



Астраханский государственный технический
университет

Кафедра электротехники

Методические указания к самостоятельной работе студентов



Трехфазные цепи синусоидального тока

Разработчик: ассистент Сенина О.А.

Научный консультант: профессор Зайнутдинова Л.Х.

[Начать
работу](#)

Содержание

1. Основные теоретические сведения: основные понятия о трехфазной цепи, соединение цепи по схемам «звезда» и «треугольник».
2. Практическое задание: расчет трехфазной цепи синусоидального тока.
3. Математическая поддержка: построение векторных диаграмм токов и напряжений трехфазного потребителя.
4. Задачи для самостоятельного решения.

Продолжит

ь

Основные теоретические сведения

- Объединение в одну цепь нескольких подобных по структуре цепей синусоидального тока одной частоты с независимыми источниками энергии широко применяется в технике.
- Объединяемые цепи синусоидального тока принято называть **фазами**, а всю объединенную систему цепей – **многофазной системой**.

Продолжит

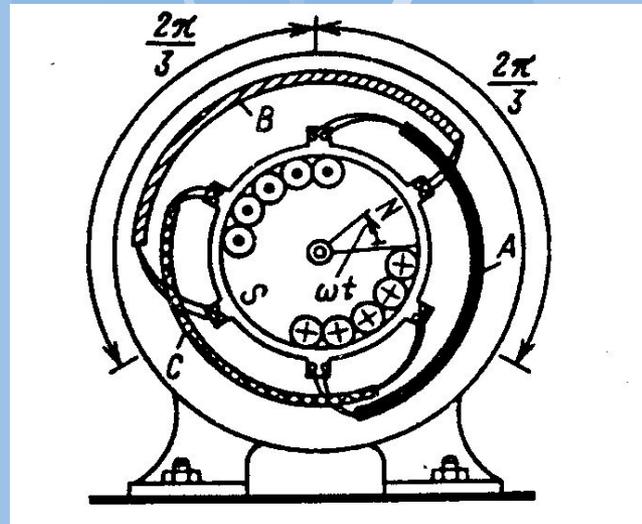
ь

- Наибольшее распространение получила трехфазная система. Она была изобретена и разработана во всех деталях, включая трехфазные трансформатор и асинхронный двигатель, русским инженером М.О. Доливо-Добровольским (1862-1919) в 1891 году.
- В настоящее время для передачи и распределения энергии в подавляющем большинстве случаев применяются трехфазные системы. Важным преимуществом трехфазной системы является исключительная простота и дешевизна трехфазных асинхронных двигателей.

Продолжит

ь

- Источником энергии в трехфазной системе служит трехфазный генератор. В пазах его статора размещены три электрически изолированные друг от друга обмотки – фазные обмотки генератора. Оси фазных обмоток генератора повернуты в пространстве относительно друг друга на угол $2\pi/3$.



Продолжит

ь

- При вращении ротора в фазных обмотках статора индуцируются синусоидальные фазные ЭДС. Вследствие симметрии конструкции генератора максимальные E_m и действующие E_ϕ значения ЭДС во всех фазах одинаковые. Однако линии магнитного поля вращающегося ротора пересекают провода фазных обмоток не одновременно. Поэтому синусоидальные ЭДС обмоток сдвинуты по фазе относительно друг друга на одну треть периода, что соответствует пространственному углу $2\pi/3$ между осями обмоток.

Продолжит

ь

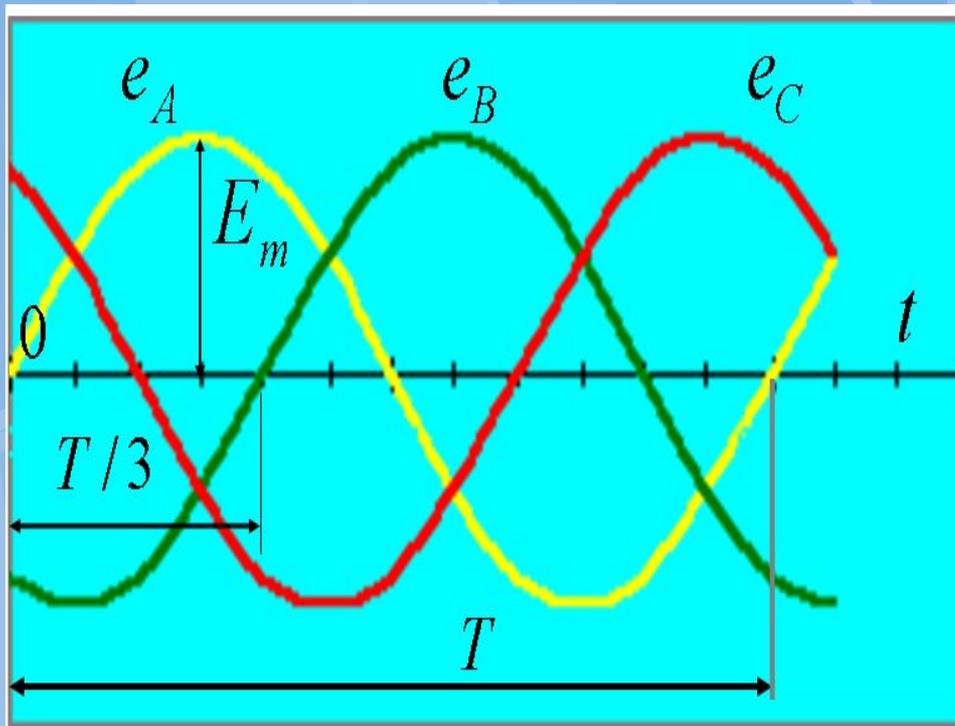
Фазы трехфазного генератора обозначают – **A, B, C**.

Последовательность обозначения фаз генератора определяется последовательностью изменений во времени фазных ЭДС.

ЭДС фазы A достигает максимального значения на одну треть периода раньше, чем **ЭДС фазы B** и на две трети периода раньше, чем **ЭДС фазы C**.

Продолжит

ь



Если начальная фаза e_A
равна нулю, тогда:

$$e_A = E_m \sin \omega t;$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 2\pi/3);$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 4\pi/3) = \\ = E_m \sin(\omega t + 2\pi/3)$$

Алгебраическая сумма мгновенных значений фазных ЭДС равна

нулю:

$$e_A + e_B + e_C = 0$$

Продолжит

ь

- Для получения трехфазной системы необходимо определенным образом соединить фазы источника энергии и фазы приемника.
- Возможны два основных способа соединения в трехфазной системе – соединение фаз источника энергии и приемника **звездой** и **треугольником**.

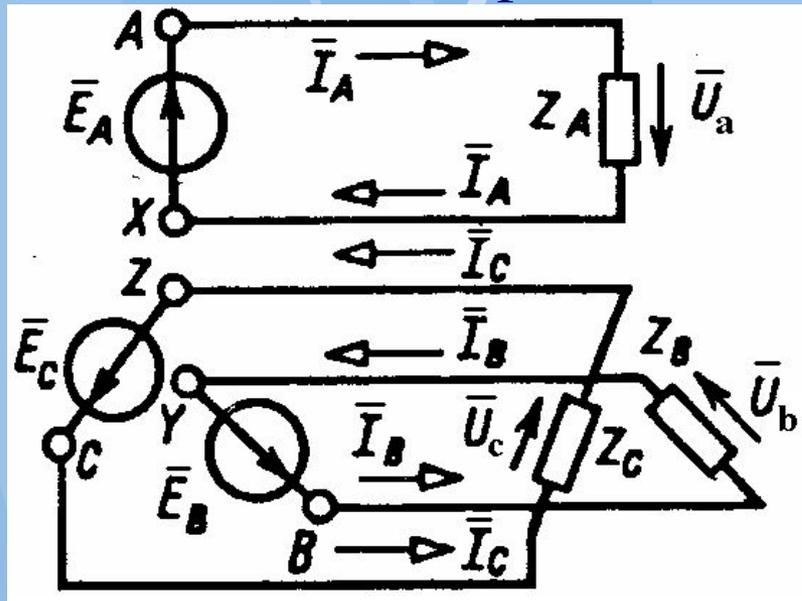
Продолжит

ь

Соединение фаз источника энергии и приемника звездой

Фазные обмотки трехфазного генератора можно соединить с тремя приемниками энергии шестью проводами и получить три независимые фазные цепи. Стрелки указывают условные положительные направления фазных ЭДС.

A, B, C – начала, X, Y, Z – концы фазных обмоток генератора.

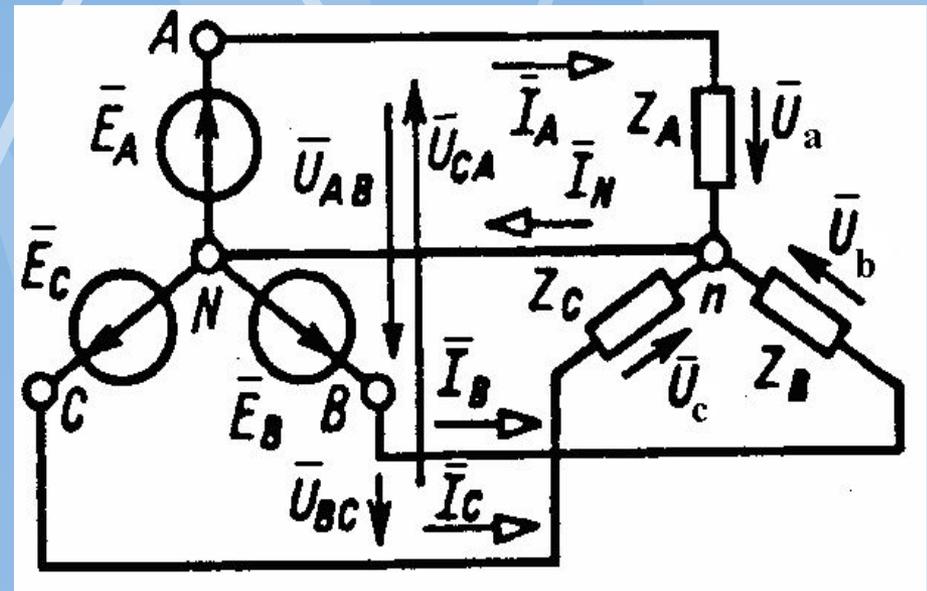
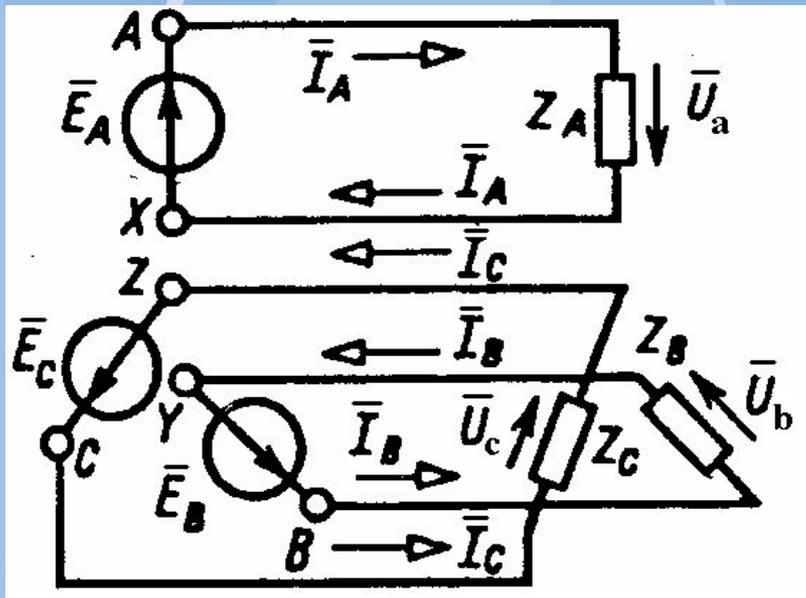


Продолжит

ь

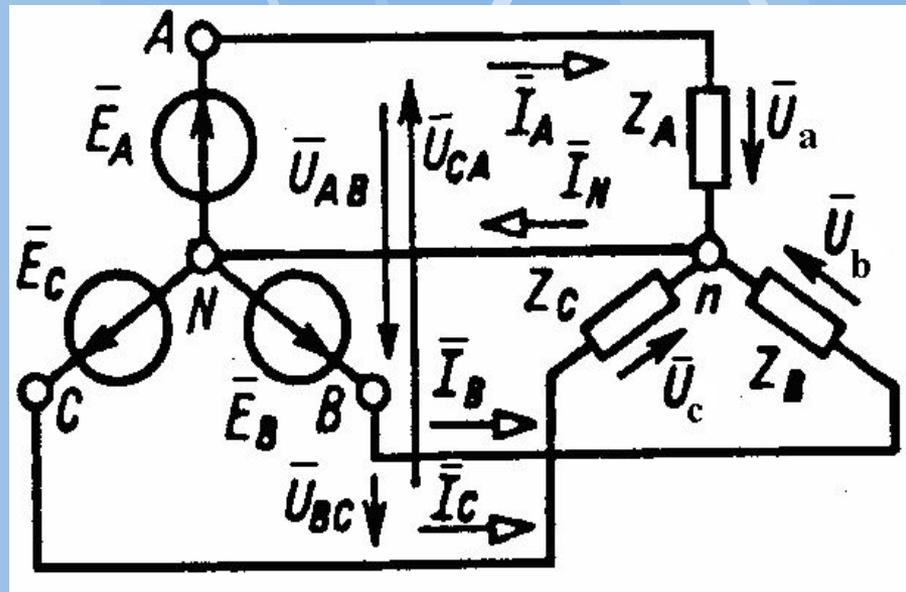
При соединении фаз источника звездой (условное обозначение Y) все концы фазных обмоток генератора соединяются в один общий узел N . Такой же узел n образует соединение трех фаз приемника.

Узел, образуемый обмотками фаз генератора или фазами приемника, называется **нейтралью** или **нейтральной точкой**.



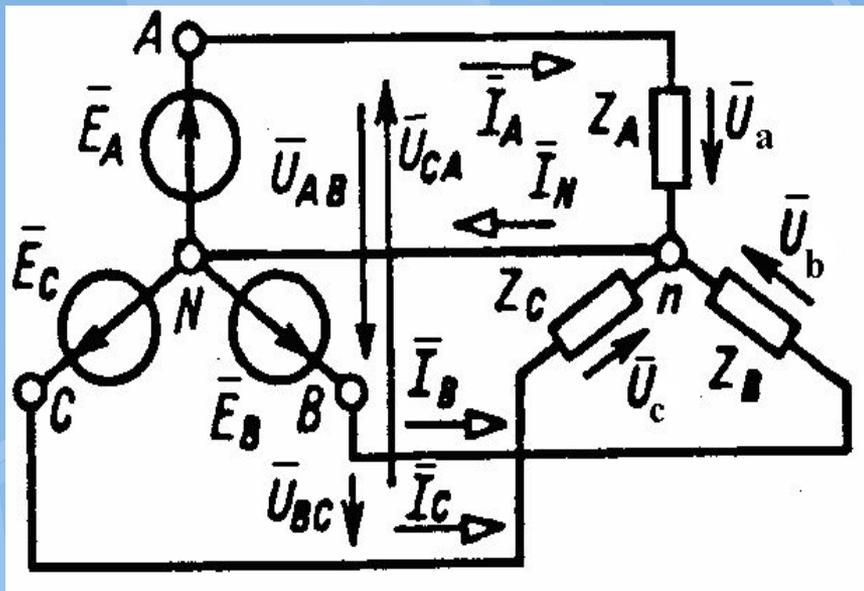
Продолжит

Три обратных провода фаз системы объединяются в в один общий **нейтральный провод N_n** . Остальные три провода, соединяющие генератор с приемником, называются **линейными**.



Продолжит

ь



Пренебрегая сопротивлениями всех проводов, легко определить токи трех фаз приемника и генератора:

$$\bar{I}_A = \bar{E}_A / Z_A$$

$$\bar{I}_B = \bar{E}_B / Z_B$$

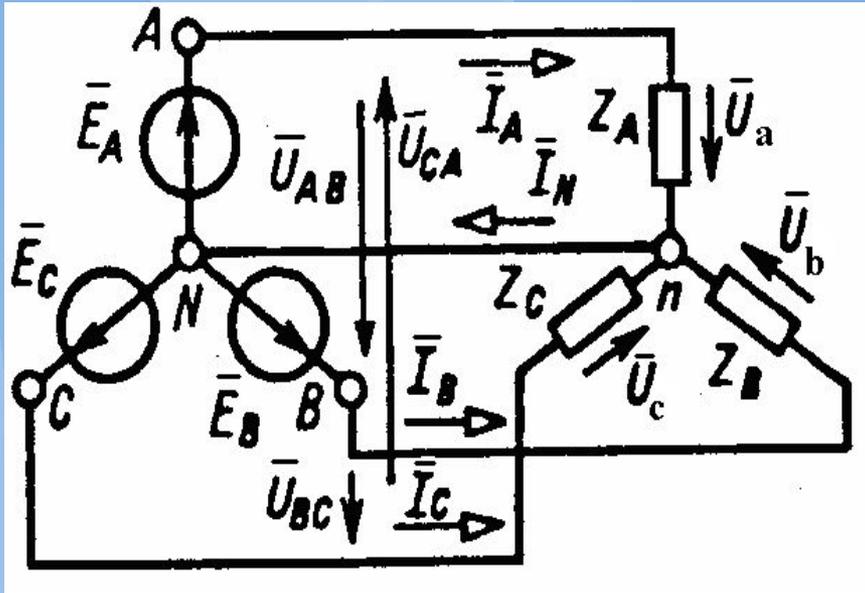
$$\bar{I}_C = \bar{E}_C / Z_C$$

Ток в нейтральном проводе:

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

Продолжит

ь



Приемник с одинаковыми сопротивлениями всех трех фаз

$$Z_A = Z_B = Z_C = Z_\phi$$

называется **симметричным**.

При симметричном приемнике у токов всех фаз одинаковые действующие значения I_ϕ и одинаковые сдвиги фаз ϕ относительно соответствующих фазных ЭДС.

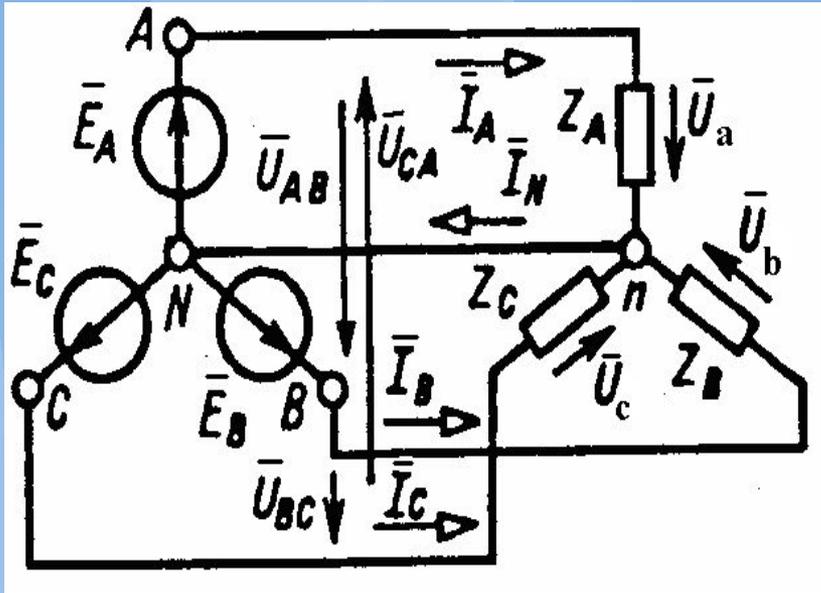
Ток в нейтральном проводе:

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

Поэтому при симметричной нагрузке генератора нейтральный провод не нужен и не прокладывается.

Продолжит

ь

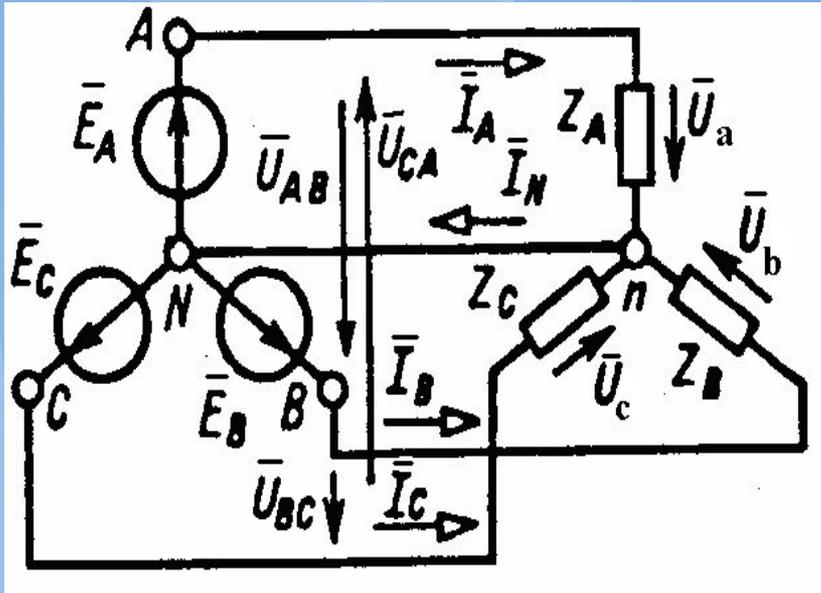


- В трехфазной системе напряжения U_a , U_b , U_c между выводами каждой фазной обмотки генератора или каждой фазы приемника называются фазными напряжениями.
- У симметричной системы действующие значения фазных напряжений одинаковы:

$$U_a = U_b = U_c = U_\phi$$

Продолжит

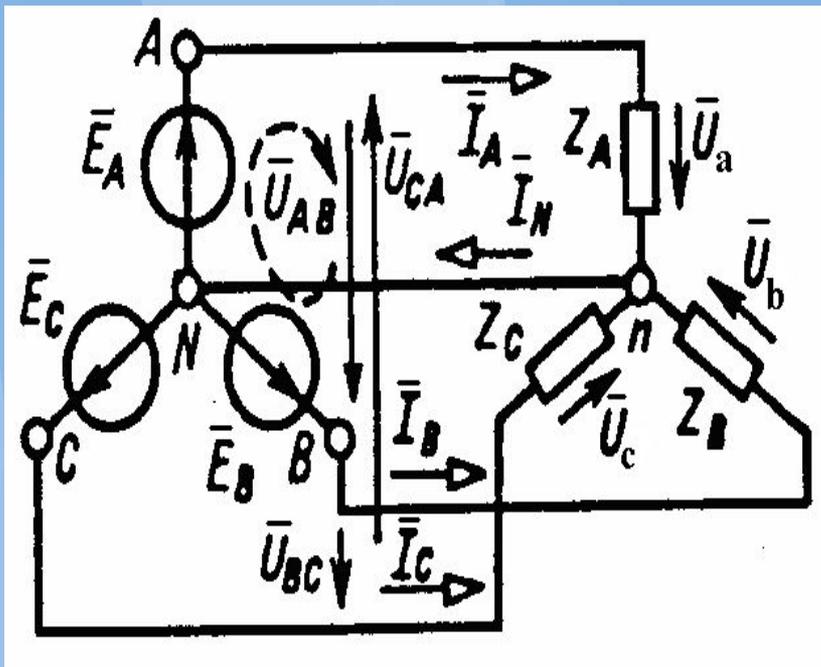
ь



- **Фазными** токами называются токи в фазных обмотках генератора или фазах приемника.
- Напряжения между линейными проводами называются **линейными**, и линейными называются токи в линейных проводах.

Продолжит

ь



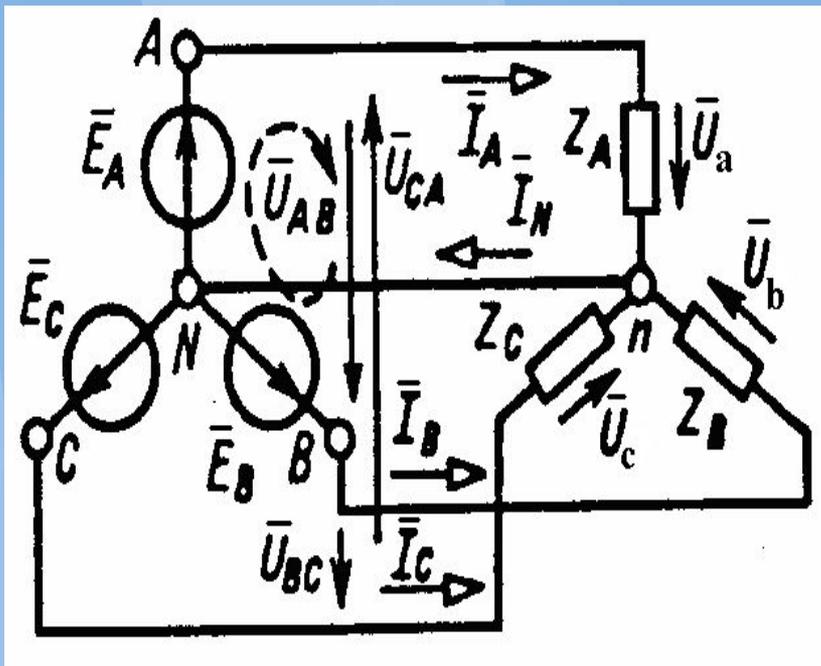
Запишем уравнения по второму закону Кирхгофа для контура, обозначенного на рисунке штриховой линией и учтем, что

$$E_A = U_a; E_B = U_b; E_C = U_c.$$

При наличии нейтрального провода условия выполняются как при симметричном, так и при несимметричном приемнике, а при отсутствии нейтрального провода — только при симметричном.

Продолжит

ь



Для линейных напряжений
получим:

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

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

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

При этом действующие значения (модули) линейных
напряжений одинаковы:

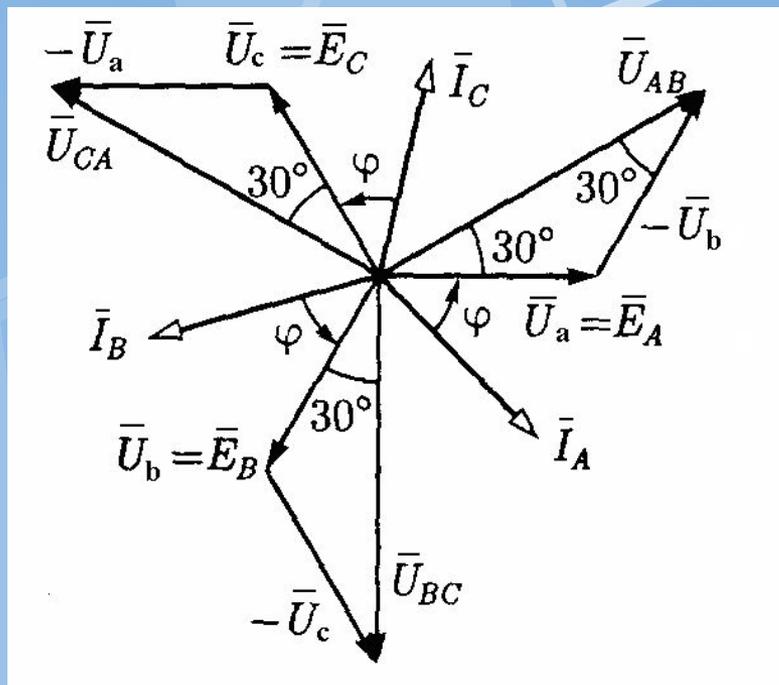
$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_{\text{л}}$$

где $U_{\text{л}}$ – действующее значение линейного напряжения

Продолжит

ь

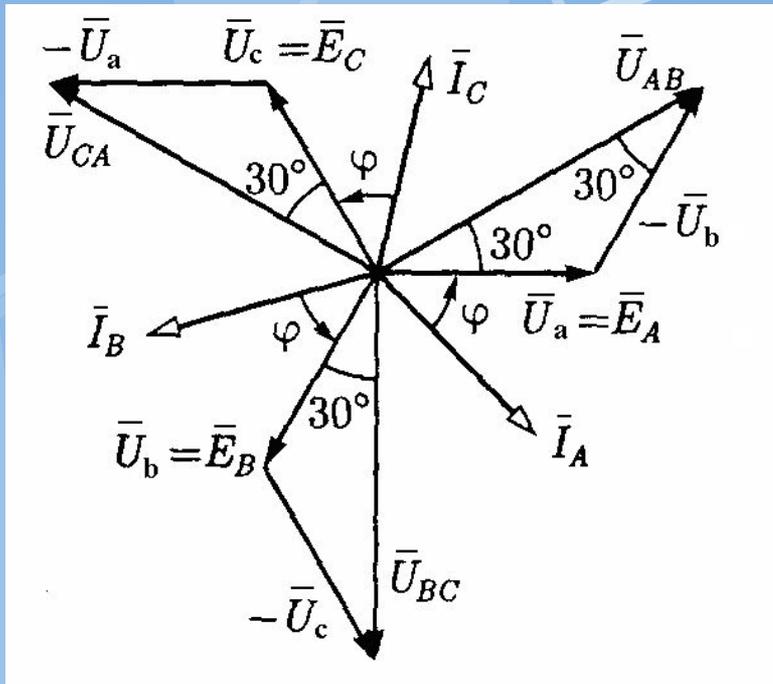
Векторная диаграмма фазных и линейных напряжений при соединении фаз источника энергии и приемника звездой



Вектор линейного напряжения \bar{U}_{AB} получен как результат суммирования вектора \bar{U}_a и вектора $-\bar{U}_b$, который по длине равен вектору \bar{U}_b , и противоположен ему по направлению. Аналогично построены и остальные два вектора линейных напряжений. (Данная векторная диаграмма построена для активно-индуктивной нагрузки $\varphi > 0$.)

Продолжит

При наличии нейтрального провода как при симметричном, так и при несимметричном приемнике, а при отсутствии нейтрального провода — только при симметричном, векторы фазных и линейных напряжений образуют три одинаковых равнобедренных треугольника с углами 30° при основании.



Продолжит

ь

Из треугольников напряжений следует, что между действующими значениями линейных и фазных напряжений справедливо соотношение:

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

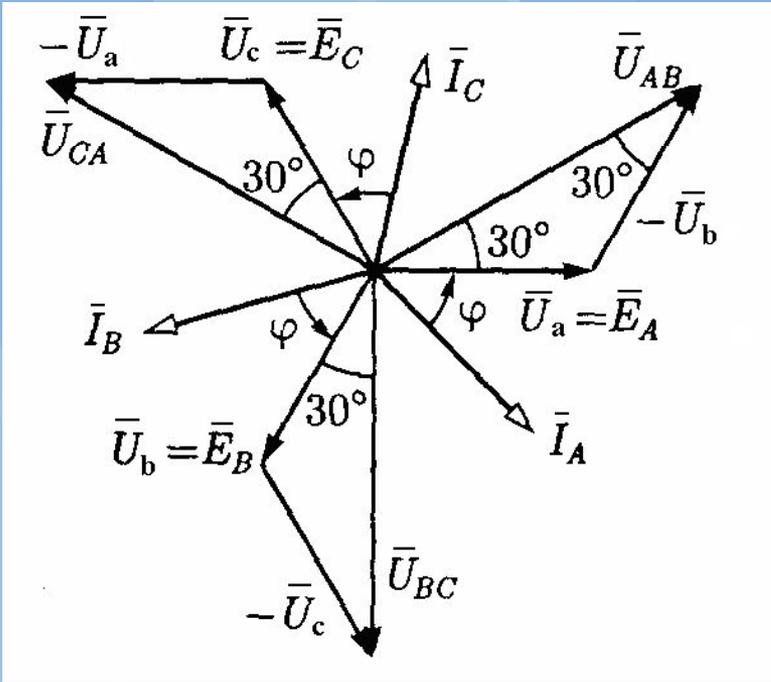
Например, линейное напряжение $U_{\text{л}} = 380$ В, а фазное $U_{\text{ф}} = 220$ В или линейное $U_{\text{л}} = 220$ В, а фазное $U_{\text{ф}} = 127$ В.

При соединении источника и приемника звездой линейные токи равны соответствующим фазным токам.

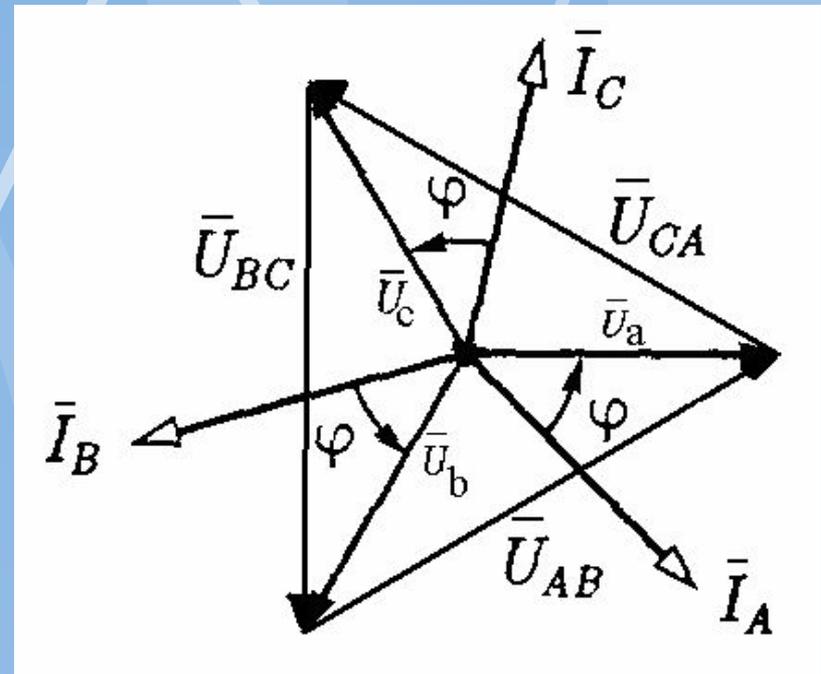
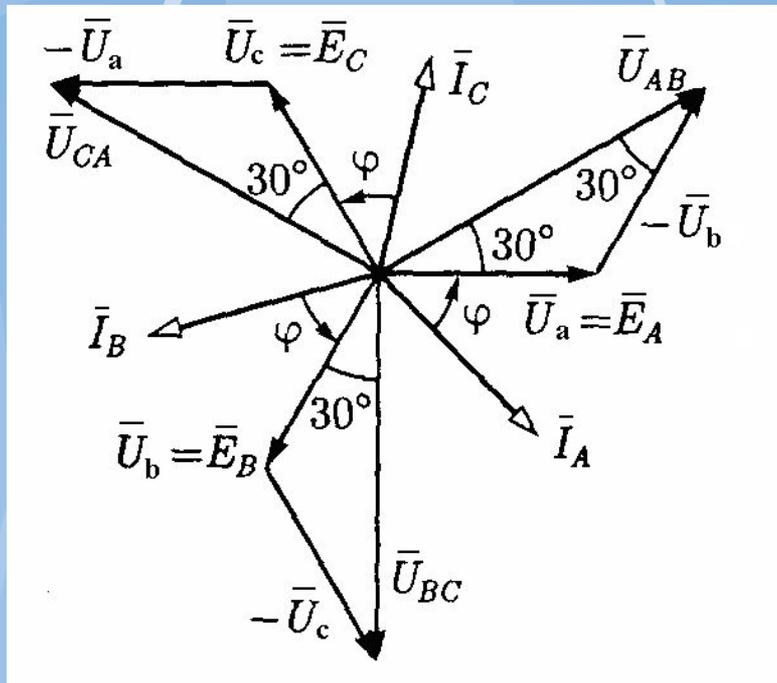
$$I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$$

Продолжит

ь



Данную векторную диаграмму можно преобразовать: векторы линейных напряжений параллельным переносом сместить к концам фазных напряжений.

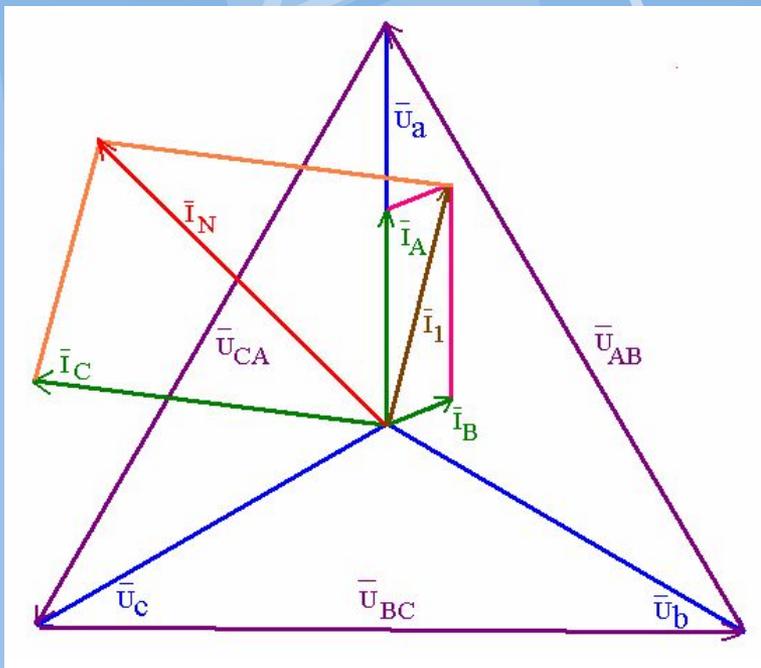


Продолжит

ь

При неравномерной (несимметричной) нагрузке фаз $I_A \neq I_B \neq I_C$.
В схеме с нейтральным проводом ток в нейтральном проводе

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

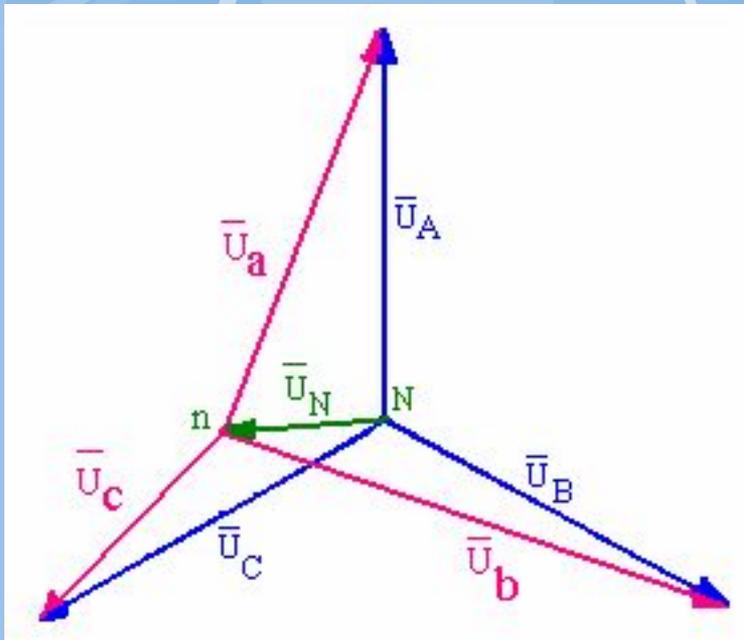


Достоинство четырехпроводной цепи: система фазных напряжений приемника симметрична при любой нагрузке. Это обеспечивается нейтральным проводом.

Продолжит

ь

При неравномерной (несимметричной) нагрузке фаз отсутствие нулевого провода приводит к неодинаковым по величине напряжениям на каждой фазе потребителя. При этом на фазе с большим сопротивлением будет и большее напряжения. Значения линейных напряжений неизменны.



U_N - напряжение смещения
нейтрали.

Обратите внимание:

U_A – напряжение на фазе А
генератора,

U_a – напряжение на фазе А нагрузки

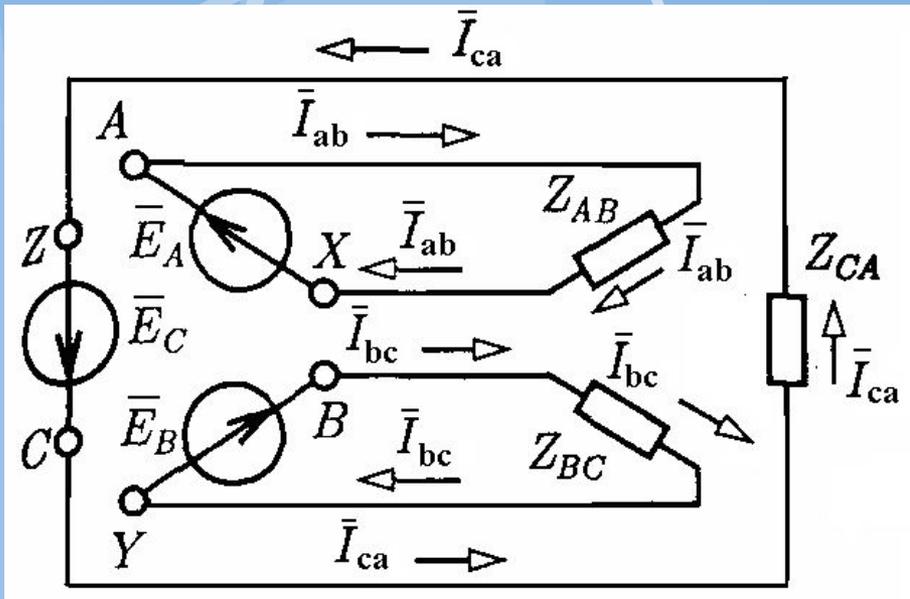
(рассмотреть построение векторных диаграмм для
различных режимов работы трехфазной цепи)

Продолжит

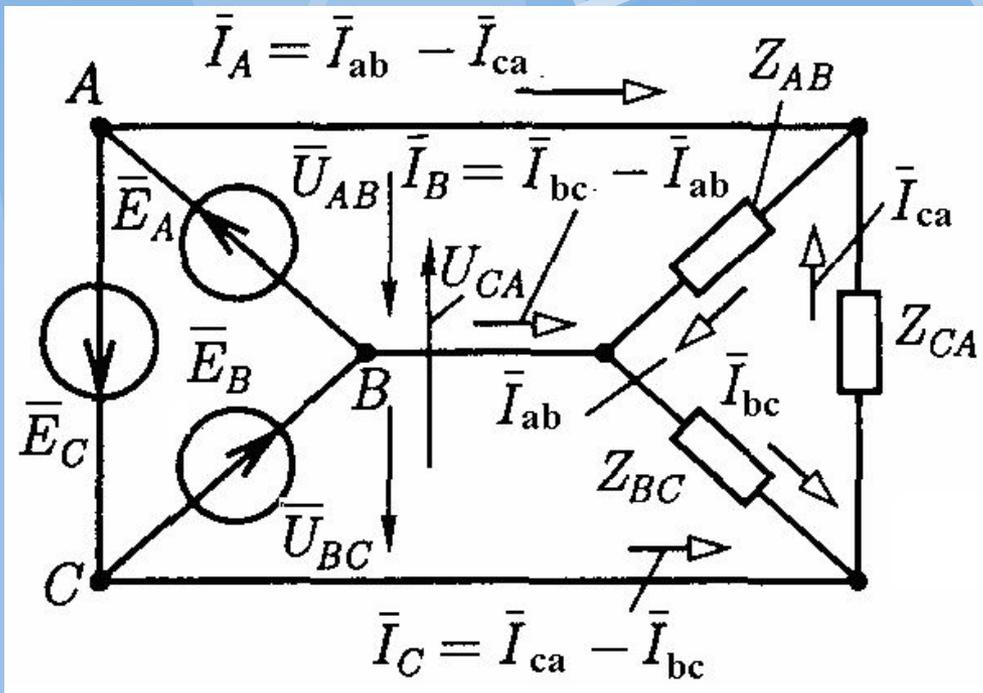
ь

Соединение фаз источника энергии и приемника треугольником

У трехфазной системы с фазами, соединенными треугольником (условное обозначение Δ), нейтральный провод отсутствует. Покажем сначала, как можно получить такую трехфазную цепь из необъединенной системы, в которой три фазные обмотки генератора соединены шестью проводами с тремя приемниками (несвязная система).



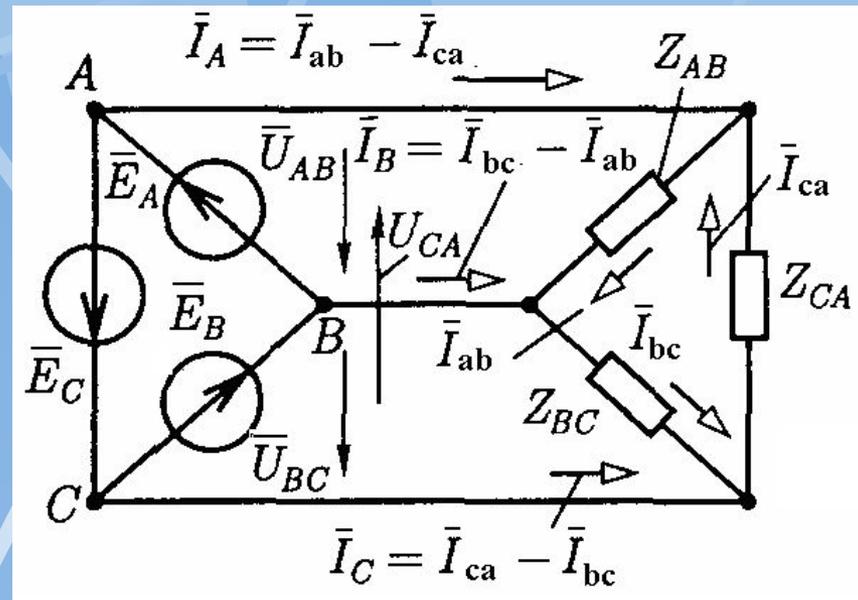
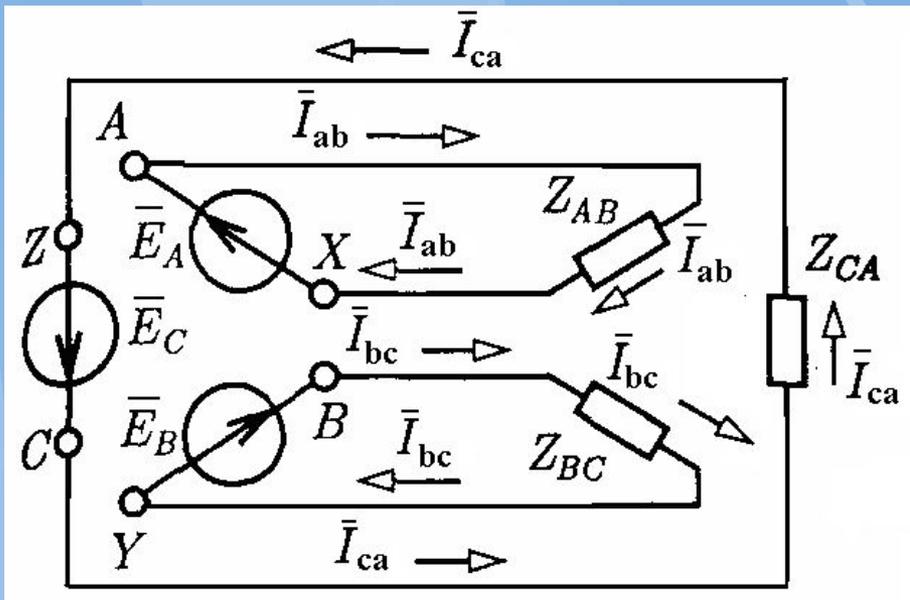
Продолжит



Чтобы получить
 соединение фазных
 обмоток генератора
 треугольником, подключим
 конец X первой обмотки к
 началу B второй обмотки,
 конец Y второй обмотки —
 к началу C третьей обмотки
 и конец Z третьей обмотки
 — к началу A первой
 обмотки (связная система).

Продолжит

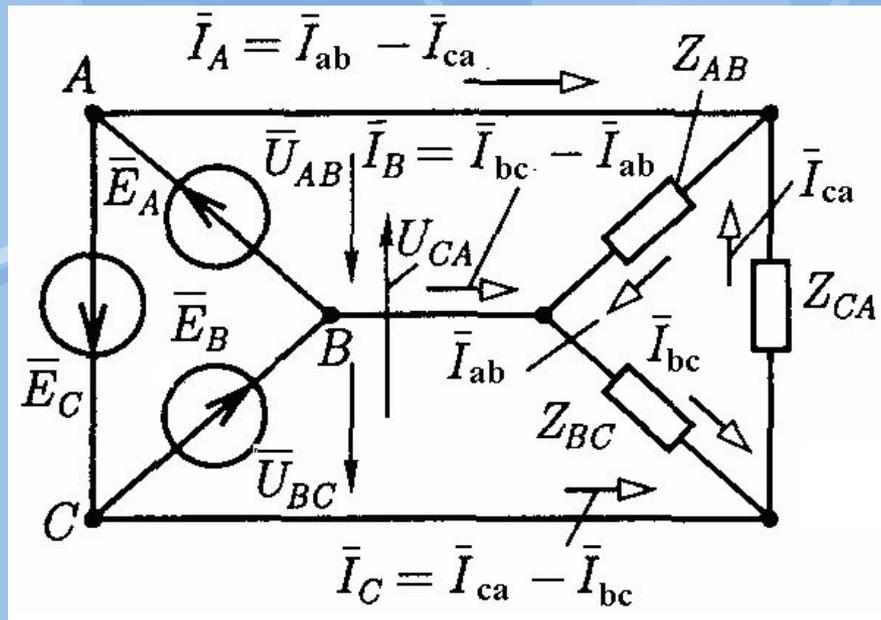
ь



После объединения обмоток генератора напряжения между началом и концом каждой фазы не изменятся, т. е. эти фазные напряжения одинаковы для несвязанной и связанной систем. Поэтому и токи в фазах приемника, т.е. фазные токи, I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} в связанной системе такие же, как и в несвязанной.

Продолжит

ь



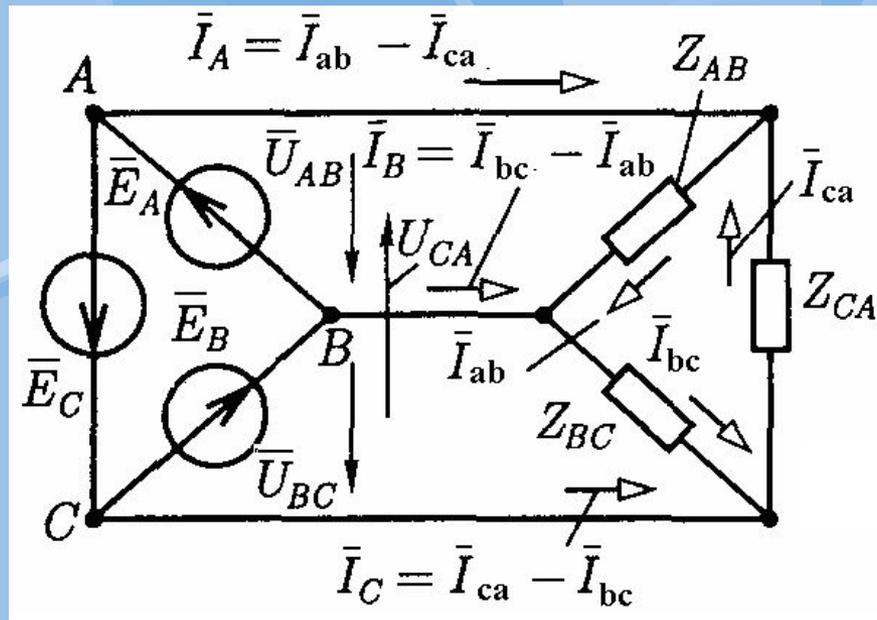
Токи в каждом из трех объединенных линейных проводов, т.е. **линейные токи** I_A , I_B , I_C , равны разности соответствующих фазных токов (первый закон Кирхгофа для узлов приемника):

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{ab} - \bar{I}_{ca},$$

$$\bar{I}_B = \bar{I}_{bc} - \bar{I}_{ab},$$

$$\bar{I}_C = \bar{I}_{ca} - \bar{I}_{bc}.$$

Продолжит



Линейные напряжения равны соответствующим фазным

напряжениям: $U_{AB} = E_A$; $U_{BC} = E_B$; $U_{CA} = E_C$.

По закону Ома значения фазных токов:

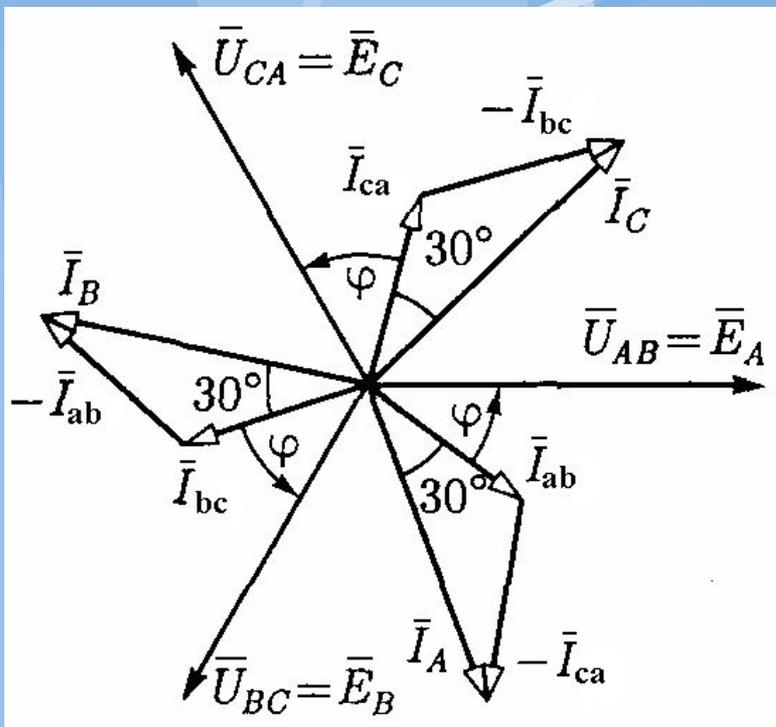
$$I_{ab} = E_A / Z_{AB}; \quad I_{bc} = E_B / Z_{BC}; \quad I_{ca} = E_C / Z_{CA}$$

причем у симметричного приемника $Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z_{\phi}$

и у всех фазных токов одинаковые действующие значения I_{ϕ} и одинаковые сдвиги фаз ϕ относительно соответствующих ЭДС или фазных напряжений.

Продолжит

Векторная диаграмма фазных и линейных напряжений при соединении фаз источника энергии и приемника треугольником



Из треугольников токов следует, что в симметричной трехфазной системе для действующих значений линейных и фазных токов справедливо соотношение:

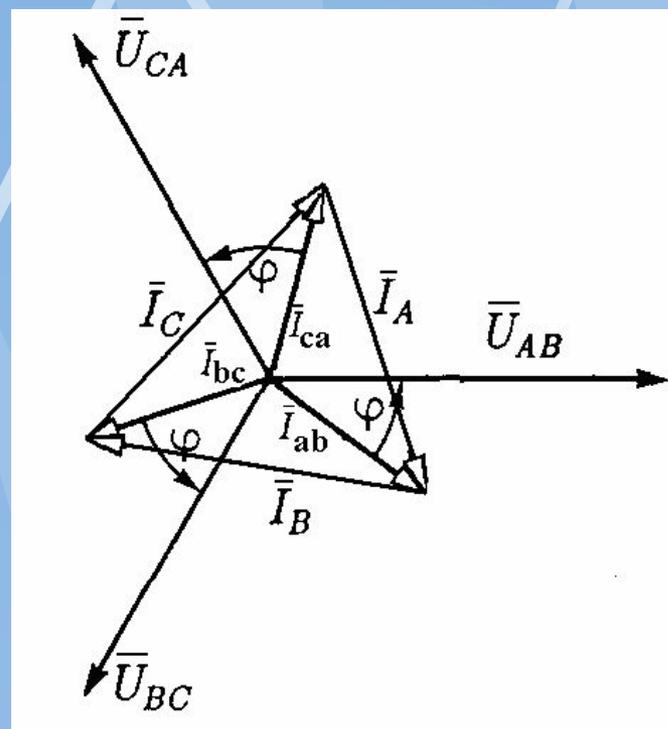
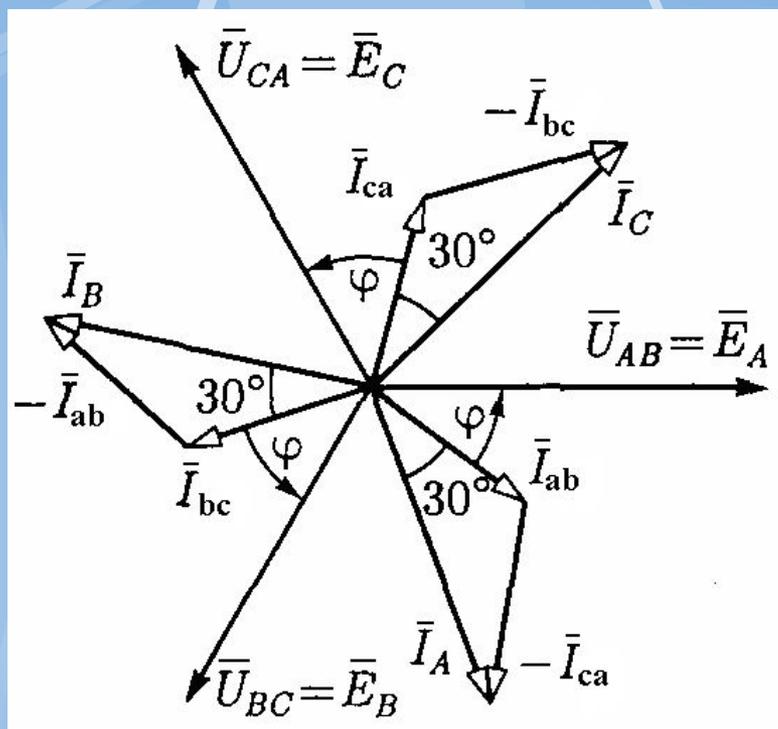
$$I_{\text{л}} = 2I_{\text{ф}} \cos 30^\circ = \sqrt{3}I_{\text{ф}}$$

Действующие значения линейных и фазных напряжений равны друг другу:

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$$

Продолжит

Преобразуем диаграмму: параллельно перенесем линейные токи в концы фазных.



Продолжит

Активная, реактивная и полная мощности трехфазной симметричной системы

Активной мощностью трехфазной системы называется сумма активных мощностей всех фаз источника энергии, равная сумме активных мощностей всех фаз приемника.

В симметричной трехфазной системе при любой схеме их соединения для каждой фазы мощности источника энергии и приемника одинаковые. В этом случае $P=3P_{\phi}$ и для каждой из фаз справедлива формула активной мощности синусоидального тока:

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi$$

Продолжит

ь

Заменив действующие значения фазных тока и напряжения линейными при соединении фаз источника энергии и приемника звездой и треугольником, получим одно и то же выражение для активной мощности симметричной трехфазной системы:

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

В общем случае **реактивной мощностью трехфазной системы** называется сумма реактивных мощностей всех фаз источника энергии, равная сумме реактивных мощностей всех фаз приемника. Реактивная мощность симметричной трехфазной системы:

$$Q = 3Q_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi$$

Полная мощность симметричной трехфазной системы:

$$S = 3U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}$$

Продолжит

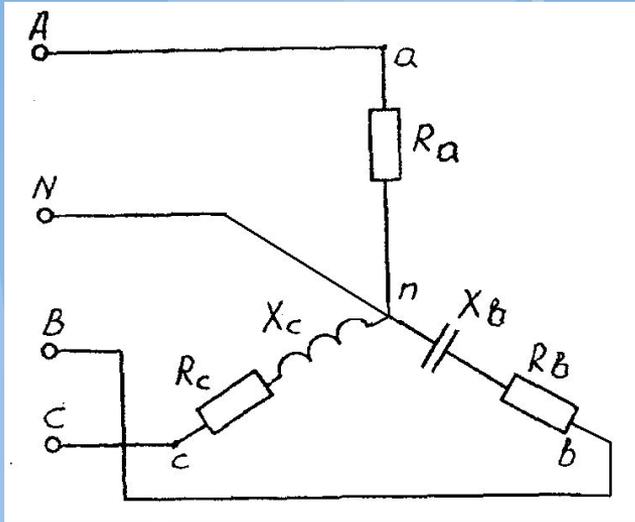
Практическое задание

Для электрической схемы определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе (для четырехпроводной цепи), активную и реактивную мощности всей цепи и каждой фазы отдельно. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Продолжит

ь

1. Соединение цепи по схеме звезда



Параметры схемы:

$$U_{\text{л}} = 380 \text{ В};$$

$$R_a = 8 \text{ Ом};$$

$$R_b = 15 \text{ Ом};$$

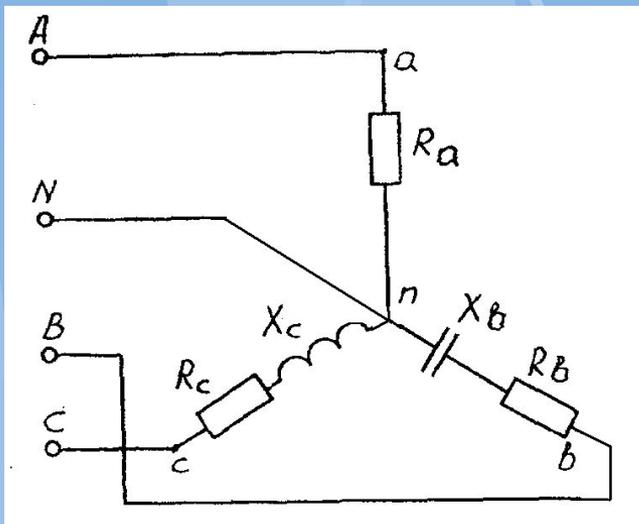
$$R_c = 4 \text{ Ом};$$

$$X_b = 20 \text{ Ом};$$

$$X_c = 3 \text{ Ом}.$$

Продолжит

ь



Определяем полные сопротивления каждой фазы:

$$Z_A = R_a = 8 \text{ Ом},$$

$$Z_B = \sqrt{R_b^2 + X_b^2} = 25 \text{ Ом}$$

$$Z_C = \sqrt{R_c^2 + X_c^2} = 5 \text{ Ом}$$

Сопротивления фаз различны, следовательно приемник несимметричный.

Так как в схеме присутствует нейтральный провод, система фазных напряжений будет симметричной.

$$U_a = U_b = U_c = U_{\phi} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Продолжит

ь

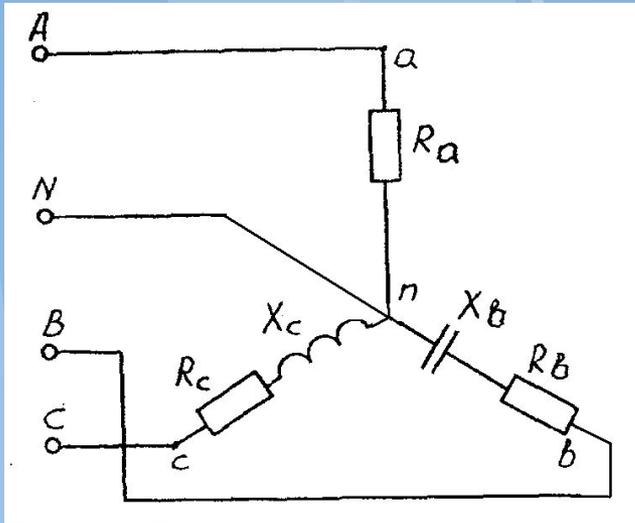
Определяем фазные токи:

$$I_A = U_a / Z_A = 27,5 \text{ A}$$

$$I_B = U_b / Z_B = 8,8 \text{ A}$$

$$I_C = U_c / Z_C = 44 \text{ A}$$

В схеме «звезда» фазные токи равны линейным.



Находим $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ – разности фаз между фазными напряжением и ТОКОМ

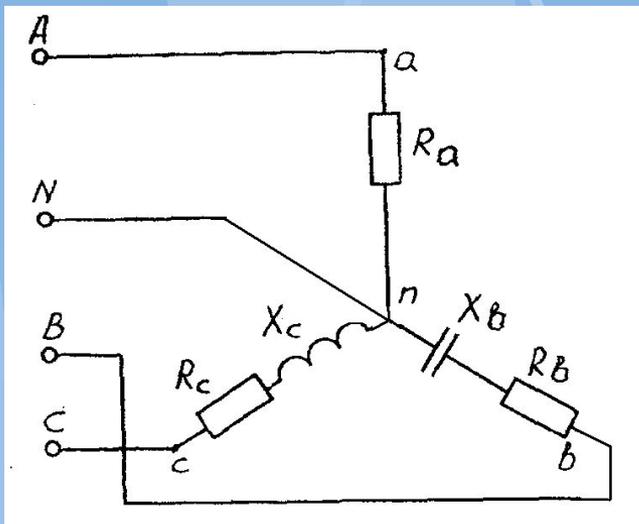
фаза А: $\varphi_A = 0$ (на фазе только резистивный элемент)

фаза В: $\varphi_B = \arctg \frac{-X_b}{R_b} = -53,13^\circ$ (емкостный характер цепи)

фаза С: $\varphi_C = \arctg \frac{X_c}{R_c} = 36,87^\circ$ (индуктивный характер цепи)

Продолжит

ь



Определяем мощности схемы:

активная

$$P = P_A + P_B + P_C$$

$$P_A = R_a I_A^2 = 8 \cdot 27,5^2 = 6050 \text{ Вт}$$

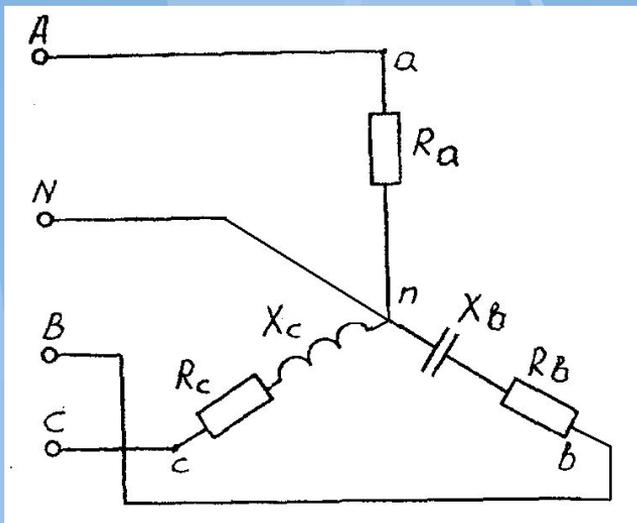
$$P_B = R_b I_B^2 = 15 \cdot 8,8^2 = 1161,6 \text{ Вт}$$

$$P_C = R_c I_C^2 = 4 \cdot 44^2 = 7744 \text{ Вт}$$

$$P = 14955,6 \text{ Вт}$$

Продолжит

ь



реактивная

Зная, что $Q = Q_L - Q_C$,
определяем $Q = Q_C - Q_B$
($Q_A = 0$)

$$Q_B = X_b I_B^2 = 20 \cdot 8,8^2 = 1548,8 \text{ вар}$$

$$Q_C = X_c I_C^2 = 3 \cdot 44^2 = 5808 \text{ вар}$$

$$Q = 4259,2 \text{ вар}$$

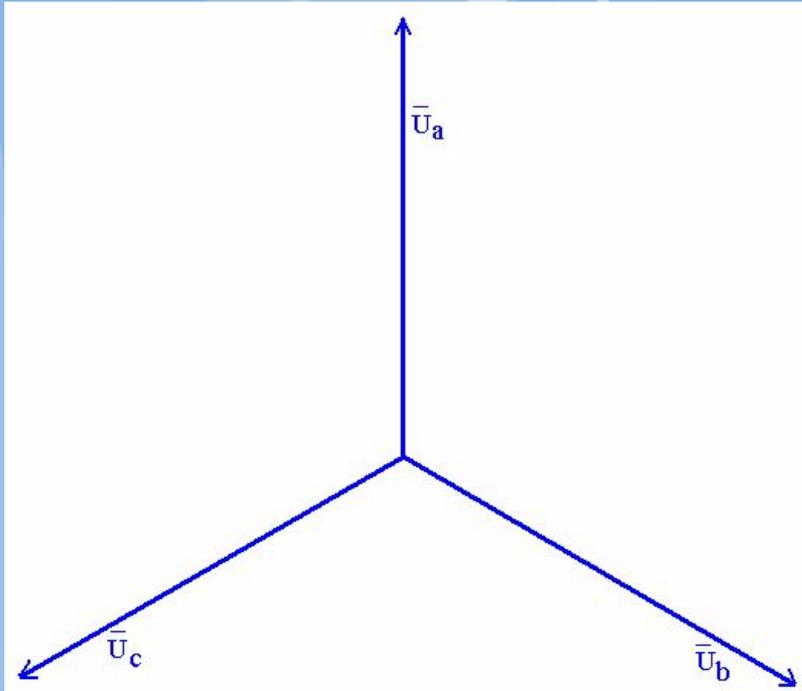
Полная мощность:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 15550,27 \text{ ВА}$$

Продолжит

ь

Построение векторной диаграммы

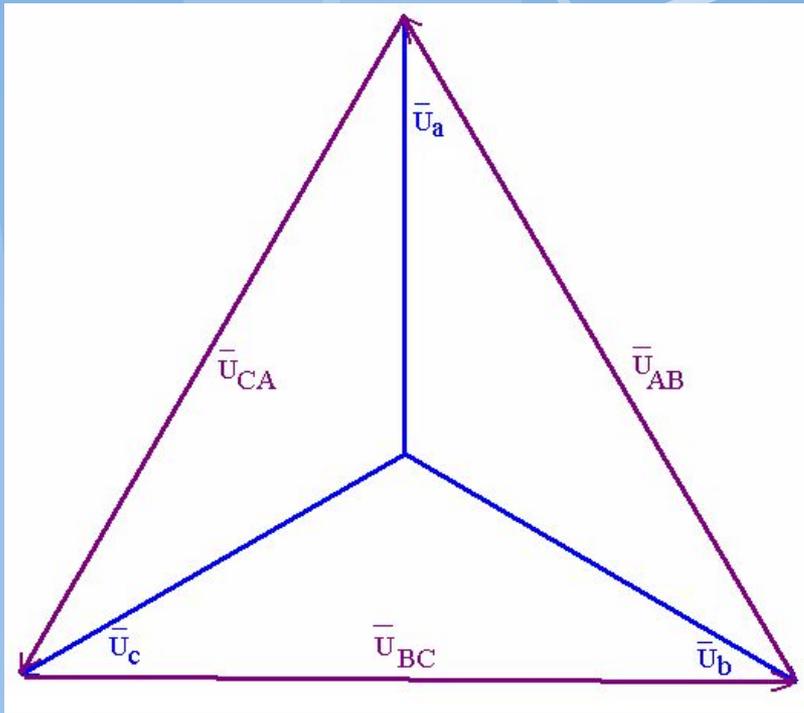


Сначала строим векторы фазных напряжений:

- 1) произвольно выбираем масштаб, например $1\text{ см}=20\text{ В}$, длина вектора соответствует выбранному масштабу;
- 2) углы между векторами должны составлять 120° .

Продолжит

ь

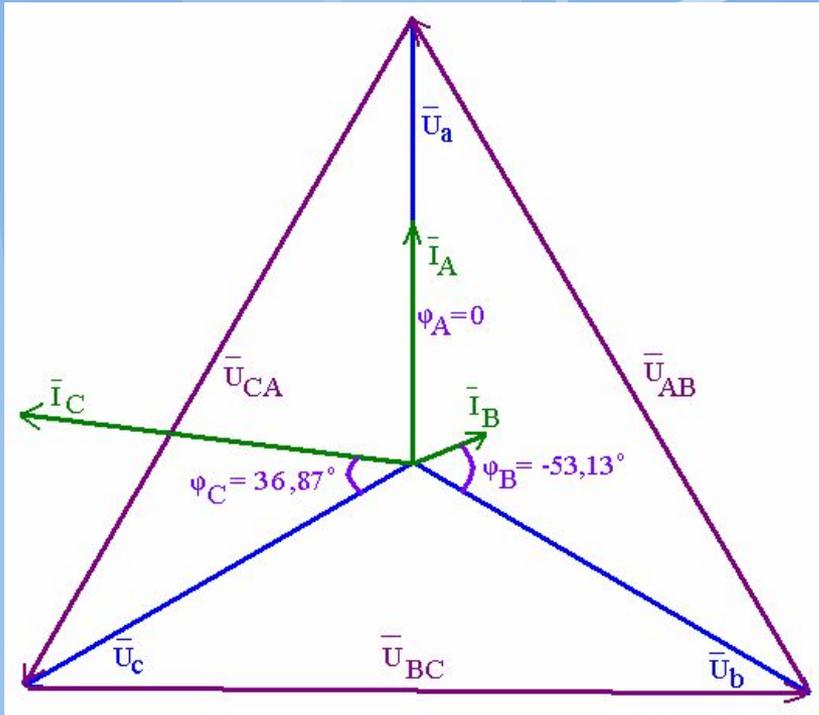


Строим линейные напряжения – соединяем концы фазных напряжений и указываем направления векторов.

В выбранном масштабе длины векторов линейных напряжений должны совпадать с заданными значениями.

Продолжит

ь



Откладываем фазные токи:

- 1) выбираем масштаб для построения, например, $1\text{ см}=5\text{ А}$;
- 2) откладываем векторы в соответствии с определенными разностями фаз:

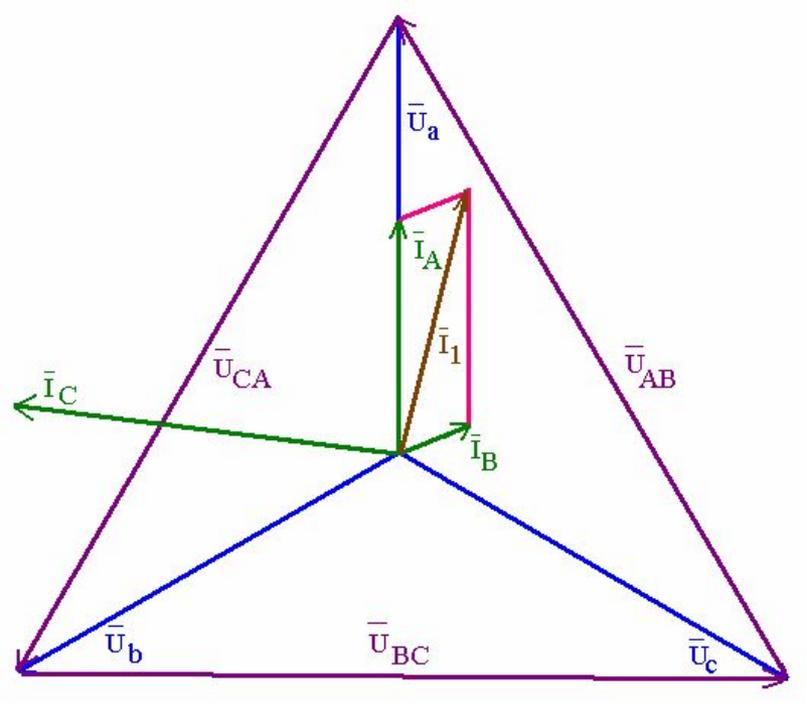
ток I_A фазы А совпадает по фазе с напряжением U_a ;

ток I_B фазы В опережает напряжение U_b на угол $53,13^\circ$;

ток I_C фазы С отстает от напряжения U_c на угол $36,87^\circ$.

Продолжит

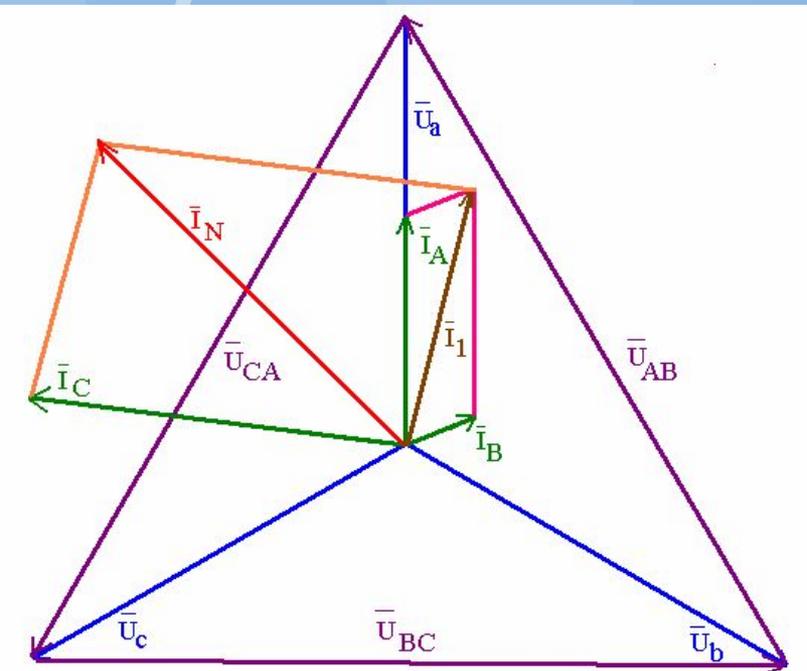
ь



Определяем ток нейтрального провода:

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

Сначала складываем по правилу параллелограмма два любых тока, например $\bar{I}_A + \bar{I}_B = \bar{I}_1$



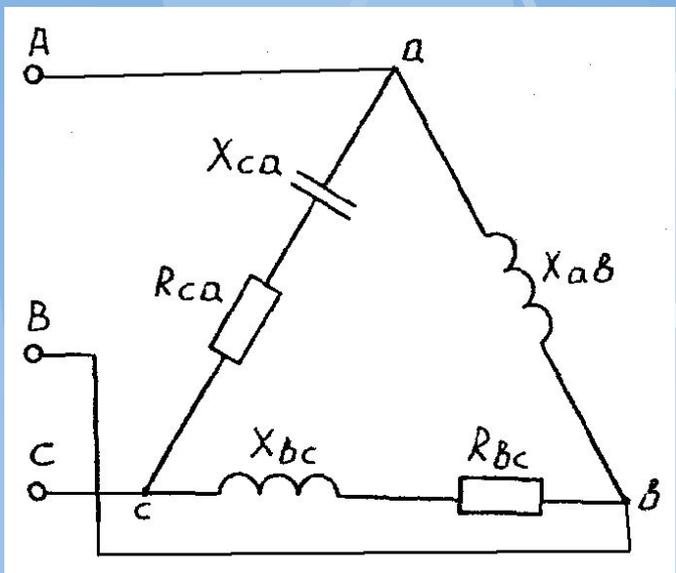
Затем складываем вектор тока I_1 и вектор третьего тока I_C .

Результатом и будет вектор тока I_N .

По масштабу и длине вектора определяем его значение: $I_N = 49 \text{ А}$.

Продолжит

2. Соединение цепи по схеме треугольник



Параметры схемы:

$$U_{\text{л}} = 380 \text{ В};$$

$$R_{\text{BC}} = 15 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{CA}} = 4 \text{ Ом};$$

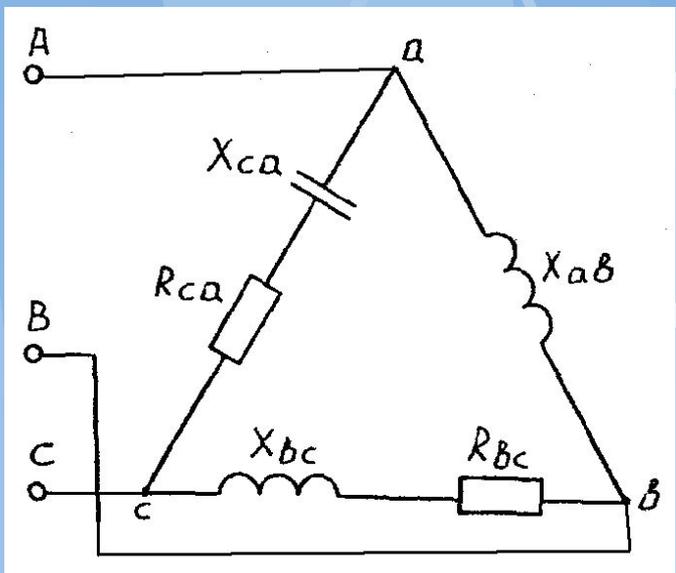
$$X_{\text{AB}} = 8 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{BC}} = 20 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{CA}} = 3 \text{ Ом}.$$

Продолжит

ь



Определяем полные сопротивления каждой фазы:

$$Z_{AB} = X_{ab} = 8 \text{ Ом},$$

$$Z_{BC} = \sqrt{R_{bc}^2 + X_{bc}^2} = 25 \text{ Ом}$$

$$Z_{CA} = \sqrt{R_{ca}^2 + X_{ca}^2} = 5 \text{ Ом}$$

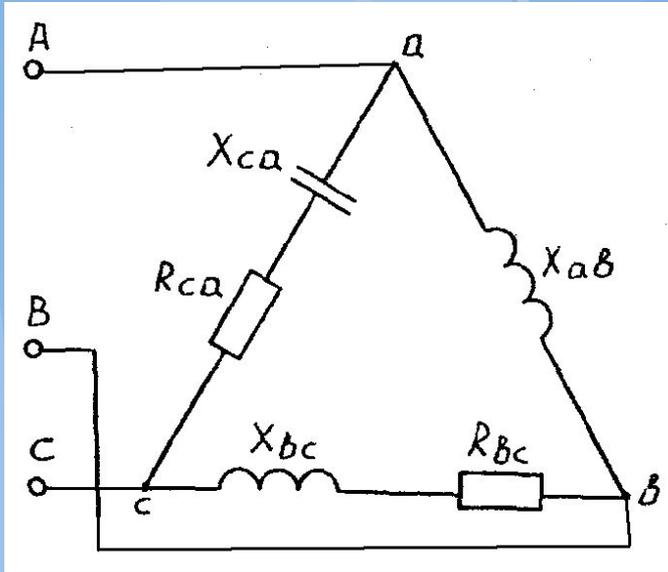
Фазные напряжения в схеме «треугольник» равны линейным:

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_{\phi} = U_{л} = 380 \text{ В}$$

Продолжит

ь

Определяем фазные токи:



$$I_{ab} = U_{AB} / Z_{AB} = 47,5 \text{ A}$$

$$I_{bc} = U_{BC} / Z_{BC} = 15,2 \text{ A}$$

$$I_{ca} = U_{CA} / Z_{CA} = 76 \text{ A}$$

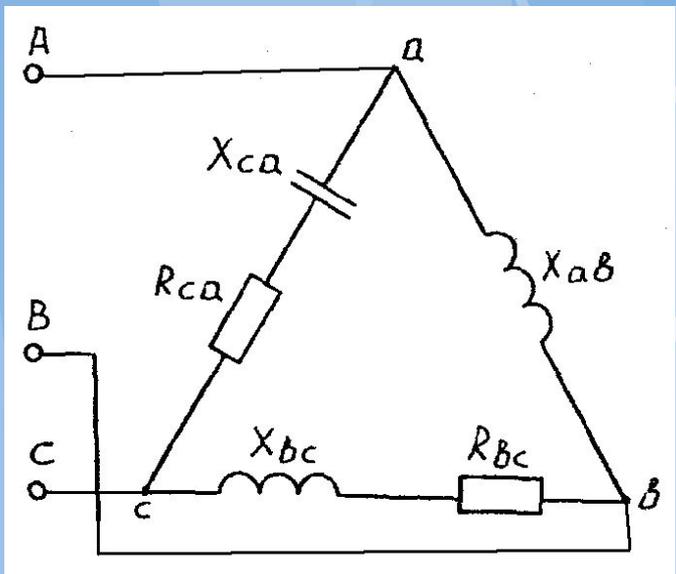
Находим φ_{AB} , φ_{BC} , φ_{CA} – разности фаз между фазными напряжением и током

фаза AB: $\varphi_{AB} = 90^\circ$ (на фазе только индуктивный элемент)

фаза BC: $\varphi_{BC} = \operatorname{arctg} \frac{X_{bc}}{R_{bc}} = 53,13^\circ$ (индуктивный характер цепи)

фаза CA: $\varphi_{CA} = \operatorname{arctg} \frac{-X_{ca}}{R_{ca}} = -36,87^\circ$ (емкостной характер цепи)

Продолжит



Определяем мощности схемы:

активная

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$$

$$P_{AB} = 0$$

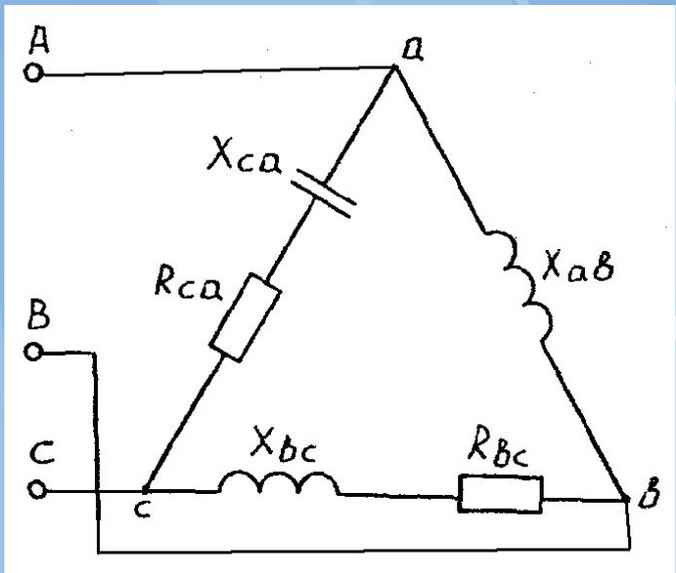
$$P_{BC} = R_{bc} I_{bc}^2 = 15 \cdot 15,2^2 = 3465,6 \text{ Вт}$$

$$P_{CA} = R_{ca} I_{ca}^2 = 4 \cdot 76^2 = 23104 \text{ Вт}$$

$$P = 26569,6 \text{ Вт}$$

Продолжит

ь



реактивная

Зная, что $Q = Q_L - Q_C$,

определяем $Q = Q_{AB} + Q_{BC} - Q_{CA}$

$$Q_{AB} = X_{ab} I_{ab}^2 = 8 \cdot 47,5^2 = 18050 \text{ вар}$$

$$Q_{BC} = X_{bc} I_{bc}^2 = 20 \cdot 15,2^2 = 4620,8 \text{ вар}$$

$$Q_{CA} = X_{ca} I_{ca}^2 = 3 \cdot 76^2 = 17328 \text{ вар}$$

$$Q = 5342,8 \text{ вар}$$

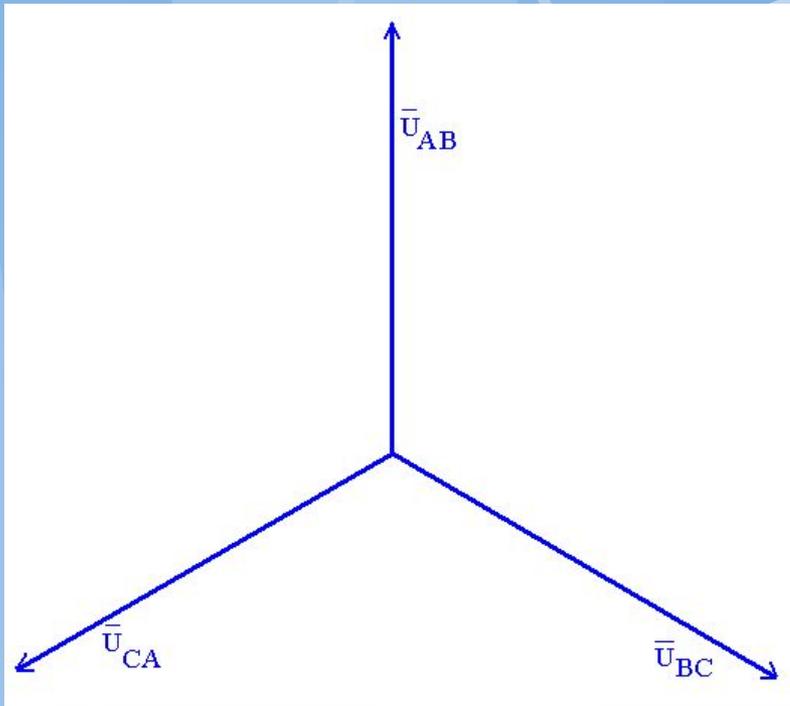
Полная мощность:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 27101,46 \text{ ВА}$$

Продолжит

ь

Построение векторной диаграммы

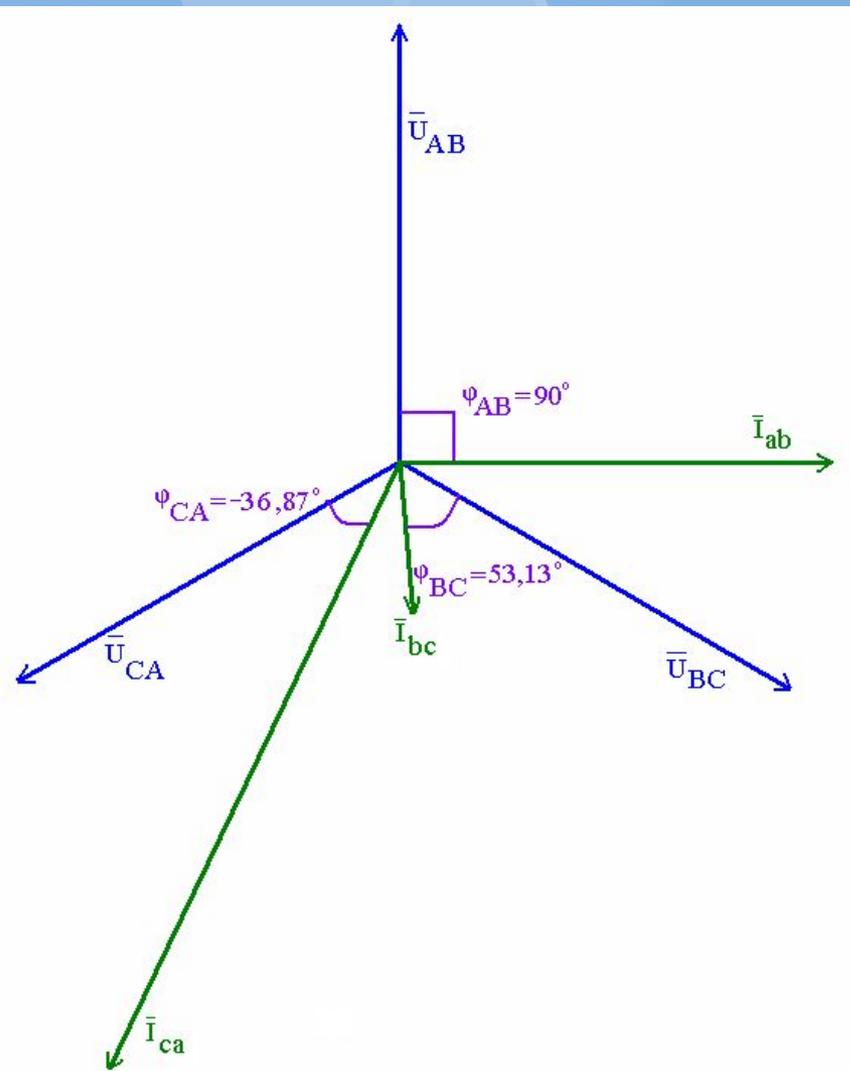


Сначала строим векторы фазных напряжений:

- 1) произвольно выбираем масштаб, например $1\text{ см}=20\text{ В}$, длина вектора соответствует выбранному масштабу;
- 2) углы между векторами должны составлять 120° .

Продолжит

ь



Откладываем фазные токи:

- 1) выбираем масштаб для построения, например, $1\text{ см} = 5\text{ А}$;
- 2) откладываем векторы в соответствии с определенными разностями фаз:

ток \bar{I}_{ab} фазы АВ отстает от напряжения \bar{U}_{AB} на угол 90° ;

ток \bar{I}_{bc} фазы ВС отстает от напряжения \bar{U}_{BC} на угол $53,13^\circ$;

ток \bar{I}_{ca} фазы СА опережает напряжение \bar{U}_{CA} на угол $36,87^\circ$.

Продолжит

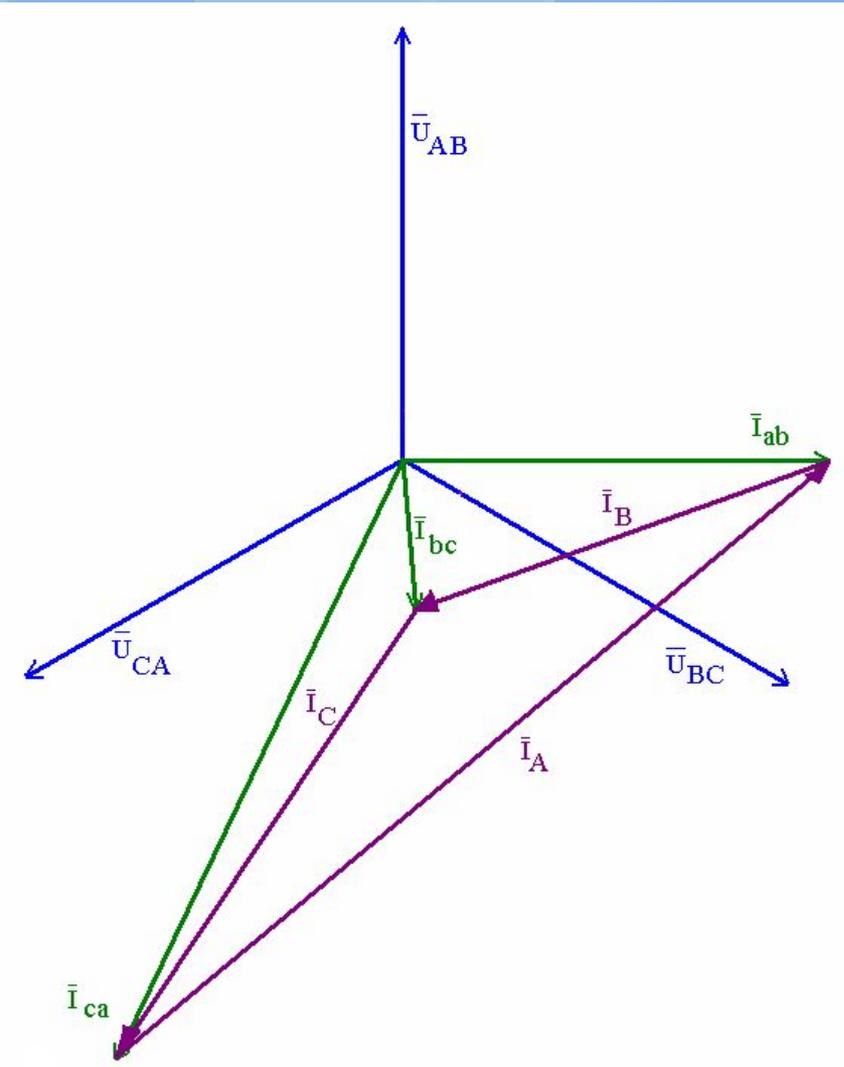
ь

Строим линейные токи –
соединяем концы фазных токов и
указываем направления векторов.
По масштабу и длине вектора
определяем их значения:

$$I_A = 106 \text{ A};$$

$$I_B = 49 \text{ A};$$

$$I_C = 62 \text{ A}.$$



Продолжит

ь

Задачи для самостоятельного решения

Для электрической схемы определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе (для четырехпроводной цепи), активную и реактивную мощности всей цепи и каждой фазы отдельно. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

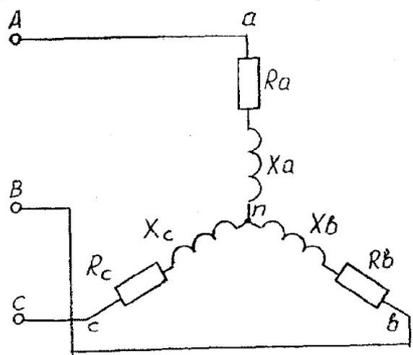


Рис. 1

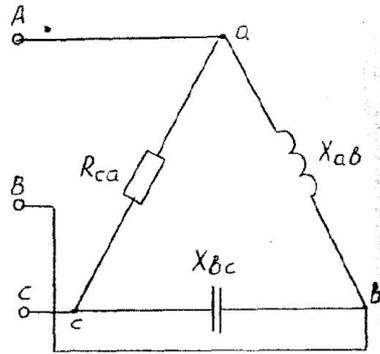


Рис. 2

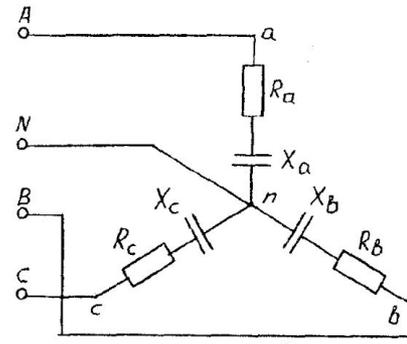


Рис. 7

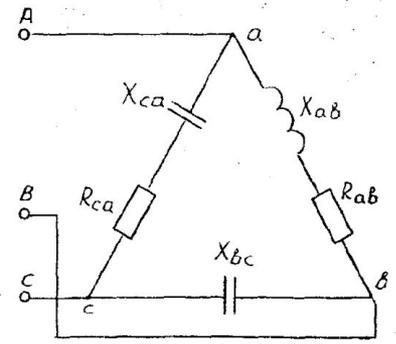


Рис. 8

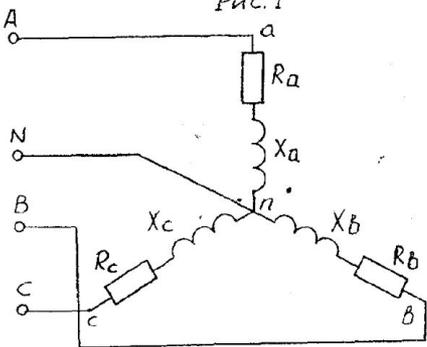


Рис. 3

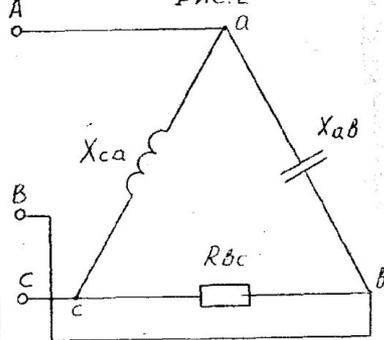


Рис. 4

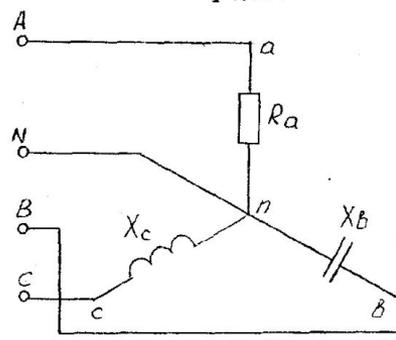


Рис. 9

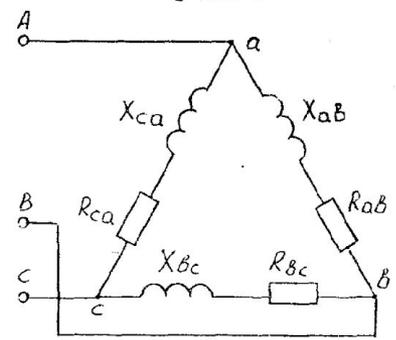


Рис. 10

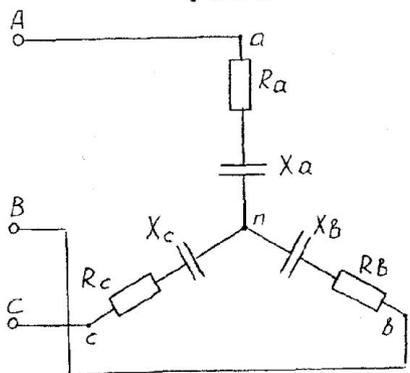


Рис. 5

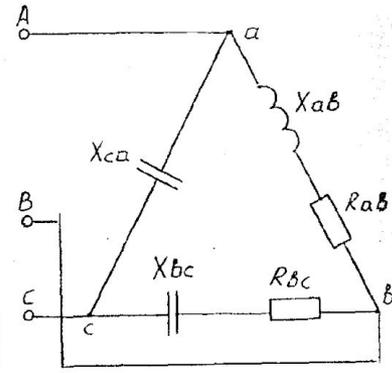


Рис. 6

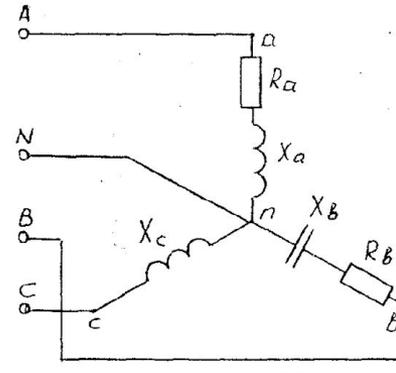


Рис. 11

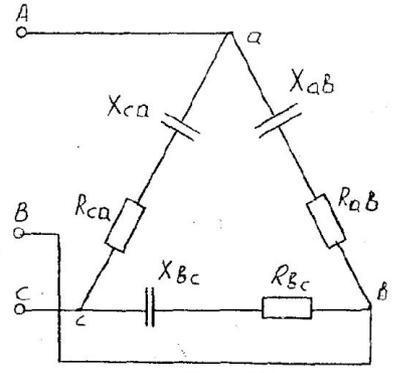


Рис. 12

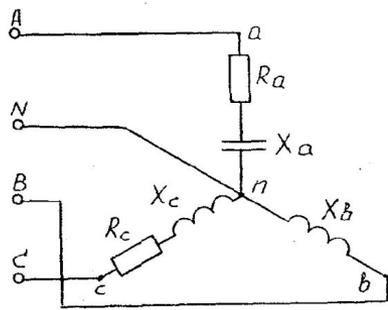


Рис. 13

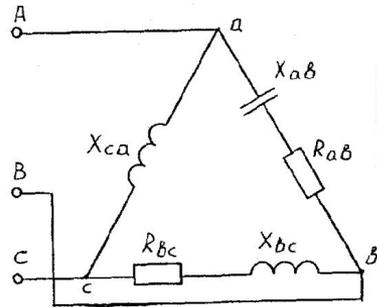


Рис. 14

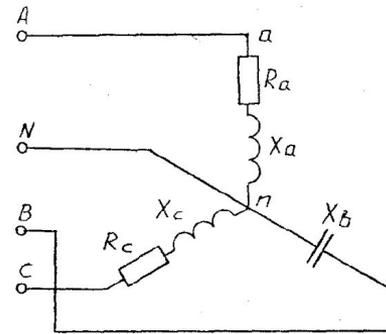


Рис. 19

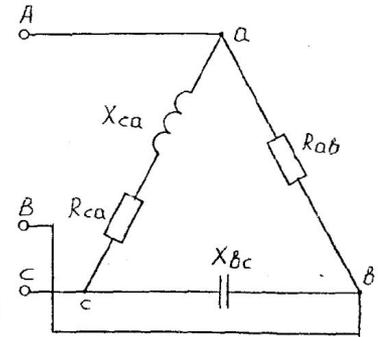


Рис. 20

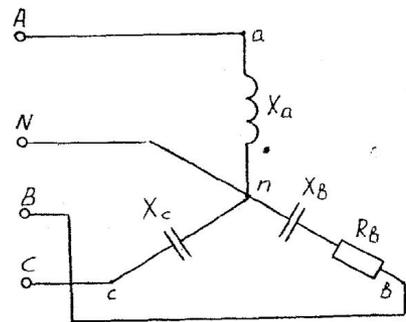


Рис. 15

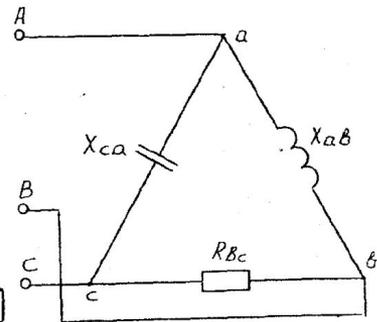


Рис. 16

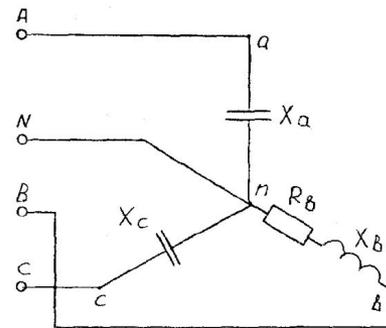


Рис. 21

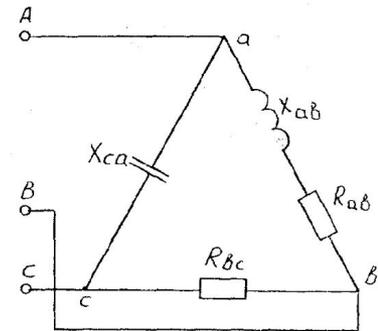


Рис. 22

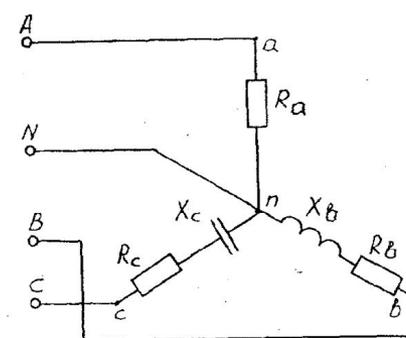


Рис. 17

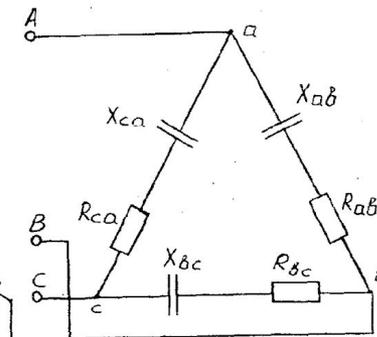


Рис. 18

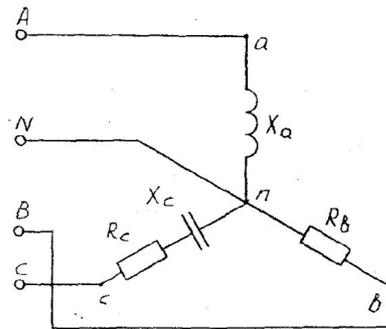


Рис. 23

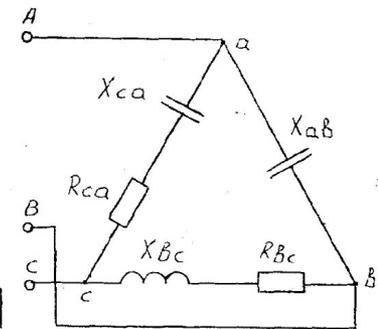


Рис. 24

Номера		Напряжение, $U_{Л}, В$	$R_{A'},$ Ом	$R_{B'},$ Ом	$R_{C'},$ Ом	$X_{A'},$ Ом	$X_{B'},$ Ом	$X_{C'},$ Ом	$R_{AB'},$ Ом	$R_{BC'},$ Ом	$R_{CA'},$ Ом	$X_{AB'},$ Ом	$X_{BC'},$ Ом	$X_{CA'},$ Ом
Вариант	Рисунок													
1	1	220	4	4	4	3	3	3						
2	2	380							6	8	16	8	6	12
3	3	660	4	8	12	3	6	16						
4	4	380								8		8		8
5	5	220	6	6	6	8	8	8						
6	6	220							6	8		4	5	10
7	7	380	8	4	16	6	3	12						
8	8	220							5		8	3	8	6
9	9	220	6				8	10						
10	10	380							8	8	8	6	6	6
11	11	380	4	6		3	4	10						
12	12	660							16	16	16	12	12	12
13	13	220	6		1	10	12	4						
14	14	220							8	4		6	3	8
15	15	220		8		6	5	7						

Номера		Напряжение, $U_{Л}, В$	$R_{A'},$ Ом	$R_{B'},$ Ом	$R_{C'},$ Ом	$X_{A'},$ Ом	$X_{B'},$ Ом	$X_{C'},$ Ом	$R_{AB'},$ Ом	$R_{BC'},$ Ом	$R_{CA'},$ Ом	$X_{AB'},$ Ом	$X_{BC'},$ Ом	$X_{CA'},$ Ом
Вариант	Рисунок													
16	16	220								10		8		6
17	17	660	10	9	7		6	5						
18	18	380							6	8	16	8	6	12
19	19	660	12		8	14	10	10						
20	20	220							8		4		10	8
21	21	380		4		8	5	7						
22	22	220							8	6		4		5
23	23	380		10	6	8		10						
24	24	220								8	6	8	5	3
25	11	380	6	4		6	4	10						
26	24	380								13	8	16	9	6
27	23	660		15	13	16		12						
28	22	380							12	10		8		14
29	21	660		8		16	8	15						
30	20	380							15		8		14	10

Номера		Напряжение, $U_{\text{ЛР}}$, В	$R_{A'}$, Ом	$R_{B'}$, Ом	$R_{C'}$, Ом	$X_{A'}$, Ом	$X_{B'}$, Ом	$X_{C'}$, Ом	$R_{AB'}$, Ом	$R_{BC'}$, Ом	$R_{CA'}$, Ом	$X_{AB'}$, Ом	$X_{BC'}$, Ом	$X_{CA'}$, Ом
Вариант	Рисунок													
31	19	380	10		6	12	8	10						
32	18	220							8	6	12	6	8	16
33	17	3.80	10	6	5		4	3						
34	16	220								12		10		8
35	15	380		14		10	12	10						
36	14	380							14	8		10	6	10
37	13	380	12		6	16	14	10						
38	12	220							6	6	6	8	8	8
39	11	220	8	4		6	6	8						
40	10	220							4	4	4	4	4	4
41	9	380	12				10	14						
42	8	380							10		10	6	16	8
43	7	220	4	3	8	3	4	6						
44	6	380							12	7		8	5	14
45	5	380	8	8	8	6	6	6						

Номера		Напряжение, $U_{л}, В$	$R_A,$ Ом	$R_B,$ Ом	$R_C,$ Ом	$X_A,$ Ом	$X_B,$ Ом	$X_C,$ Ом	$R_{AB},$ Ом	$R_{BC},$ Ом	$R_{CA},$ Ом	$X_{AB},$ Ом	$X_{BC},$ Ом	$X_{CA},$ Ом
Вариант	Рисунок													
46	4	220								10		10		10
47	3	380	8	4	16	6	3	12						
48	2	220									10	8	8	
49	1	380	8	8	8	6	6	6						
50	2	660									18	20	15	
51	3	660	16	20	16	12	16	12						
52	4	220								6		10		12
53	5	380	12	12	12	16	16	6						
54	6	380							16	10		12	8	14
55	7	660	12	14	16	10	12	14						
56	8	660							16		20	12	10	14
57	9	380	20				12	16						
58	10	660							15	12	16	12	8	14
59	11	220	3	6	10	4	6							
60	12	380							12	14	16	16	18	20

Построение векторных диаграмм трехфазного потребителя

- Покажем построение векторных диаграмм токов и напряжений трехфазного потребителя для различных режимов работы цепи, рассмотренных при выполнении лабораторной работы **«Исследование трехфазной цепи при соединении приемников по схеме «звезда»»**

Продолжит

ь

Примерные значения токов и напряжений

№	$U_a, \text{В}$	$U_b, \text{В}$	$U_c, \text{В}$	$U_{AB}, \text{В}$	$U_{BC}, \text{В}$	$U_{CA}, \text{В}$	$I_a, \text{А}$	$I_b, \text{А}$	$I_c, \text{А}$	$I_0, \text{А}$	Примечание
1	134	134	134	232	232	232	0,26	0,26	0,26	0	Симметричный режим с нейтральным проводом
2	134	134	134	232	232	232	0,26	0,26	0,26	-	Симметричный режим без нейтрального провода
3	134	134	134	232	232	232	0,26	0,26	-	0,26	Обрыв фазы С с нейтральным проводом
4	116	116	201	232	232	232	0,23	0,23	-	-	Обрыв фазы С без нейтрального провода
5	134	134	134	232	232	232	0,18	0,10	0,35	0,23	Несимметричный режим с нейтральным проводом
6	170	188	66	232	232	232	0,21	0,11	0,24	-	Несимметричный режим без нейтрального провода

Продолжит

ь

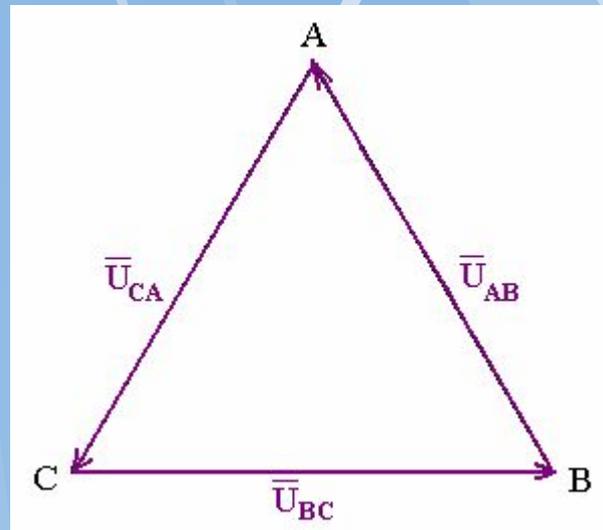
- Векторные диаграммы строим в виде треугольников.
- Стороны треугольника – линейные напряжения. Так как во всех режимах работы они имеют одинаковые значения, поэтому все треугольники будут равносторонние.
- На фазах в качестве нагрузки используются лампочки, то есть резистивные элементы. Поэтому на каждой из фаз А, В, С напряжение и ток будут совпадать по фазе – угол $\varphi=0$.

Продолжит

ь

- **1. Симметричный режим с нейтральным проводом**
- Сначала определяем масштаб, в котором будем строить векторные диаграммы: например для напряжений $1\text{см}=20\text{В}$, для токов $1\text{см}=0,2\text{А}$.

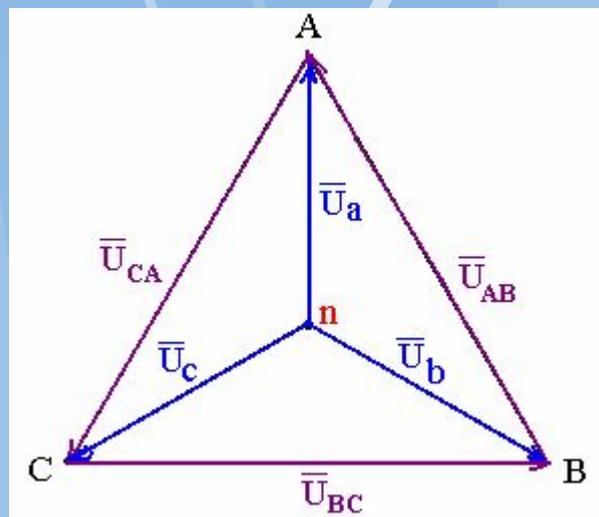
Строим равносторонний треугольник и указываем направления векторов линейных напряжений.



Продолжит

ь

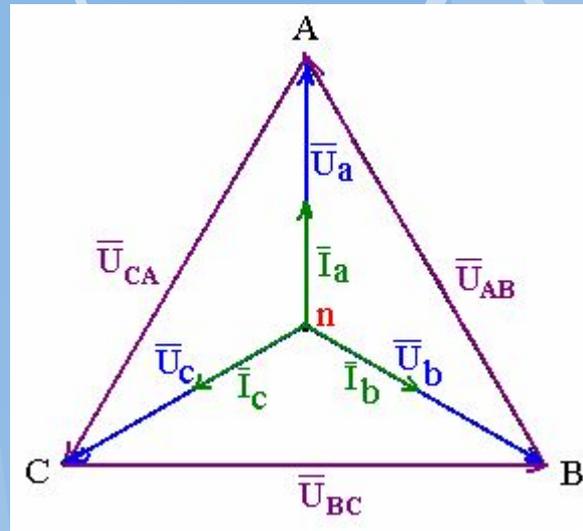
- 1. Симметричный режим с нейтральным проводом
- Так как режим симметричный, то нейтральная точка **n** будет находиться в центре треугольника (точка пересечения высот треугольника).
- Из нейтральной точки в вершину треугольника строим фазные напряжения.



Продолжит

ь

- 1. Симметричный режим с нейтральным проводом
- Учитывая масштаб, векторы фазных токов откладываем из нейтральной точки по направлению фазных напряжений $\varphi=0$.



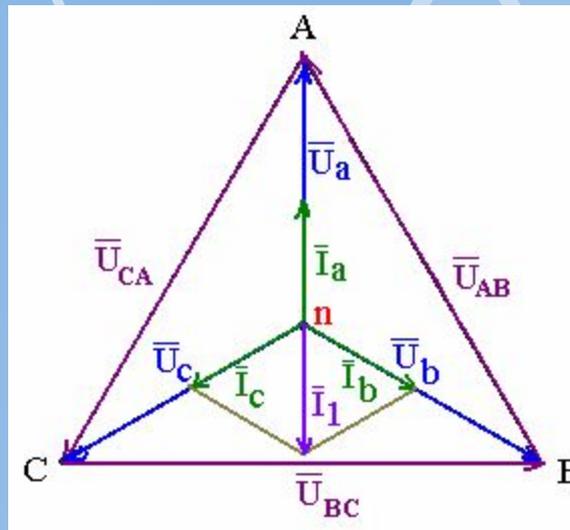
Продолжит

ь

- **1. Симметричный режим с нейтральным проводом**

- Определяем ток нейтрального провода: $\bar{I}_0 = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$

складываем векторы фазных токов по правилу параллелограмма: сначала два произвольно выбранных тока, потом к их сумме прибавляем третий вектор.

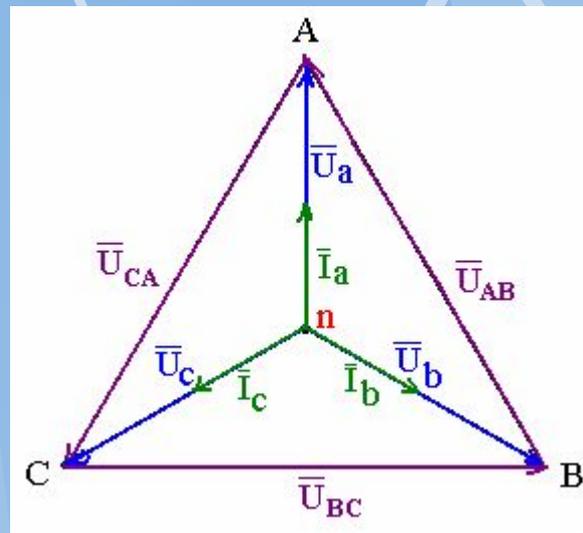


Так как векторы I_a и I_1 лежат на одной прямой, равны по длине, но направлены в противоположные стороны, то их сумма равна нулю: $I_0=0$.

Продолжит

ь

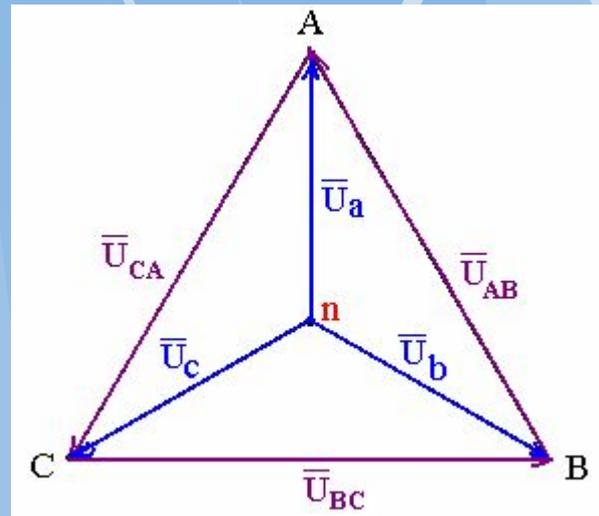
- **2. Симметричный режим без нейтрального провода**
- Данные этого режима работы совпадают с данными 1-го режима, поэтому векторная диаграмма будет эквивалентна предыдущей.



Продолжит

ь

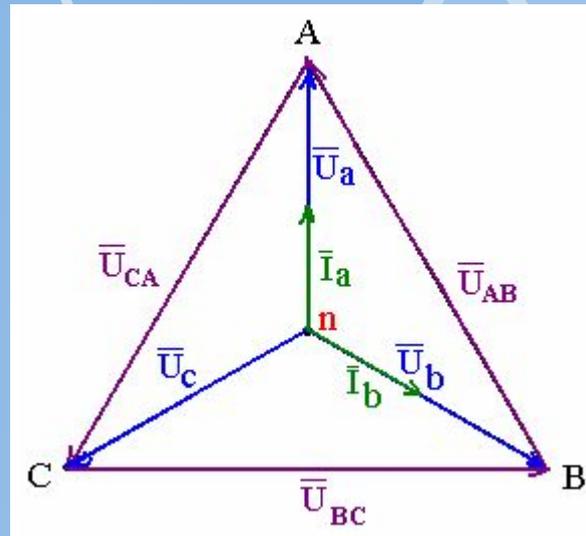
- **3. Обрыв фазы С с нейтральным проводом**
- Линейные и фазные напряжения в данном режиме имеют значения, равные данным 1 и 2 режимов, поэтому построение напряжений такое же, как и в предыдущих случаях.



Продолжит

ь

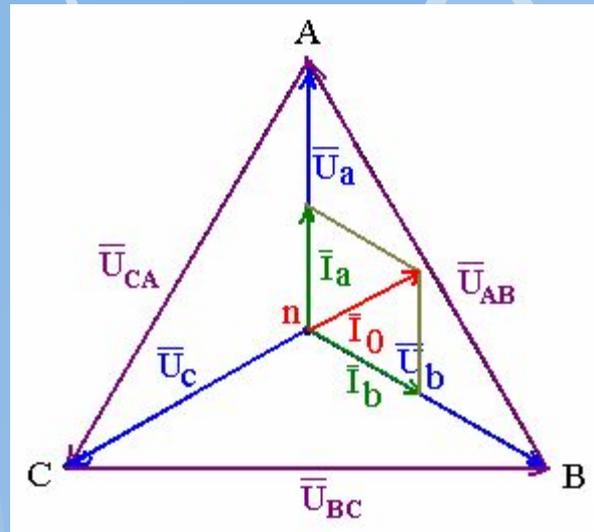
- 3. Обрыв фазы С с нейтральным проводом
- Так как ток фазы С отсутствует, откладываем векторы фазных токов \bar{I}_a и \bar{I}_b .



Продолжит

ь

- 3. Обрыв фазы С с нейтральным проводом
- Определяем вектор тока нейтрального провода I_0 как сумму векторов фазных токов I_a и I_b .

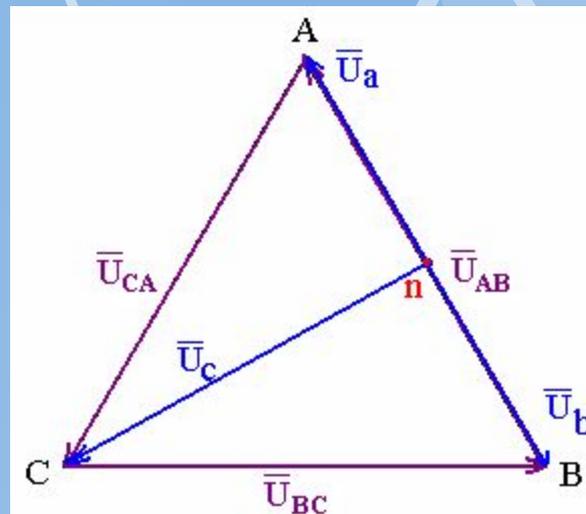


Продолжит

ь

- 4. Обрыв фазы С без нейтрального провода

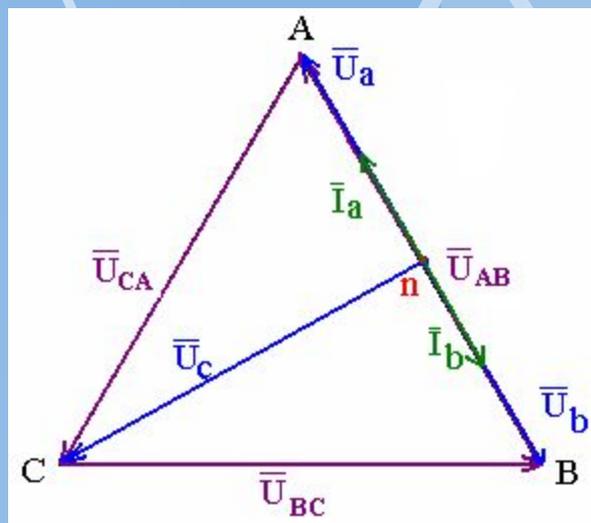
- Так как $U_a = U_b = U_l / 2$, то нейтральная точка **n** будет находиться на середине стороны АВ.



Продолжит

ь

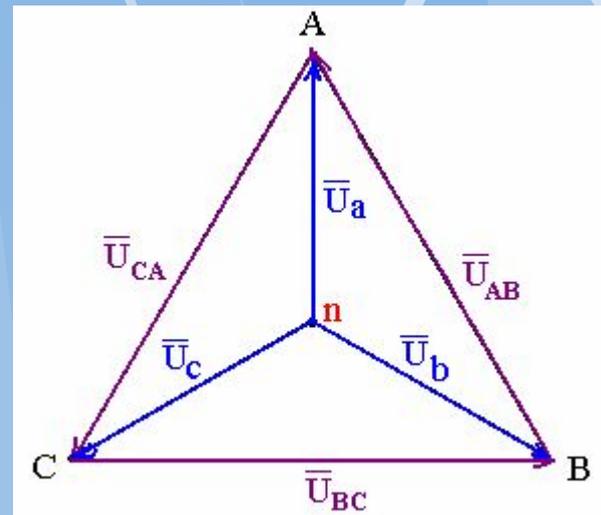
- 4. Обрыв фазы С без нейтрального провода
- Из нейтральной точки откладываем векторы фазных токов \bar{I}_a и \bar{I}_b .



Продолжит

ь

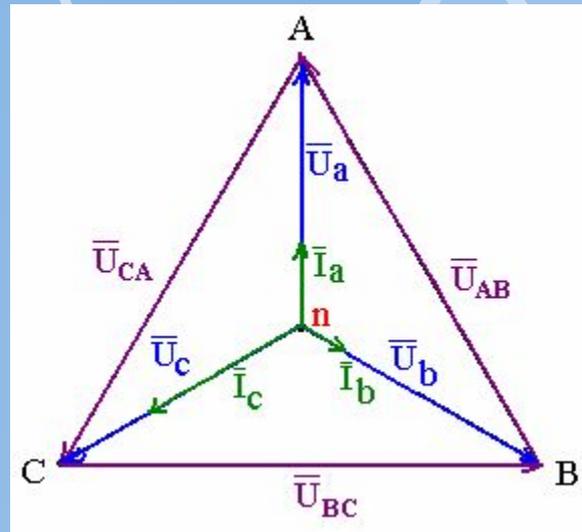
- **5. Несимметричный режим с нейтральным проводом**
- Линейные и фазные напряжения в данном режиме имеют значения, равные данным 1, 2, 3 режимов, поэтому построение напряжений такое же, как и в данных случаях.



Продолжит

ь

- 5. Несимметричный режим с нейтральным проводом
- Фазные токи имеют различные значения $I_a \neq I_b \neq I_c$.
- Строим векторы фазных токов строго соблюдая масштаб.



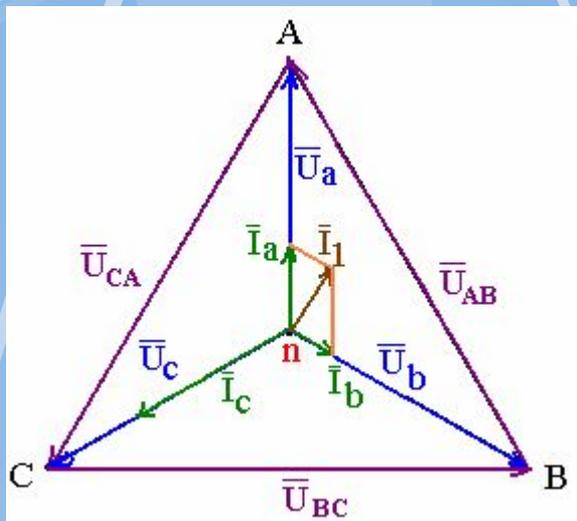
Продолжит

ь

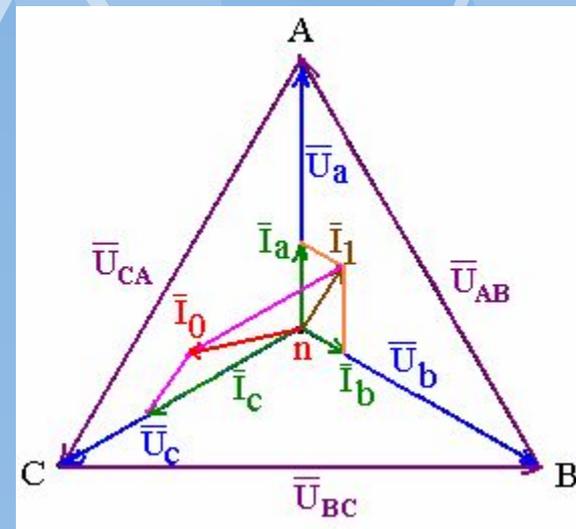
- **5. Несимметричный режим с нейтральным проводом**

- Определяем ток нейтрального провода: $\bar{I}_0 = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$

складываем векторы фазных токов по правилу параллелограмма: сначала два произвольно выбранных тока, потом к их сумме прибавляем третий вектор.



$$\bar{I}_a + \bar{I}_b = \bar{I}_1$$

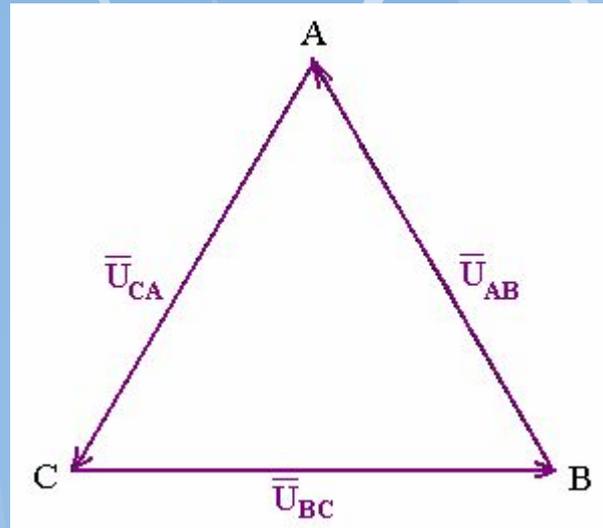


$$\bar{I}_1 + \bar{I}_c = \bar{I}_0$$

Продолжит

ь

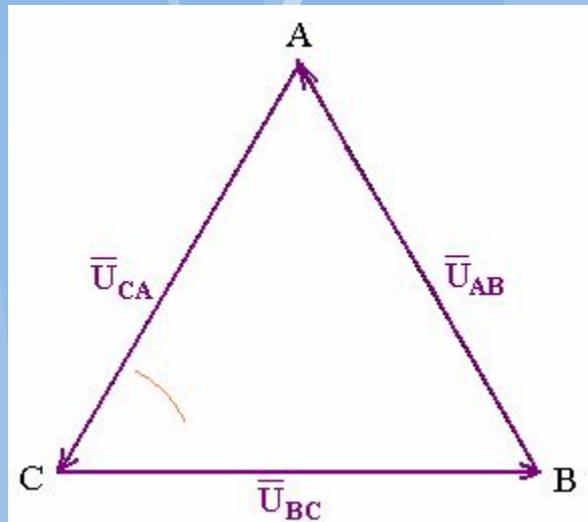
- **6. Несимметричный режим без нейтрального провода**
- Как и в предыдущих случаях, сначала строим равносторонний треугольник и указываем направления векторов линейных напряжений.



Продолжит

ь

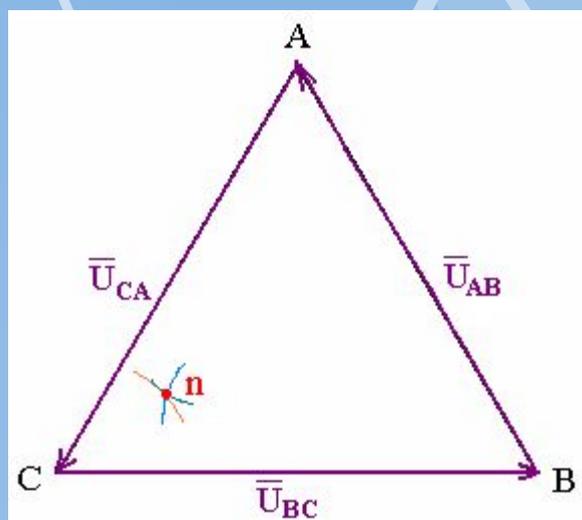
- **6. Несимметричный режим без нейтрального провода**
- Определяем положение нейтральной точки **n** как точку пересечения фазных напряжений U_a, U_b, U_c .
- Для этого раствором циркуля, равным длине фазного напряжения, например U_c , делаем отметку внутри треугольника. Острый конец циркуля находится в вершине соответствующей фазы, в нашем случае в вершине С.



Продолжит

ь

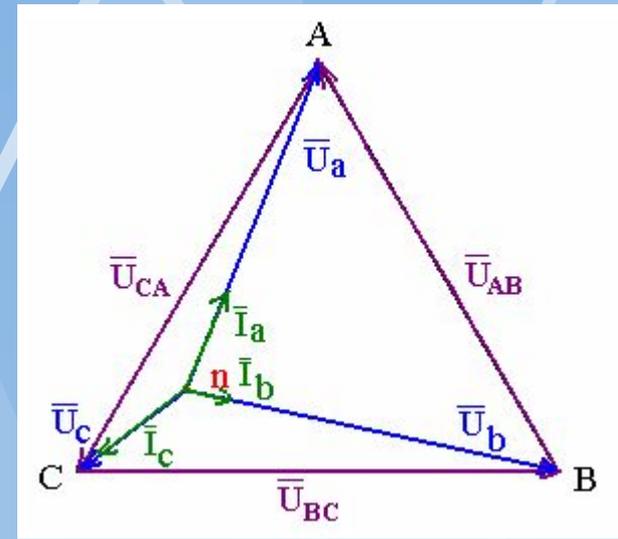
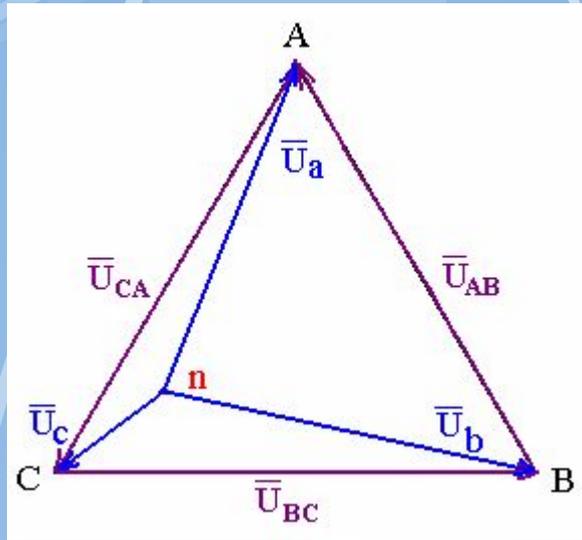
- **6. Несимметричный режим без нейтрального провода**
- Аналогично делаем отметки для U_a и U_b .
- Точка пересечения полученных отметок циркуля определит положение нейтральной точки **n**.



Продолжит

ь

- **6. Несимметричный режим без нейтрального провода**
- Из нейтральной точки **n** строим векторы фазных напряжений.



- Векторы фазных токов откладываем из нейтральной точки по направлению фазных напряжений, поскольку в нашем примере

$$\varphi=0.$$

[Вернуться
назад](#)