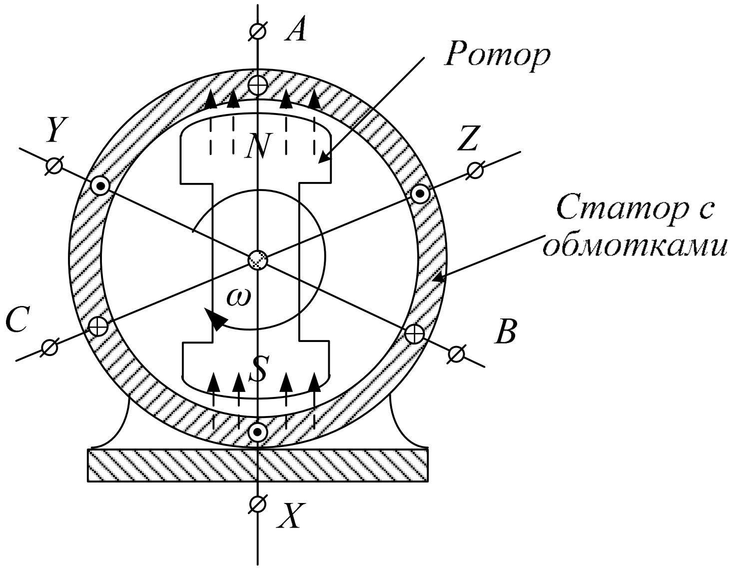
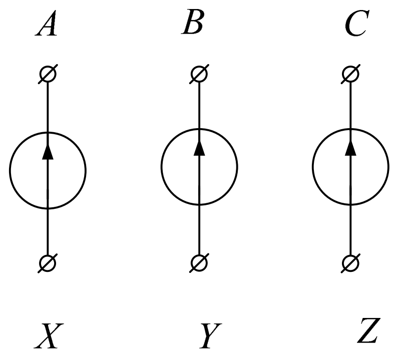
ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

Принцип получения трехфазной системы ЭДС

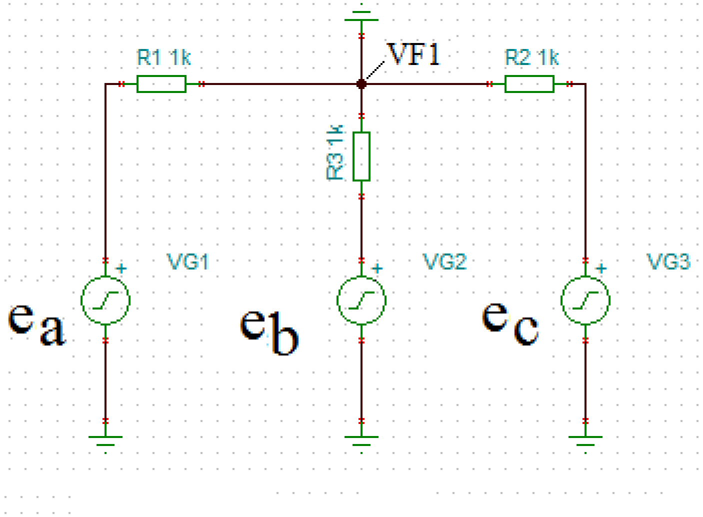


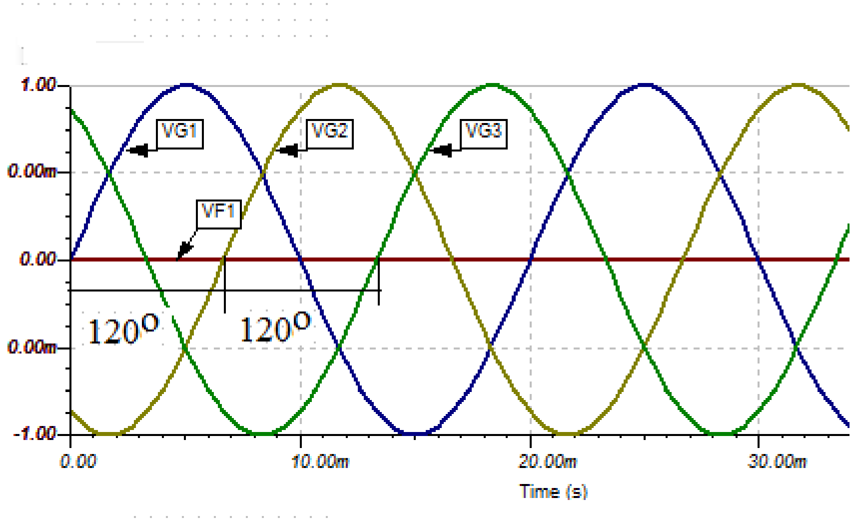


Три фазные обмотки повернуты в статоре на 120°. При вращении магнитного ротора в обмотках наводятся фазные ЭДС:

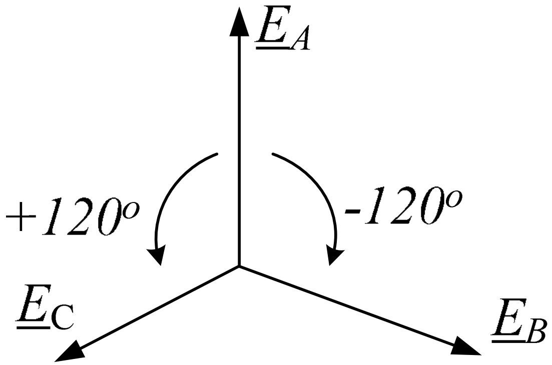
$$e_a(t) = E_m \sin\omega t,\ e_b(t) = E_m \sin\left(\omega t - 120^o\right),\ e_c(t) = E_m \sin\left(\omega t + 120^o\right).$$

3-фазная цепь-2.TSC





Векторная диаграмма



$$\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0.$$

Частота электрической сети $f = 50\,Гц.$

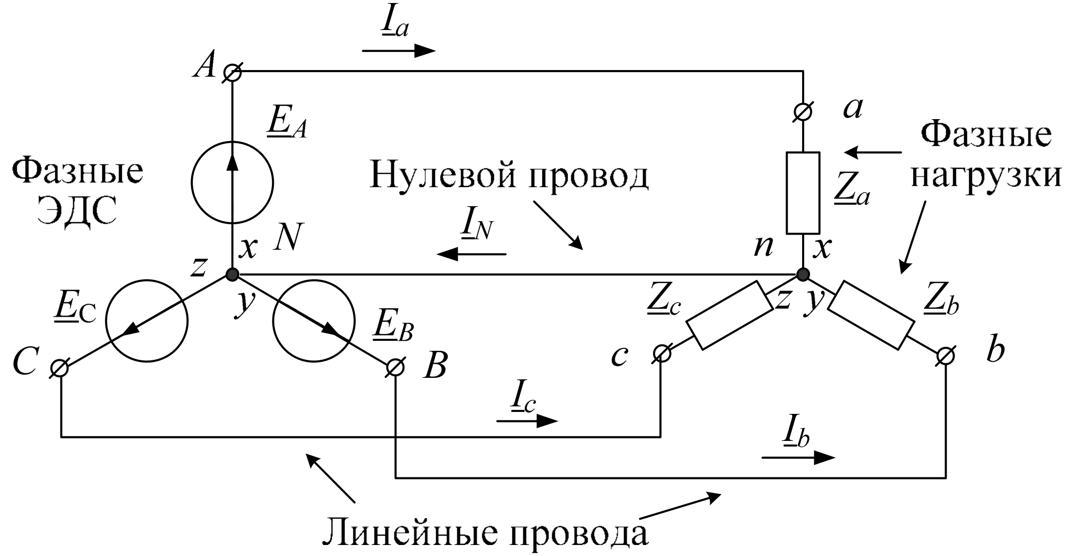
$$n = 3000\,об\,/\,мин = 50\,об\,/\,с$$

Способы соединения трехфазного генератора с нагрузкой

1. Независимое соединение.

Каждая фаза непосредственно подключена к своей нагрузке. Связь между фазами отсутствует. Работают три независимых цепи. Требуется шесть проводов. Такое соединение неэкономно.

2. Соединение «Звезда-Звезда» с использованием нулевого провода.



Фазные ЭДС: $\underline{E}_A = Ee^{j0^o}$, $\underline{E}_B = Ee^{-j120^o}$, $\underline{E}_C = Ee^{+j120^o}$.

В симметричном генераторе напряжения фазных ЭДС равны.

Расчет фазных токов:

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{E}_A}{\underline{Z}_A} = \frac{E}{z_A e^{j\varphi_a}} = I_A e^{-j\varphi_a}, \ \underline{I}_B = \frac{\underline{E}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{Ee^{-j120^o}}{z_B e^{j\varphi_b}} = I_B e^{-j\left(120^o + \varphi_b\right)},$$

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{E}_C}{\underline{Z}_C} = \frac{Ee^{+j120^o}}{z_C e^{j\varphi_c}} = I_C e^{+j\left(120^o - \varphi_c\right)}.$$

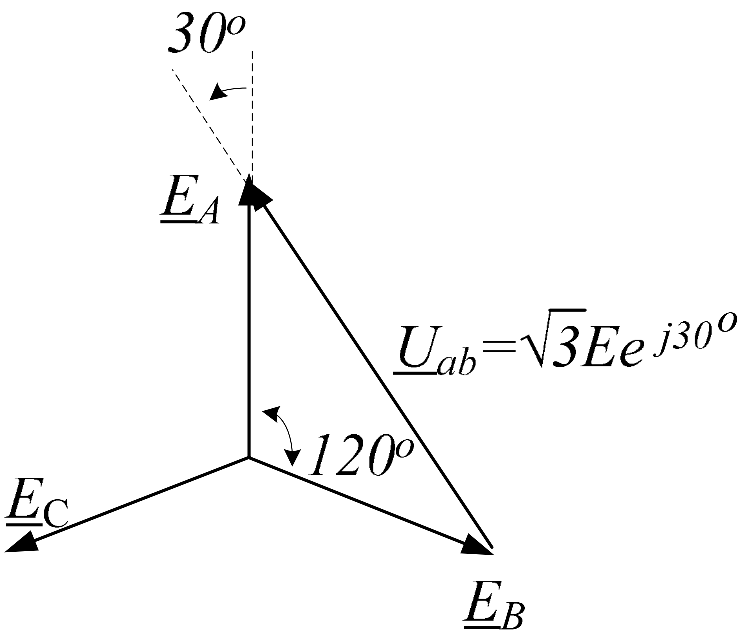
По первому закону Кирхгофа ток нейтрали равен сумме фазных токов:

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C.$$

Определение.

Напряжения (токи) в фазных обмотках генератора и напряжения (токи) на фазах приемника называются *фазными напряжениями и токами*.

Напряжения между линейными проводами и токи в линейных проводах называются *линейными напряжениями и токами*.



$$\underline{U}_{ab} = \underline{E}_A - \underline{E}_B = \sqrt{3}Ee^{j30^o}$$

Симметричная нагрузка в соединении звезда-звезда

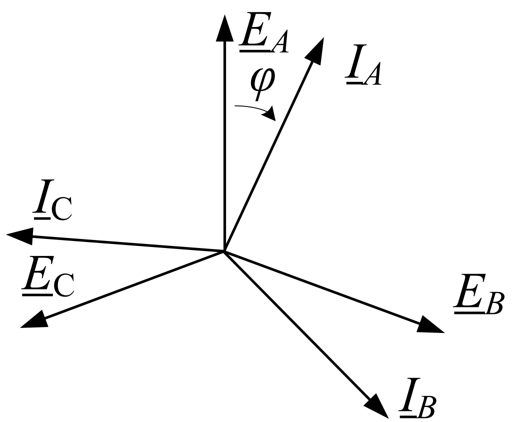
$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = ze^{j\varphi}.$$

При этом токи равны по модулю и образуют звезду:

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{E}_A}{\underline{Z}_A} = \frac{E}{ze^{j\varphi}} = Ie^{-j\varphi}, \ \underline{I}_B == Ie^{-j120^o} e^{-j\varphi},$$

$$\underline{I}_C = Ie^{+j120^o} e^{-j\varphi}.$$

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

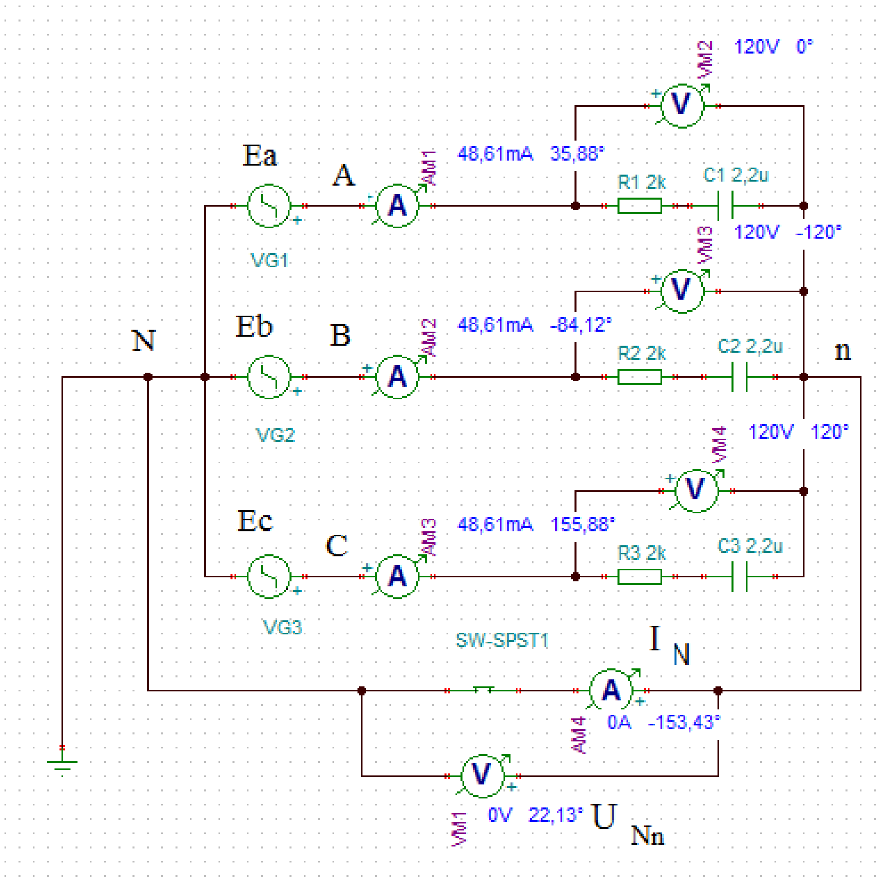


При симметричной нагрузке ток в нулевом проводе равен нулю. Нулевой провод не нужен.

Трехпроводная система «Звезда-звезда» используется для питания трехфазных двигателей и «условно симметричных» нагрузок.

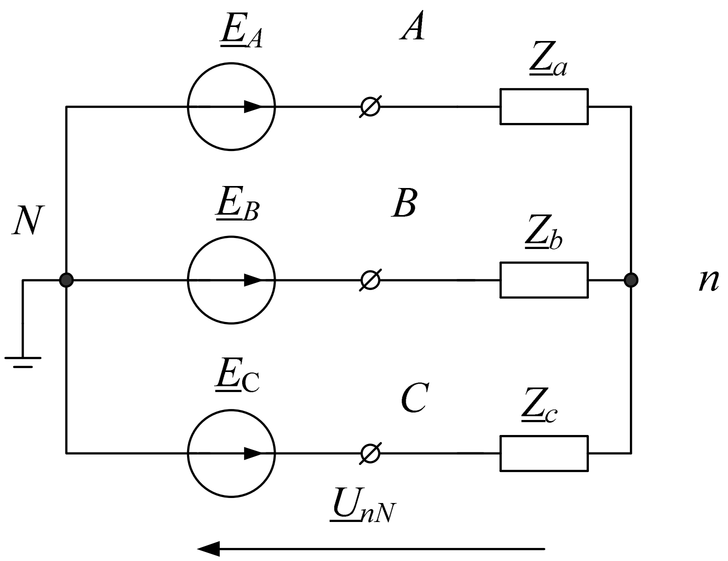
Схема моделирования трехфазной цепи

[3-ф-звезда-звезда.TSC]



Несимметричная нагрузка в соединении звезда-звезда

Ток нейтрали не равен нулю. Надо использовать нулевой провод. Без нулевого провода появляется напряжения смещения нейтрали.

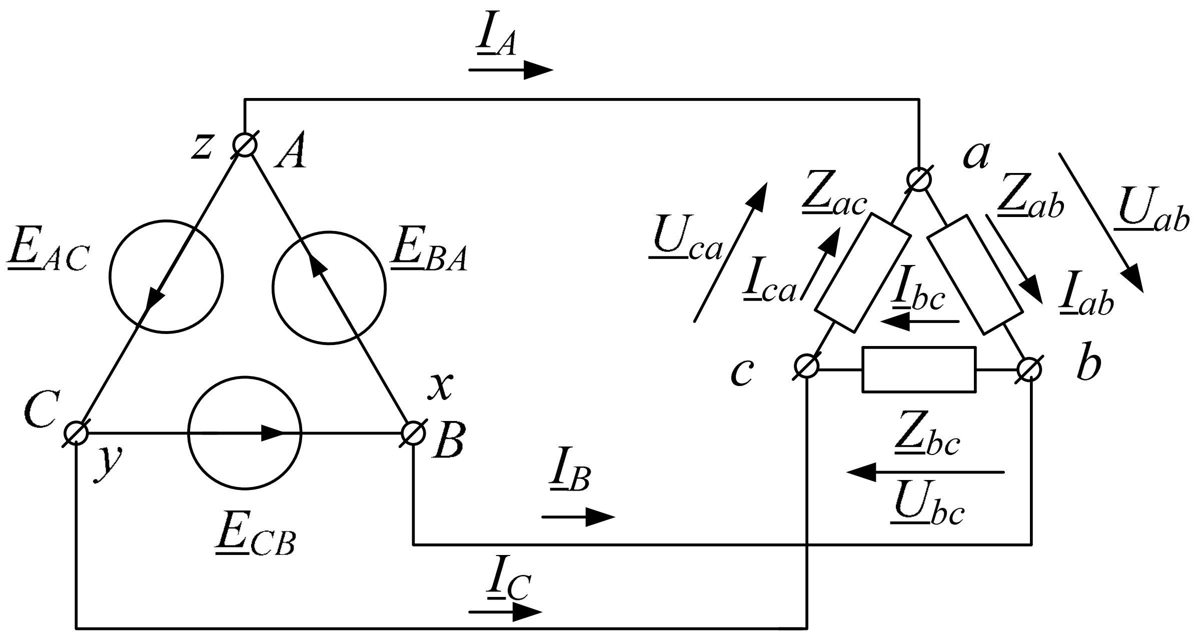


$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}$$

Линейные и фазные токи рассчитываем по закону Ома:

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{E}_A - \underline{U}_{nN}}{\underline{Z}_A} \quad .....$$

Соединение треугольником



Линейные напряжения: $\underline{U}_{ab} = \underline{E}_{BA} = E,\ \underline{U}_{bc} = \underline{E}_{CB} = E \cdot e^{-j120^o}$,

$$\underline{U}_{ca} = \underline{E}_{AC} = E \cdot e^{+j120^o}.$$

Линейные напряжения равны фазным: $U_л = U_ф$.

В треугольнике ЭДС сумма напряжений по контуру равна нулю:

$$E + Ee^{-j120^o} + Ee^{+j120^o} =$$

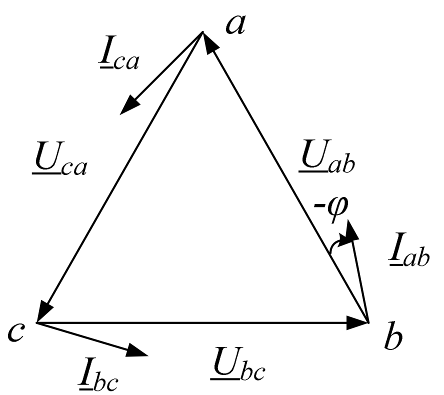
$$= E\left(1 + cos\left(-120^o\right) - j\,sin120^o + cos\left(120^o\right) + j\,sin120^o\right) = E\left(1 - \tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{2}\right).$$

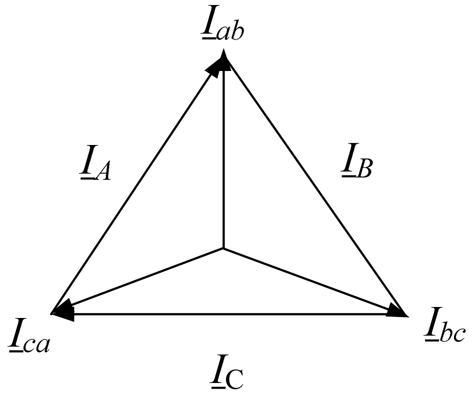
Фазные токи: $\underline{I}_{ab} = \dfrac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}}$, $\underline{I}_{bc} = \dfrac{\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}}$, $\underline{I}_{ca} = \dfrac{\underline{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}}$.

Линейные токи: $\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}$, $\underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}$, $\underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$.

При симметричной нагрузке, когда $\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca} = Ze^{j\varphi}$ фазные токи равны по модулю: $I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = I_{\Phi}$.

Векторная диаграмма фазных напряжений и токов





Векторная диаграмма линейных и фазных токов

Линейный ток больше фазного в $\sqrt{3}$ раз: $I_л = \sqrt{3}\, I_Ф$.

Выбор соединения

1. С случае неравномерной нагрузки (например, бытовой) потребитель соединяют треугольником или звездой с нулевым проводом».

2. При симметричной нагрузке возможно соединение треугольником и звездой без нулевого провода.

Мощность в трехфазной цепи

При любом соединении и любой нагрузке комплексная мощность каждой фазы равна: $\tilde{S} = \underline{U}_{\Phi}\overset{*}{\underline{I}}_{\Phi}$.

Суммарная мощность: $\tilde{S}_{\Sigma} = \tilde{S}_A + \tilde{S}_B + \tilde{S}_C$.

Получаем для активной мощности: $P_{\Sigma} = P_A + P_B + P_C$.

Для реактивной мощности: $Q_{\Sigma} = Q_A + Q_B + Q_C$.

При симметричной нагрузке мощности фаз равны и суммарная активная мощность: $P_{\Sigma} = 3U_{\Phi}I_{\Phi}\cos\varphi = \sqrt{3}U_{Л}I_{Л}\cos\varphi$.