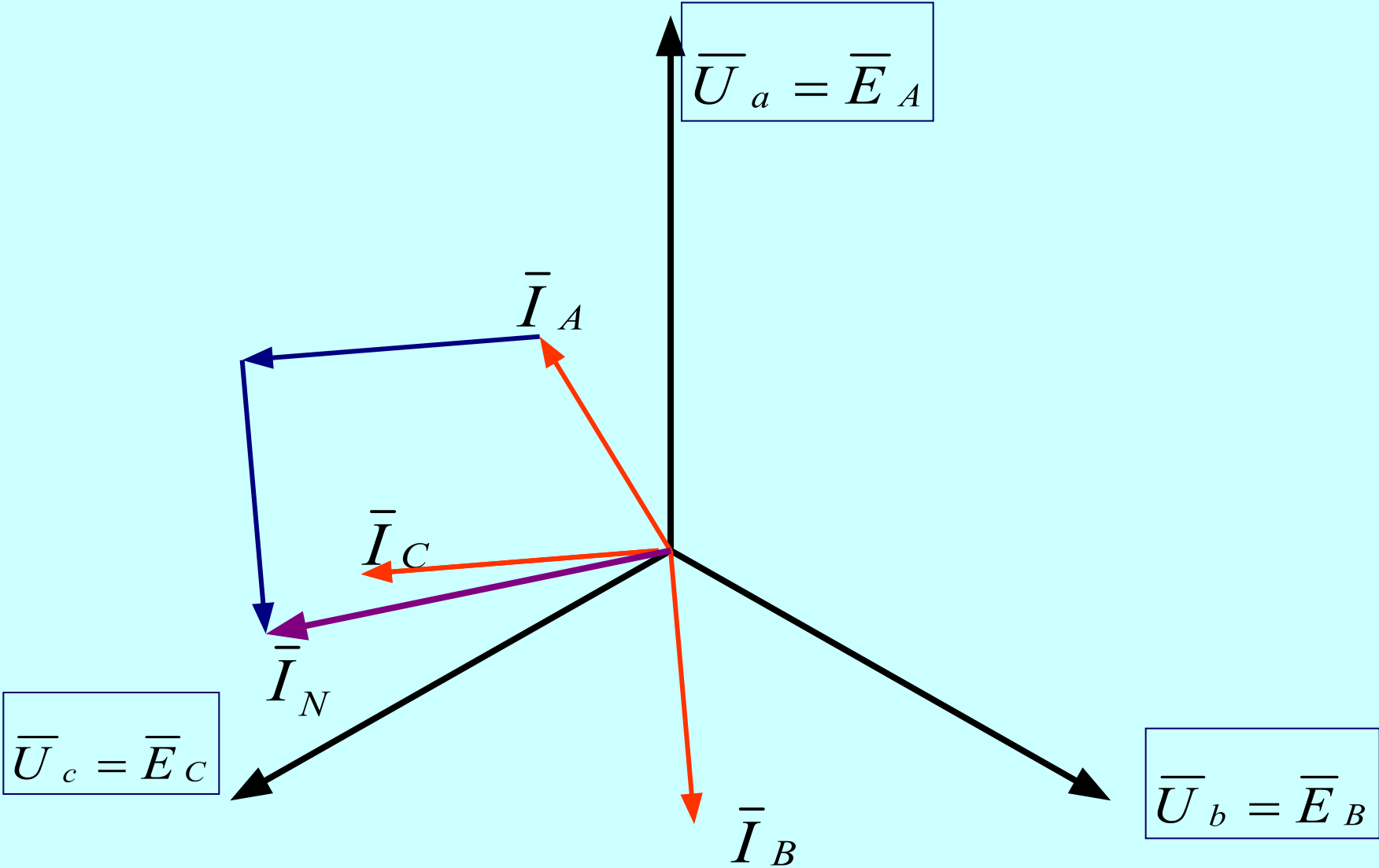
Приемник несимметричный



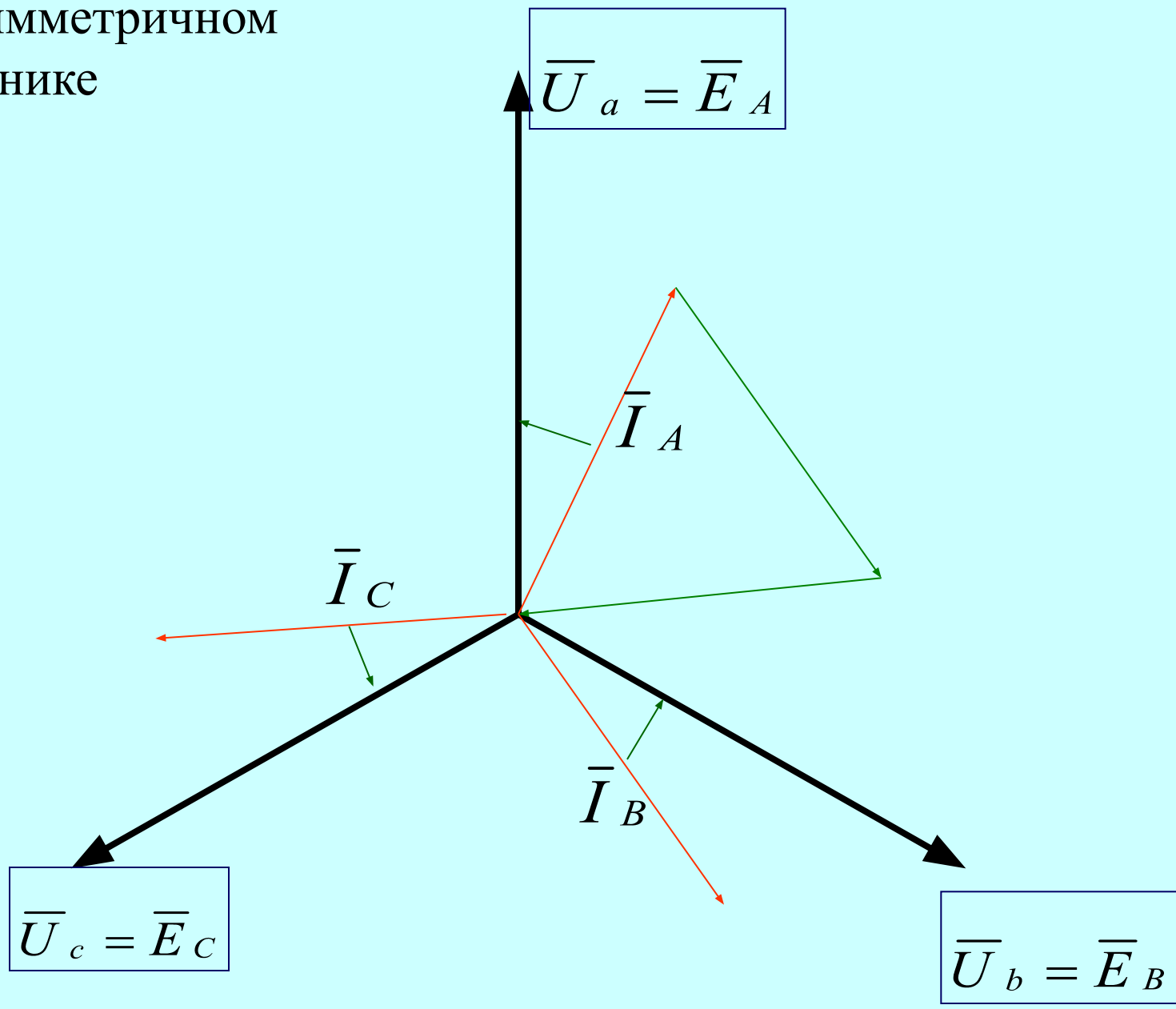
Ток в нейтральном
проводе:

$$\bar{I}_N = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C$$





при симметричном
приемнике



При симметричном приемнике

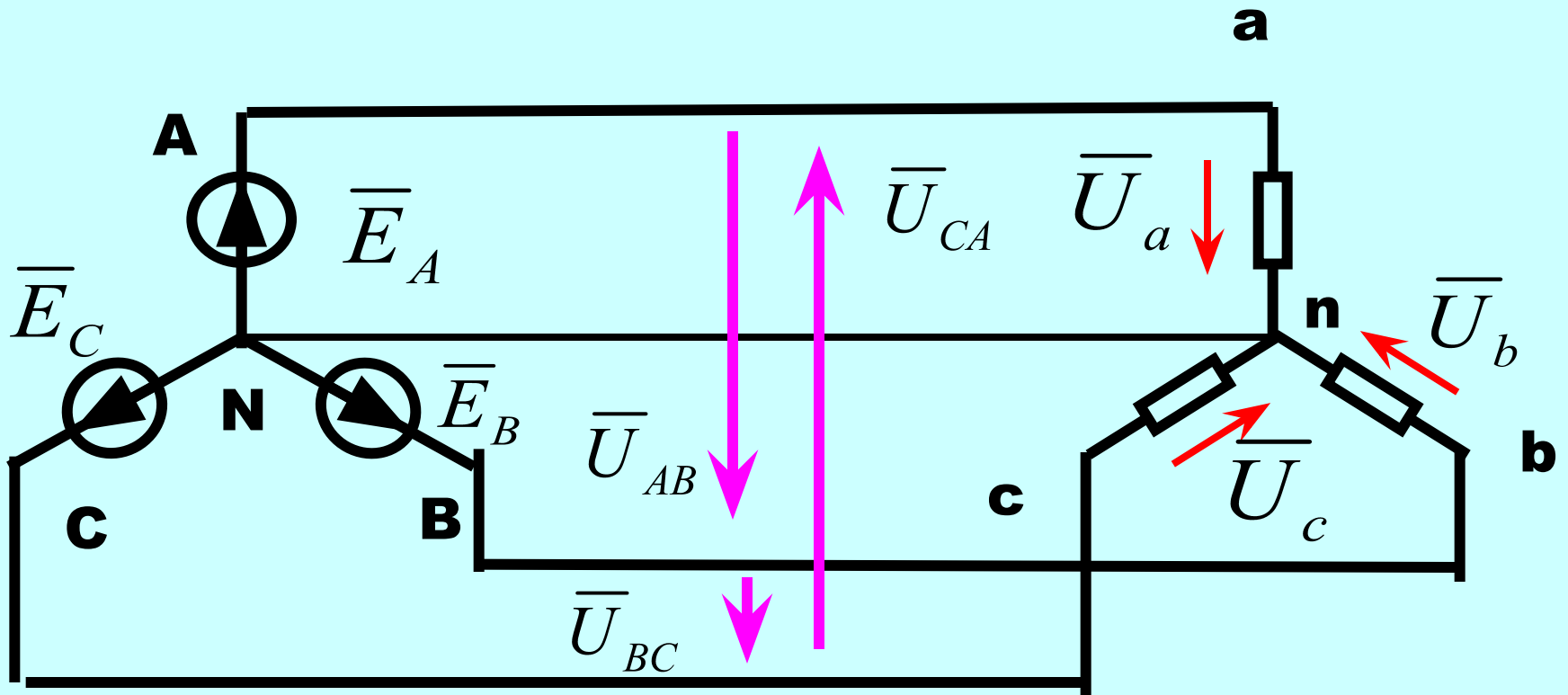
$$\bar{I}_N = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0$$

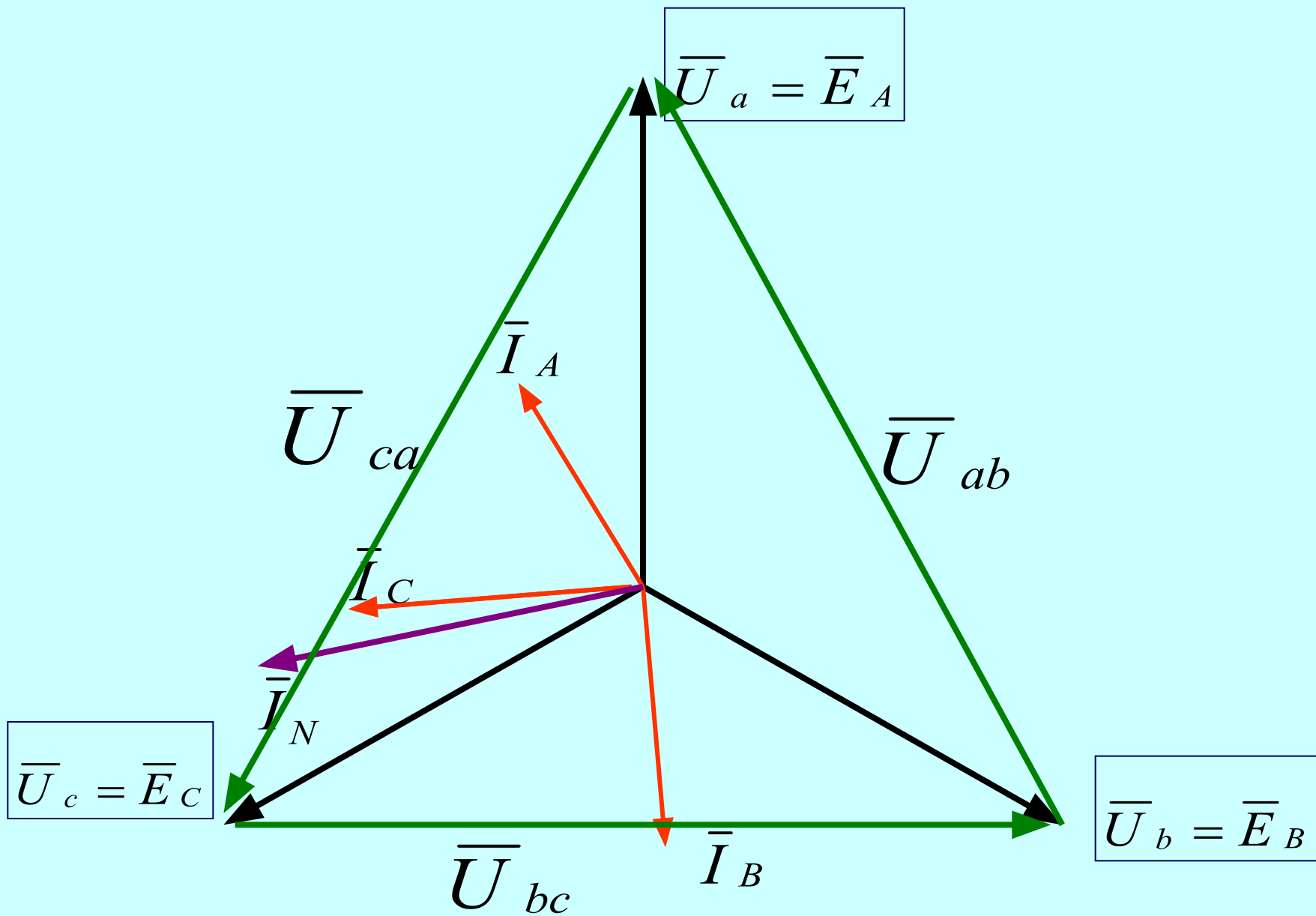
Потребность в нейтральном проводе отпадает

Фазные токи определяют по формуле:

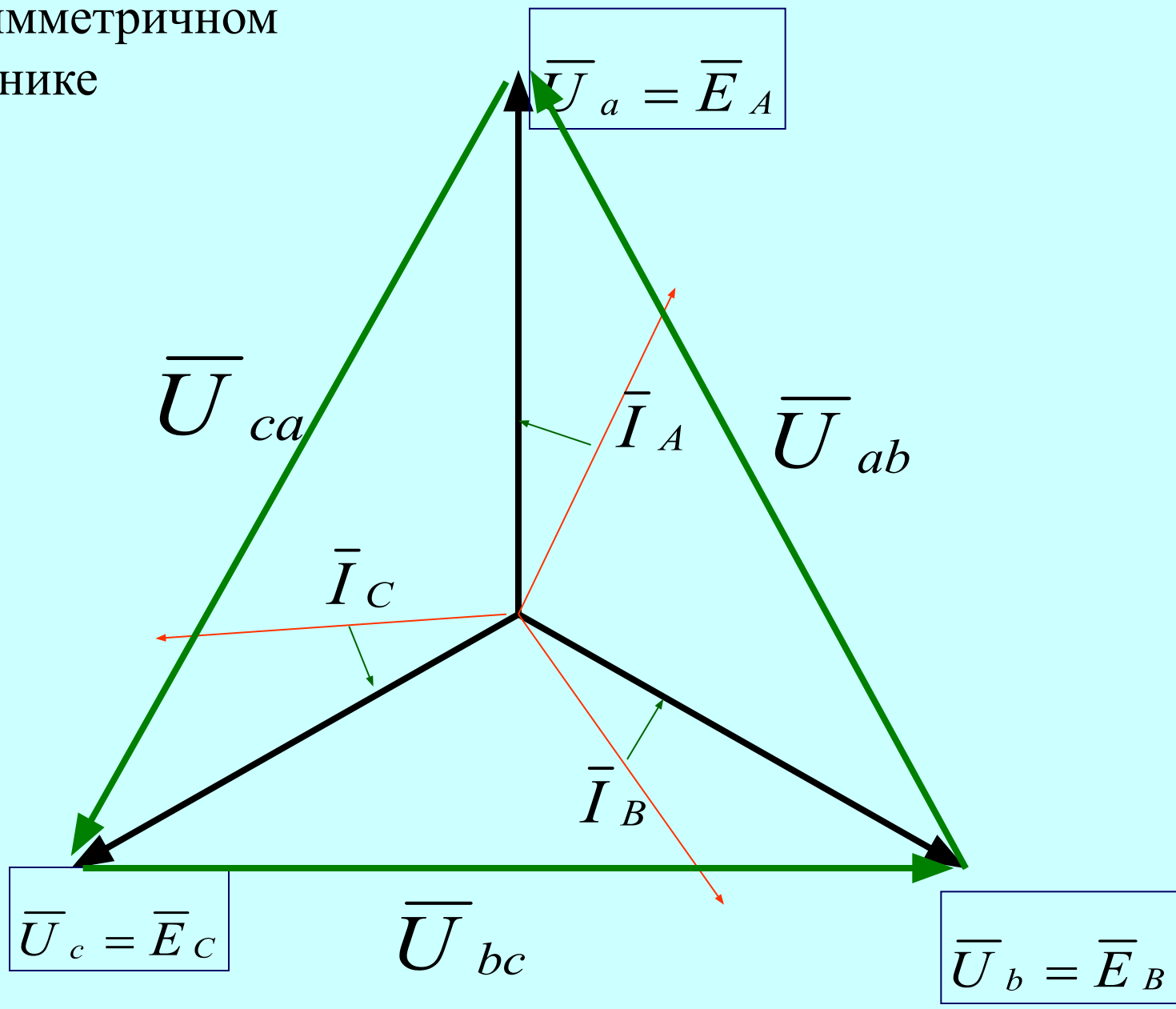
$$I_A = I_B = I_C = I_\Phi = \frac{U_\phi}{Z_\Phi}$$

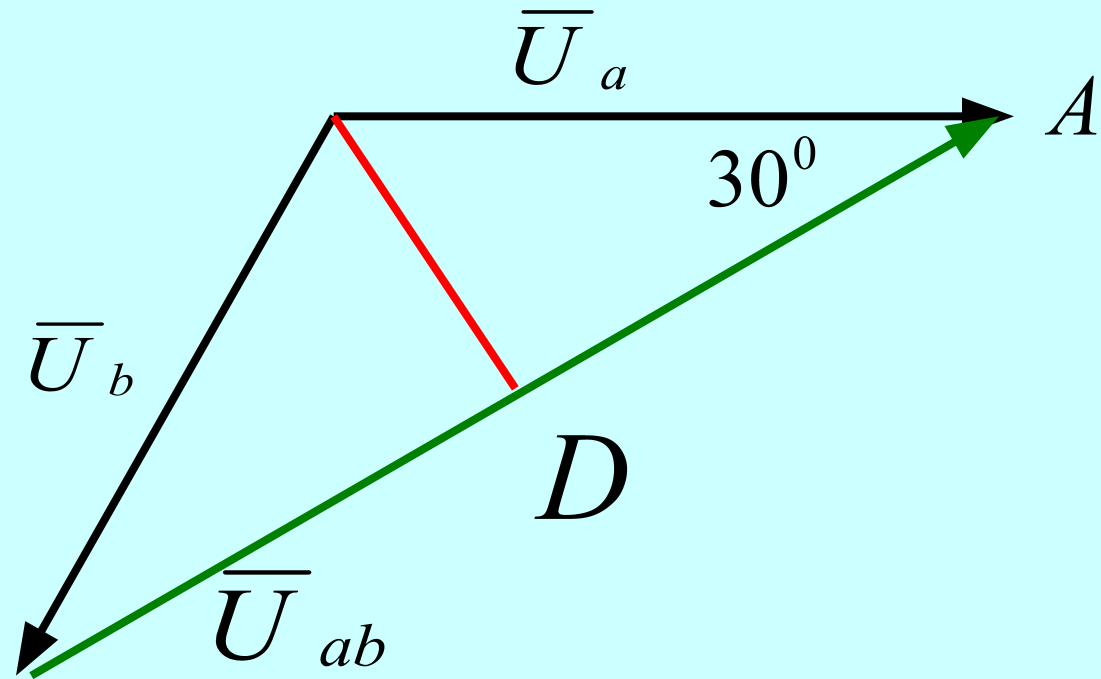
Покажем на схеме линейные напряжения
(напряжения между линейными проводами)





при симметричном
приемнике





Действующее значение линейного напряжения больше действующего значения фазной ЭДС :

$$U_{\text{л}} = 2AD = 2U_{\phi} \cos 30^\circ = \sqrt{3}U_{\phi}$$

$$U_{Л} = \sqrt{3}U_{\Phi}$$

По ГОСТу:

U_{Φ}

$U_{Л}$

127

220

220

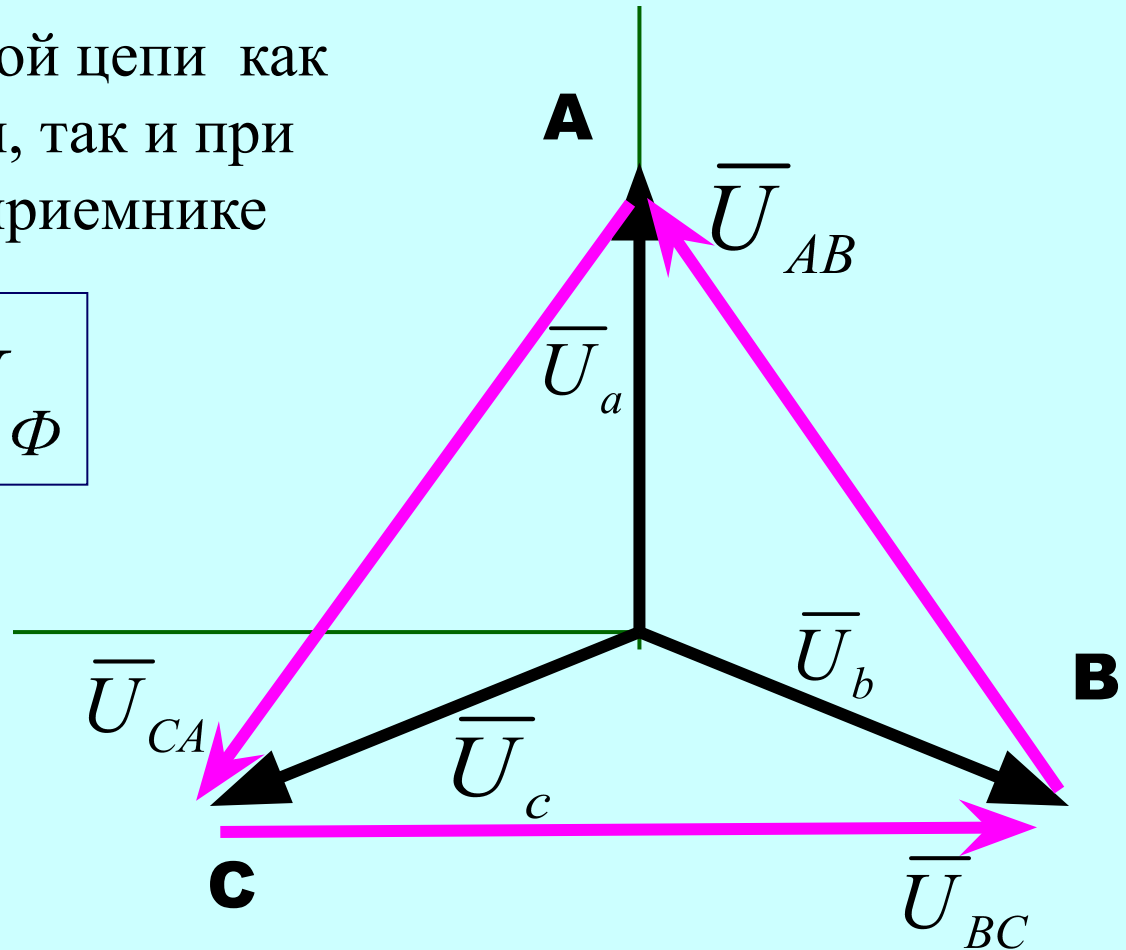
380

380

660

В четырехпроводной цепи как при симметричном, так и при несимметричном приемнике

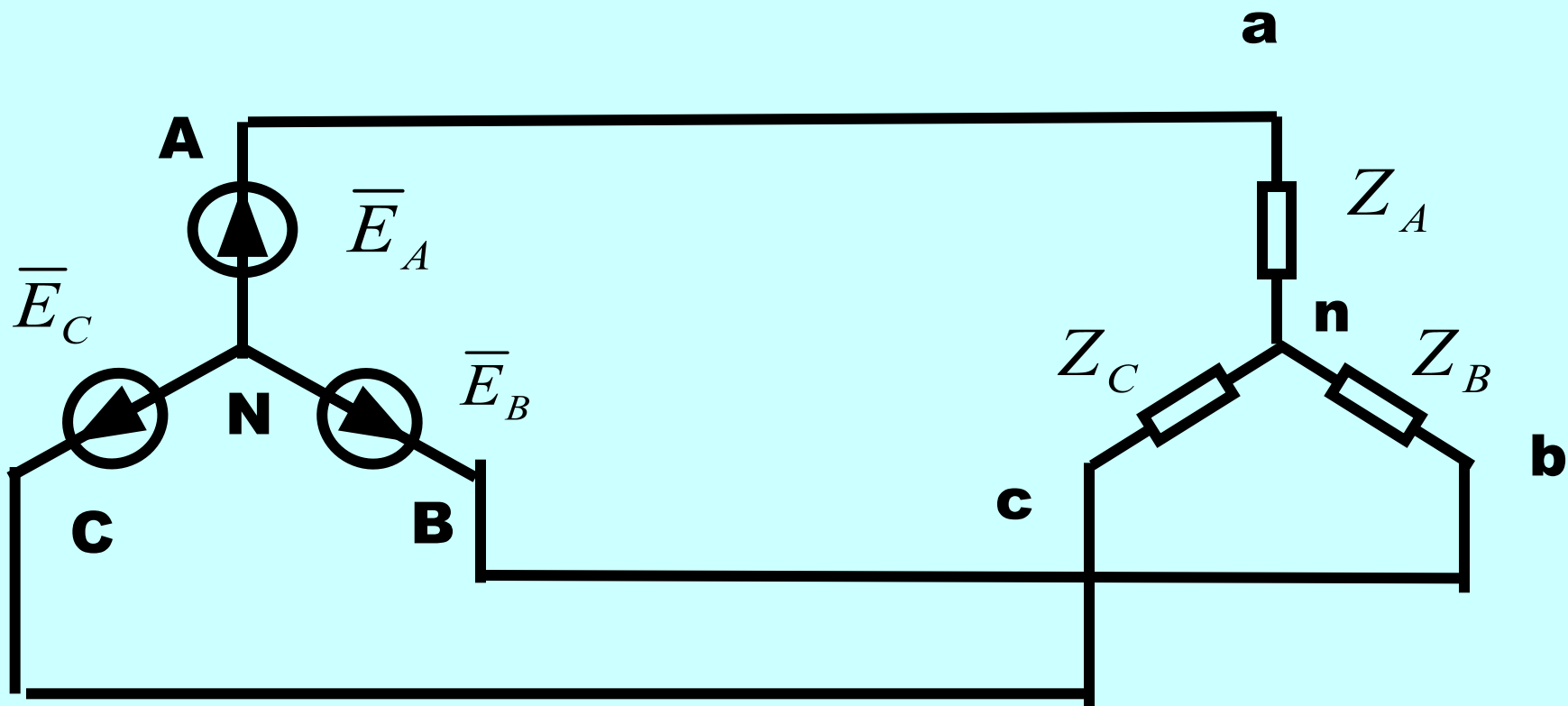
$$U_L = \sqrt{3}U_\Phi$$

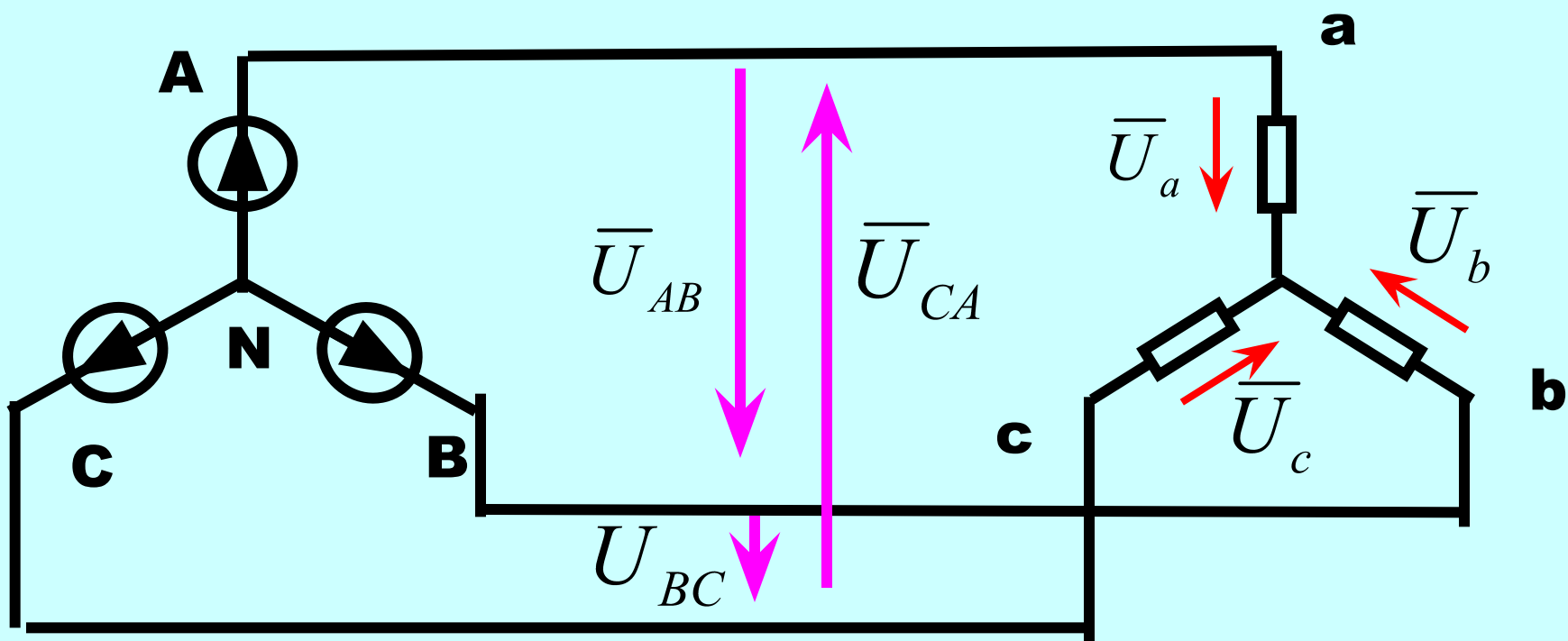


Достоинство четырехпроводной цепи: **система фазных напряжений приемника симметрична при любой нагрузке.** Это обеспечивается нейтральным проводом.

3. Трехпроводная трехфазная цепь.

Соединение приемников «звездой»

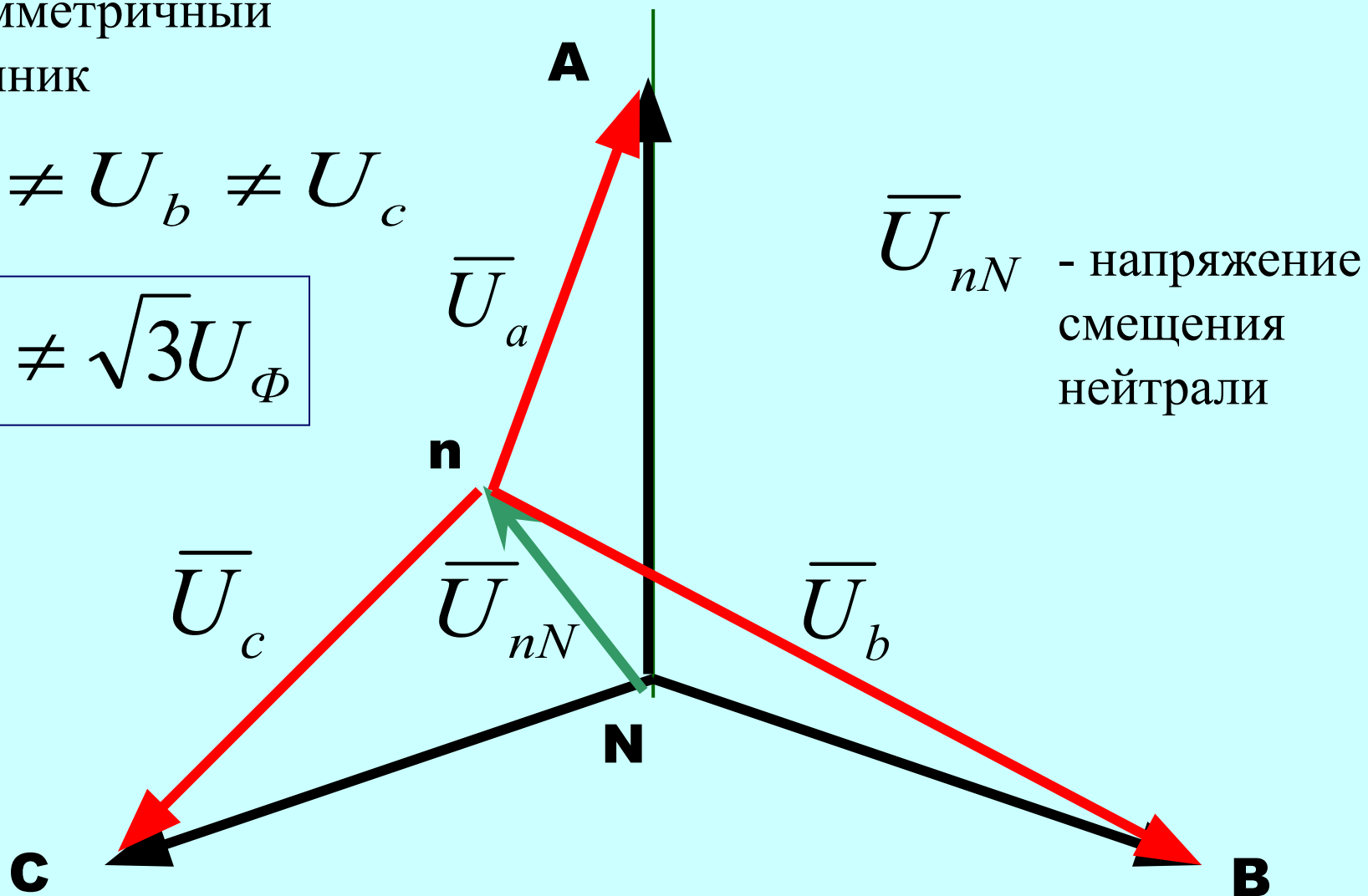




Несимметричный
приемник

$$U_a \neq U_b \neq U_c$$

$$U_L \neq \sqrt{3}U_\Phi$$

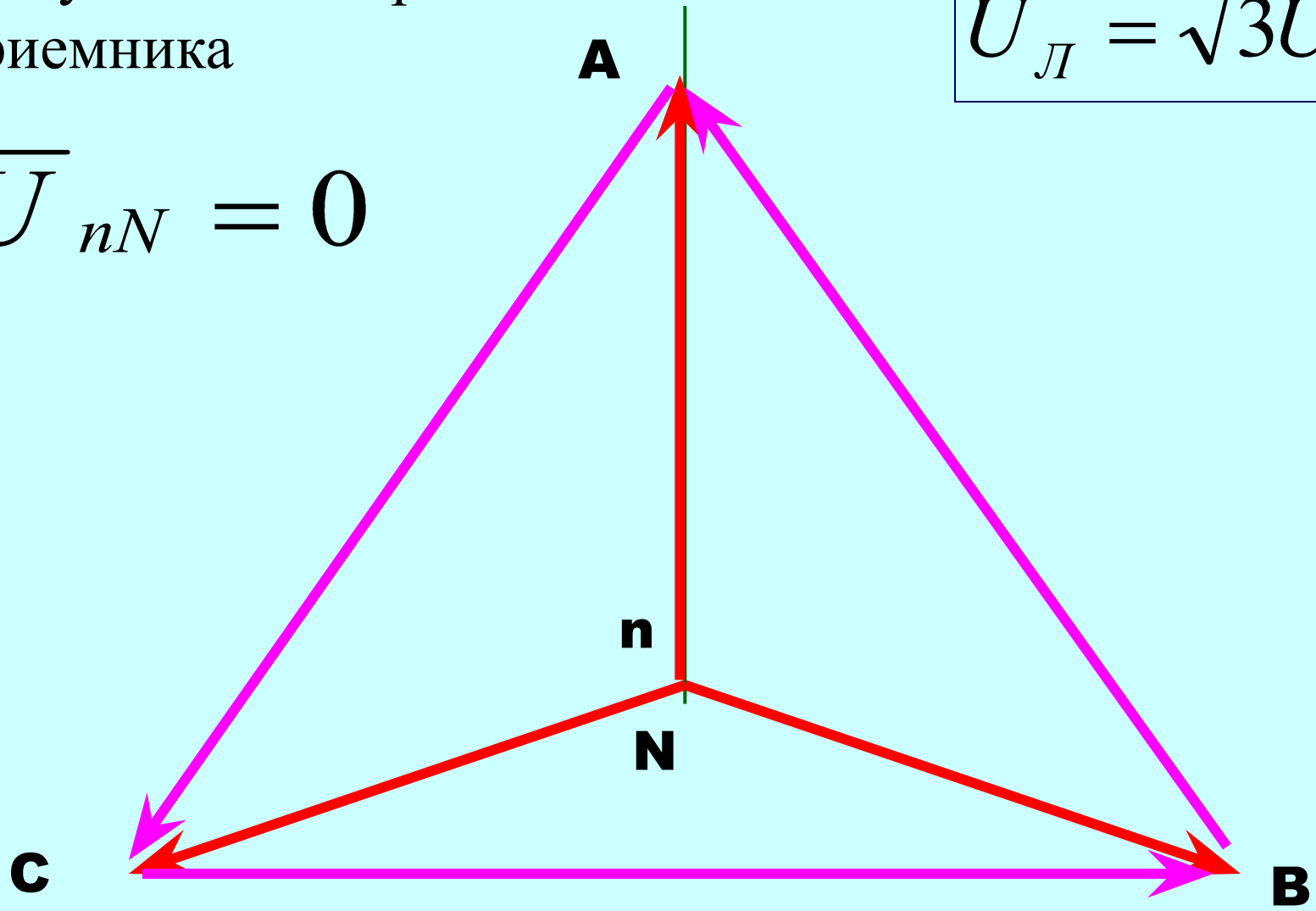


Включение несимметричного приемника по схеме «звезда»
без нейтрального провода не допускается

В случае симметричного приемника

$$\overline{U}_{nN} = 0$$

$$U_{Л} = \sqrt{3}U_{\Phi}$$



Расчет цепи

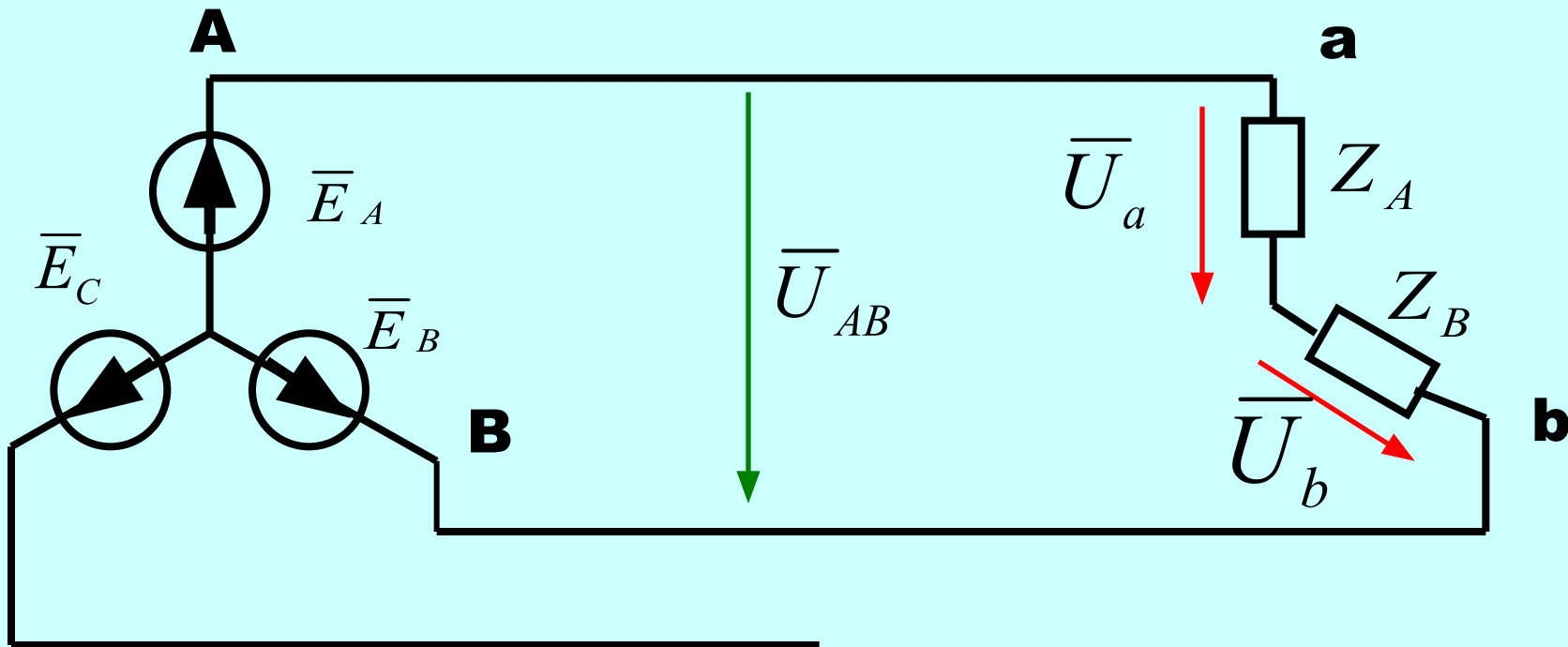
$$U_{\Phi} = \frac{U_{Л}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{Z_{\Phi}}$$

$$I_{\Phi} = I_{Л}$$

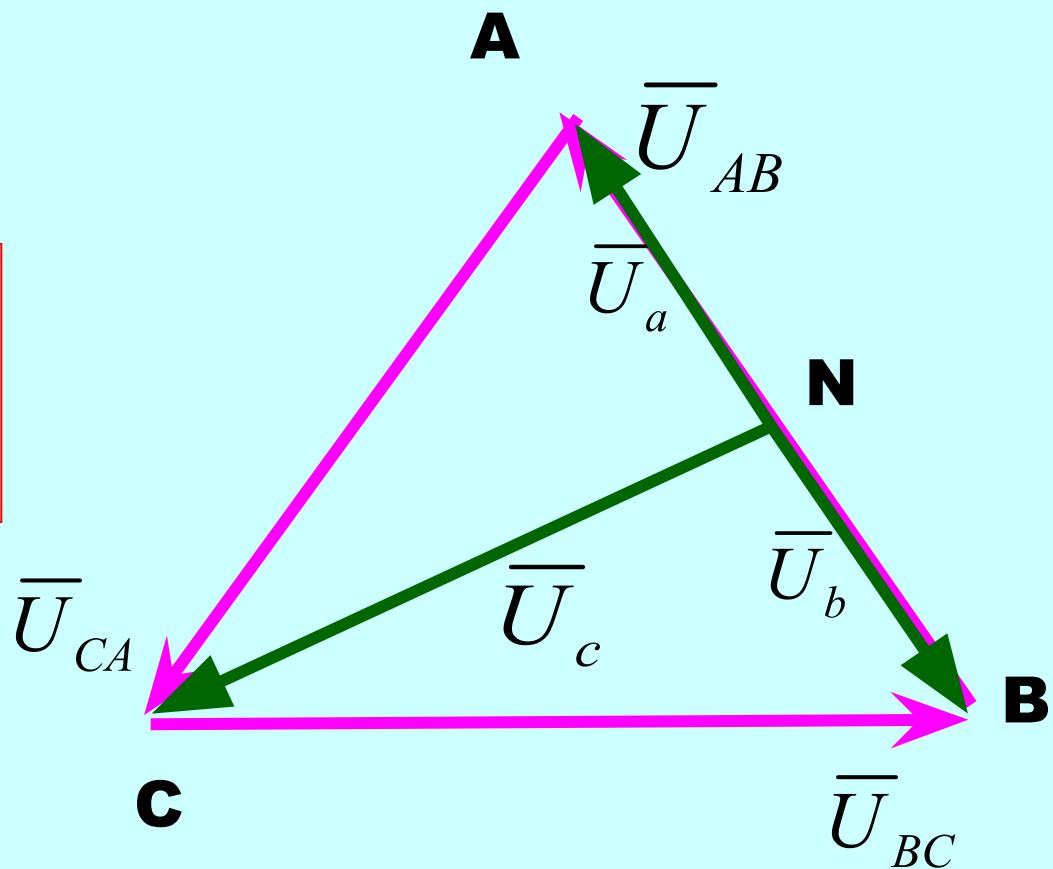
Аварийные режимы работы

- Обрыв линейного провода (фазы) «С» без нейтрального провода



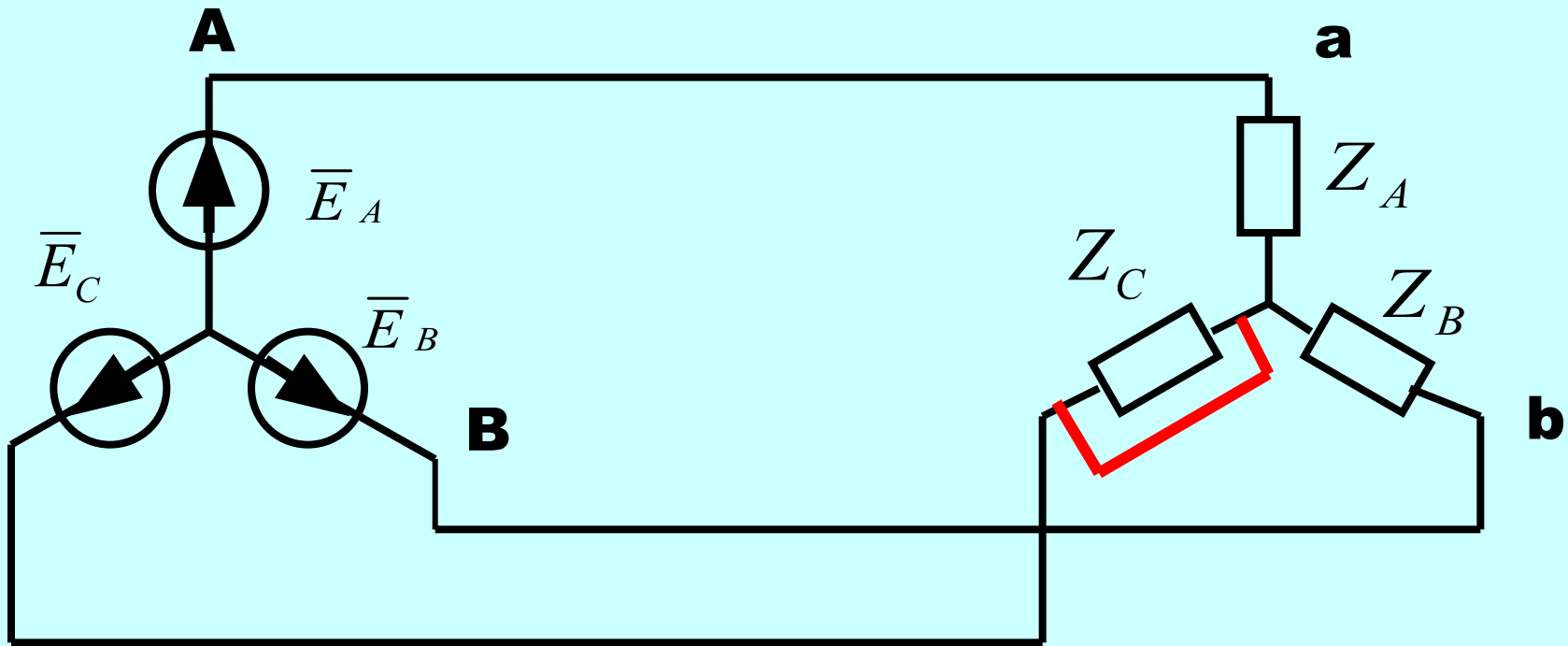
$$I_C = 0$$

$$U_A = U_B = \frac{U_\lambda}{2}$$



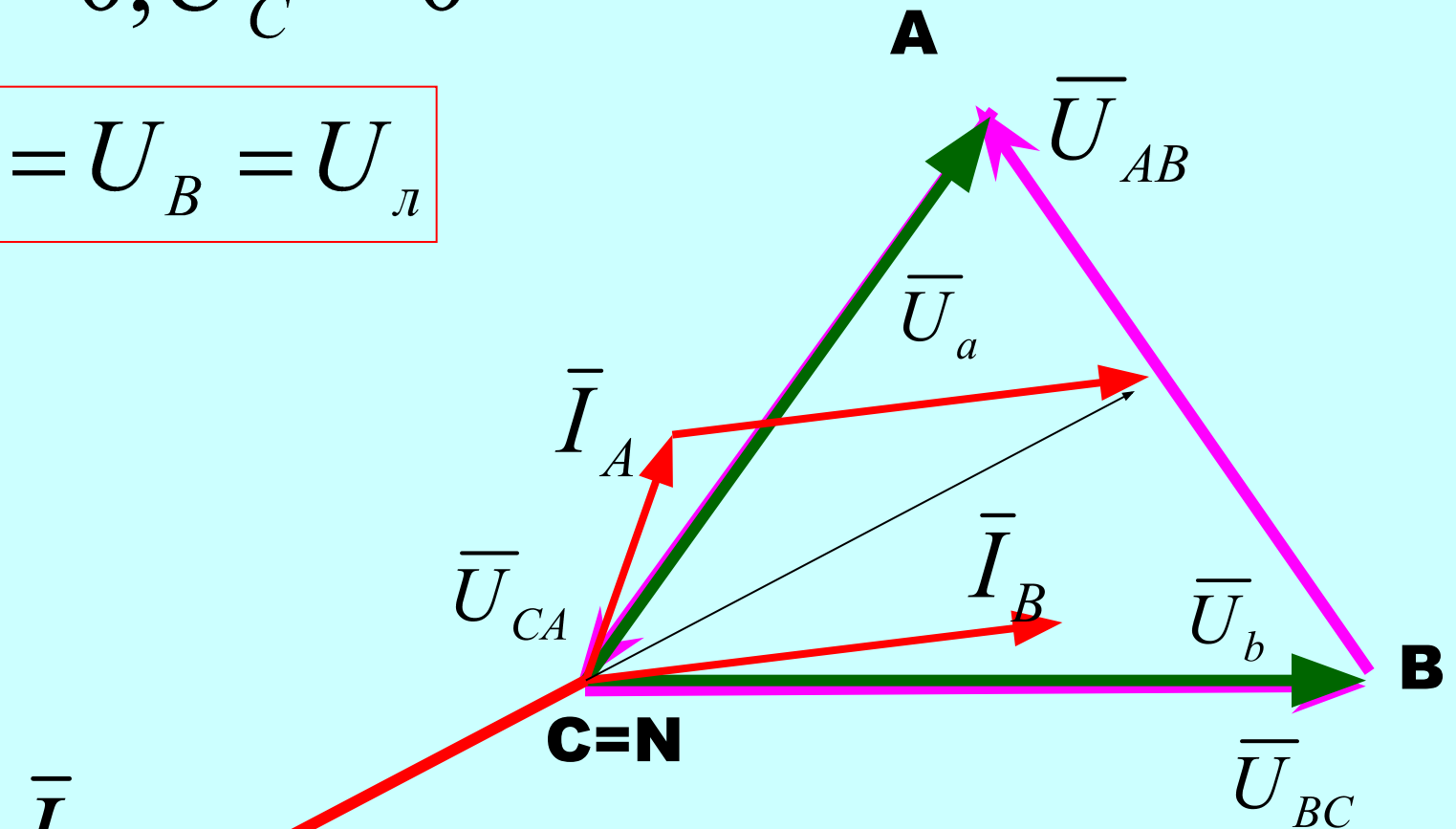
Короткое замыкание фазы «С»

без нейтрального провода



$$Z_C = 0, U_C = 0$$

$$U_A = U_B = U_l$$



$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0 \Rightarrow \bar{I}_C = -(\bar{I}_A + \bar{I}_B)$$

Трехпроводная «звезда» применяется для включения симметричных приемников (например, трехфазных двигателей).

Четырехпроводная «звезда» (с нейтральным проводом) применяется для включения несимметричных приемников (например, бытовой нагрузки).

Нейтральный провод обеспечивает выравнивание фазных напряжений приемника