

Тема 3.4. Трёхфазные электрические цепи

Преподаватель:
Жерневская И. Е.

Вопросы занятия:

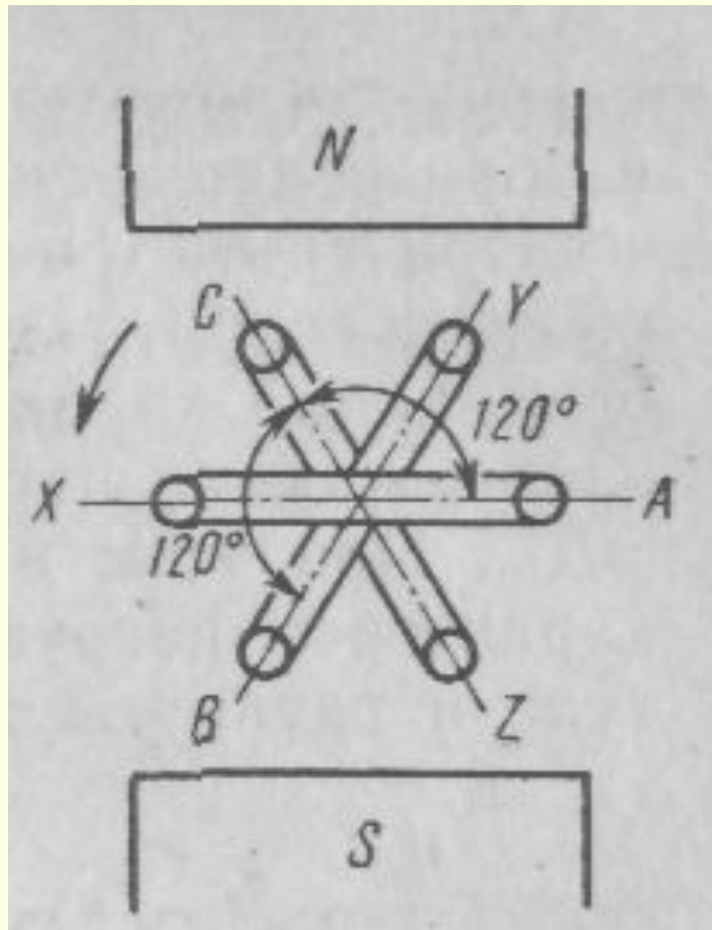
- 1. Элементы трёхфазной системы.
- 2. Получение тока и напряжения в трёхфазной системе.
- 3. Соединение обмоток трёхфазного генератора «звездой» и «треугольником».
- 4. Соединение потребителей «звездой» и «треугольником». (Л-3)§ 6.1-6.3

- 5. Мощность трёхфазной системы.
- 6. Схема измерения активной мощности в симметричной трехфазной системе.
- 7. Основы расчёта трёхфазной цепи при симметричной нагрузке.
- 8. Переключение обмоток нагрузки со «звезды» на «треугольник» и обратное переключение. (Л-3)§ 6.4-6.7

1. Элементы трёхфазной системы.

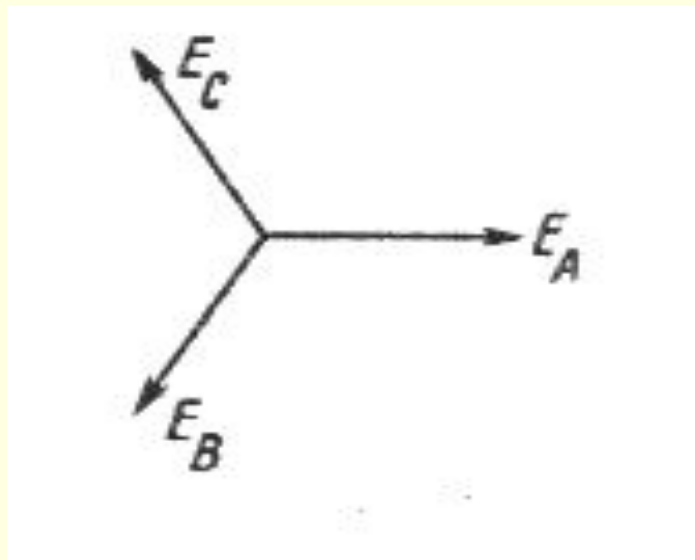
- Трёхфазный генератор, соединенный проводами с трёхфазным потребителем, образует трёхфазную цепь.
- В трёхфазной цепи протекает трёхфазная система токов, т. е. синусоидальные токи с тремя различными фазами. Участок цепи, по которому протекает один из токов, называют фазой трёхфазной цепи.

2. Получение тока и напряжения в трёхфазной системе.



- На рис. схема простейшего трехфазного генератора.
- В момент времени $t=0$ рамка AX расположена горизонтально и в ней индуцируется ЭДС
- $e_A = E_m \sin \omega t$.
- Точно такая же ЭДС будет индуцироваться и в рамке BY, когда она повернется на 120° и займет положение рамки AX. Следовательно, при $t=0$
- $e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$.
- ЭДС в рамке CZ:
- $e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$.

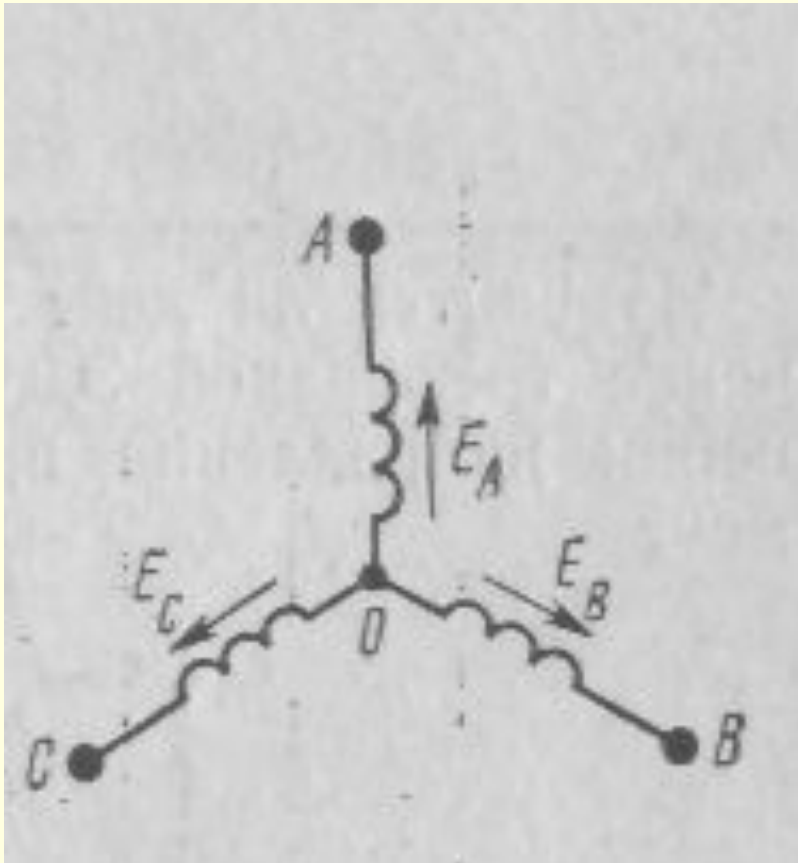
- Если к каждой из рамок $AХ$, $ВУ$ и $СZ$ подсоединить нагрузку, то в образовавшихся цепях появятся токи.
- Симметричная нагрузка - это когда все три нагрузочных сопротивления равны по значению и имеют одинаковый характер.



3. Соединение обмоток трёхфазного генератора «звездой» и «треугольником».

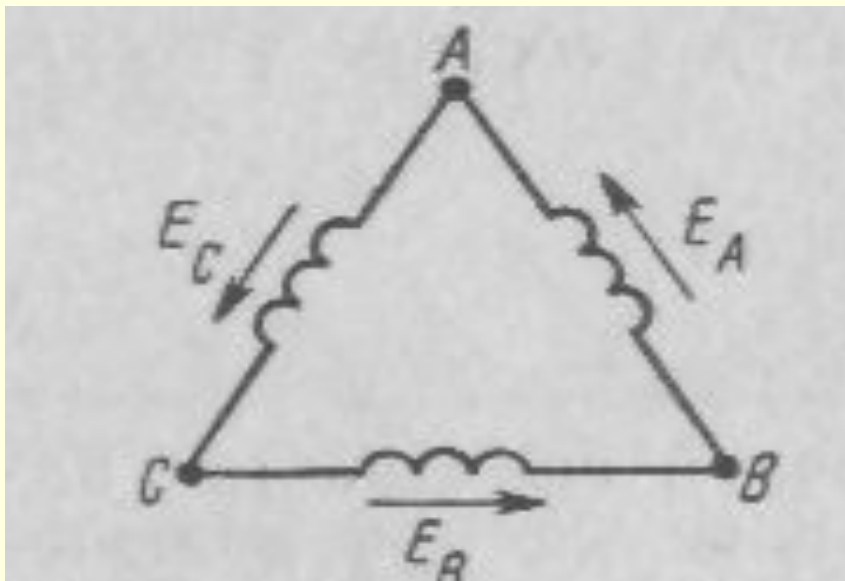
- В целях экономии обмотки трехфазного генератора соединяют **звездой или треугольником**. При этом число соединительных проводов от генератора к нагрузке уменьшается до **трех или четырех**.

Соединение обмоток «звездой»



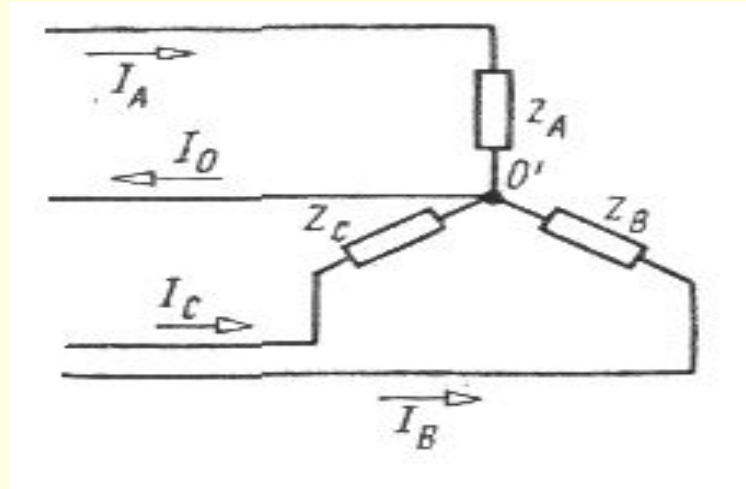
- На электрических схемах трехфазный генератор принято изображать в виде трех обмоток, расположенных под углом 120° друг к другу. При соединении **звездой** концы этих обмоток объединяют в одну точку, которую называют нулевой точкой генератора и обозначают O . Начала обмоток обозначают буквами A , B , C .

Соединение обмоток «треугольником»

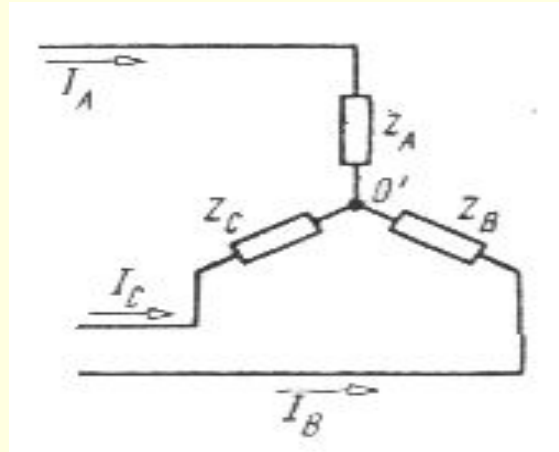


- При соединении **треугольником** конец первой обмотки генератора соединяют с началом второй, конец второй — с началом третьей, конец третьей — с началом первой. К точкам А, В, С подсоединяют провода соединительной линии.

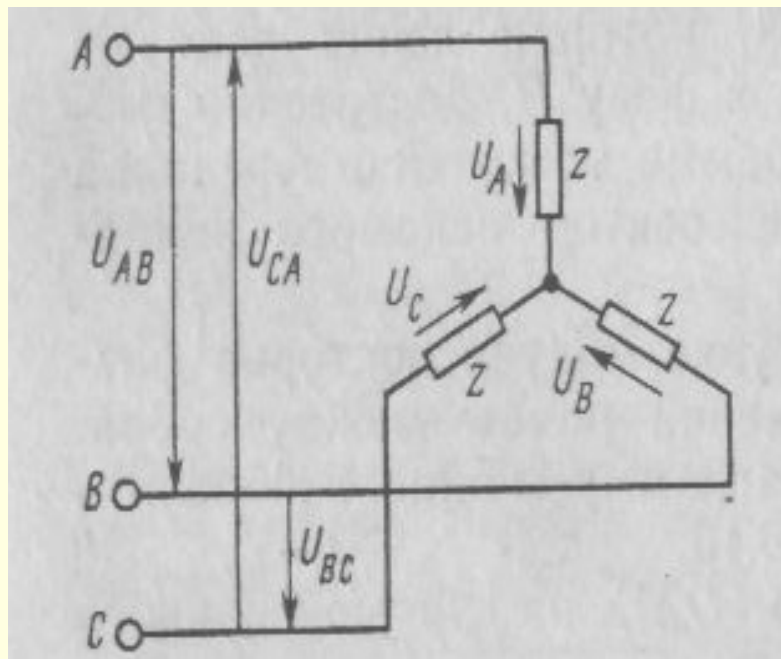
4. а. Соединение потребителей «звездой»



- Провод OO' называют нулевым (четырёхпроводная цепь). В соответствии с первым законом Кирхгофа вектор тока в нулевом проводе
- $I_0 = I_A + I_B + I_C$.



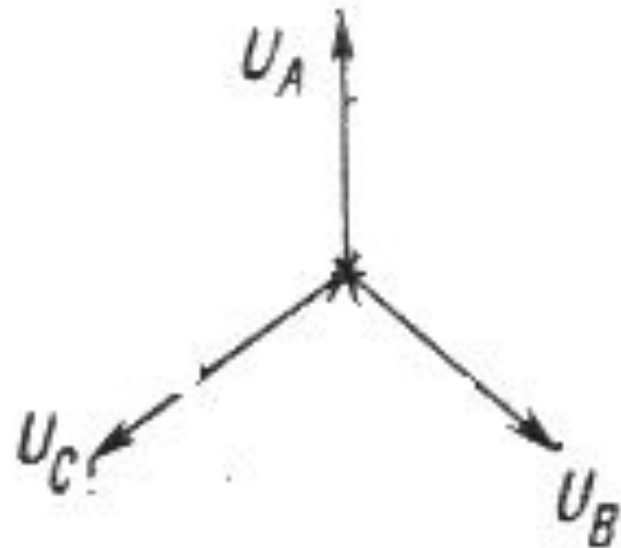
- При **симметричной** нагрузке, когда сопротивления Z_A , Z_B и Z_C равны между собой и имеют одинаковый характер, векторы токов I_A , I_B , I_C равны по абсолютному значению и образуют трехлучевую звезду, у которой углы между лучами равны 120° , в этом случае векторная сумма токов равна нулю: $I_A + I_B + I_C = 0$, нулевой провод не нужен. Получается схема трехфазной трехпроводной цепи.

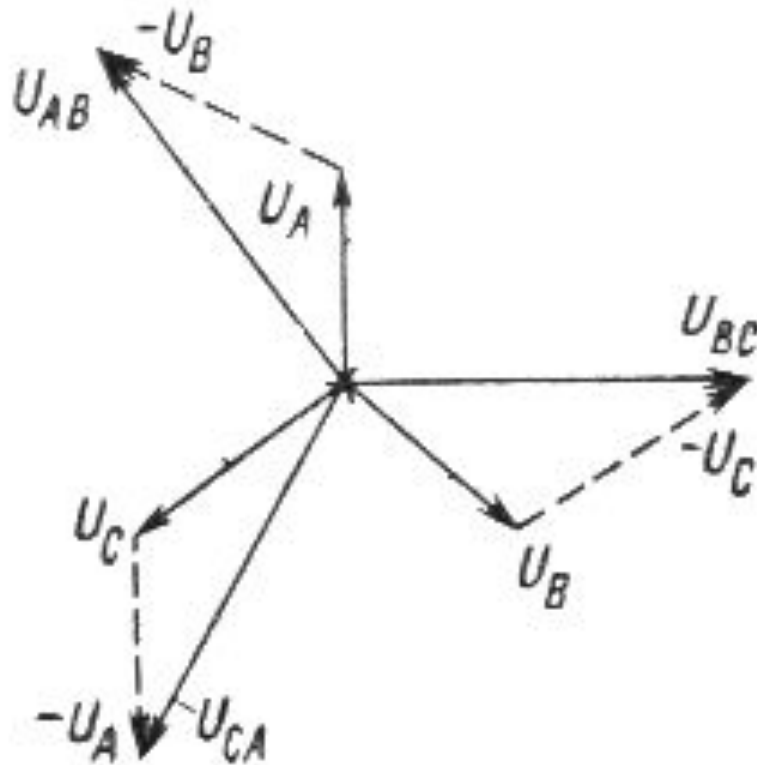


- $Z_A = Z_B = Z_C = Z$, $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi$.
- К зажимам А, В, С подходят провода линии электропередачи — **линейные провода**.
- Введем обозначения: $I_{\text{л}}$ — **линейный ток** в проводах линии электропередачи;
- $I_{\text{ф}}$ — **ток в сопротивлениях (фазах) нагрузки**;
- $U_{\text{л}}$ — **линейное напряжение** между линейными проводами;
- $U_{\text{ф}}$ — **фазное напряжение** на фазах нагрузки.
- напряжения U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} являются линейными, а напряжения U_A , U_B , U_C — фазными.
- $U_{AB} = U_A - U_B$; $U_{BC} = U_B - U_C$; $U_{CA} = U_C - U_A$

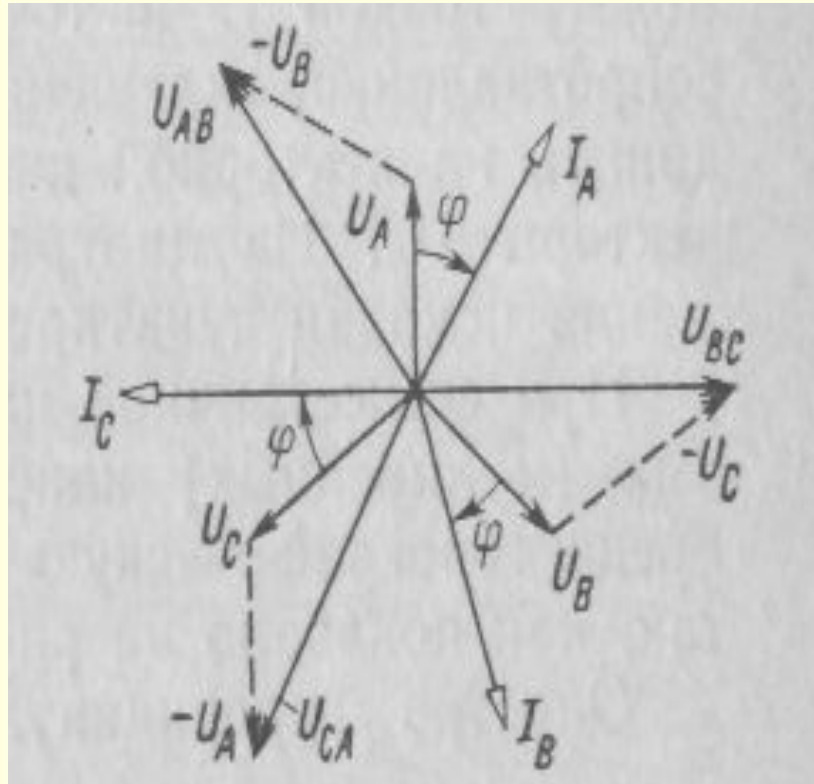
Полярная векторная диаграмма напряжений

- Векторную диаграмму, начинаем строить с изображения звезды фазных напряжений U_A U_B U_C .



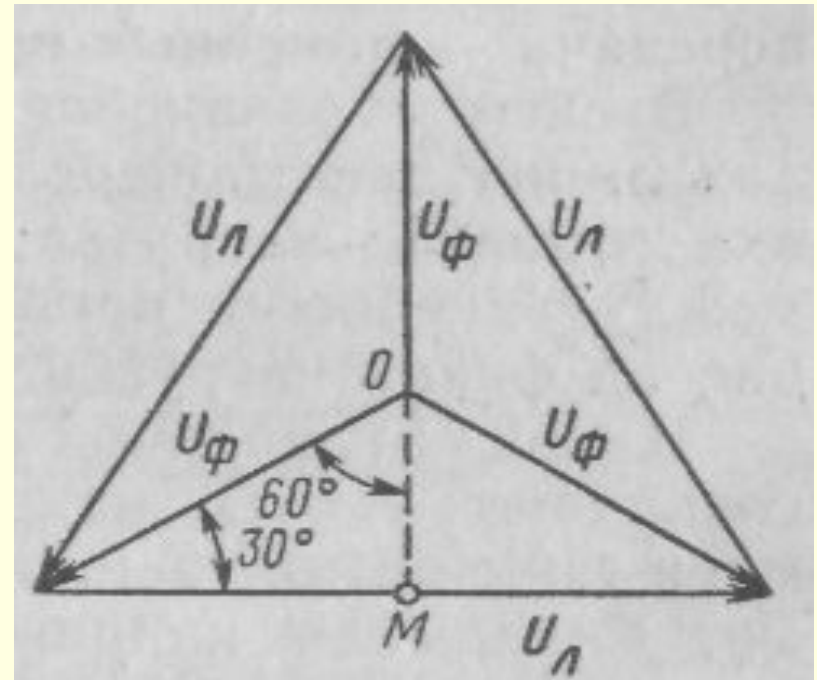
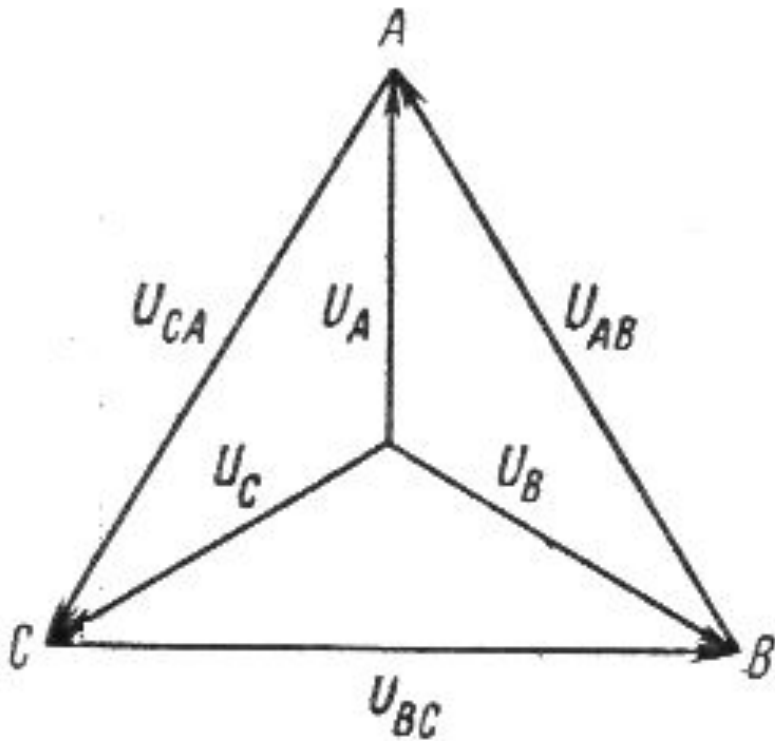


- Затем строим вектор U_{AB} — как геометрическую сумму векторов U_A и $-U_B$, U_{BC} — как геометрическую сумму векторов U_B и $-U_C$, вектор U_{CA} — как геометрическую сумму векторов U_C и $-U_A$.



- Для полноты картины на векторной диаграмме изображены также векторы токов, отстающих на угол φ от векторов соответствующих фазных напряжений (нагрузку считаем **индуктивной**).
- На построенной векторной диаграмме начала всех векторов совмещены в одной точке (полюсе), поэтому ее называют полярной. Основное достоинство полярной векторной диаграммы — ее наглядность.

Топографическая векторная диаграмма при симметричной нагрузке



- В симметричной звезде фазные и линейные токи и напряжения связаны соотношениями

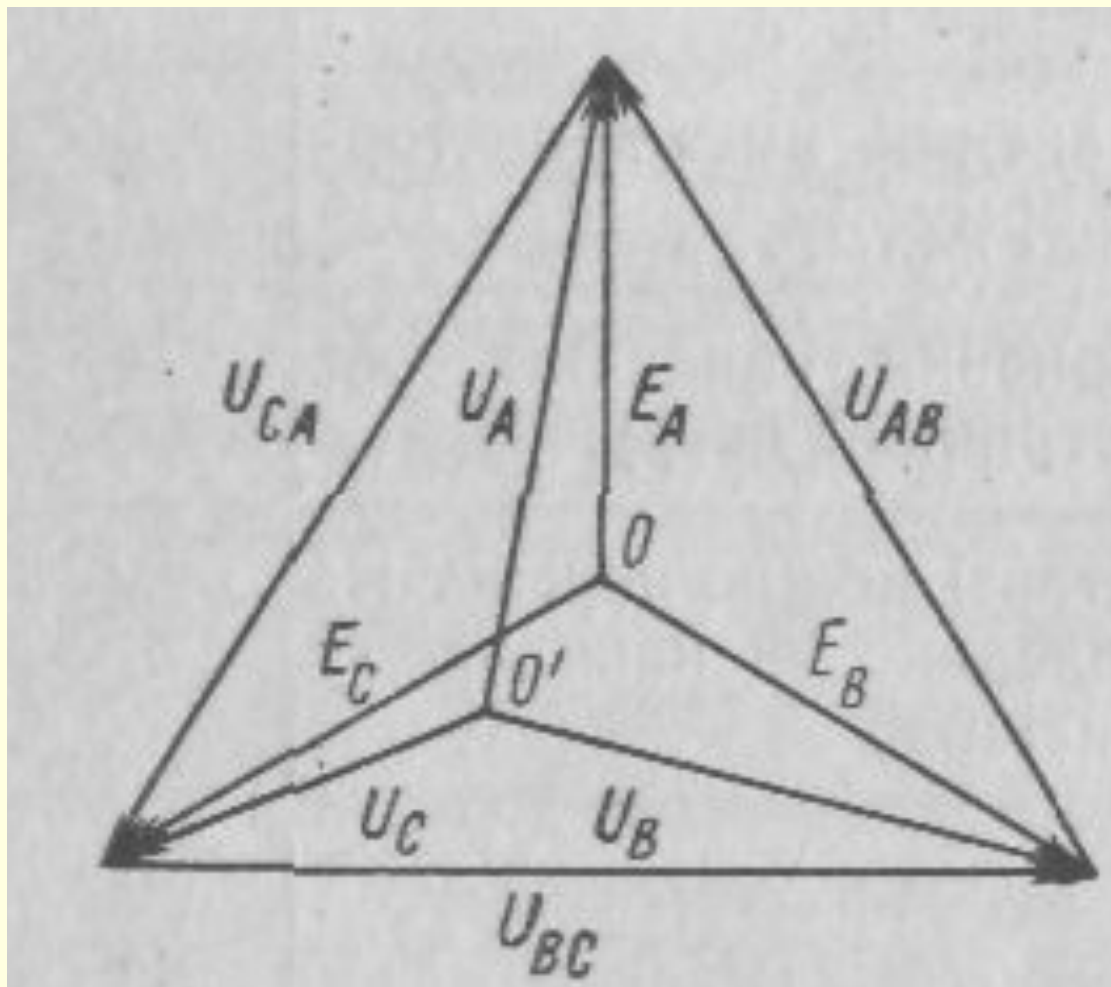
$$I_{\pi} = I_{\phi}; U_{\pi} = \sqrt{3} U_{\phi}.$$

Назначение нулевого провода

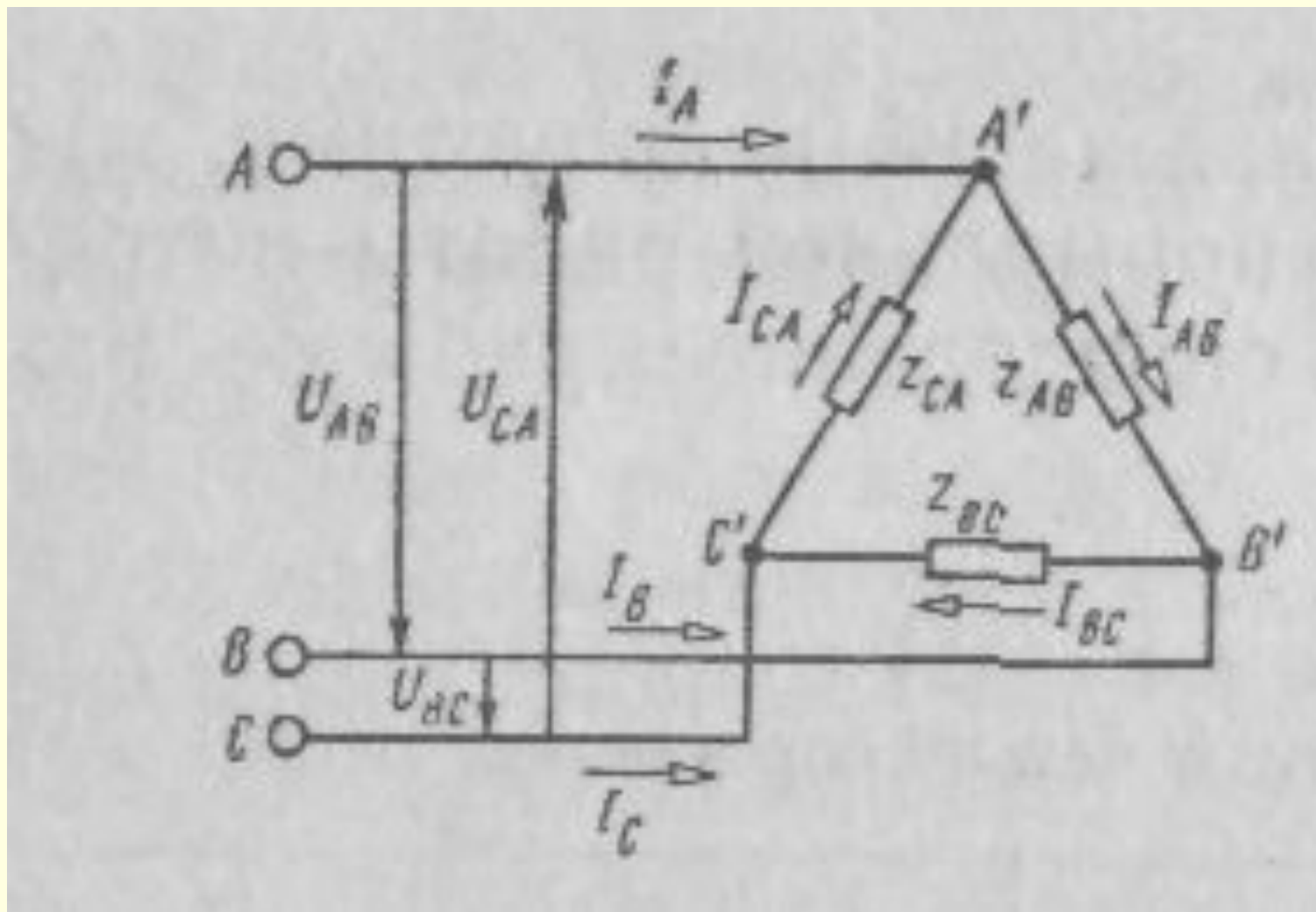
- Нулевой провод в четырехпроводной цепи предназначен для обеспечения симметрии фазных напряжений при несимметричной нагрузке.
- Не симметрия фазных напряжений недопустима, так как приводит к нарушению нормальной работы потребителей, рассчитанных на определенное рабочее напряжение

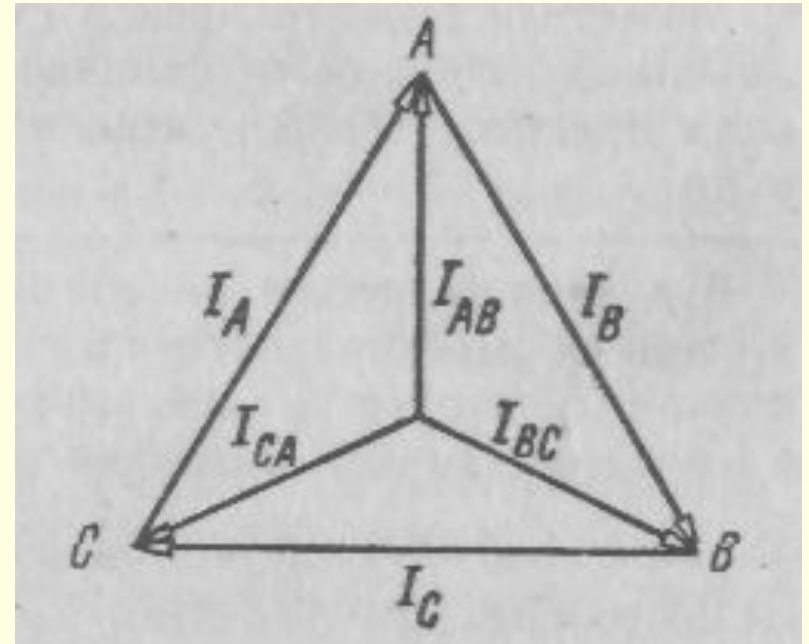
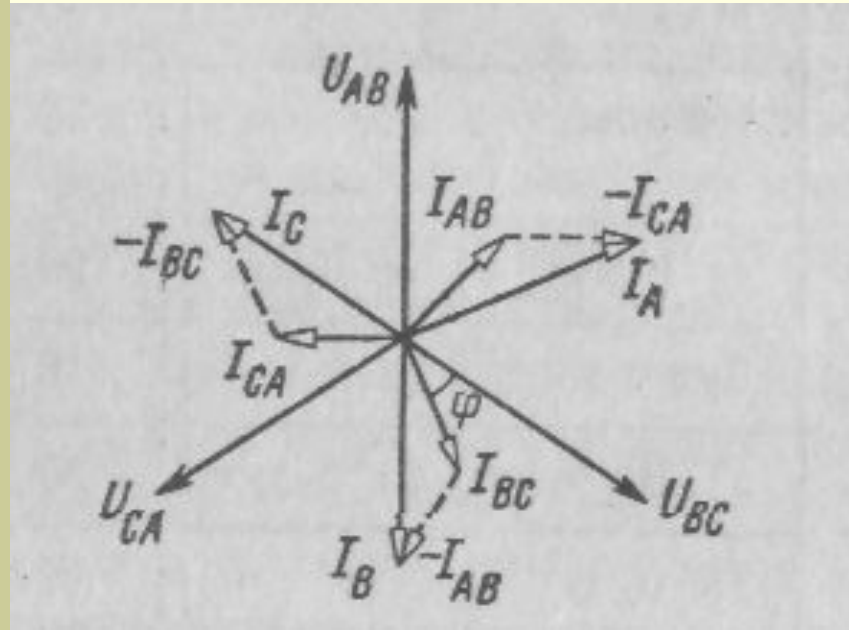
- Но при заданных сопротивлениях нагрузки Z_A , Z_B , Z_C токи могут измениться только за счет изменения **фазных напряжений**. Следовательно, обрыв нулевого, провода в общем случае приводит к изменению фазных напряжений; **симметричные фазные напряжения становятся несимметричными**.

Топографическая векторная диаграмма ЭДС и напряжений трехфазной цепи при отсутствии нулевого провода



4. б. Соединение потребителей «треугольником»



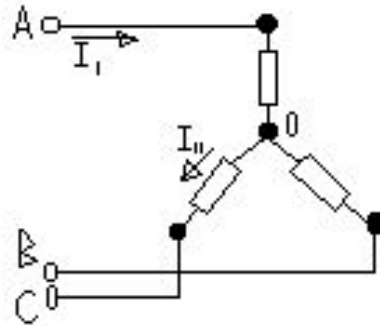


- В симметричном треугольнике фазные и линейные токи и напряжения связаны соотношениями

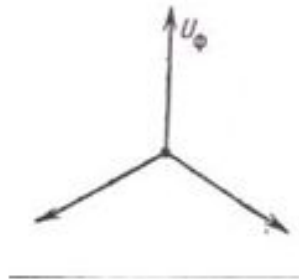
$$U_{\pi} = U_{\phi}; \quad I_{\pi} = \sqrt{3} I_{\phi}$$

Контрольные вопросы

1. Какой из токов линейный, а какой фазный?



2. Как соединен трехфазный потребитель, характеризуемый этой векторной диаграммой



3. При вращении рамок против часовой стрелки в них индуцируются ЭДС

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

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

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

Какие ЭДС будут индуцироваться при вращении рамок по часовой стрелке?

4. Какие характеристики изменятся, если при прочих равных условиях изменить скорость трёхфазного генератора?

5. Может ли геометрическая сумма линейных токов трёхфазной системы быть отличной от нуля при отсутствии нулевого провода?

6. Может ли ток в нулевом проводе четырёхпроводной трёхфазной цепи равняться нулю?

7. Будут ли меняться линейные токи в четырёхпроводной трёхфазной цепи при обрыве нулевого провода в случае несимметричной нагрузки, а в случае симметричной нагрузке?

8. Чему равен ток в нулевом проводе четырёхпроводной трёхфазной системы при симметричной нагрузке?

9. Может ли нулевой провод в четырёхпроводной трёхфазной цепи обеспечить симметрию фазных напряжений при несимметричной нагрузке?

5. Мощность трёхфазной системы.

- Активная мощность трехфазной цепи равна сумме активных мощностей ее фаз:
- $P = P_A + P_B + P_C$.
- Реактивная мощность трехфазной цепи равна сумме реактивных мощностей ее фаз:
- $Q = Q_A + Q_B + Q_C$
- Очевидно, что в **симметричной** трехфазной цепи $P_A = P_B = P_C = P_{\phi}$; $Q_A = Q_B = Q_C = Q_{\phi}$
- Тогда $P = 3P_{\phi}$, $Q = 3Q_{\phi}$.
- Мощность одной фазы определяется по формулам для однофазной цепи.
- $P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi$; $Q = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi$.

- Активная мощность симметричной цепи, Вт

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

- Аналогично, реактивная мощность, вар

- $Q = \sqrt{3}U_l I_l \sin \varphi$

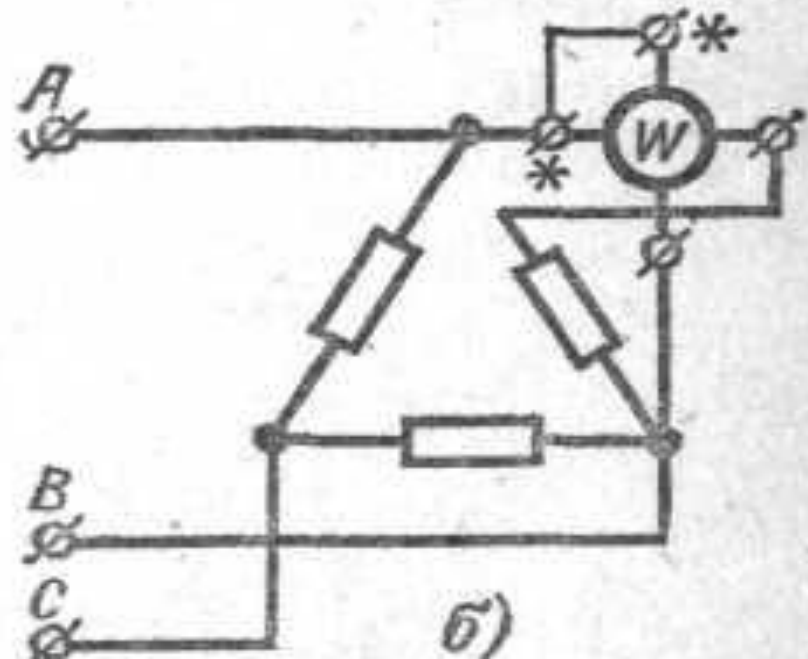
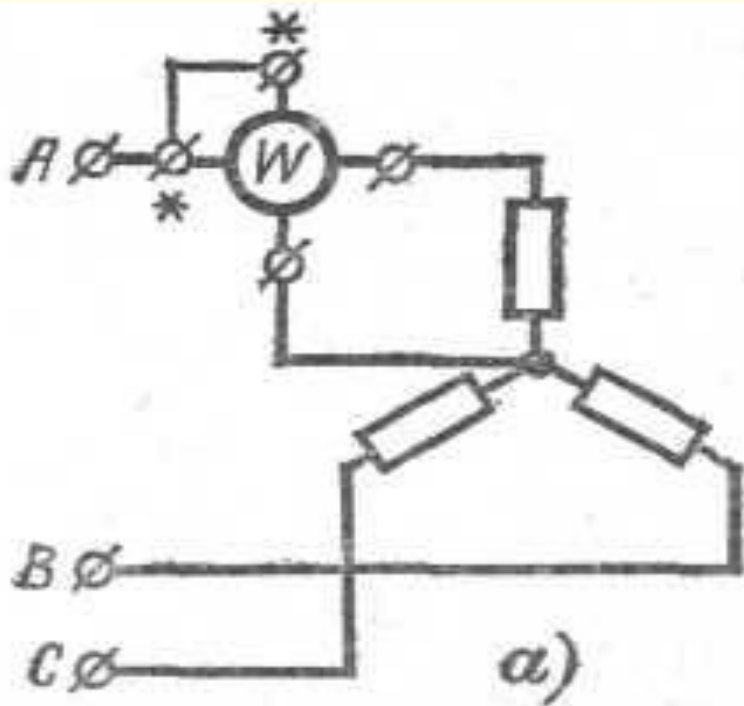
- Полная мощность, ВА

- $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3}U_l I_l$

- Коэффициент мощности симметричной трехфазной цепи находят как отношение активной и полной мощностей :

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

6. Схема измерения активной мощности в симметричной трехфазной системе.



даны схемы включения однофазного ваттметра для измерения активной мощности одной фазы при соединении приемников энергии звездой и треугольником. В обеих схемах токовая обмотка ваттметра включена последовательно с той фазой приемника, параллельно которой включена цепь напряжения ваттметра.

7. Основы расчёта трёхфазной цепи при симметричной нагрузке.

- Задача: К зажимам генератора с фазным напряжением 220В подключен приемник, соединенный треугольником, каждая фаза которого имеет сопротивление равное 10 Ом. Коэффициент мощности симметричной трехфазной цепи равен 1. Определить фазные токи генератора, активную, реактивную и полную мощности.

■ Дано: $U_{\phi} = 220\text{В}$

■ $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = 10\ \text{Ом}$

$\cos \varphi = 1$

■ Найти: I_A, I_B, I_C, P, Q, S

- Решение:

- $I_{\phi} = U_{\phi} / R_{\phi} = 220 / 10 = 22 \text{ A} = I_A = I_B = I_C$

- $P = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \cos \varphi$

- Так как потребители соединены «треугольником», то

$$U_{\pi} = U_{\phi}; I_{\pi} = \sqrt{3} I_{\phi}$$

- $I_{л} = \sqrt{3} I_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 22 \approx 38,1 \text{ A}$

- $P = \sqrt{3} U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 22 \approx 8380 \text{ Вт}$

- $Q = \sqrt{3} U_R I_R \sin \varphi = 0$

- $S = 6600 \text{ BT}$

8. Переключение обмоток нагрузки со «звезды» на «треугольник» и обратное переключение

- Известно, что сопротивления лучей эквивалентной звезды можно определить через сопротивления сторон треугольника по формулам

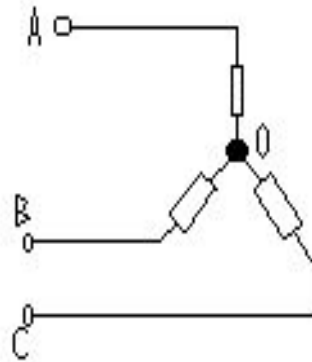
$$\left\{ \begin{array}{l} Z'_A = \frac{Z_{AB} Z_{CA}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA}} \\ Z'_B = \frac{Z_{BC} Z_{AB}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA}} \\ Z'_C = \frac{Z_{CA} Z_{BC}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA}} \end{array} \right.$$

- Известно, что сопротивление сторон эквивалентного треугольника можно определить через сопротивления лучей звезды по формулам

$$\begin{cases} Z_{AB} = Z_A + Z_B + Z_A Z_B / Z_C \\ Z_{BC} = Z_B + Z_C + Z_B Z_C / Z_A \\ Z_{CA} = Z_C + Z_A + Z_C Z_A / Z_B \end{cases}$$

Контрольные задания

1. Между какими точками надо включить вольтметр для измерения фазного напряжения?



- 2. Фазное напряжение 220В. Фазный ток 5А. Коэффициент мощности 0,8. Определите активную мощность симметричной трёхфазной цепи?
- 3. Лампы накаливания с номинальным напряжением 127В, включены в трёхфазную сеть с линейным напряжением 220В. Определите схему соединения ламп?
- 4. Трёхфазная симметричная нагрузка соединена треугольником. Фазный ток 20А. Чему равен линейный ток?
- 5. Фазное напряжение в симметричной трёхфазной системе, соединённой по схеме «звезда», равно 127В. Чему равно линейное напряжение?
- 6. Линейный ток 17,3 А. Чему равен фазный ток, если симметричная нагрузка соединена треугольником?
- 7. Симметричная нагрузка соединена звездой. Линейное напряжение 380 В. Чему равно фазное напряжение?
- 8. Симметричная нагрузка трёхфазной цепи соединена треугольником. Линейное напряжение 380 В. Чему равно фазное напряжение?
- 9. Фазное напряжение 220В. Фазный ток 5А. Нагрузка симметричная. Коэффициент мощности 0,8. Определить реактивную мощность трёхфазной цепи.
- 10. Сколько соединительных проводов подходит к трёхфазному генератору, обмотки которого соединены звездой?