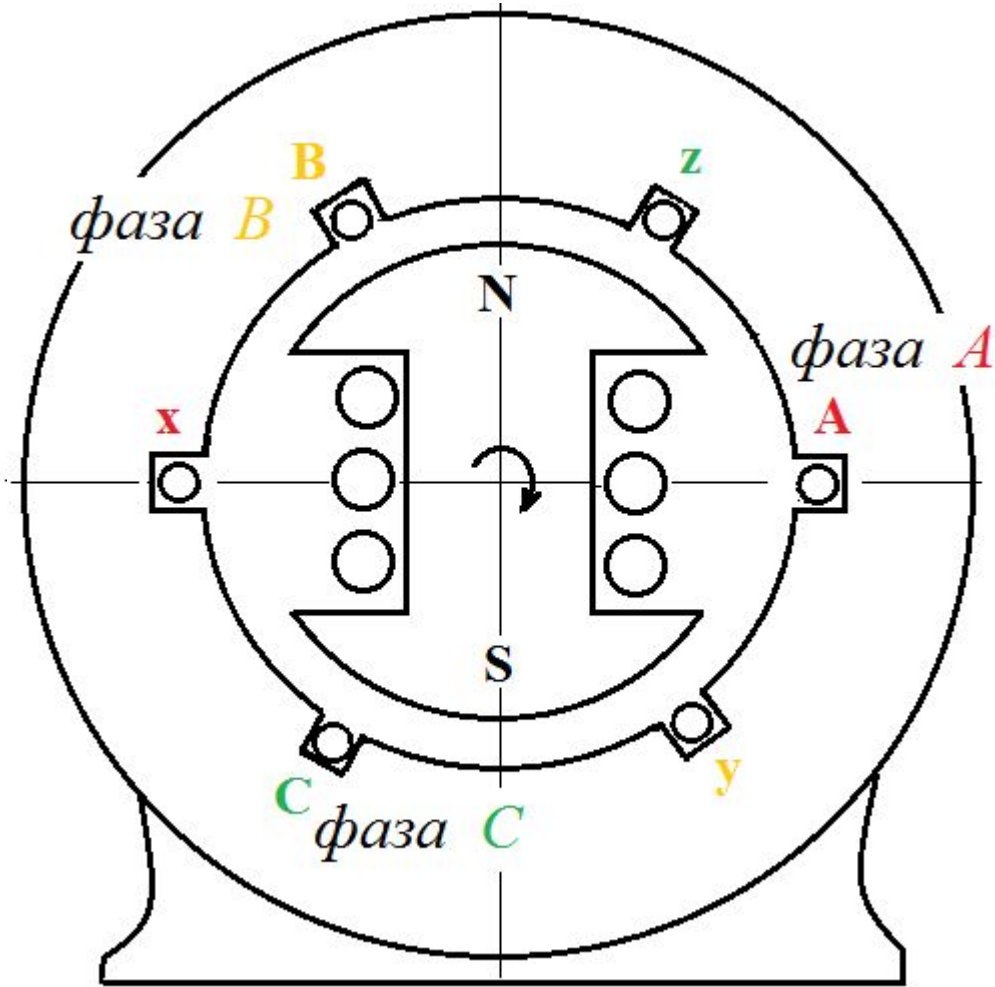


Трёхфазные цепи

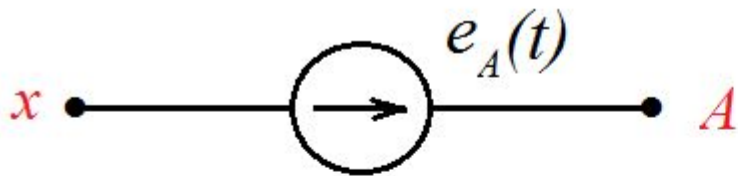
Получение трехфазного напряжения



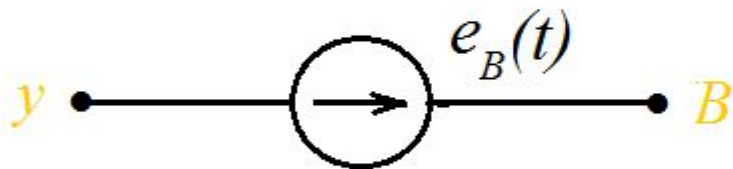
Трехфазный генератор

Получение трехфазного напряжения

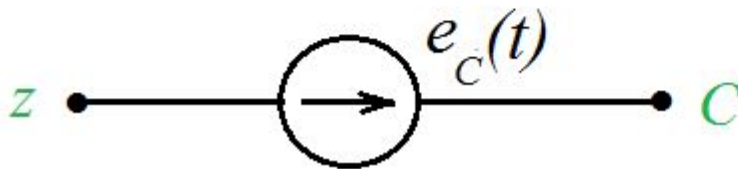
Мгновенные значения ЭДС фаз трехфазного генератора



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

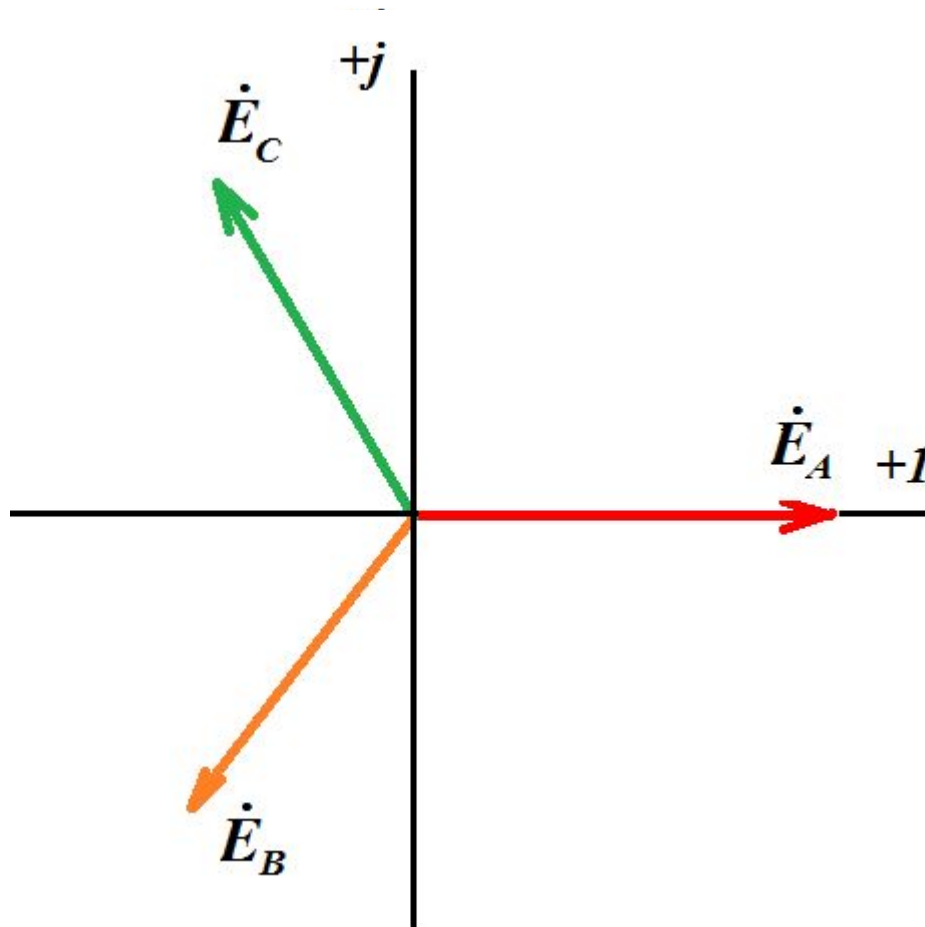


$$e_B(t) = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$



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

Комплексы действующих значений ЭДС фаз генератора



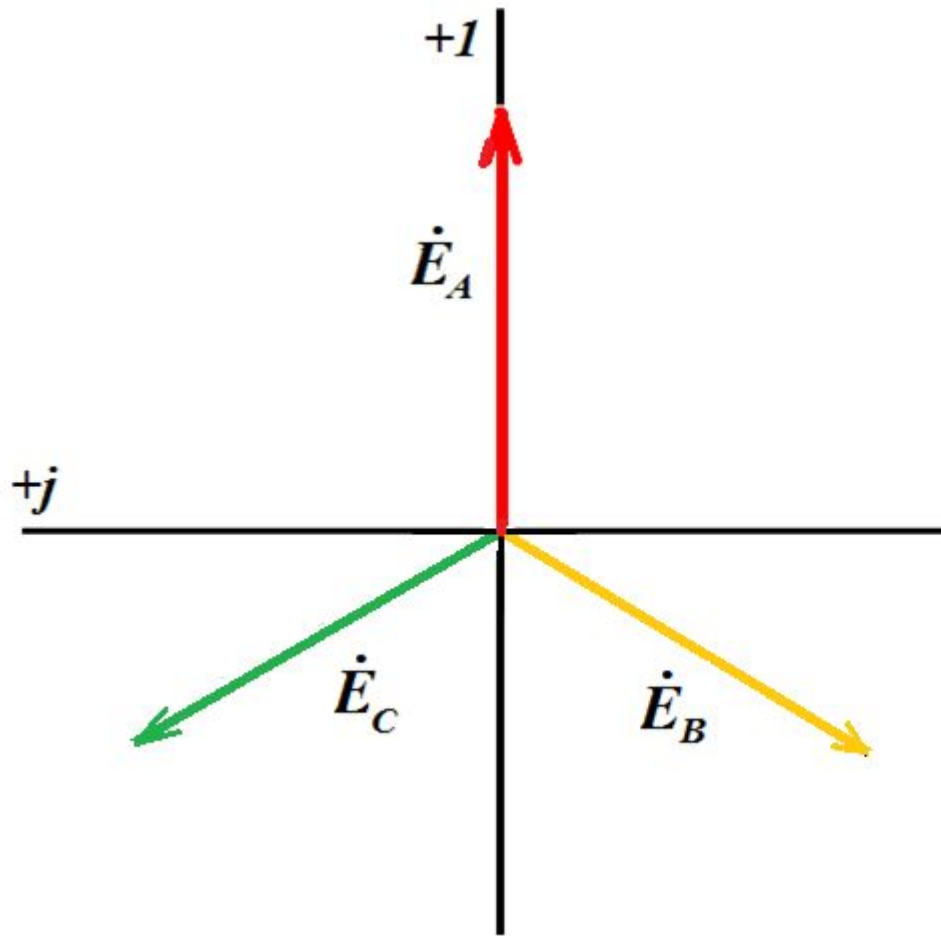
$$\dot{E}_A = E_\phi$$

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

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

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

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



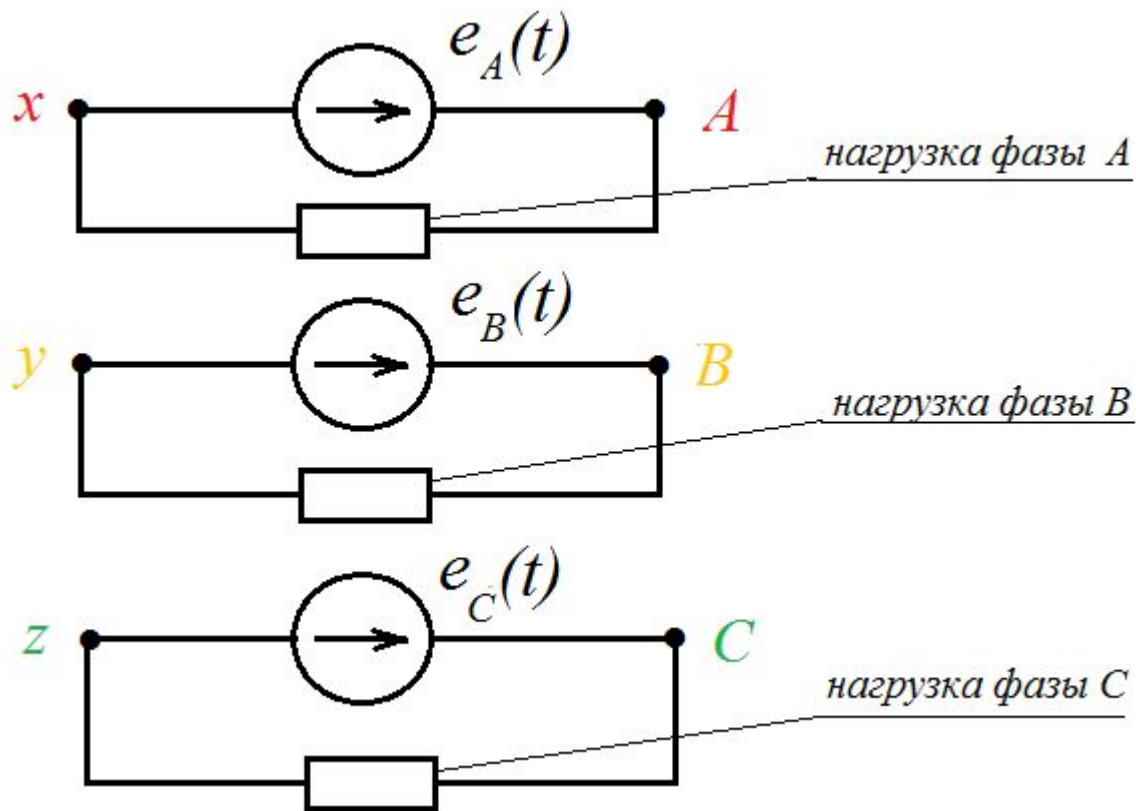
$$\dot{E}_A = E_\phi$$

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

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

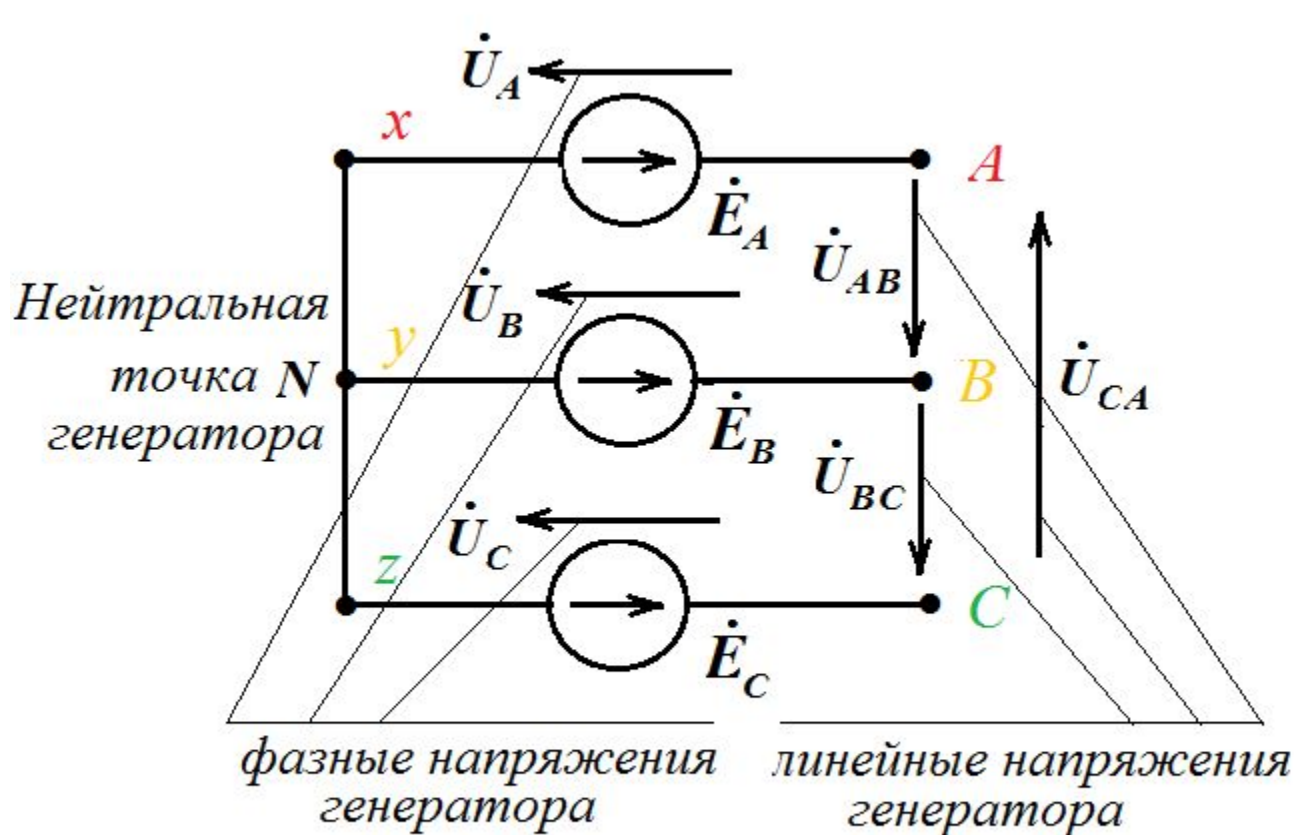
$$E_\phi = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

Независимая работа фаз трехфазного генератора



Электрические соединения ЭДС фаз трехфазного генератора

Соединение «звезда»



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

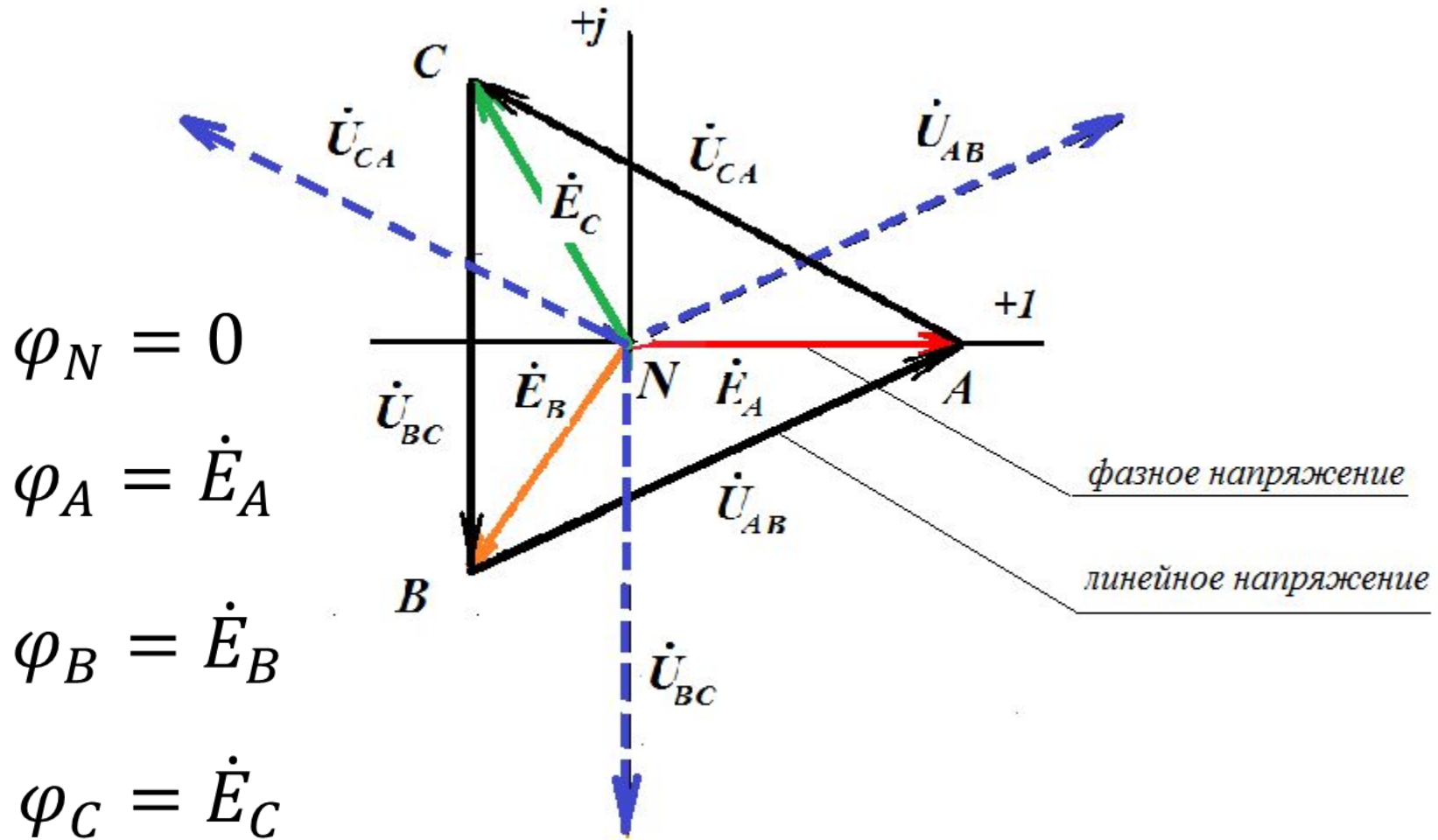
$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} E_{\text{ф}}$$

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

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»



$$\varphi_N = 0$$

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

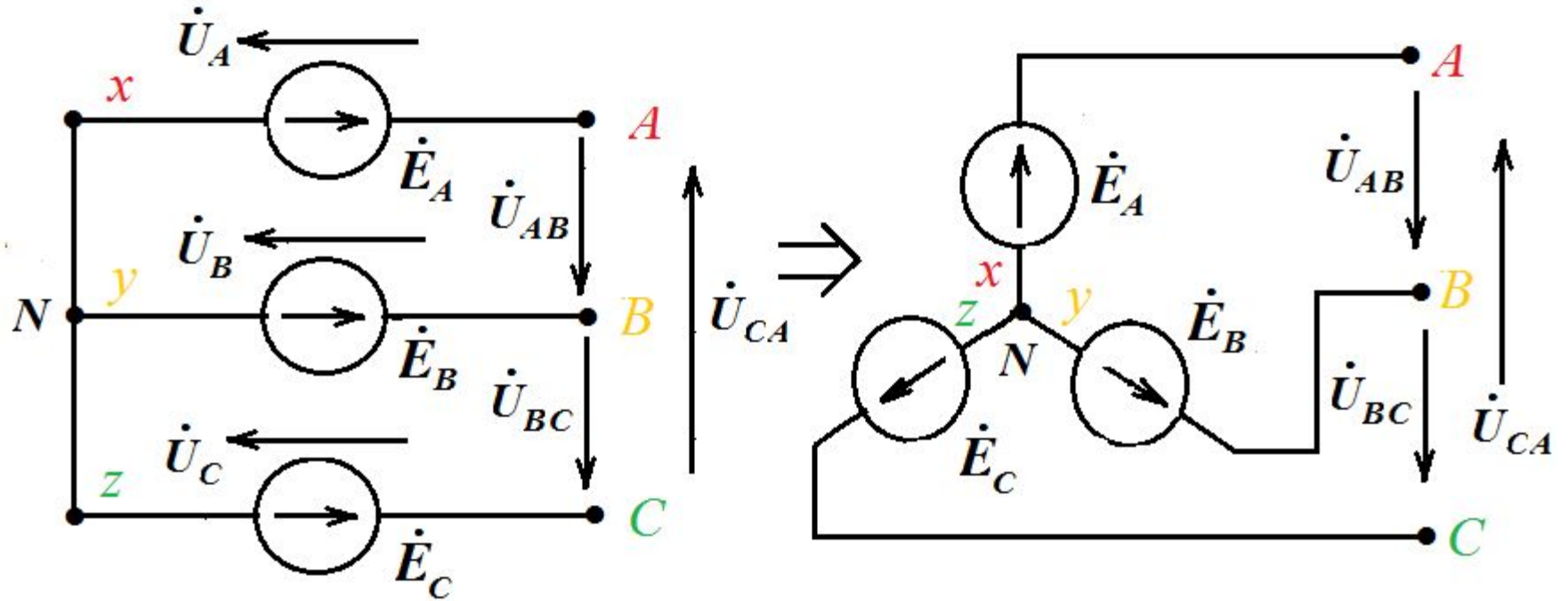
$$\varphi_B = \dot{E}_B$$

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

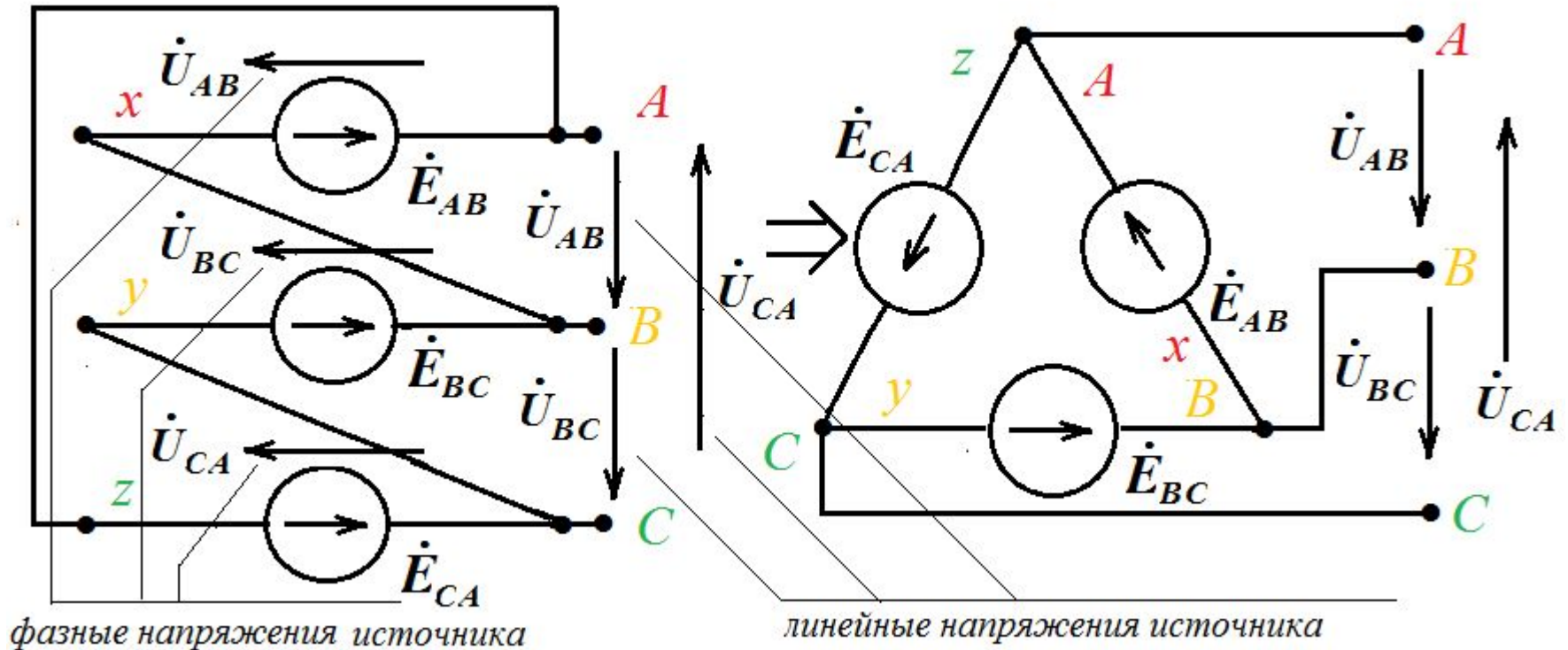
Потенциалы узлов

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

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»

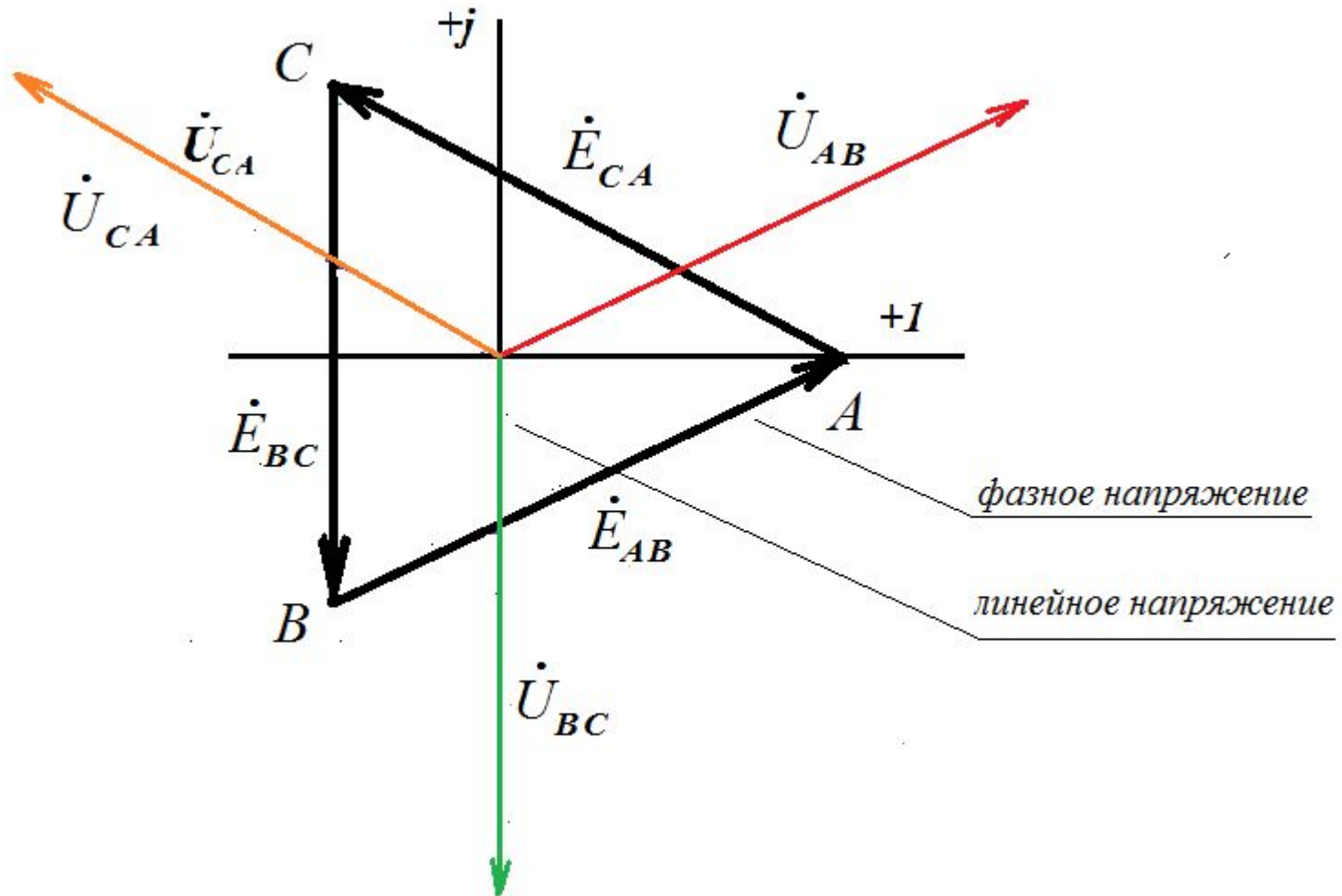
$$e_{AB} = E_m \sin(\omega t + 30^\circ) \Rightarrow \dot{E}_{AB} = E_\phi e^{j30^\circ}$$

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

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

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

Векторная и топографическая диаграммы



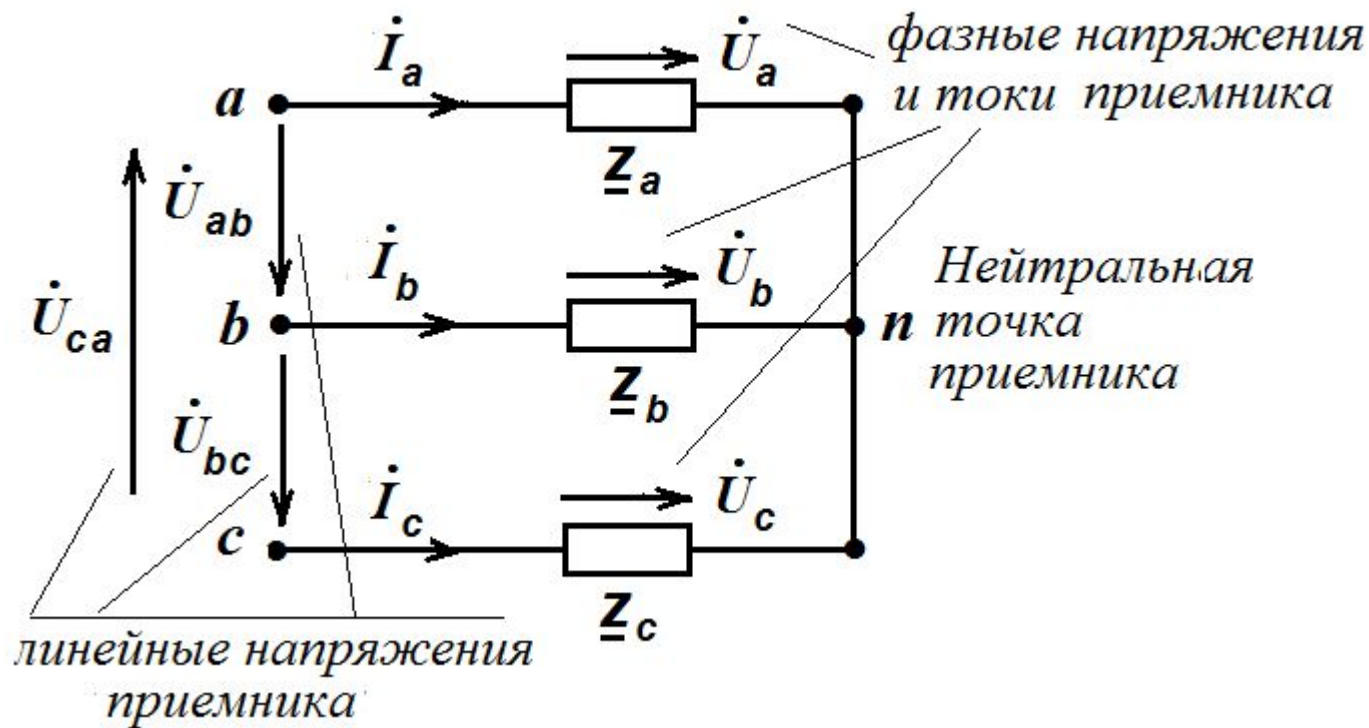
$$\varphi_A = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}}$$

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

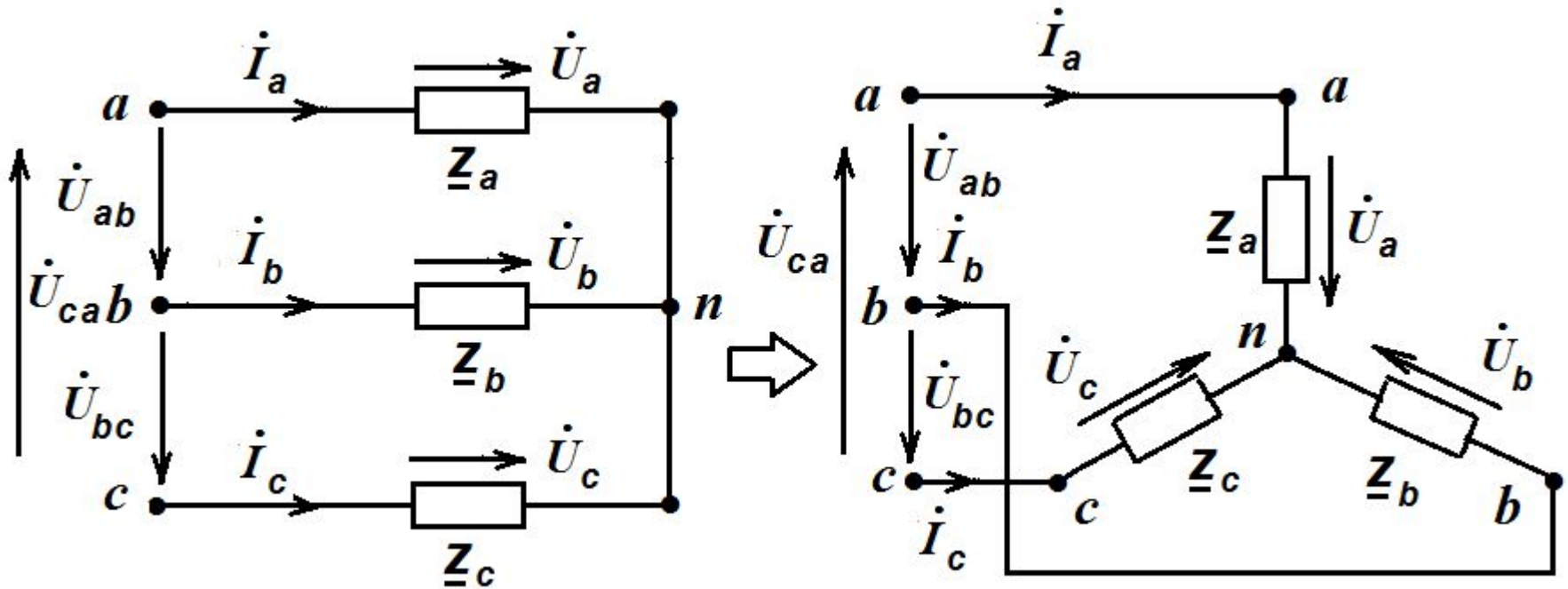
$$\varphi_C = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}} e^{j120^\circ}$$

Электрические соединения фаз трехфазного приемника

Соединение «звезда»



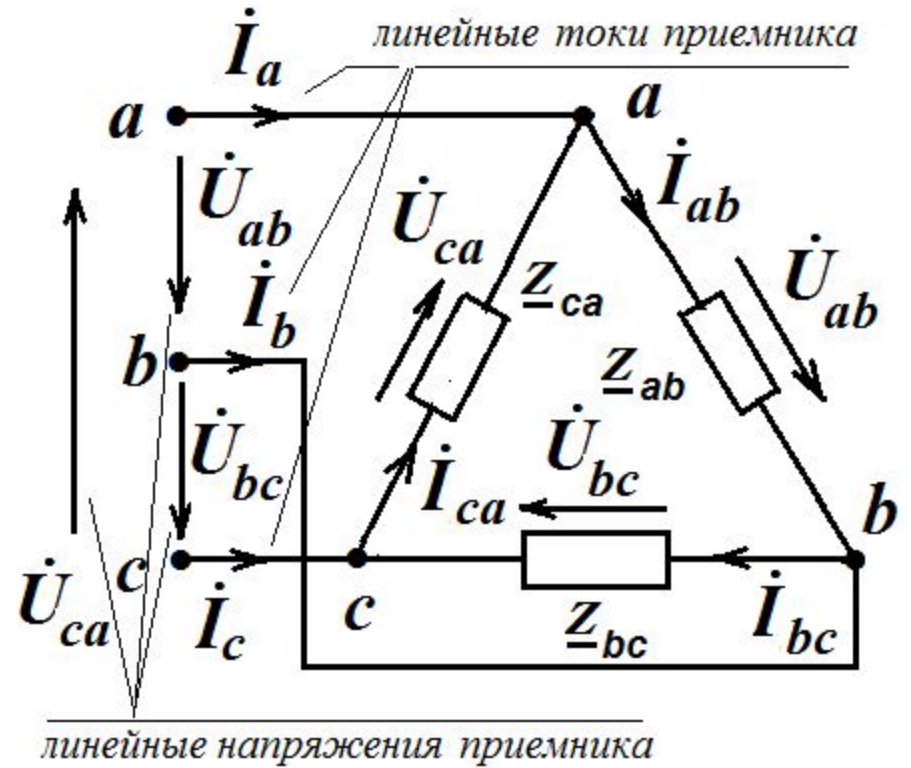
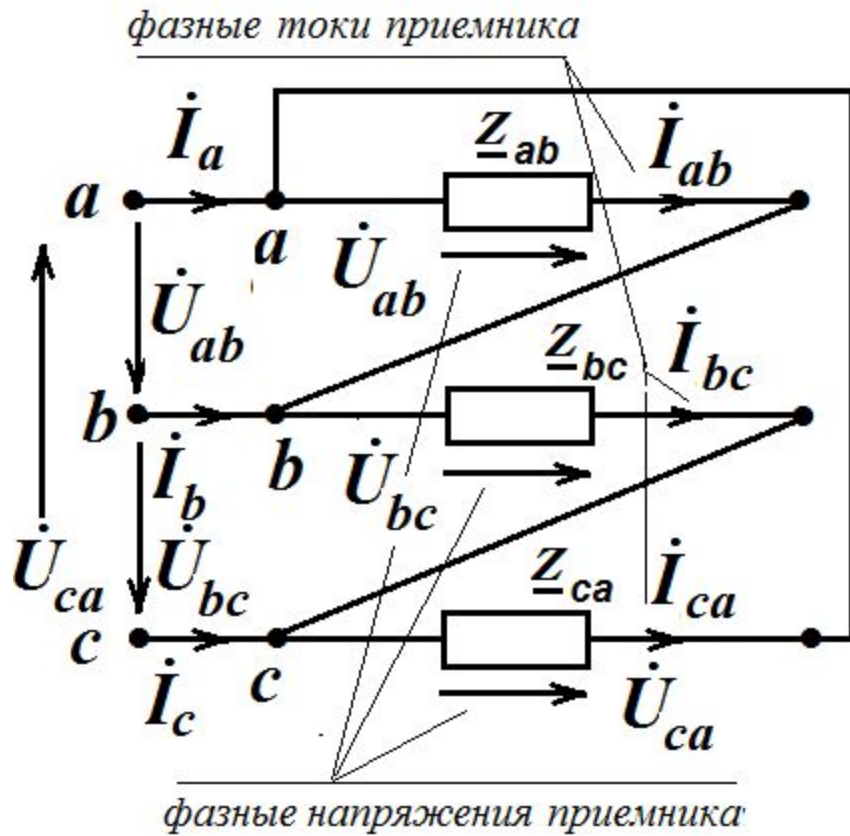
Возможные изображения схемного соединения приемника
«звезда»



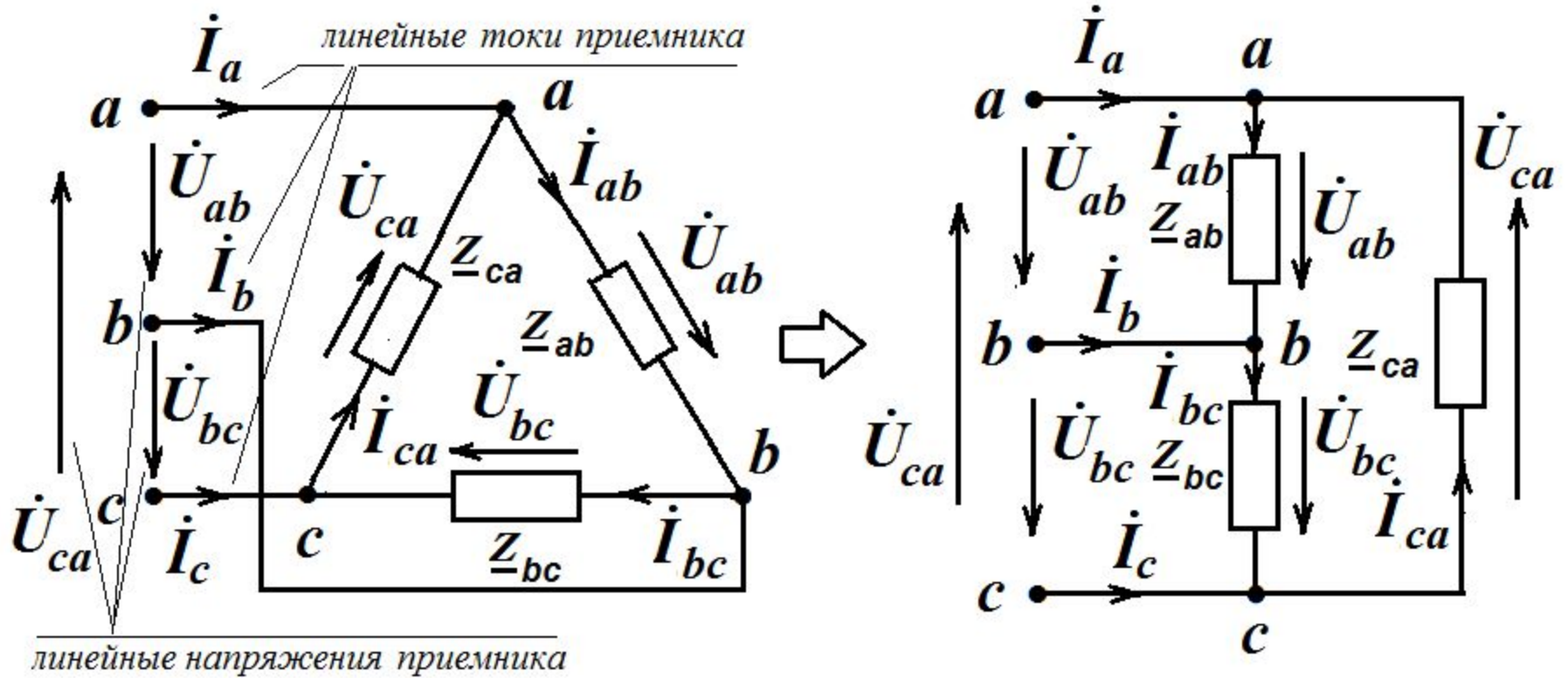
При соединении трехфазного приемника «звезда» фазные и линейные токи совпадают

$$I_{\phi} = I_{\text{л}}$$

Соединение фаз приемника «треугольник»



Возможные изображения схемного соединения приемника «треугольник»



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

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

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

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

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

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

7. Определить ток и падение напряжения в нейтрали

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

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

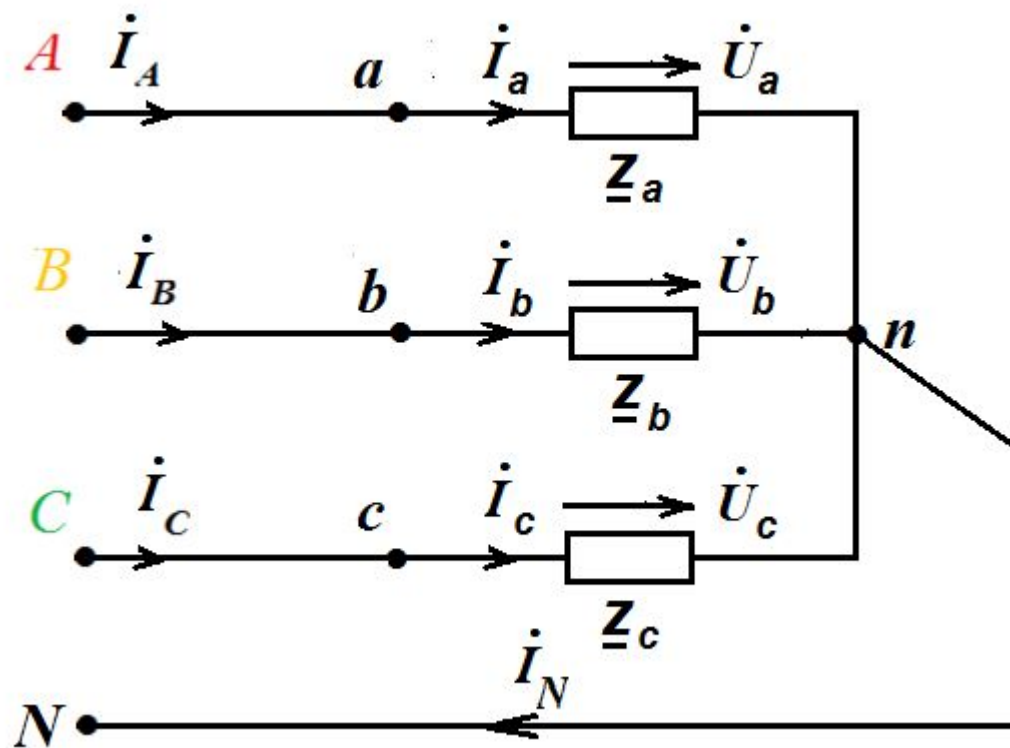
$$\dot{U}_{nN} = \dot{I}_N \underline{Z}_N$$

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

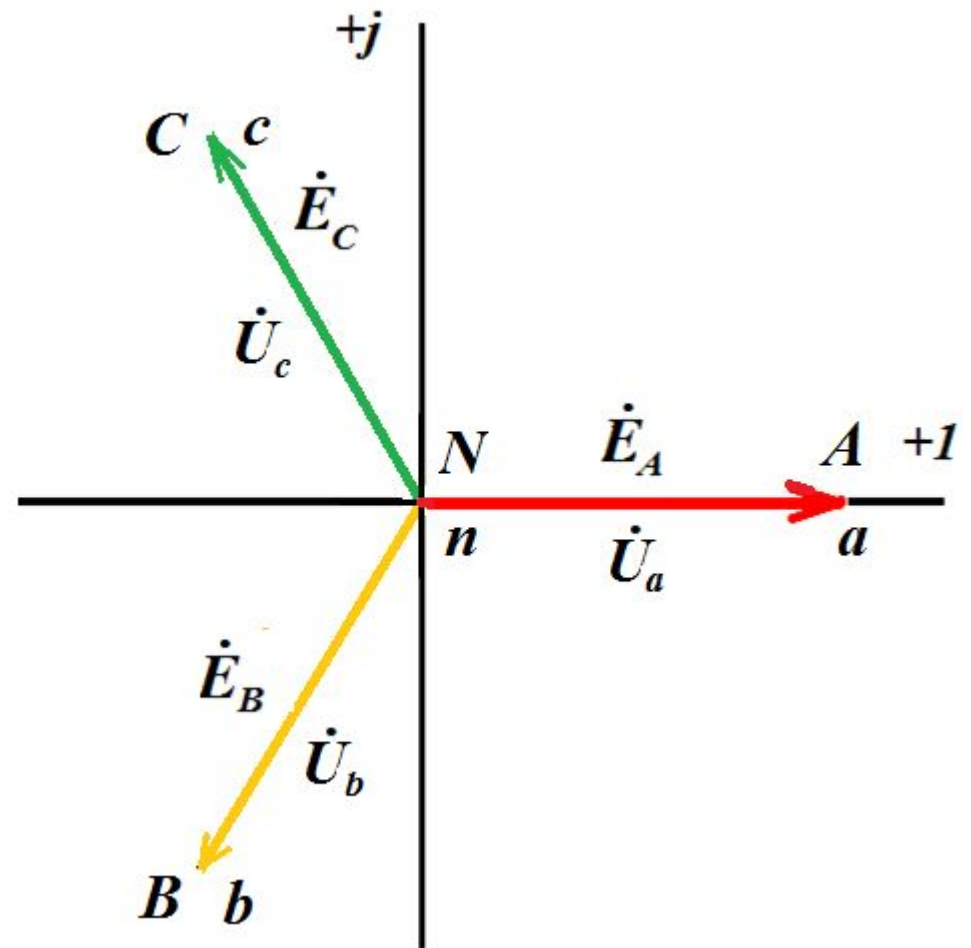
$$\varphi_N = \varphi_n = 0$$

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)

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

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

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

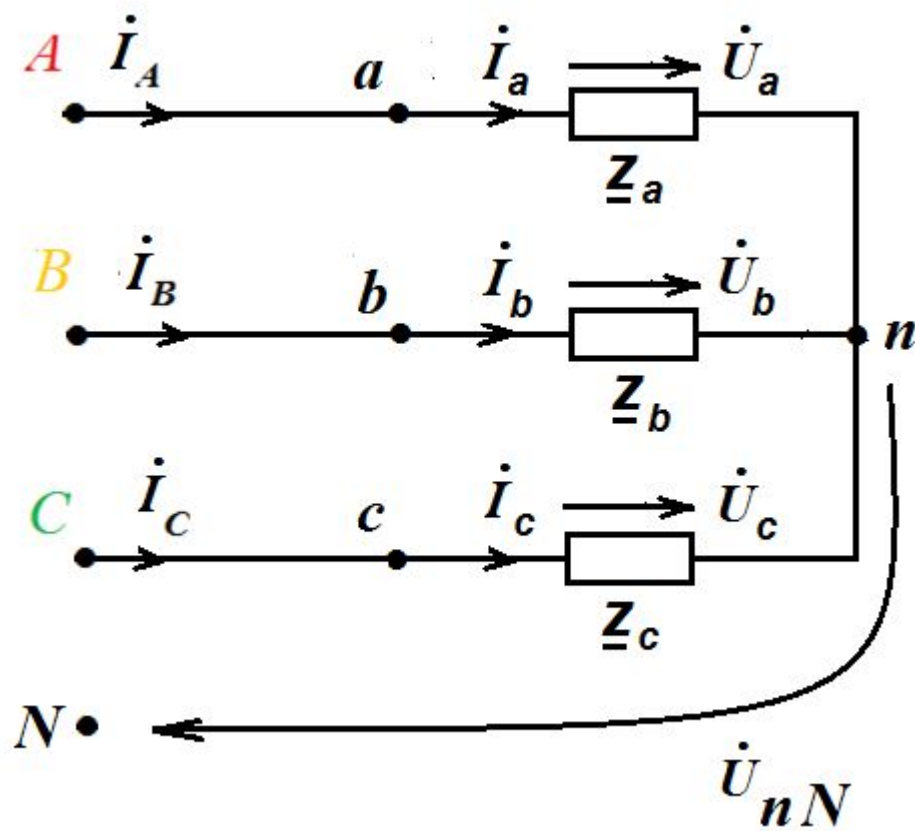
В результате получится расчет фазных токов по закону Ома

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

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

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

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

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

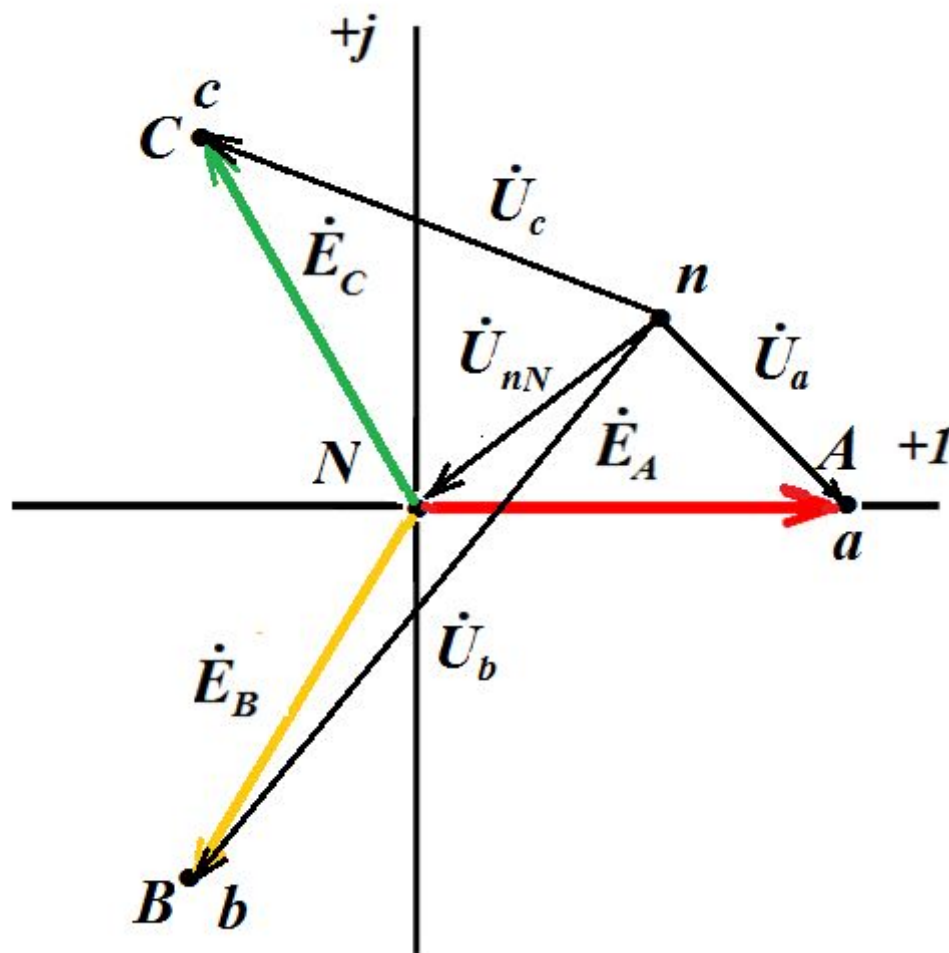
5. Определить токи в фазах приемника по закону Ома

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

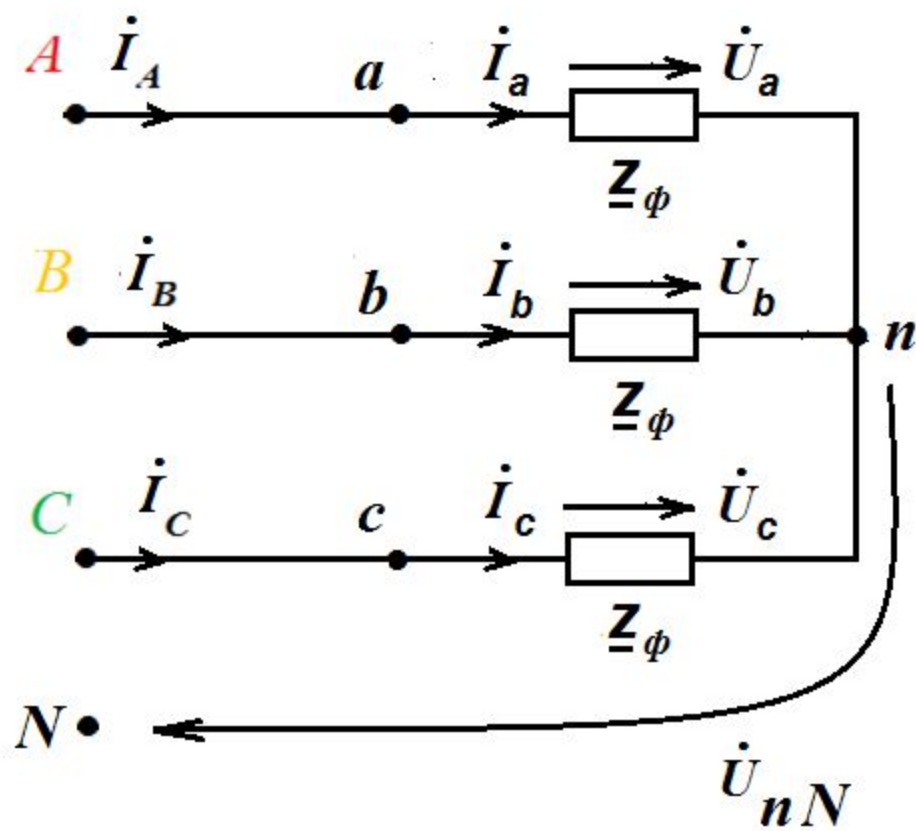
6. Напряжение между нейтральными точками источника и приемника находится как разность потенциалов точек n и N

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

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

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

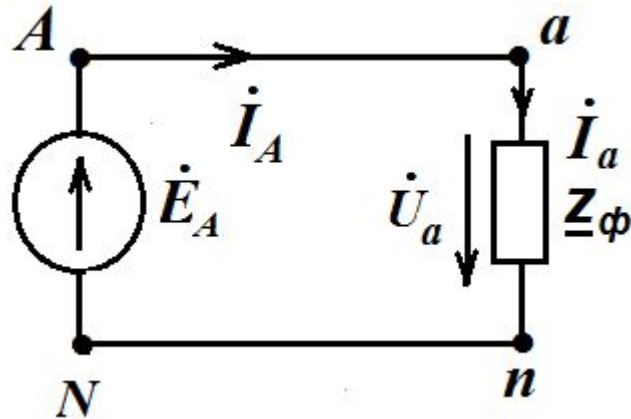
6. Напряжение между нейтральными точками источника и приемника находится как разность потенциалов точек n и N

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

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 А. Для этого составляется однофазная схема замещения

однофазная схема замещения трехфазного симметричного приемника «звезда»



Расчет токов при этом упрощается

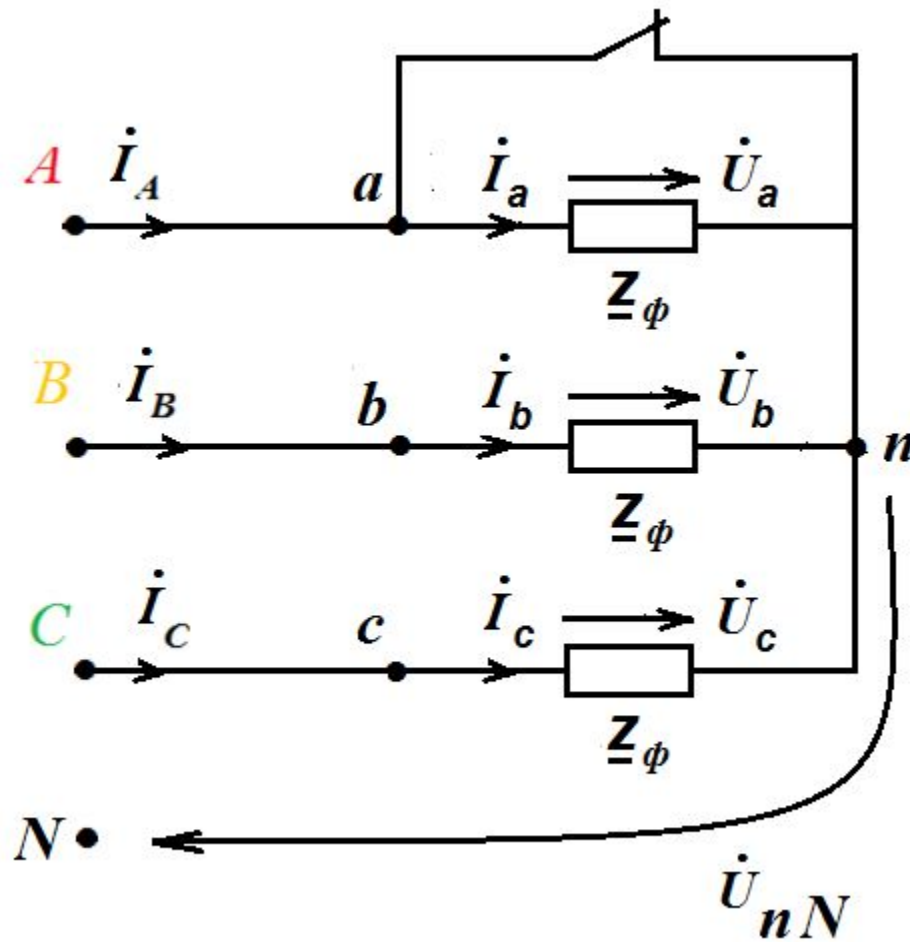
$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_\phi}$$

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

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

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

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

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

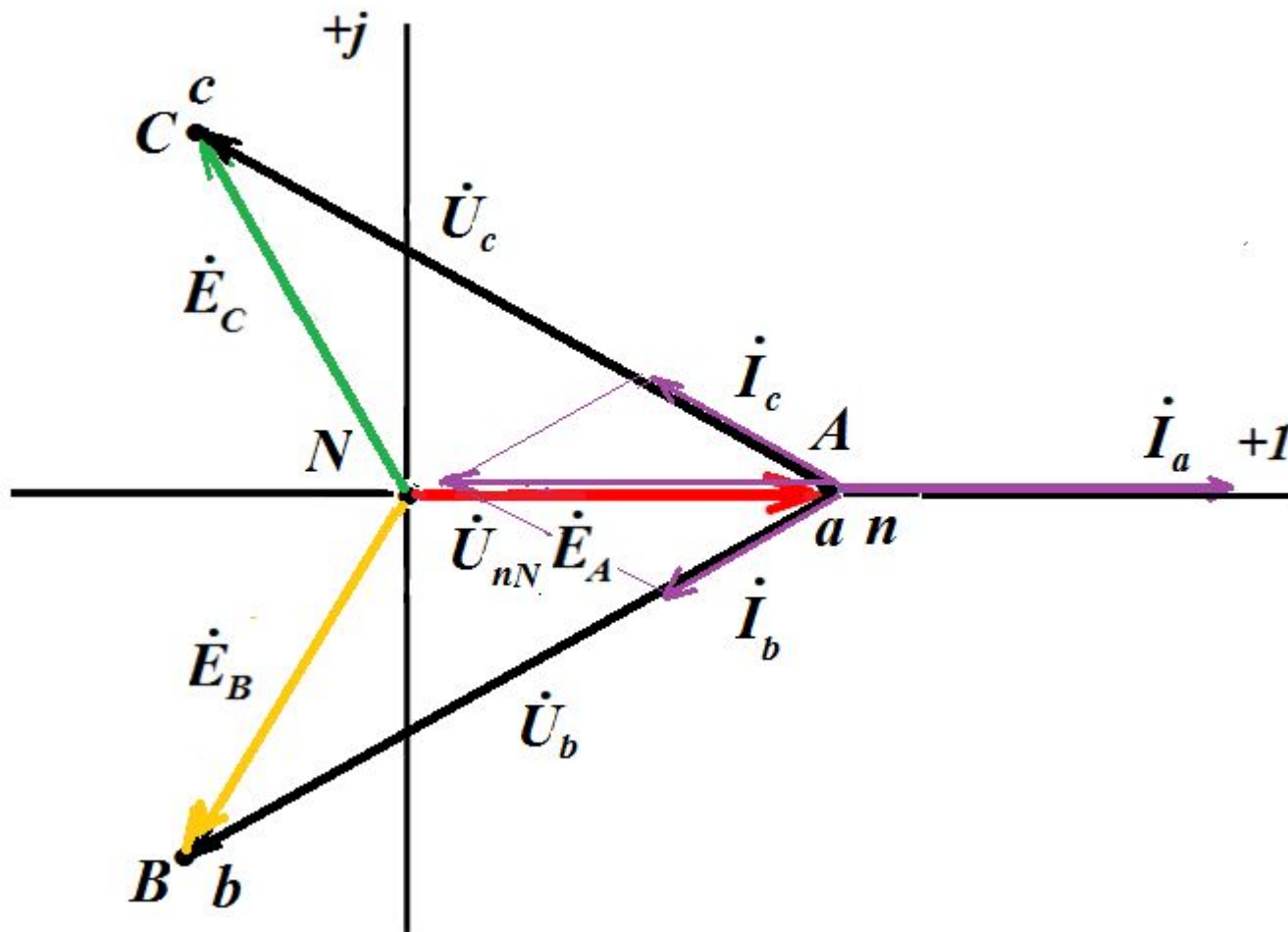
$$\dot{U}_c = (\varphi_c - \varphi_n) = \dot{E}_c - \dot{E}_A = U_{\text{л ист}} e^{j150^\circ}$$

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.

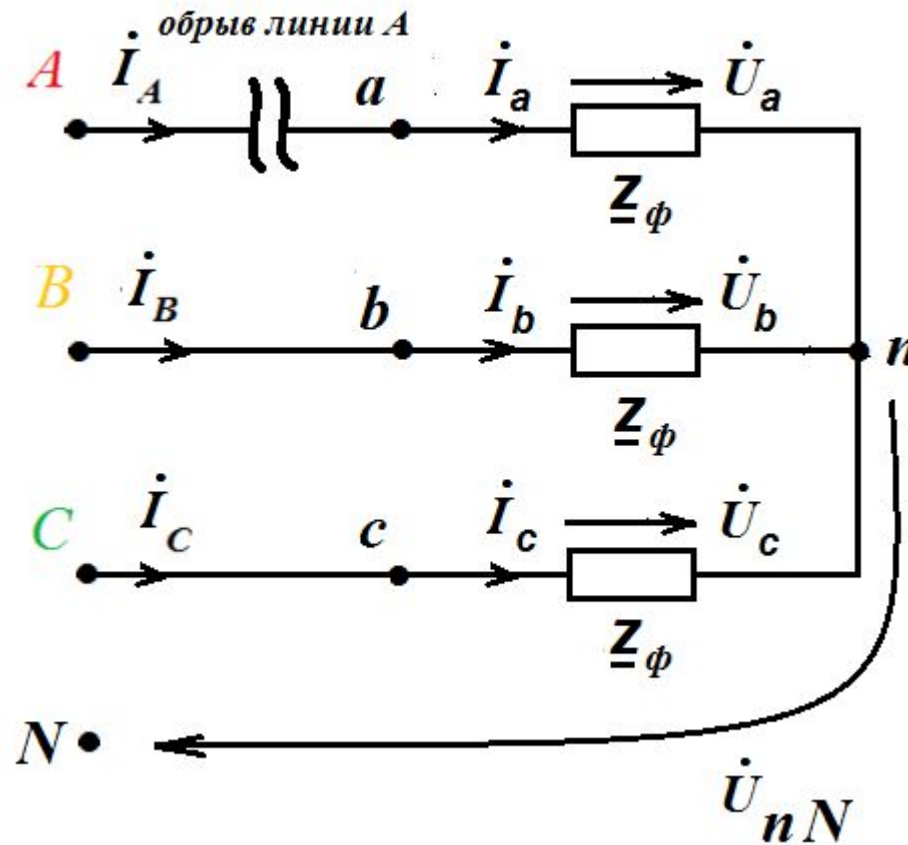
Векторная диаграмма приведена для случая к.з. в фазе А при чисто активной нагрузке

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

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

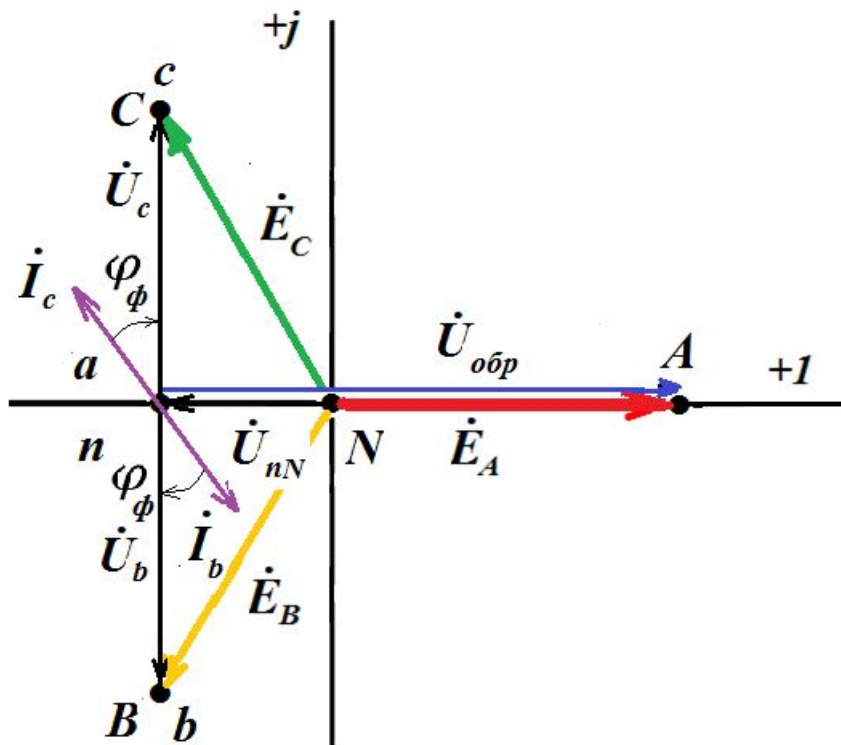
напряжение между нейтральными точками N и n

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

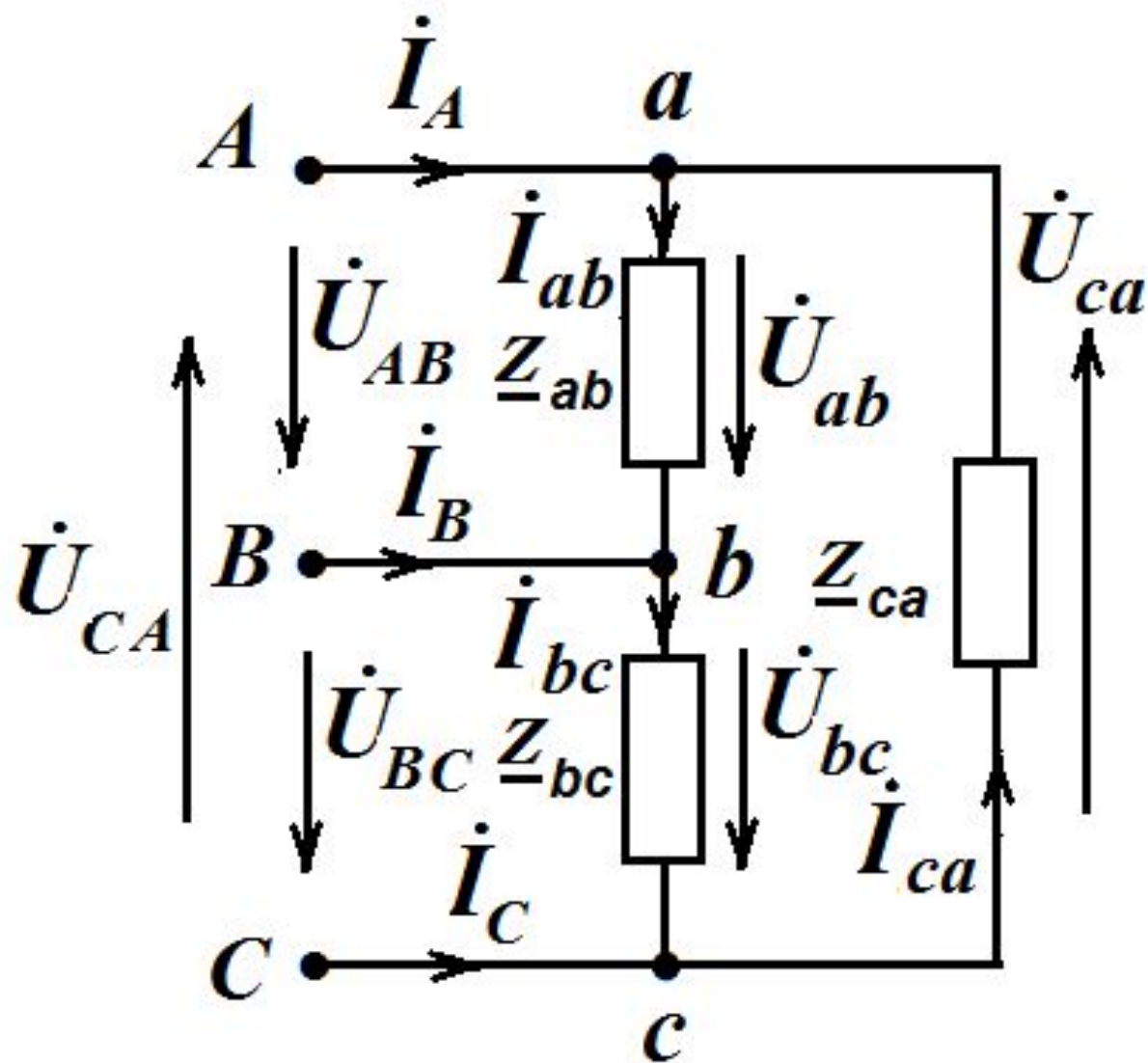
5. Определить токи в неповрежденных фазах приемника по закону Ома

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

ток в оборванной фазе равен нулю



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

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

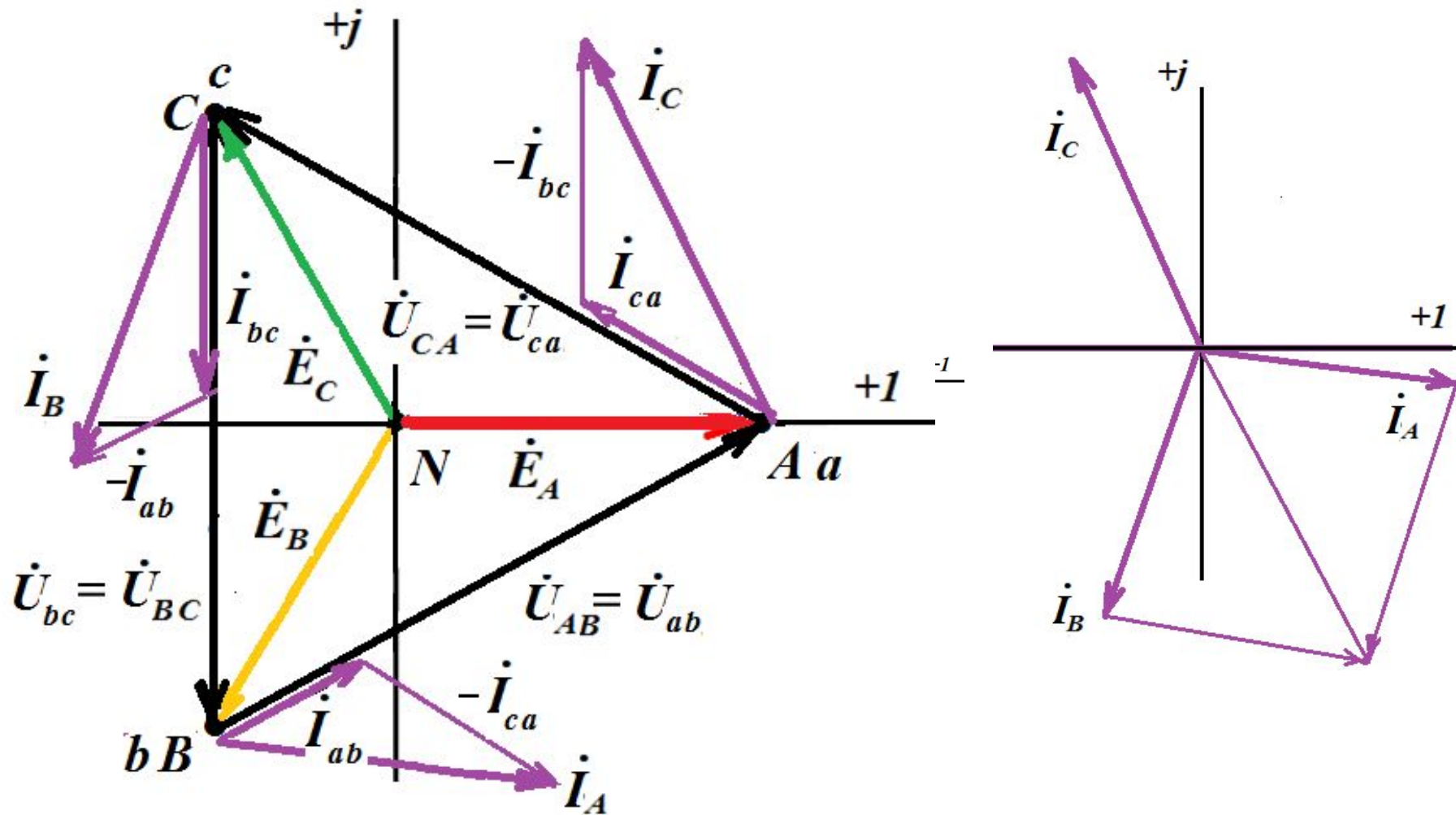
Определить токи в линейных проводах по первому закону
Кирхгофа для узлов а, b, с

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

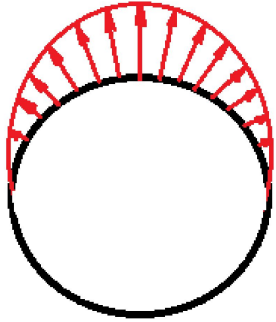
$$\dot{I}_B = (\dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab})$$

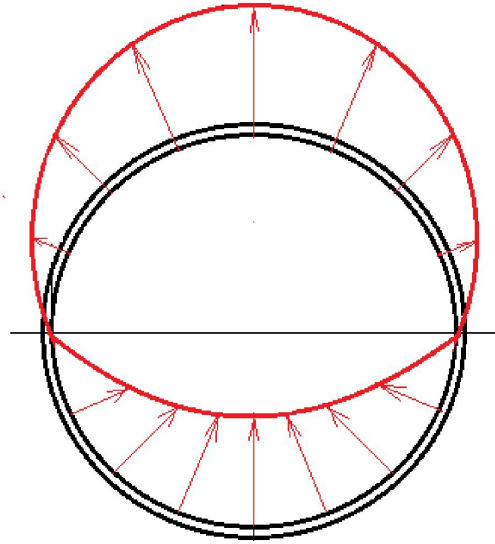
$$\dot{I}_C = (\dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc})$$

Векторная и топографическая диаграмма приведена для активной нагрузки

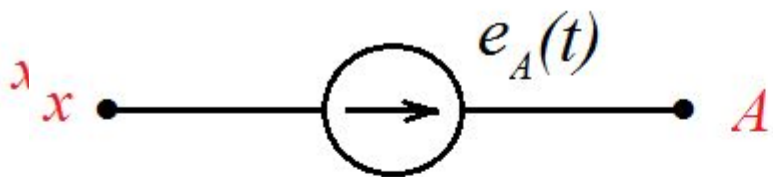


Сумма линейных токов равна нулю

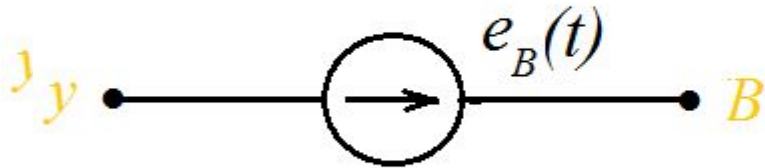




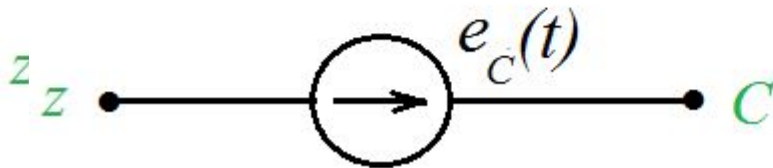
Получение трехфазного
напряжения



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



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



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