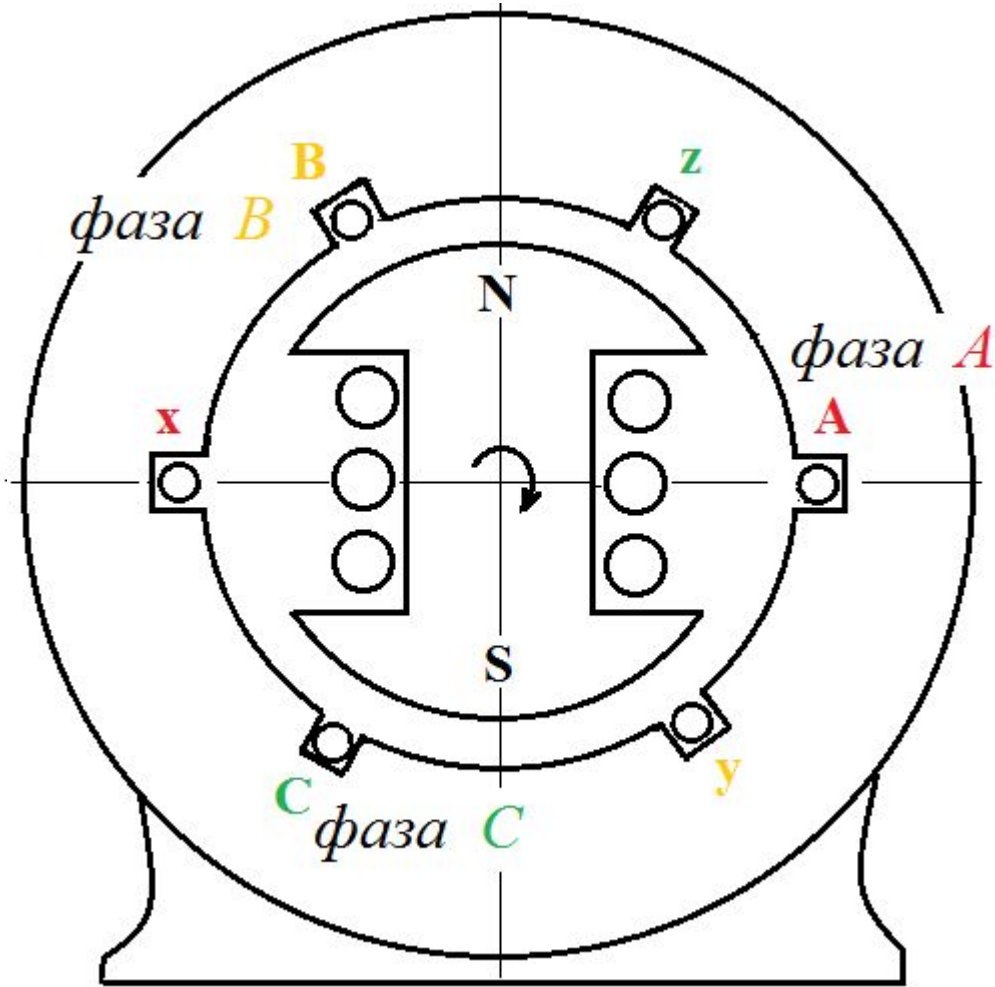


Трехфазные цепи

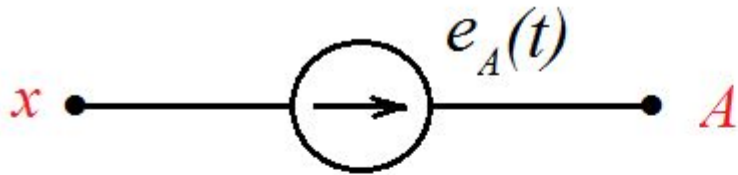
Получение трехфазного напряжения



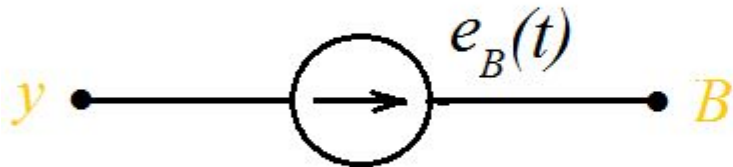
Трехфазный генератор

Получение трехфазного напряжения

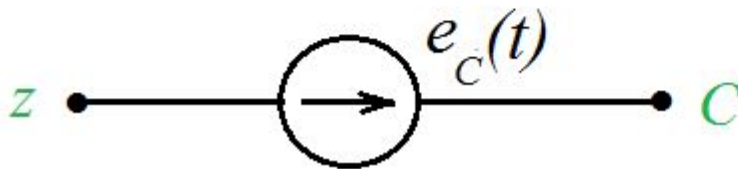
Мгновенные значения ЭДС фаз трехфазного генератора



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

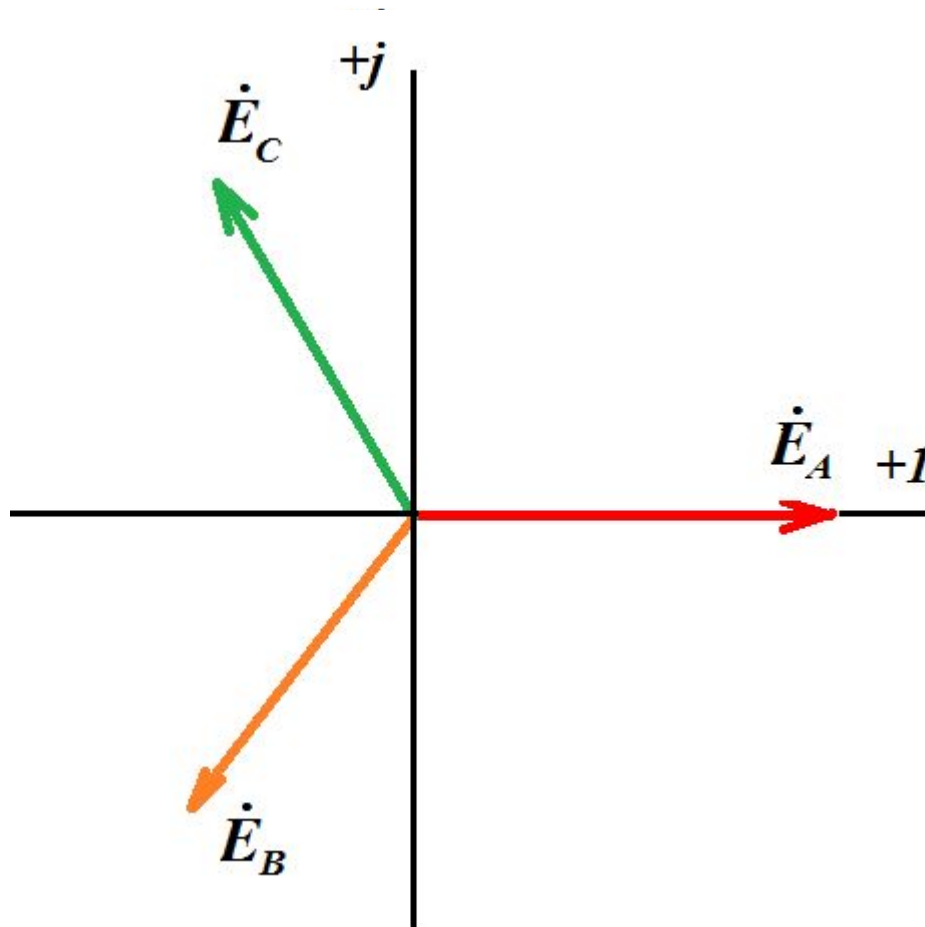


$$e_B(t) = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$



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

Комплексы действующих значений ЭДС фаз генератора



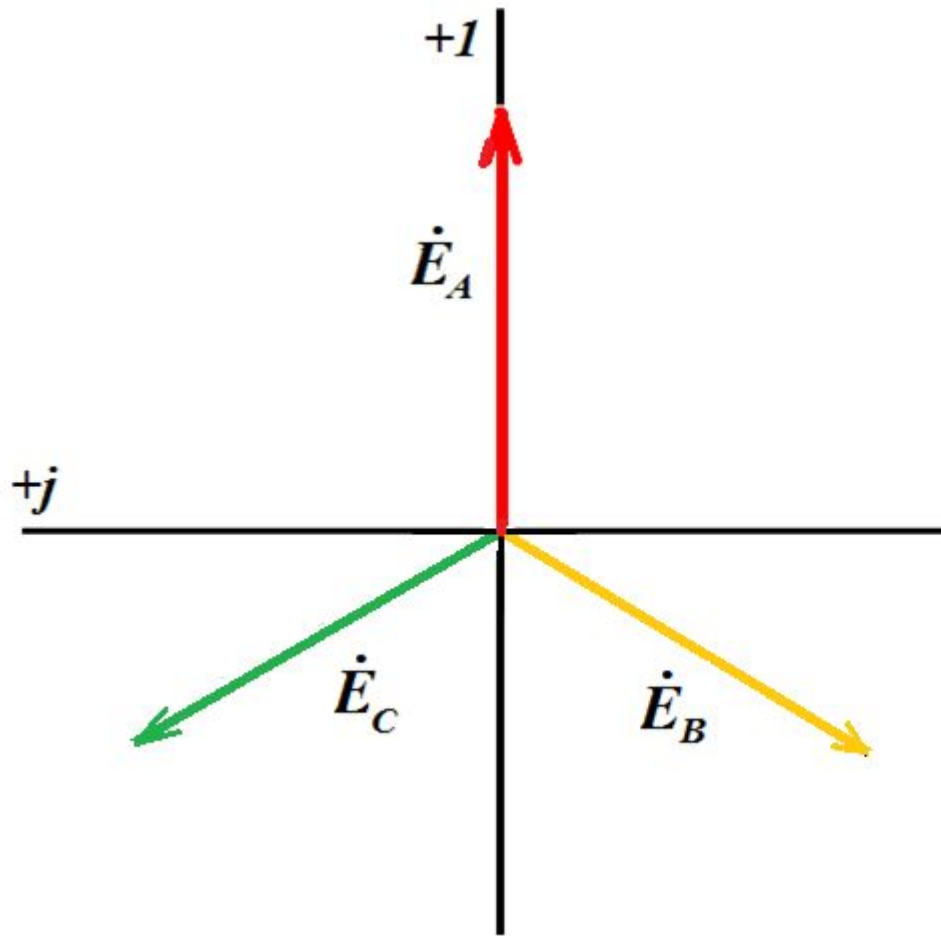
$$\dot{E}_A = E_\phi$$

$$\dot{E}_B = E_\phi e^{-j120^\circ}$$

$$\dot{E}_C = E_\phi e^{j120^\circ}$$

$$E_\phi = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

Комплексы действующих значений ЭДС фаз генератора при повороте системы координат комплексной плоскости на 90°



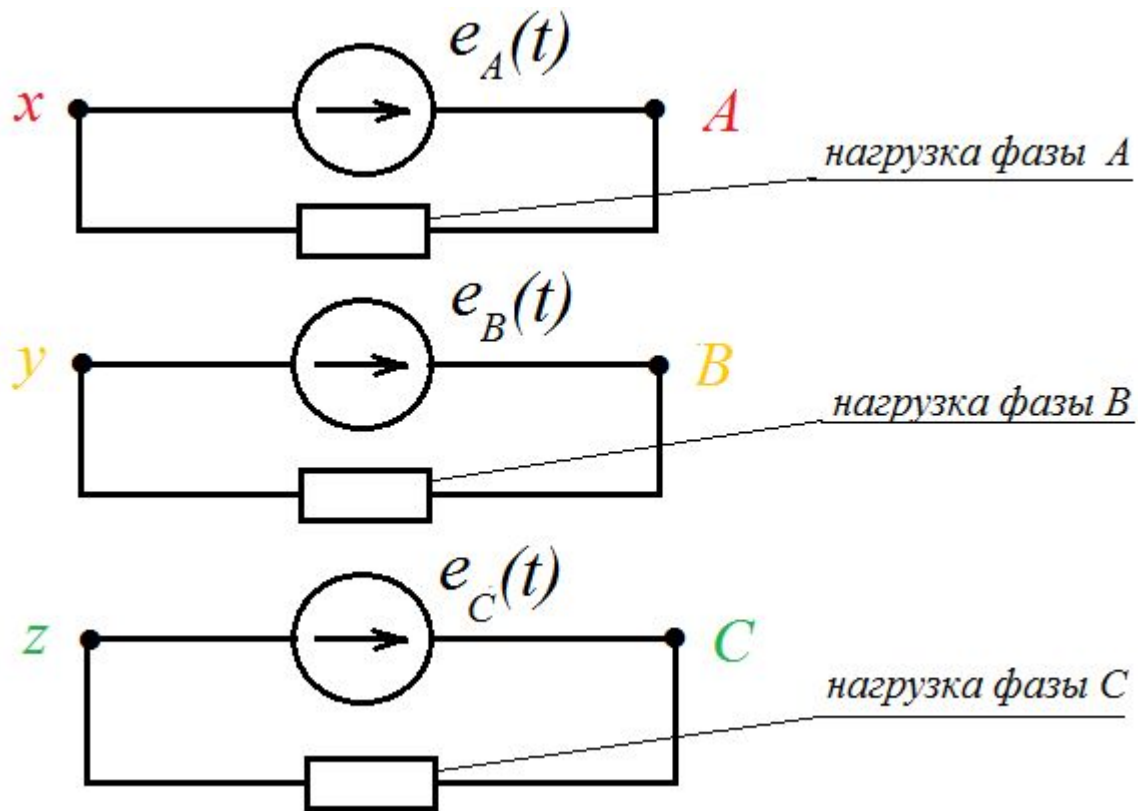
$$\dot{E}_A = E_\phi$$

$$\dot{E}_B = E_\phi e^{-j120^\circ}$$

$$\dot{E}_C = E_\phi e^{j120^\circ}$$

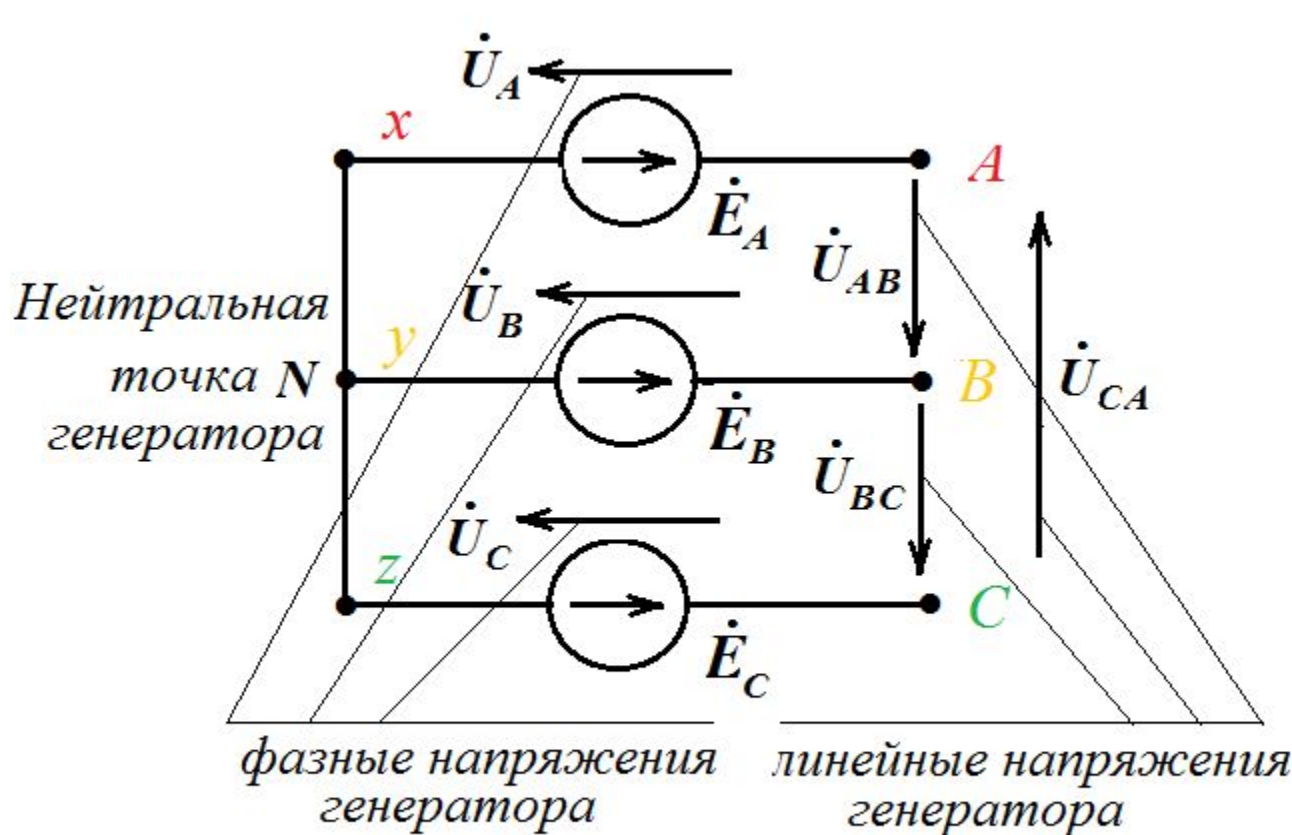
$$E_\phi = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

Независимая работа фаз трехфазного генератора



Электрические соединения ЭДС фаз трехфазного генератора

Соединение «звезда»



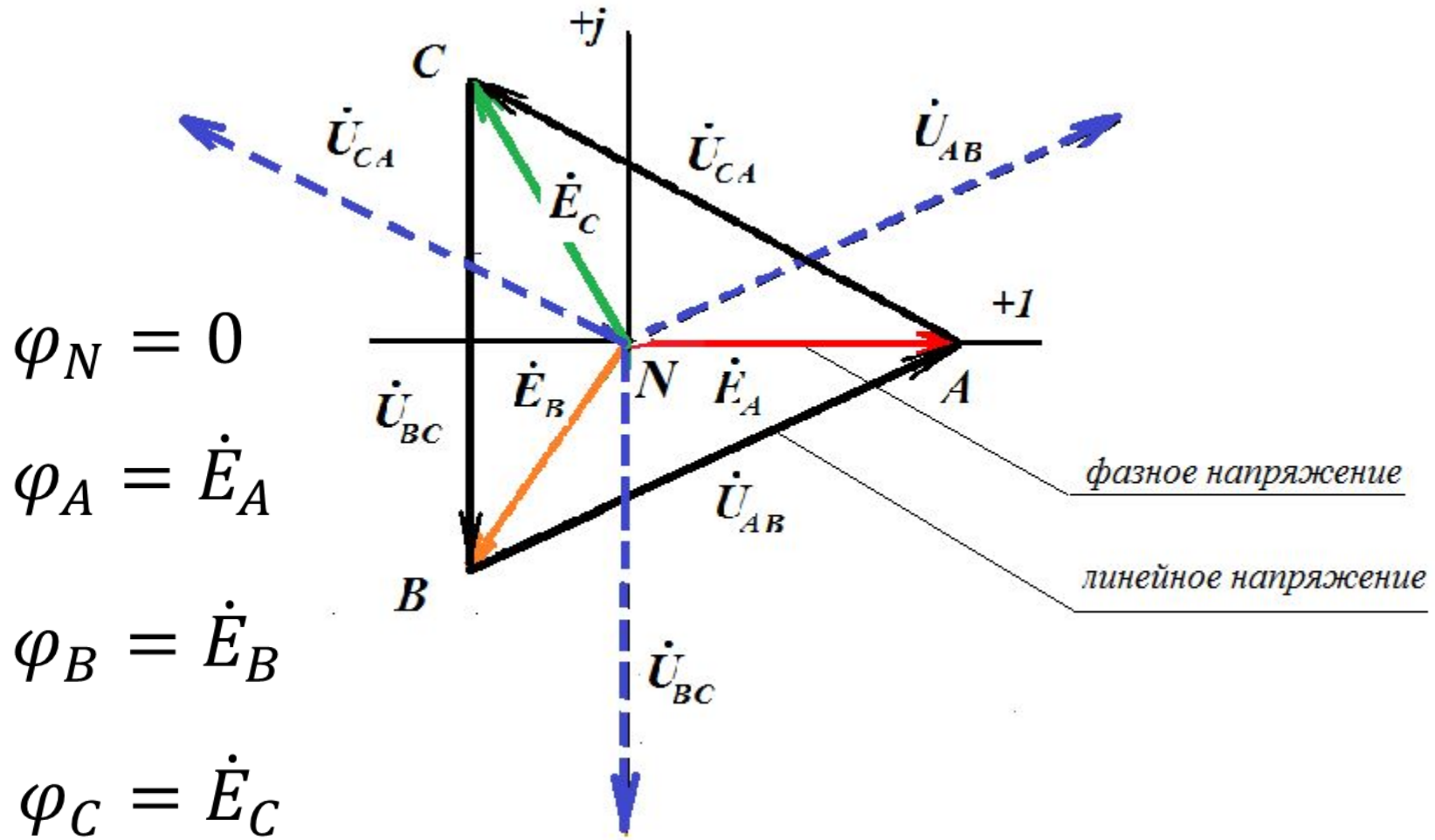
$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= \dot{E}_A \\ \dot{U}_B &= \dot{E}_B \\ \dot{U}_C &= \dot{E}_C \\ \dot{U}_{AB} &= \dot{E}_A - \dot{E}_B \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{E}_B - \dot{E}_C \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{E}_C - \dot{E}_A\end{aligned}$$

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} E_{\text{ф}}$$

$$\dot{U}_{AB} = \dot{E}_A \sqrt{3} e^{j30^\circ} \quad \dot{U}_{BC} = \dot{E}_A \sqrt{3} e^{-j90^\circ} \quad \dot{U}_{CA} = \dot{E}_A \sqrt{3} e^{j150^\circ}$$

При соединении «звезда» линейное напряжение генератора
больше фазного в $\sqrt{3}$ $U_{\text{л}} = \sqrt{3} E_{\text{ф}}$

Векторная и топографическая диаграммы соединения «звезда»



$$\varphi_N = 0$$

$$\varphi_A = \dot{E}_A$$

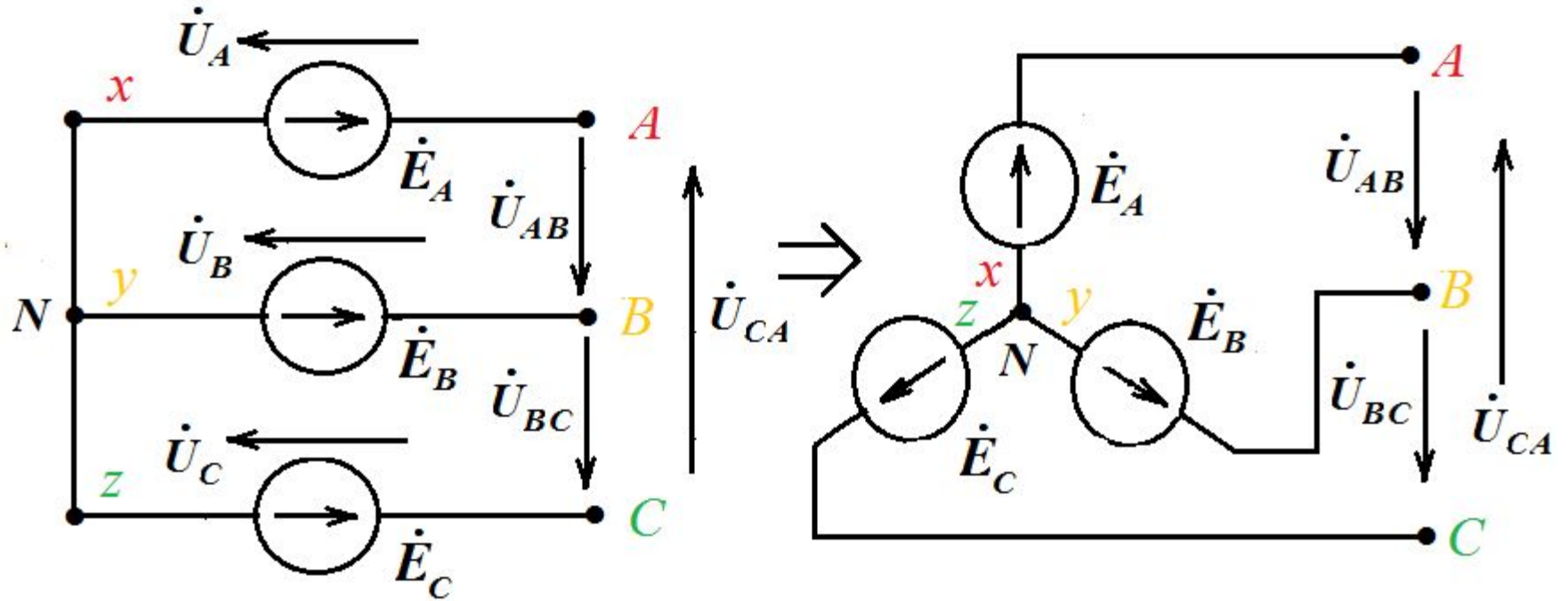
$$\varphi_B = \dot{E}_B$$

$$\varphi_C = \dot{E}_C$$

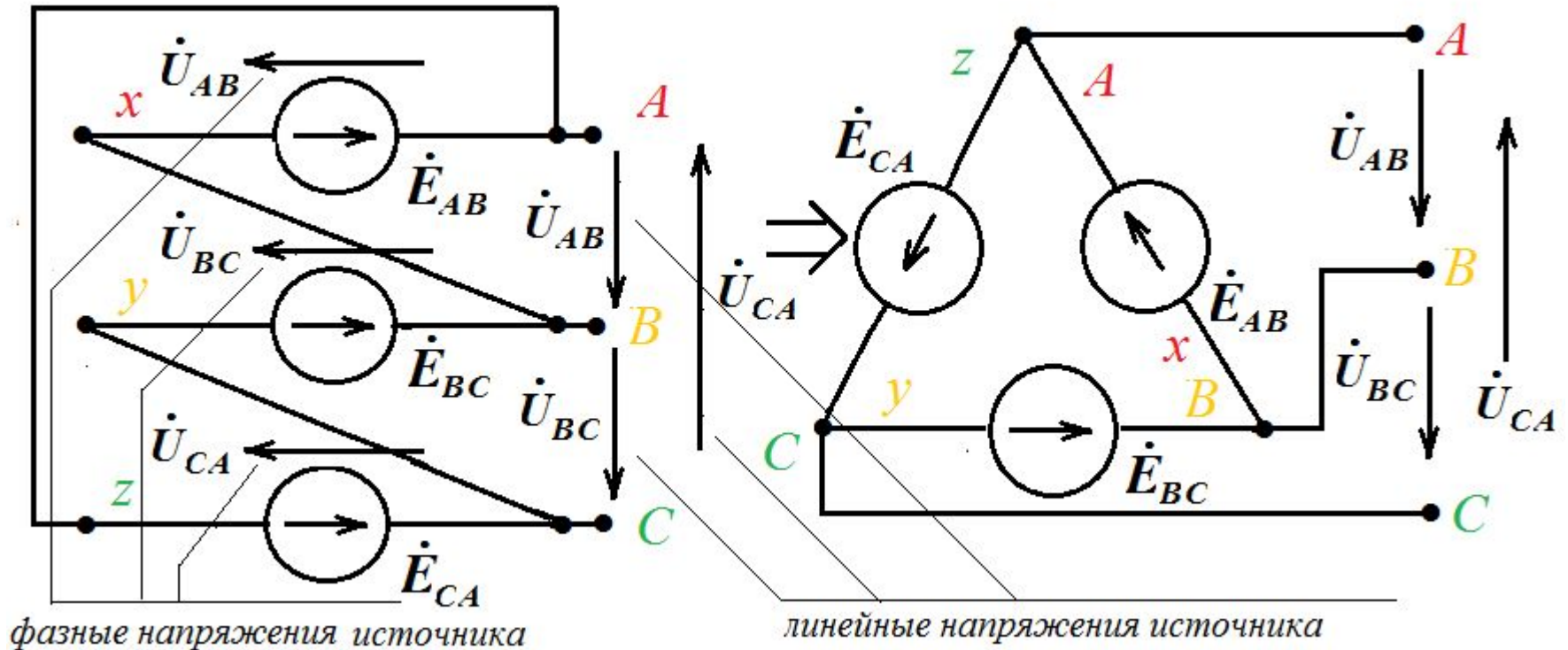
Потенциалы узлов

$$U_L = \sqrt{3}E_\phi$$

Возможные изображения схемного соединения «звезда»



Соединение фаз генератора «треугольник»



При соединении фаз генератора в «треугольник»
линейные напряжения равны фазным

$$U_{\text{л}} = E_{\text{ф}}$$

Соединение фаз генератора «треугольник»

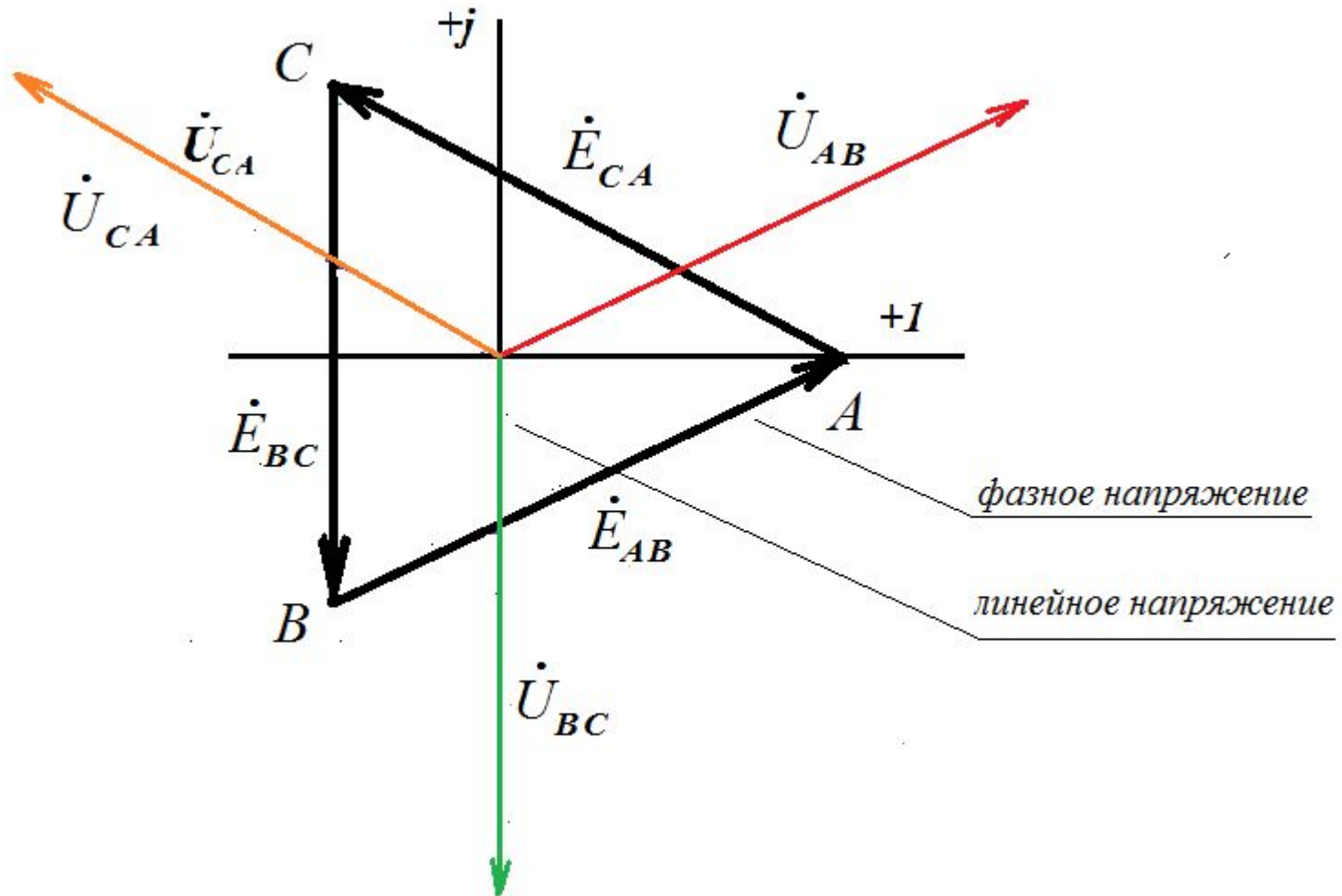
$$e_{AB} = E_m \sin(\omega t + 30^\circ) \Rightarrow \dot{E}_{AB} = E_\phi e^{j30^\circ}$$

$$e_{BC} = E_m \sin(\omega t - 90^\circ) \Rightarrow \dot{E}_{BC} = E_\phi e^{-j90^\circ}$$

$$e_{CA} = E_m \sin(\omega t + 150^\circ) \Rightarrow \dot{E}_{CA} = E_\phi e^{j150^\circ}$$

$$E_\phi = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

Векторная и топографическая диаграммы



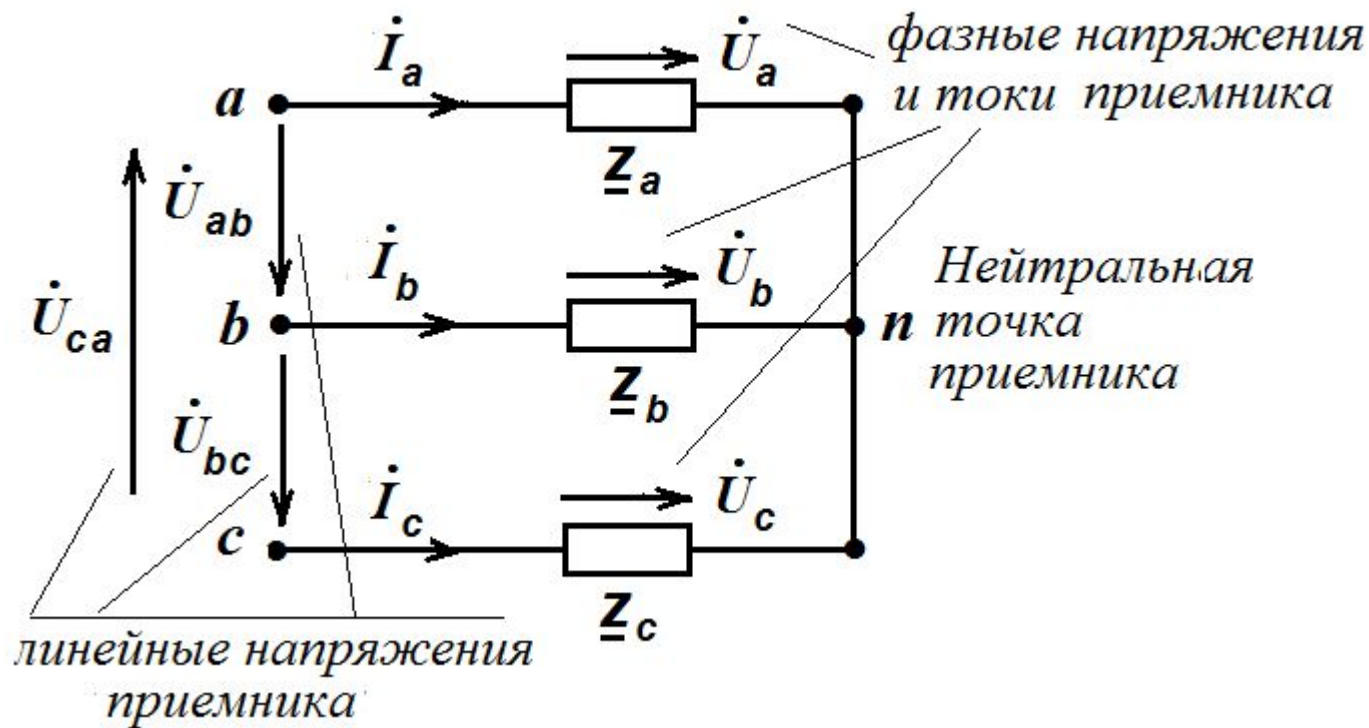
$$\varphi_A = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}}$$

$$\varphi_B = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}} e^{-j120^\circ}$$

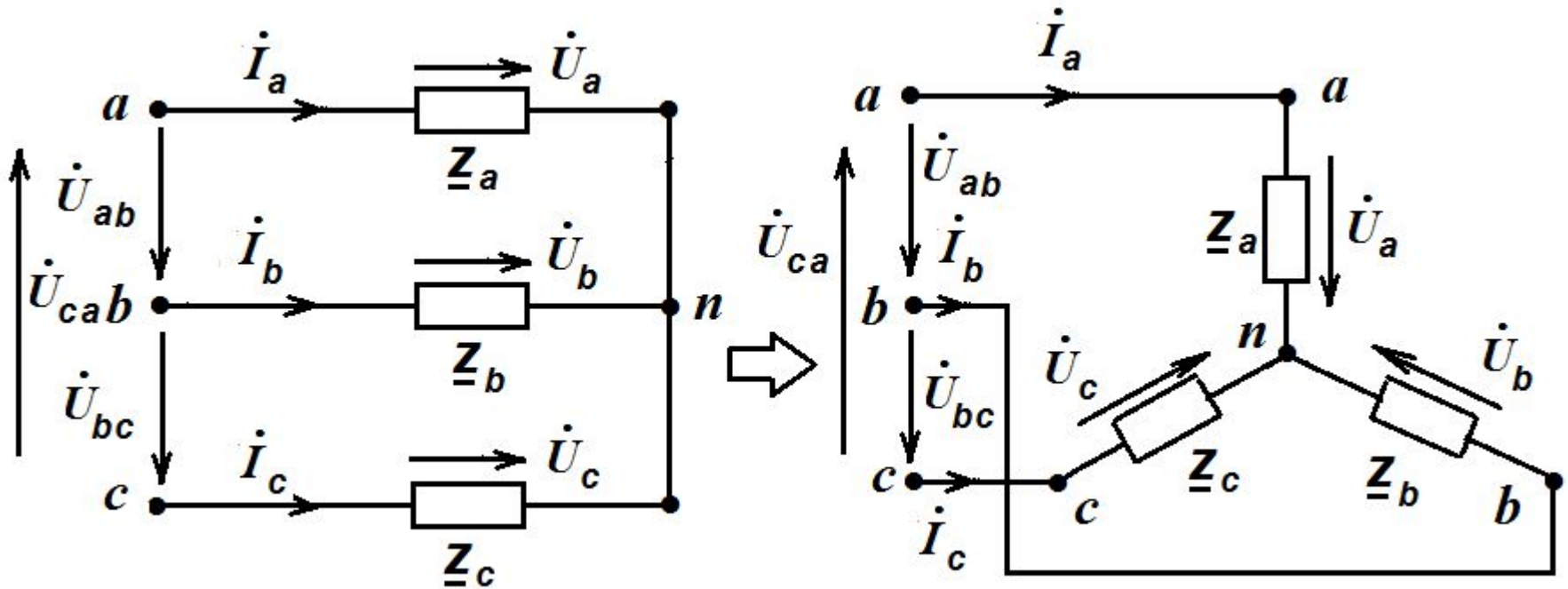
$$\varphi_C = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}} e^{j120^\circ}$$

Электрические соединения фаз трехфазного приемника

Соединение «звезда»



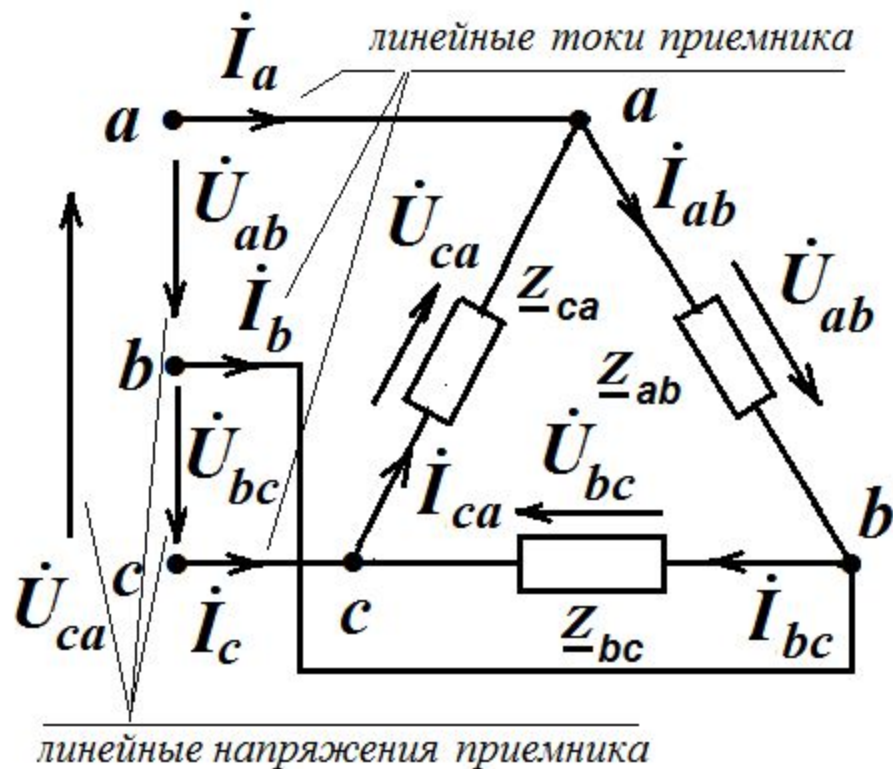
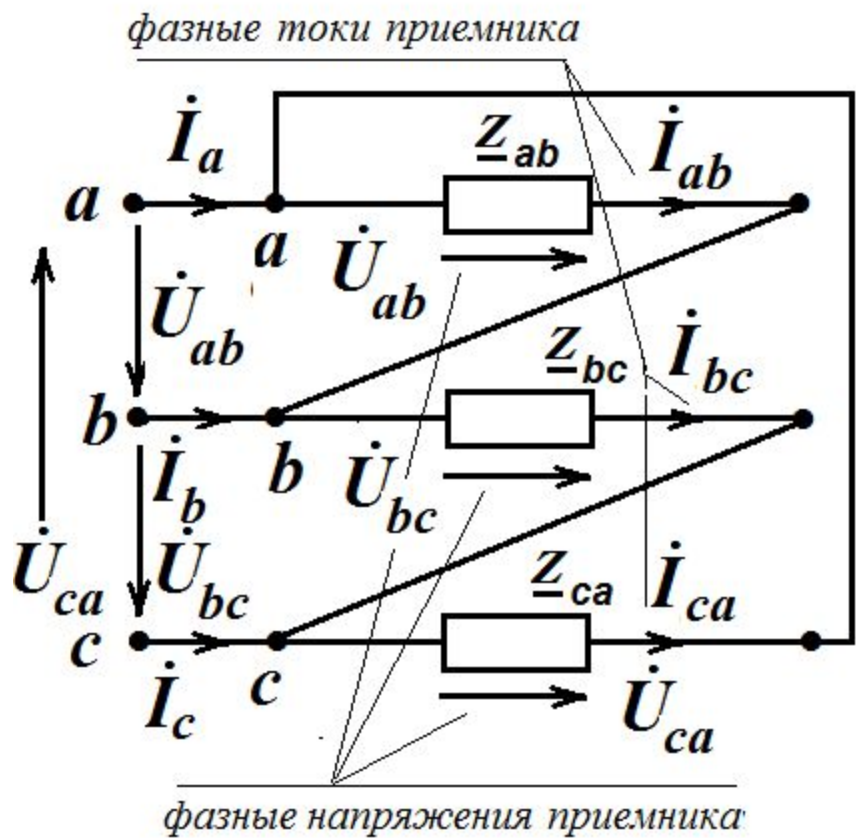
Возможные изображения схемного соединения приемника
«звезда»



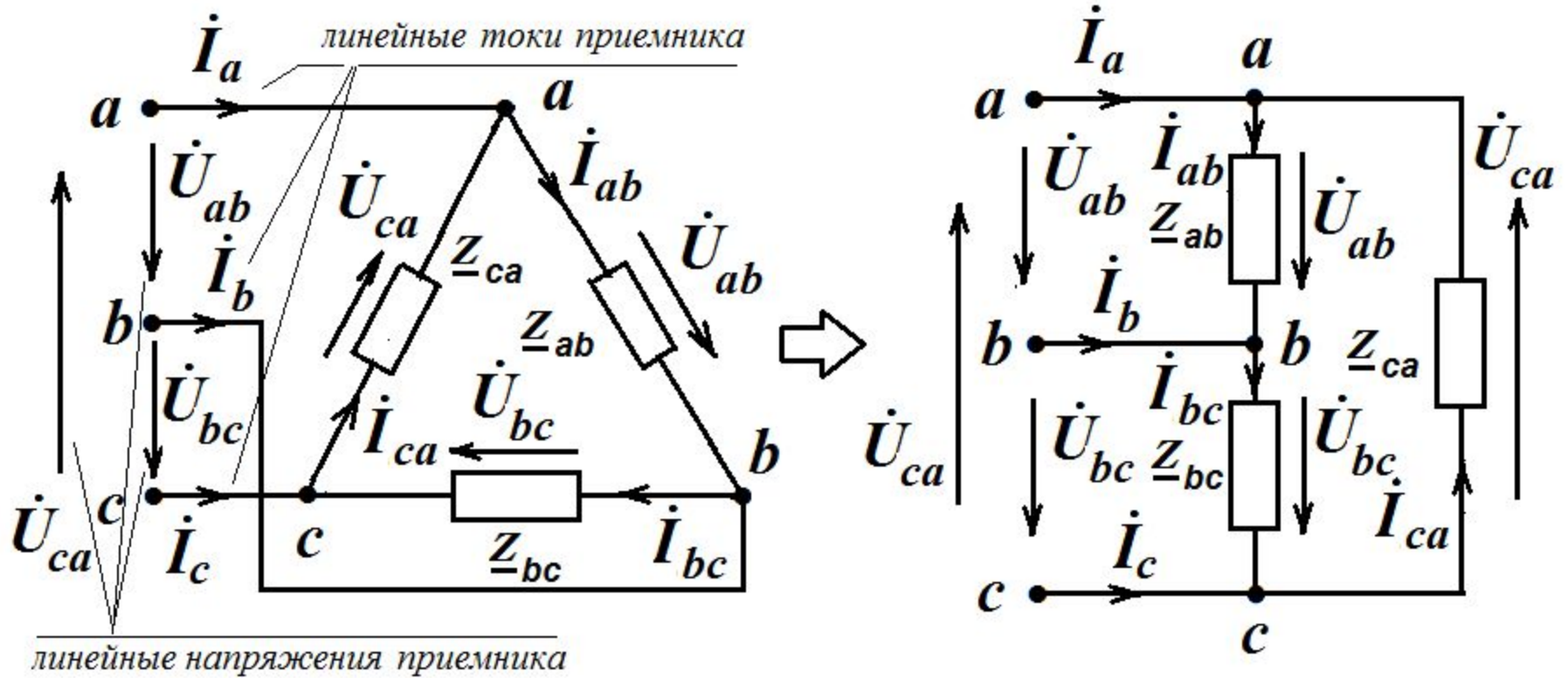
При соединении трехфазного приемника «звезда» фазные и линейные токи совпадают

$$I_{\phi} = I_{\text{л}}$$

Соединение фаз приемника «треугольник»

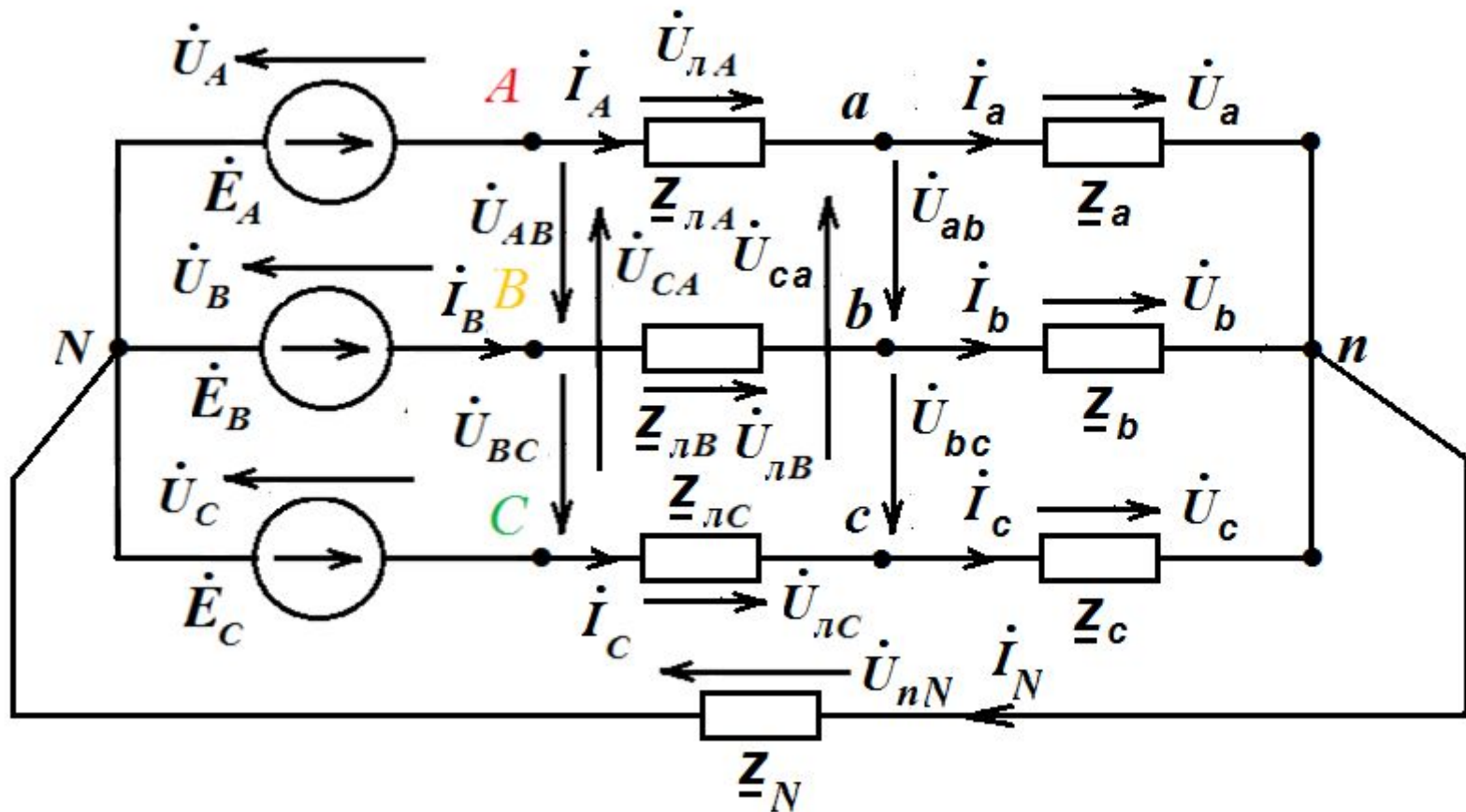


Возможные изображения схемного соединения приемника «треугольник»



Методы расчета трехфазных цепей

Трехфазная цепь соединения « звезда – звезда »



Трехфазная цепь соединения « звезда – звезда»

Исходные данные:

$U_{\text{л ист}}$ линейное напряжение источника
(или $E_{\text{ф}}$ - фазное напряжение источника)

$\underline{Z}_a \underline{Z}_b \underline{Z}_c$ комплексные сопротивления фаз приемника

$\underline{Z}_{\text{лА}} \underline{Z}_{\text{лВ}} \underline{Z}_{\text{лС}}$ комплексные сопротивления фаз линии

\underline{Z}_N комплексное сопротивление нейтрального провода

Требуется рассчитать: токи и напряжения фаз приемника
падение и потерю напряжения в линии
ток и напряжение нейтрали

Расчет проводится с использованием метода узловых потенциалов

Порядок расчета

1. Определить фазное напряжение генератора

$$E_{\phi} = \frac{U_{\text{лист}}}{\sqrt{3}} \quad \text{Если задано фазное напряжение генератора, то сразу выполняется пункт 2.}$$

2. Определить комплексы фазных ЭДС генератора

$$\dot{E}_A = E_{\phi} \quad \dot{E}_B = E_{\phi} e^{-j120^{\circ}} \quad \dot{E}_C = E_{\phi} e^{j120^{\circ}}$$

3. Определить потенциалы точек трехфазной цепи

$$\varphi_N = 0 \quad \varphi_A = \dot{E}_A \quad \varphi_B = \dot{E}_B \quad \varphi_C = \dot{E}_C$$

$$\varphi_n = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_A + \dot{E}_B \underline{Y}_B + \dot{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}$$

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} \quad \underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B} \quad \underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} \quad \underline{Y}_N = \frac{1}{\underline{Z}_N}$$

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_a + \underline{Z}_{\text{ЛА}}$$

$$\underline{Z}_B = \underline{Z}_b + \underline{Z}_{\text{ЛВ}}$$

$$\underline{Z}_C = \underline{Z}_c + \underline{Z}_{\text{ЛС}}$$

4. Определить токи в фазах приемника (совпадают с линейными токами генератора)

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = (\varphi_A - \varphi_n) \underline{Y}_A$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_b = (\varphi_B - \varphi_n) \underline{Y}_B$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_c = (\varphi_C - \varphi_n) \underline{Y}_C$$

5. Определить фазные напряжения приемника

$$\dot{U}_a = \dot{I}_a \underline{Z}_a \quad \dot{U}_b = \dot{I}_b \underline{Z}_b \quad \dot{U}_c = \dot{I}_c \underline{Z}_c$$

6. Определить падение и потерю напряжения в
линии

$$\dot{U}_{\text{ЛА}} = \dot{I}_A \underline{Z}_{\text{ЛА}} \quad \dot{U}_{\text{ЛВ}} = \dot{I}_B \underline{Z}_{\text{ЛВ}} \quad \dot{U}_{\text{ЛС}} = \dot{I}_C \underline{Z}_{\text{ЛС}}$$

падение напряжения в линии равно модулю
комплекса падения напряжения

$$U_{лА} = |\dot{U}_{лА}| \quad U_{лВ} = |\dot{U}_{лВ}| \quad U_{лС} = |\dot{U}_{лС}|$$

потеря напряжения в линии равна разности
действующих значений ЭДС источника и напряжения приемника

$$\Delta U_{лА} = E_{\phi} - |\dot{U}_a|$$

$$\Delta U_{лВ} = E_{\phi} - |\dot{U}_b|$$

$$\Delta U_{лС} = E_{\phi} - |\dot{U}_c|$$

7. Определить ток и падение напряжения в нейтрали

Ток в нейтрали определяется по 1 закону Кирхгофа для узла **n** (нейтральной точки приемника)

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c$$

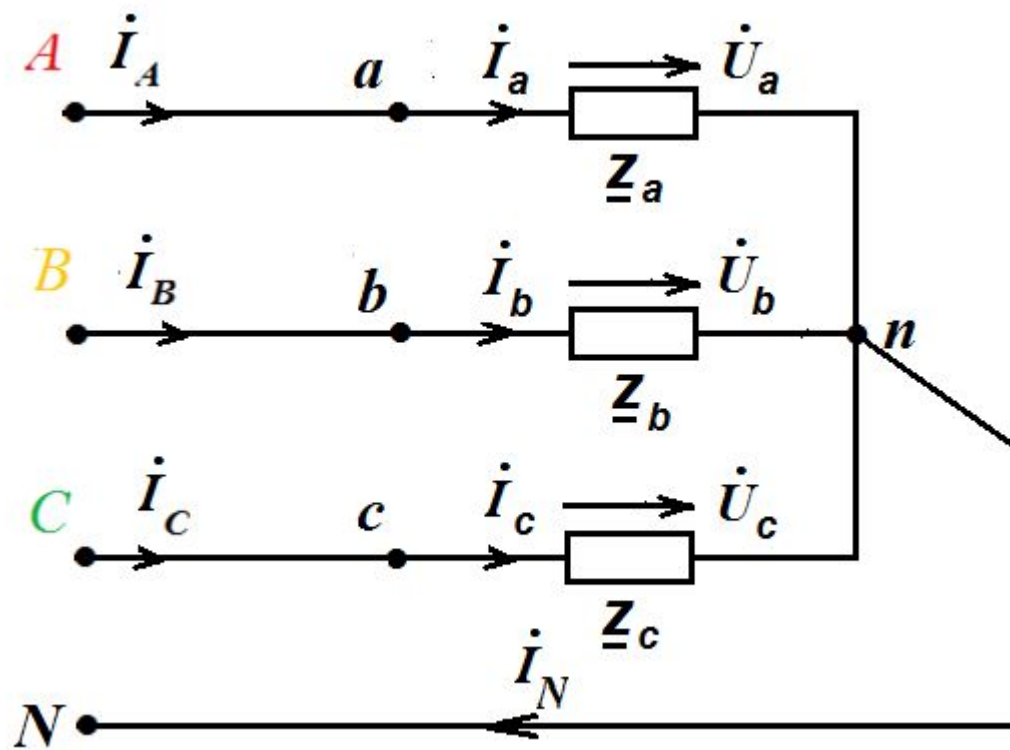
$$\dot{U}_{nN} = \dot{I}_N \underline{Z}_N$$

напряжение в нейтрали можно найти и как разность потенциалов нейтральных точек источника и приемника

$$\dot{U}_{nN} = \varphi_n - \varphi_N$$

Расчет трехфазной цепи соединения « звезда – звезда» при различных упрощающих допущениях

Пример 1



Исходные данные:

$U_{\text{л ист}}$ линейное напряжение источника
(или E_{ϕ} - фазное напряжение источника)

$\underline{Z}_a \underline{Z}_b \underline{Z}_c$ комплексные сопротивления фаз приемника

$\underline{Z}_{\text{лА}} = \underline{Z}_{\text{лВ}} = \underline{Z}_{\text{лС}} = 0$ сопротивления линии
принимаются равными нулю

$\underline{Z}_N = 0$ сопротивление нейтрального провода
принимается равным нулю

Требуется рассчитать: токи и напряжения фаз приемника
ток нейтрали

Порядок расчета

1. Определить фазное напряжение генератора

$$E_{\phi} = \frac{U_{\text{лист}}}{\sqrt{3}} \quad \text{Если задано фазное напряжение генератора, то сразу выполняется пункт 2.}$$

2. Определить комплексы фазных ЭДС генератора

$$\dot{E}_A = E_{\phi} \quad \dot{E}_B = E_{\phi} e^{-j120^{\circ}} \quad \dot{E}_C = E_{\phi} e^{j120^{\circ}}$$

3. Определить потенциалы точек трехфазной цепи

$$\varphi_N = 0 \quad \varphi_A = \dot{E}_A \quad \varphi_B = \dot{E}_B \quad \varphi_C = \dot{E}_C$$

Так как сопротивление нейтрального провода равно нулю

(закоротка), то потенциалы точек **N** и **n** уравниваются

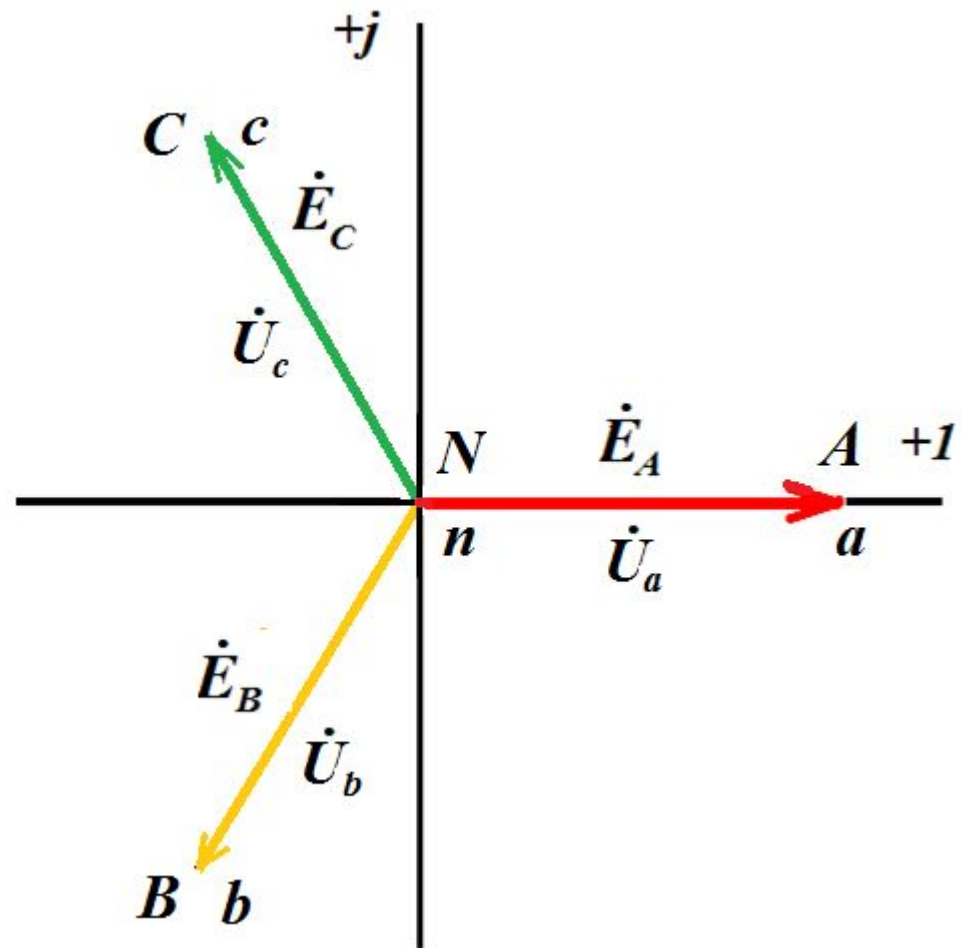
$$\varphi_N = \varphi_n = 0$$

Так как сопротивления линий (ЛЭП) равны нулю (закоротки), то потенциалы точек A и a , B и b , C и c уравниваются

$$\varphi_a = \varphi_A = \dot{E}_A$$

$$\varphi_b = \varphi_B = \dot{E}_B$$

$$\varphi_c = \varphi_C = \dot{E}_C$$



4. Определить токи в фазах приемника (совпадают с линейными токами генератора)

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = (\varphi_a - \varphi_n) \underline{Y}_a \quad \underline{Y}_a = \frac{1}{\underline{Z}_a}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_b = (\varphi_b - \varphi_n) \underline{Y}_b \quad \underline{Y}_b = \frac{1}{\underline{Z}_b}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_c = (\varphi_c - \varphi_n) \underline{Y}_c \quad \underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_c}$$

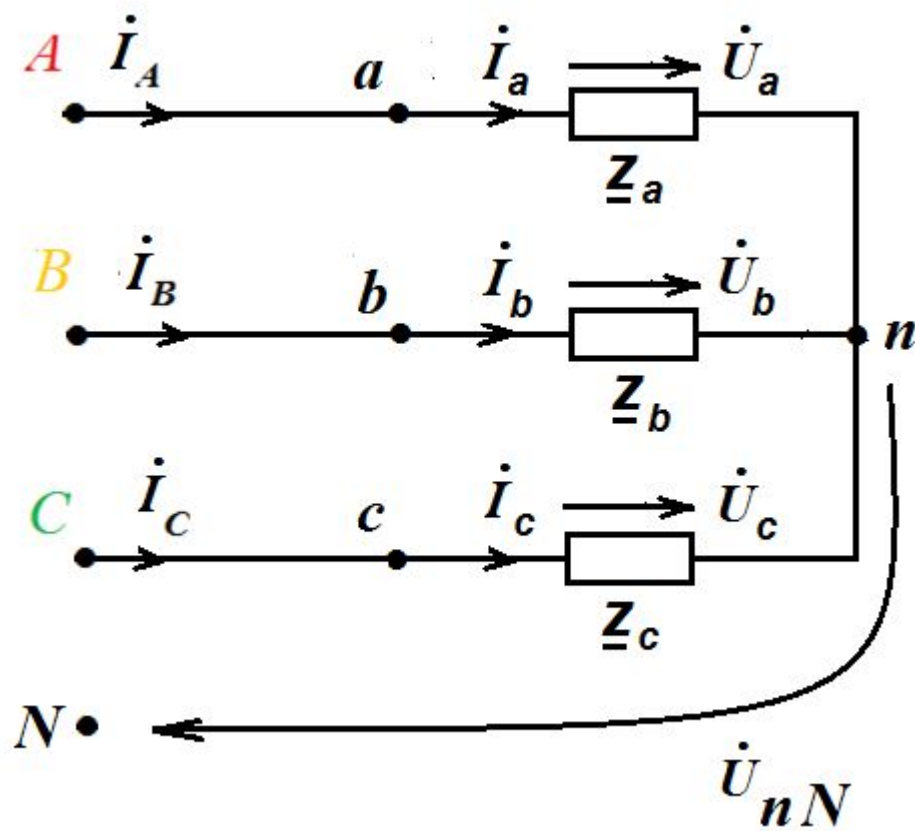
В результате получится расчет фазных токов по закону Ома

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_a} \quad \dot{I}_b = \frac{\dot{E}_B}{\underline{Z}_b} \quad \dot{I}_c = \frac{\dot{E}_C}{\underline{Z}_c}$$

Ток в нейтрали определяется по 1 закону Кирхгофа для узла n (нейтральной точки приемника)

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c$$

Пример 2



Исходные данные:

$U_{\text{л ист}}$ линейное напряжение источника
(или E_{ϕ} - фазное напряжение источника)

$\underline{Z}_a \underline{Z}_b \underline{Z}_c$ комплексные сопротивления фаз приемника

$\underline{Z}_{\text{лА}} = \underline{Z}_{\text{лВ}} = \underline{Z}_{\text{лС}} = 0$ сопротивления линии
принимаются равными нулю

$\underline{Z}_N = \infty$ нейтральный провод отсутствует

Требуется рассчитать: токи и напряжения фаз приемника
Напряжение между нейтральными точками источника и
приемника

Порядок расчета

1. Определить фазное напряжение генератора

$$E_{\phi} = \frac{U_{\text{лист}}}{\sqrt{3}} \quad \text{Если задано фазное напряжение генератора, то сразу выполняется пункт 2.}$$

2. Определить комплексы фазных ЭДС генератора

$$\dot{E}_A = E_{\phi} \quad \dot{E}_B = E_{\phi} e^{-j120^{\circ}} \quad \dot{E}_C = E_{\phi} e^{j120^{\circ}}$$

3. Определить потенциалы точек трехфазной цепи

$$\varphi_N = 0 \quad \varphi_A = \varphi_a = \dot{E}_A$$

$$\varphi_B = \varphi_b = \dot{E}_B \quad \varphi_C = \varphi_c = \dot{E}_C$$

$$\varphi_n = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_A + \dot{E}_B \underline{Y}_B + \dot{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}$$

$$\underline{Y}_a = \frac{1}{\underline{Z}_a} \quad \underline{Y}_b = \frac{1}{\underline{Z}_b} \quad \underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_c} \quad \underline{Y}_N = \frac{1}{\infty} = 0$$

4. Определить напряжения на фазах приемника как разность потенциалов точек начала и конца фазы

$$\dot{U}_a = (\varphi_a - \varphi_n)$$

$$\dot{U}_b = (\varphi_b - \varphi_n)$$

$$\dot{U}_c = (\varphi_c - \varphi_n)$$

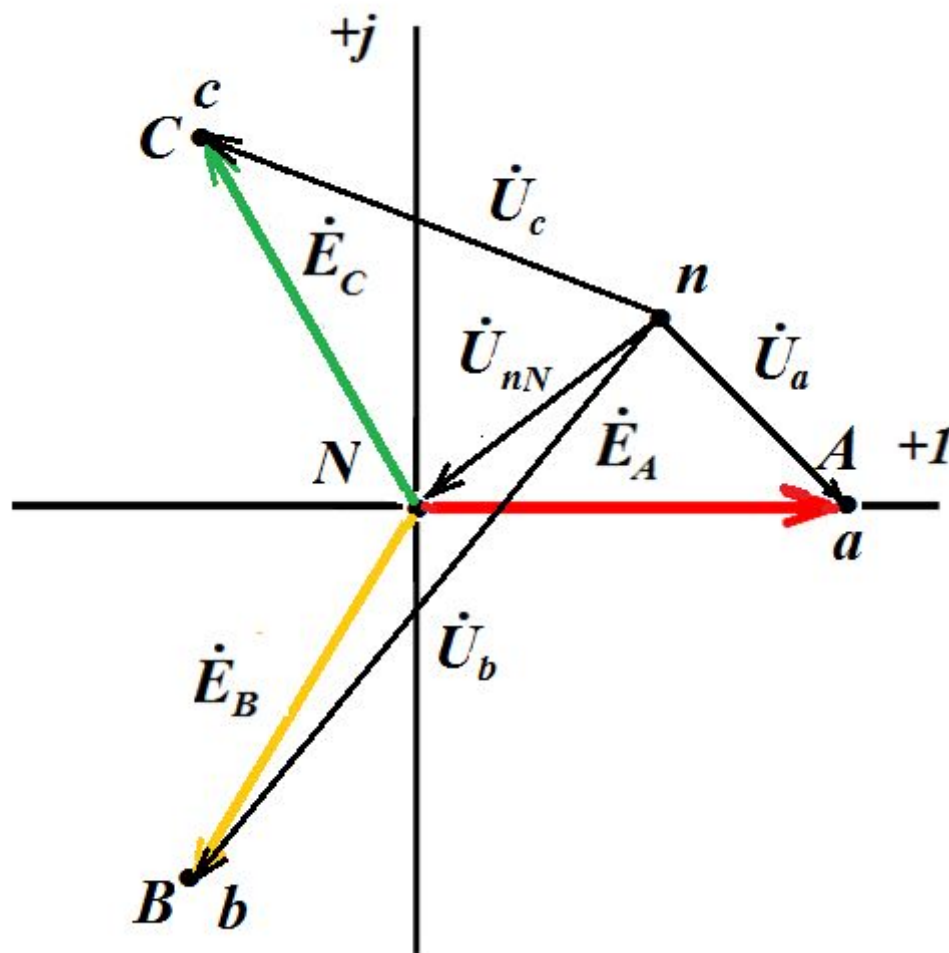
5. Определить токи в фазах приемника по закону Ома

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a} \quad \dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b} \quad \dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c}$$

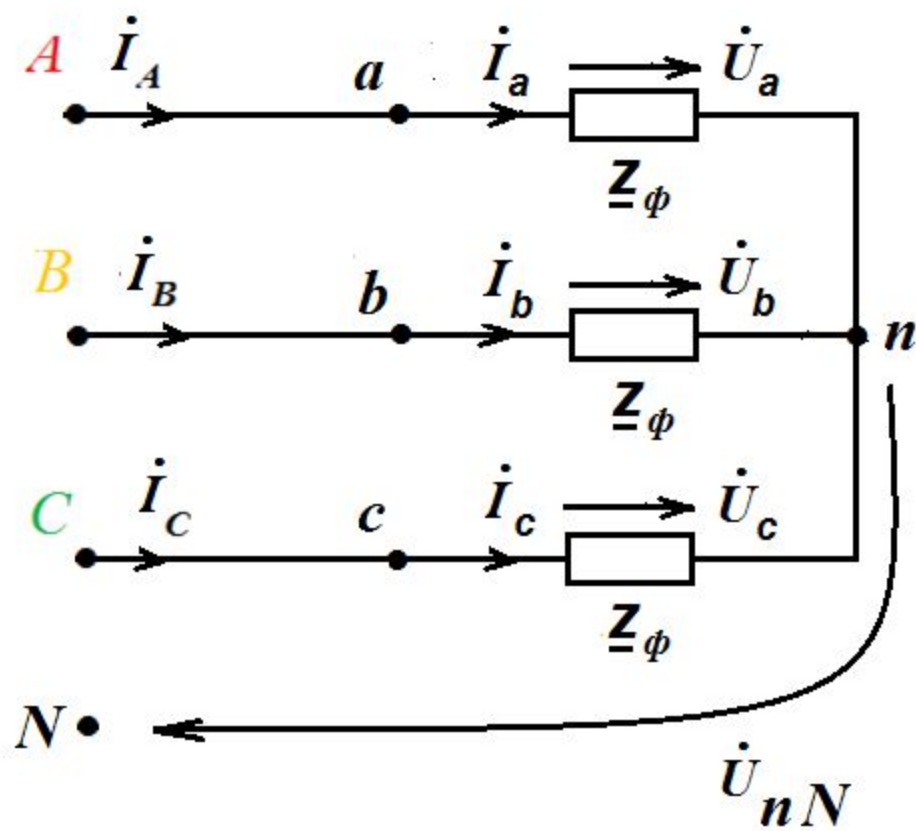
6. Напряжение между нейтральными точками источника и приемника находится как разность потенциалов точек n и N

$$\dot{U}_{nN} = \varphi_n - \varphi_N$$

Фазные напряжения источника и приемника при отсутствии нейтрального провода могут не совпадать



Пример 3



Исходные данные:

$U_{\text{л ист}}$ линейное напряжение источника
(или E_{ϕ} - фазное напряжение источника)

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = \underline{Z}_{\phi}$$

комплексные сопротивления фаз приемника равны
(такой приемник называется **симметричным**)

$\underline{Z}_{\text{лА}} = \underline{Z}_{\text{лВ}} = \underline{Z}_{\text{лС}} = 0$ сопротивления линии
принимаются равными нулю

$\underline{Z}_N = \infty$ нейтральный провод отсутствует

Требуется рассчитать: токи и напряжения фаз приемника
Напряжение между нейтральными точками источника и
приемника

Порядок расчета

1. Определить фазное напряжение генератора

$$E_{\phi} = \frac{U_{\text{лист}}}{\sqrt{3}} \quad \text{Если задано фазное напряжение генератора, то сразу выполняется пункт 2.}$$

2. Определить комплексы фазных ЭДС генератора

$$\dot{E}_A = E_{\phi} \quad \dot{E}_B = E_{\phi} e^{-j120^{\circ}} \quad \dot{E}_C = E_{\phi} e^{j120^{\circ}}$$

3. Определить потенциалы точек трехфазной цепи

$$\varphi_N = 0 \quad \varphi_A = \varphi_a = \dot{E}_A$$

$$\varphi_B = \varphi_b = \dot{E}_B \quad \varphi_C = \varphi_c = \dot{E}_C$$

$$\varphi_n = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_\phi + \dot{E}_B \underline{Y}_\phi + \dot{E}_C \underline{Y}_\phi}{\underline{Y}_\phi + \underline{Y}_\phi + \underline{Y}_\phi + \underline{Y}_N}$$

$$\underline{Y}_\phi = \frac{1}{\underline{Z}_\phi}$$

$$\underline{Y}_N = \frac{1}{\infty} = 0$$

$$\varphi_n = \frac{(\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C) \underline{Y}_\phi}{3 \underline{Y}_\phi} = 0$$

4. Определить напряжения на фазах приемника как разность потенциалов точек начала и конца фазы

$$\dot{U}_a = (\varphi_a - \varphi_n) = \dot{E}_A$$

$$\dot{U}_b = (\varphi_b - \varphi_n) = \dot{E}_B$$

$$\dot{U}_c = (\varphi_c - \varphi_n) = \dot{E}_C$$

5. Определить токи в фазах приемника по закону Ома

$$I_a = \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_\phi} \quad I_b = \frac{\dot{E}_B}{\underline{Z}_\phi} \quad I_c = \frac{\dot{E}_C}{\underline{Z}_\phi}$$

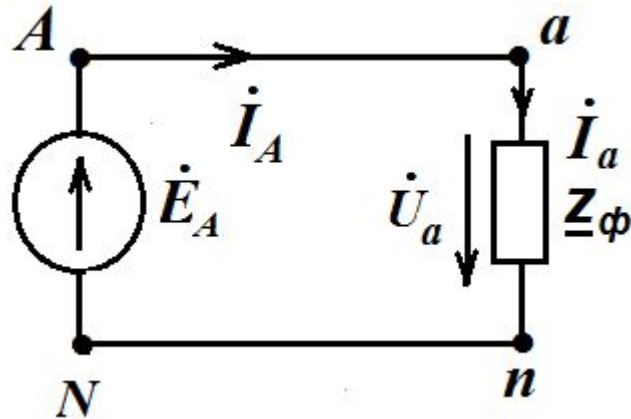
6. Напряжение между нейтральными точками источника и приемника находится как разность потенциалов точек n и N

$$\dot{U}_{nN} = \varphi_n - \varphi_N = 0$$

Для симметричного приемника отсутствие или наличие нейтрального провода не влияет на расчет токов. Фазные напряжения приемника равны ЭДС источника. Фазные токи и напряжения приемника оказываются симметричными, то есть равными по величине и сдвинутыми по фазе на угол 120 градусов.

Поэтому симметричные приемники можно рассчитывать по одной фазе A . Для этого составляется однофазная схема замещения

однофазная схема замещения трехфазного симметричного приемника «звезда»



Расчет токов при этом упрощается

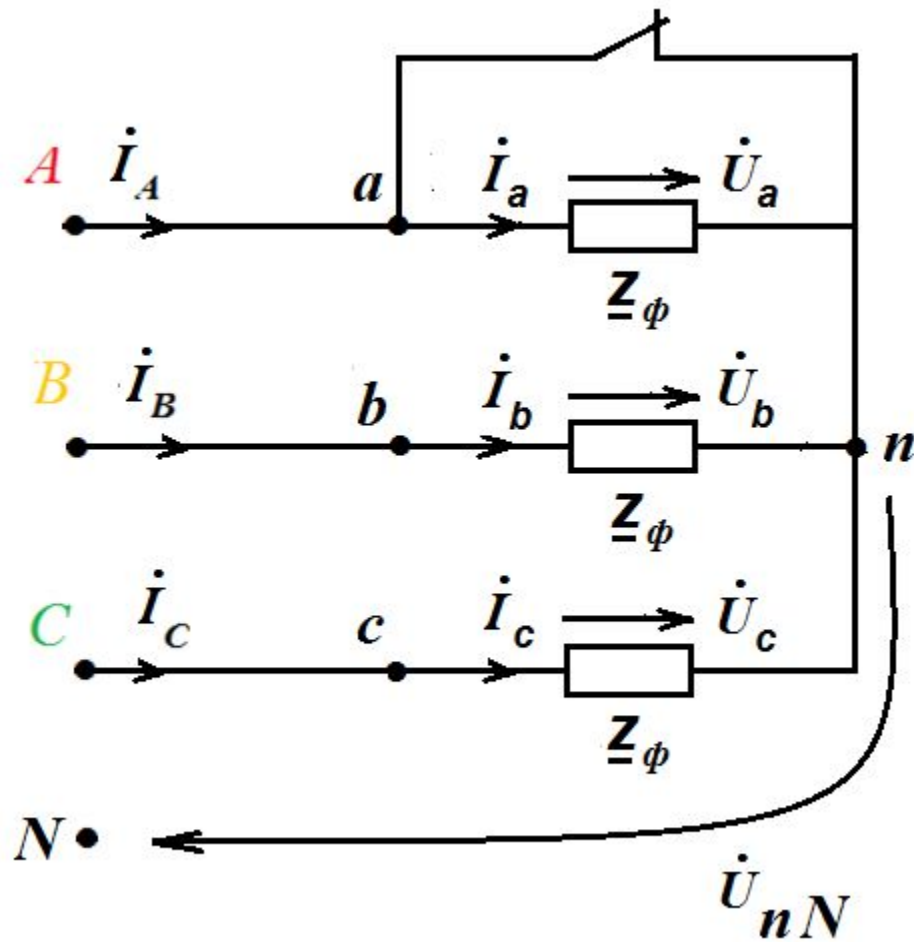
$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_\phi}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_b = \dot{I}_A e^{-j120^\circ}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_c = \dot{I}_A e^{j120^\circ}$$

Аварийные режимы работы трехфазного приемника «звезда»

1. Короткое замыкание фазы



Исходные данные:

$U_{\text{л ист}}$ линейное напряжение источника
(или E_{ϕ} - фазное напряжение источника)

$$\underline{z}_a = 0 \quad \underline{z}_b = \underline{z}_c = \underline{z}_{\phi}$$

$\underline{z}_{\text{лА}} = \underline{z}_{\text{лВ}} = \underline{z}_{\text{лС}} = 0$ сопротивления линии
принимаются равными нулю

$\underline{z}_N = \infty$ нейтральный провод отсутствует

Требуется рассчитать: токи и напряжения фаз приемника
Напряжение между нейтральными точками источника и
приемника

Порядок расчета

1. Определить фазное напряжение генератора

$$E_{\phi} = \frac{U_{\text{лист}}}{\sqrt{3}} \quad \text{Если задано фазное напряжение генератора, то сразу выполняется пункт 2.}$$

2. Определить комплексы фазных ЭДС генератора

$$\dot{E}_A = E_{\phi} \quad \dot{E}_B = E_{\phi} e^{-j120^{\circ}} \quad \dot{E}_C = E_{\phi} e^{j120^{\circ}}$$

3. Определить потенциалы точек трехфазной цепи

$$\varphi_N = 0 \quad \varphi_A = \varphi_a = \dot{E}_A$$

$$\varphi_B = \varphi_b = \dot{E}_B \quad \varphi_C = \varphi_c = \dot{E}_C$$

$$\varphi_n = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_a + \dot{E}_B \underline{Y}_\phi + \dot{E}_C \underline{Y}_\phi}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_\phi + \underline{Y}_\phi + \underline{Y}_N}$$

$$\underline{Y}_\phi = \frac{1}{\underline{Z}_\phi} \quad \underline{Y}_a = \frac{1}{\underline{Z}_a} = \frac{1}{0} = \infty \quad \underline{Y}_N = \frac{1}{\infty} = 0$$

$$\varphi_n = \frac{\infty + (\dot{E}_B + \dot{E}_C) \underline{Y}_\phi}{\infty + 2 \underline{Y}_\phi} = \dot{E}_A$$

Потенциал точки **n** можно было найти и проще.

Закоротка(к.з.) уравнивает потенциалы точек **a** и **n**

4. Определить напряжения на фазах приемника как разность потенциалов точек начала и конца фазы

$$\dot{U}_a = (\varphi_a - \varphi_n) = 0$$

$$\dot{U}_b = (\varphi_b - \varphi_n) = \dot{E}_B - \dot{E}_A = U_{\text{л ист}} e^{-j150^\circ}$$

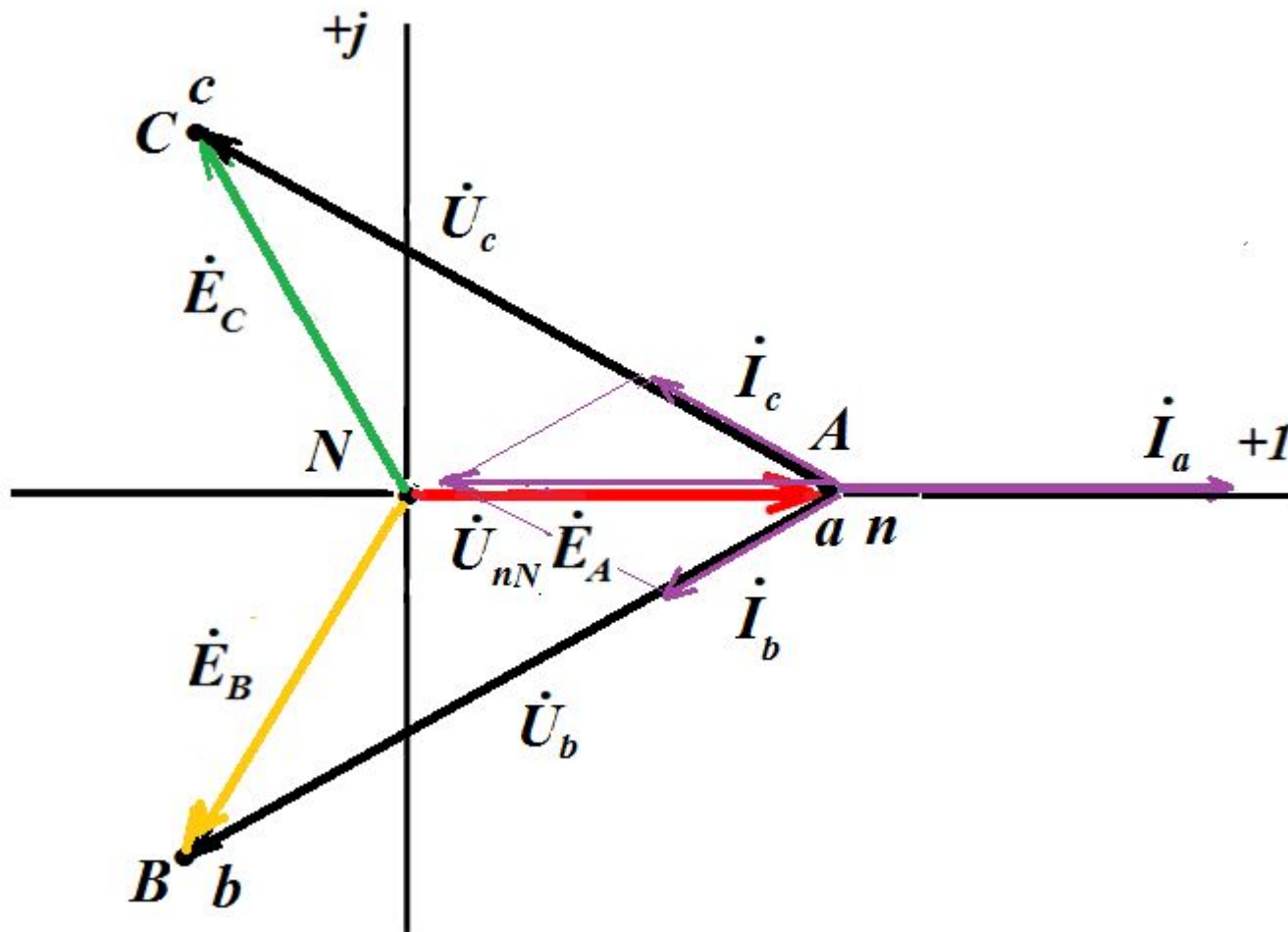
$$\dot{U}_c = (\varphi_c - \varphi_n) = \dot{E}_c - \dot{E}_A = U_{\text{л ист}} e^{j150^\circ}$$

5. Определить токи в неповрежденных фазах приемника по закону Ома

$$\dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_\phi} \quad \dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_\phi}$$

Ток в поврежденной фазе приемника находится по 1 закону Кирхгофа для узла **n**

$$\dot{I}_a = -(\dot{I}_b + \dot{I}_c)$$



При коротком замыкании в симметричном приемнике токи в неповрежденных фазах возрастают в $\sqrt{3}$.

Ток в поврежденной фазе увеличивается в 3 раза.

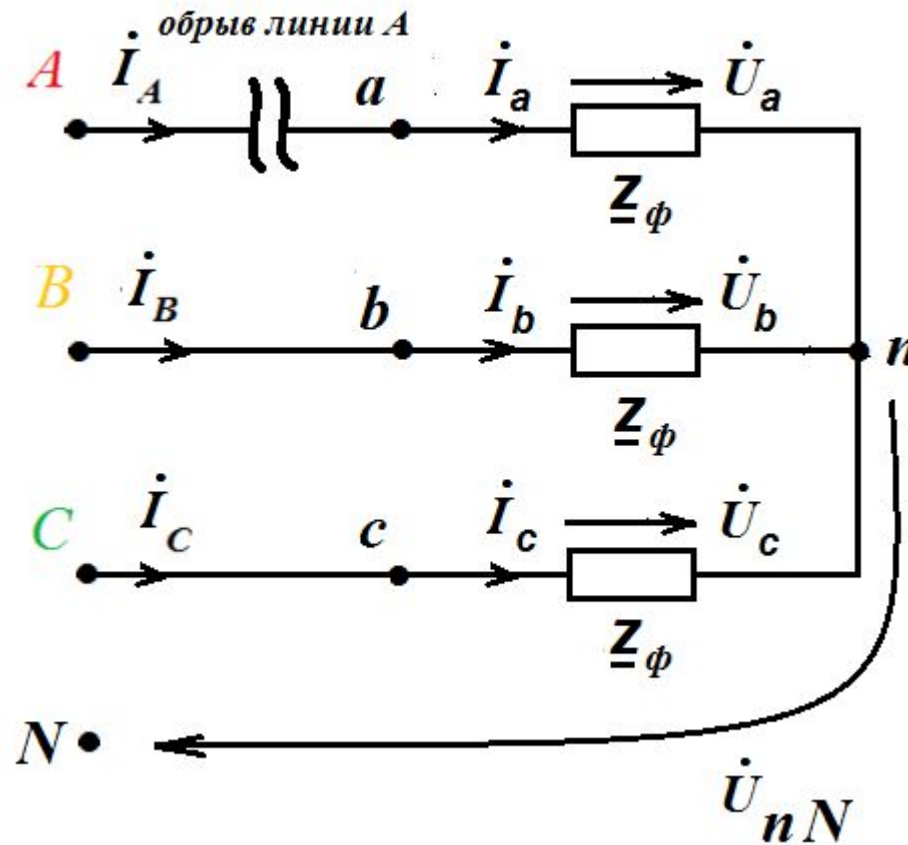
Векторная диаграмма приведена для случая к.з. в фазе А при чисто активной нагрузке

6. Напряжение между нейтральными точками источника и приемника находится как разность потенциалов точек \mathfrak{n} и \mathfrak{N}

$$\dot{U}_{nN} = \varphi_n - \varphi_N = \dot{E}_A$$

Аварийные режимы работы трехфазного приемника «звезда»

2. Обрыв линейного (фазного) провода



Исходные данные:

$U_{\text{л ист}}$ линейное напряжение источника
(или E_{ϕ} - фазное напряжение источника)

$$\underline{Z}_a = \infty \quad \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = \underline{Z}_{\phi}$$

$\underline{Z}_{\text{лА}} = \underline{Z}_{\text{лВ}} = \underline{Z}_{\text{лС}} = 0$ сопротивления линии
принимаются равными нулю

$\underline{Z}_N = \infty$ нейтральный провод отсутствует

Требуется рассчитать: токи и напряжения фаз приемника
Напряжение между нейтральными точками источника и
приемника

Порядок расчета

1. Определить фазное напряжение генератора

$$E_{\phi} = \frac{U_{\text{лист}}}{\sqrt{3}} \quad \text{Если задано фазное напряжение генератора, то сразу выполняется пункт 2.}$$

2. Определить комплексы фазных ЭДС генератора

$$\dot{E}_A = E_{\phi} \quad \dot{E}_B = E_{\phi} e^{-j120^{\circ}} \quad \dot{E}_C = E_{\phi} e^{j120^{\circ}}$$

3. Определить потенциалы точек трехфазной цепи

$$\varphi_N = 0 \quad \varphi_A = \dot{E}_A$$

$$\varphi_B = \varphi_b = \dot{E}_B \quad \varphi_C = \varphi_c = \dot{E}_C$$

$$\varphi_n = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_a + \dot{E}_B \underline{Y}_\phi + \dot{E}_C \underline{Y}_\phi}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_\phi + \underline{Y}_\phi + \underline{Y}_N}$$

$$\underline{Y}_\phi = \frac{1}{\underline{Z}_\phi} \quad \underline{Y}_a = \frac{1}{\infty} = 0 \quad \underline{Y}_N = \frac{1}{\infty} = 0$$

$$\varphi_n = \frac{0 + (\dot{E}_B + \dot{E}_C) \underline{Y}_\phi}{2 \underline{Y}_\phi} = \frac{\dot{E}_B + \dot{E}_C}{2}$$

Потенциал точки **п** можно было найти и проще, а именно, графически по топографической диаграмме. Для этого от точки поврежденной фазы (в нашем случае точки **А**) провести линию по направлению ЭДС этой фазы до пересечения с линией, соединяющей точки неповрежденных фаз (в нашем случае это точки **В** и **С**)

Так как ток в поврежденной фазе равен нулю (обрыв линии), то потенциал точки начала фазы (в нашем случае точки **а**), равен потенциалу точки **п**

$$\varphi_a = \varphi_n$$

4. Определить напряжения на фазах приемника как разность потенциалов точек начала и конца фазы

$$\dot{U}_a = (\varphi_a - \varphi_n) = 0$$

$$\dot{U}_b = (\varphi_b - \varphi_n) = E_\phi \frac{\sqrt{3}}{2} e^{-j90^\circ}$$

$$\dot{U}_c = (\varphi_c - \varphi_n) = E_\phi \frac{\sqrt{3}}{2} e^{j90^\circ}$$

напряжение на обрыве как разность потенциалов точек А и а

$$\dot{U}_{\text{обр}} = (\varphi_A - \varphi_a) = 1.5E_\phi$$

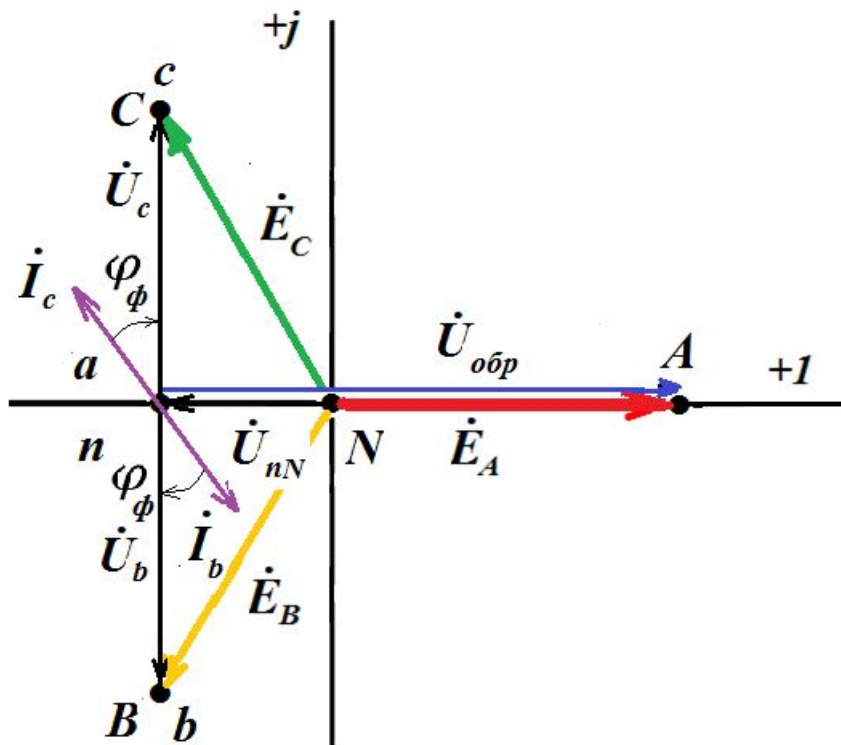
напряжение между нейтральными точками N и n

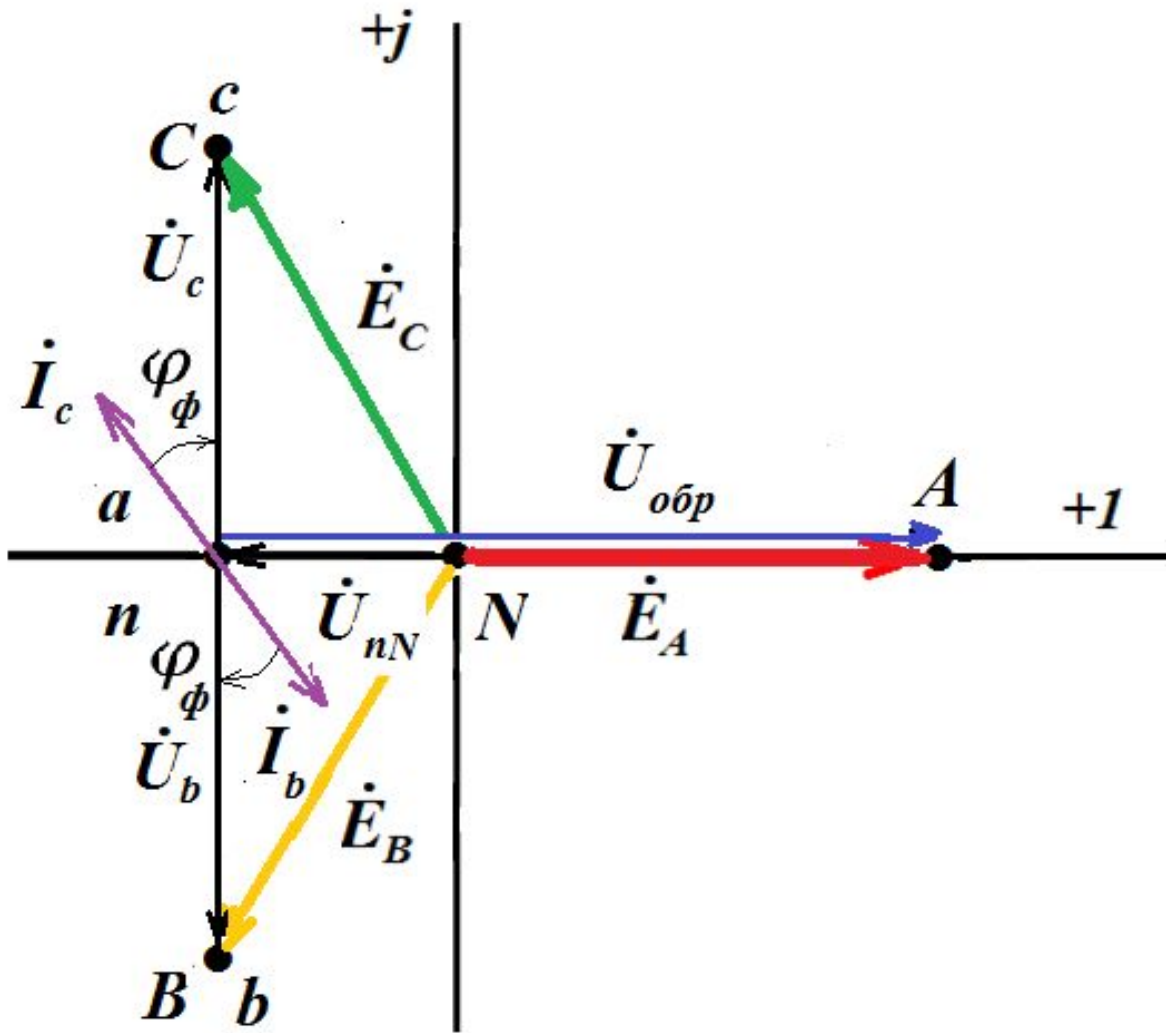
$$\dot{U}_{nN} = (\varphi_n - \varphi_N) = 0.5E_\phi e^{-j180^\circ}$$

5. Определить токи в неповрежденных фазах приемника по закону Ома

$$\dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_\phi} \quad \dot{I}_a = 0 \quad \dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_\phi}$$

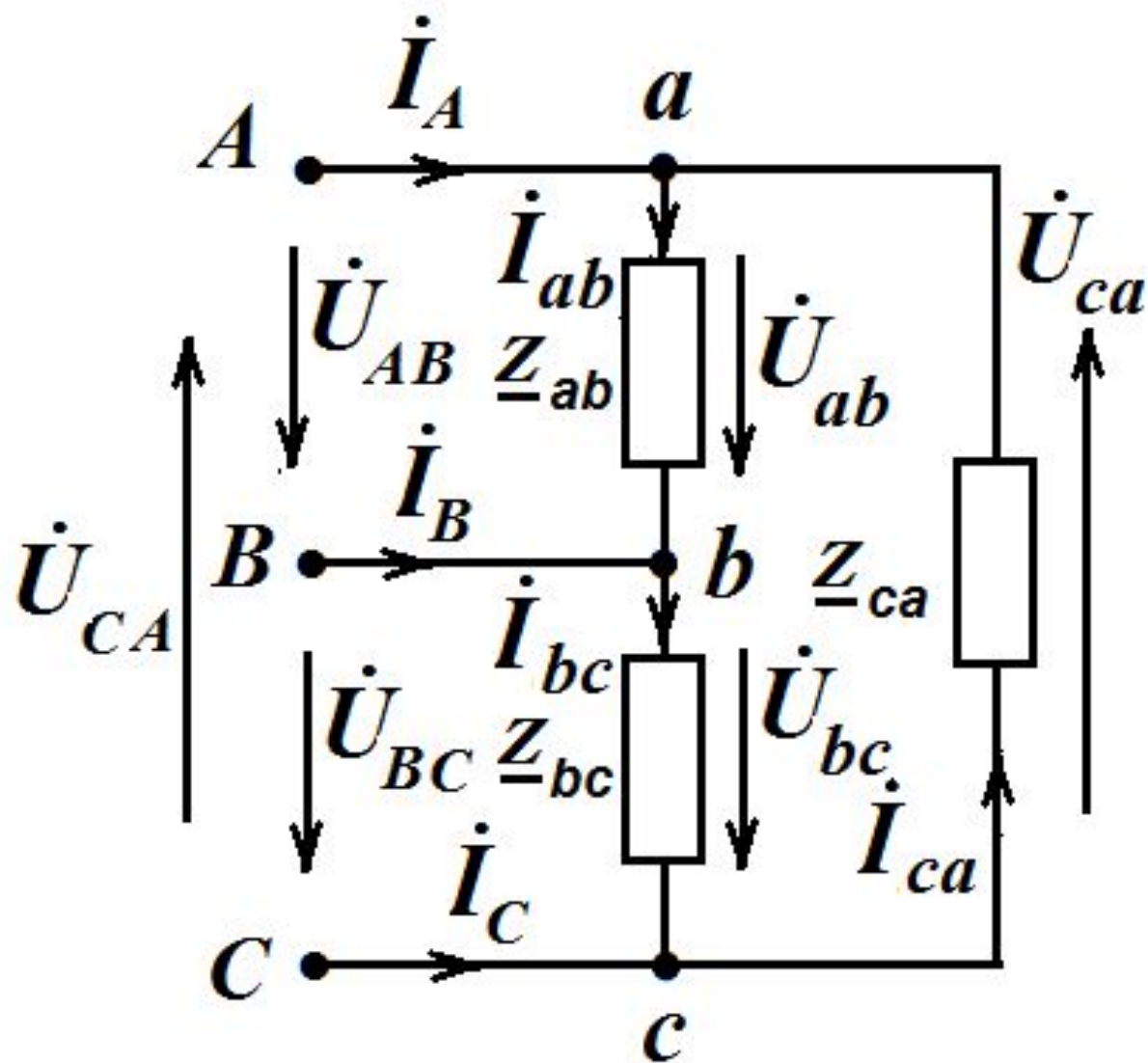
ток в оборванной фазе равен нулю





При обрыве в фазе симметричного приемника токи и напряжения в неповрежденных фазах уменьшаются в 1.15 раза
 Векторная диаграмма приведена для случая обрыва в фазе A
 при активно-емкостной нагрузке

Трёхфазная цепь соединения « звезда – треугольник»



Трехфазная цепь соединения « звезда – треугольник»

Исходные данные:

$U_{\text{л ист}}$ линейное напряжение источника
(или $E_{\text{ф}}$ - фазное напряжение источника)

$\underline{Z}_{ab} \underline{Z}_{bc} \underline{Z}_{ca}$ комплексные сопротивления фаз приемника

$\underline{Z}_{\text{лА}} = \underline{Z}_{\text{лВ}} = \underline{Z}_{\text{лС}} = 0$ комплексные сопротивления фаз
линии принимаются равными нулю

Требуется рассчитать: токи и напряжения фаз приемника,
токи в линейных проводах

Расчет проводится с использованием метода узловых потенциалов

Порядок расчета

1. Определить фазное напряжение генератора

$$E_{\phi} = \frac{U_{\text{лист}}}{\sqrt{3}} \quad \text{Если задано фазное напряжение генератора, то сразу выполняется пункт 2.}$$

2. Определить комплексы фазных ЭДС генератора

$$\dot{E}_A = E_{\phi} \quad \dot{E}_B = E_{\phi} e^{-j120^{\circ}} \quad \dot{E}_C = E_{\phi} e^{j120^{\circ}}$$

3. Определить потенциалы точек трехфазной цепи

$$\varphi_A = \dot{E}_A \quad \varphi_B = \dot{E}_B \quad \varphi_C = \dot{E}_C$$

Так как сопротивления линий (ЛЭП) равны нулю (закоротки), то потенциалы точек A и a , B и b , C и c уравниваются

$$\varphi_a = \varphi_A = \dot{E}_A \quad \varphi_b = \varphi_B = \dot{E}_B \quad \varphi_c = \varphi_C = \dot{E}_C$$

Определить напряжения на фазах приемника как разность потенциалов точек начала и конца фазы

$$\dot{U}_{ab} = (\varphi_a - \varphi_b) = \dot{E}_A - \dot{E}_B = U_{\text{лин}} e^{j30^\circ}$$

$$\dot{U}_{bc} = (\varphi_b - \varphi_c) = \dot{E}_B - \dot{E}_C = U_{\text{лин}} e^{-j90^\circ}$$

$$\dot{U}_{ca} = (\varphi_c - \varphi_a) = \dot{E}_C - \dot{E}_A = U_{\text{лин}} e^{j150^\circ}$$

Определить токи в фазах приемника по закону Ома

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}} \quad \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}} \quad \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}}$$

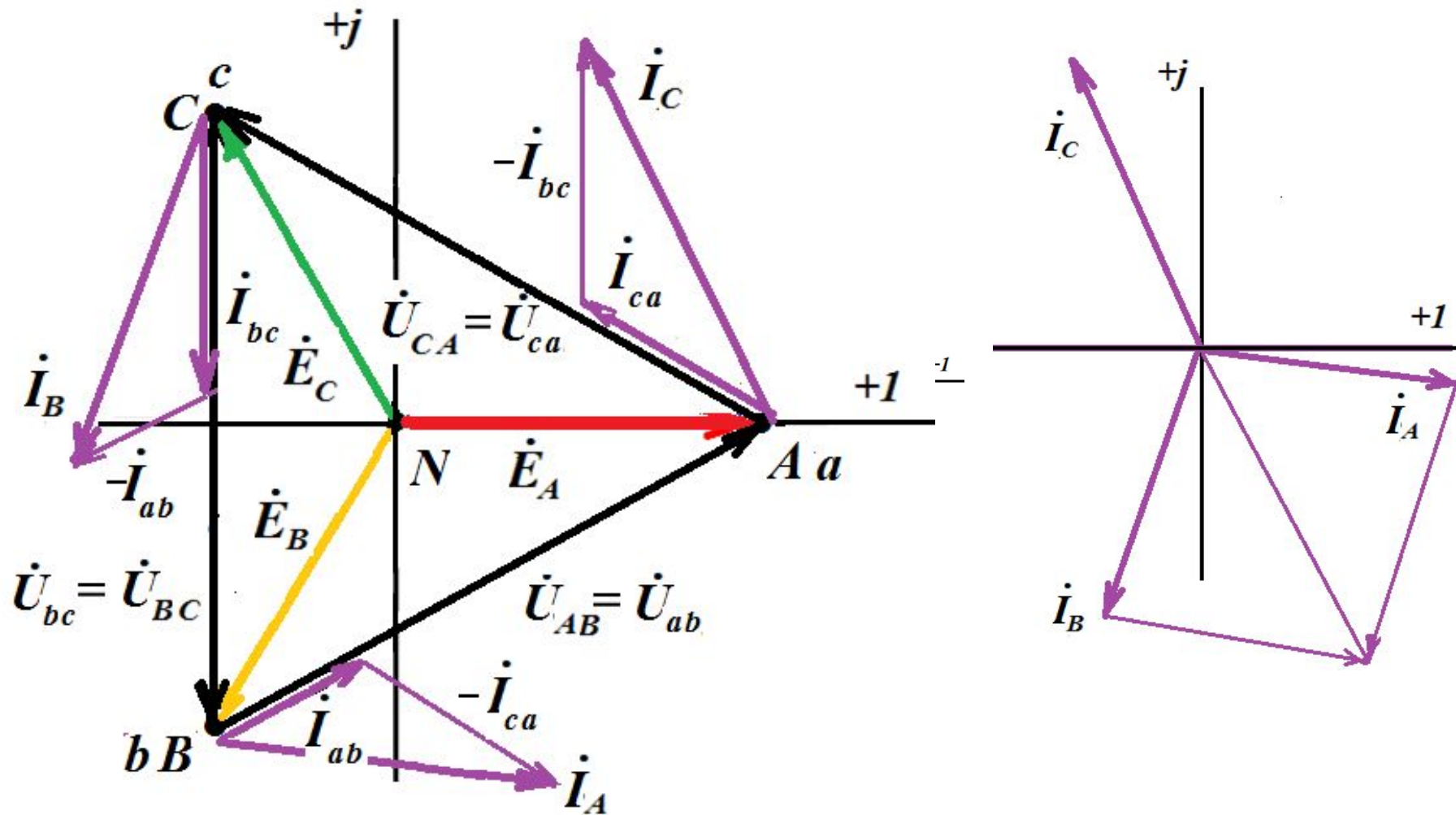
Определить токи в линейных проводах по первому закону
Кирхгофа для узлов а, b, с

$$\dot{I}_A = (\dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca})$$

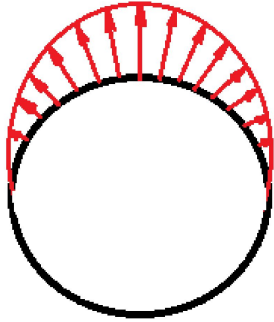
$$\dot{I}_B = (\dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab})$$

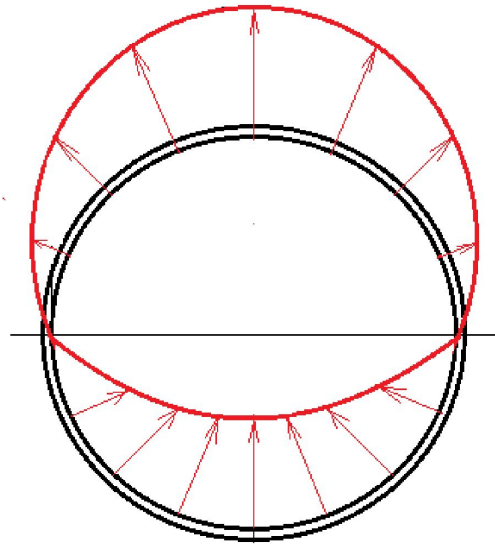
$$\dot{I}_C = (\dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc})$$

Векторная и топографическая диаграмма приведена для активной нагрузки

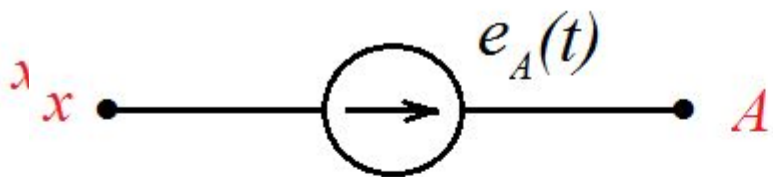


Сумма линейных токов равна нулю

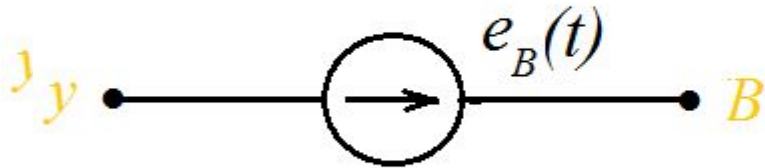




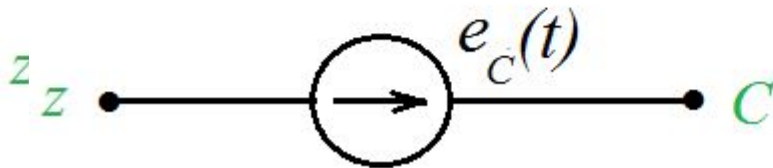
Получение трехфазного
напряжения



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



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



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