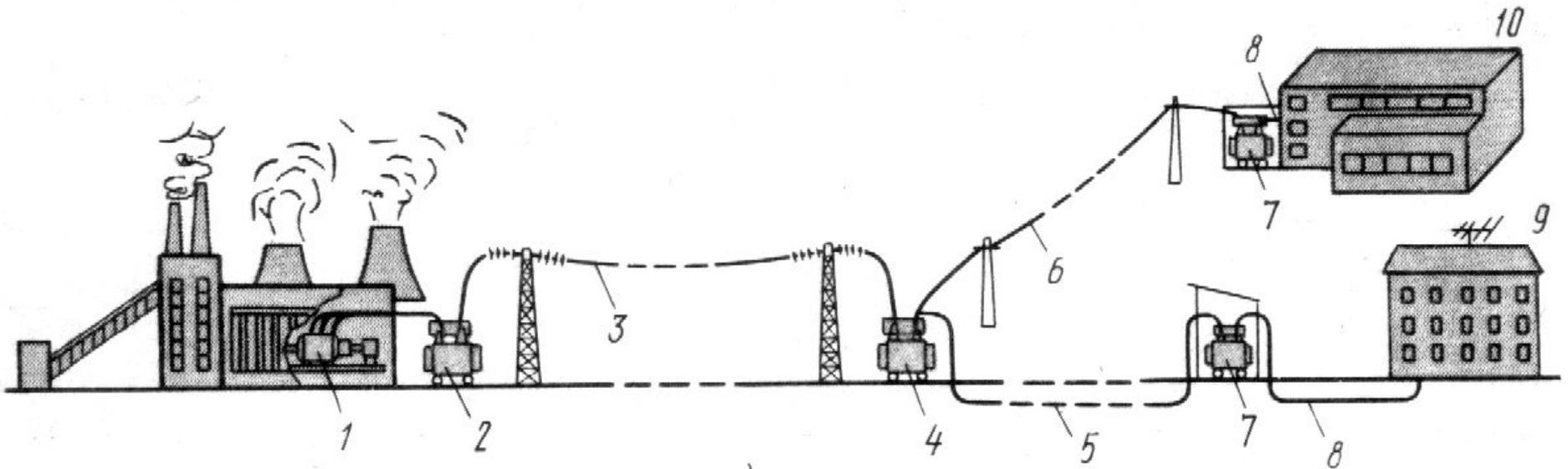


ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

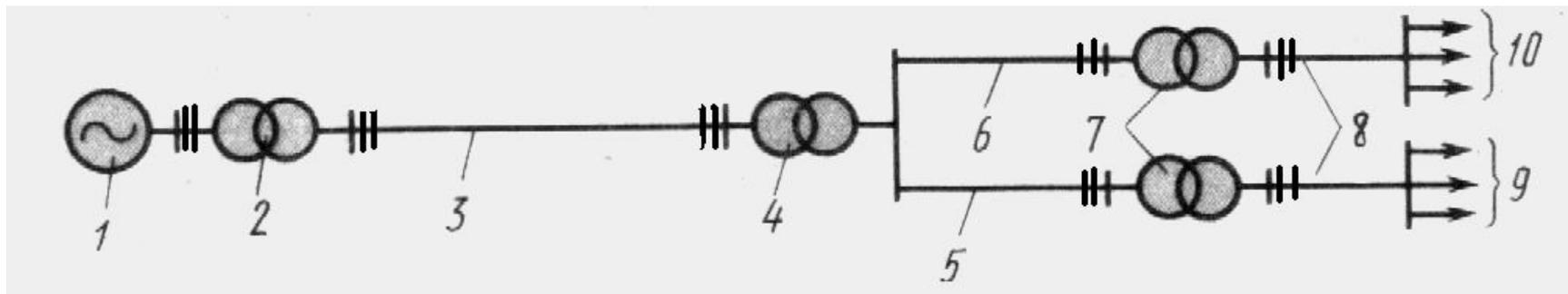
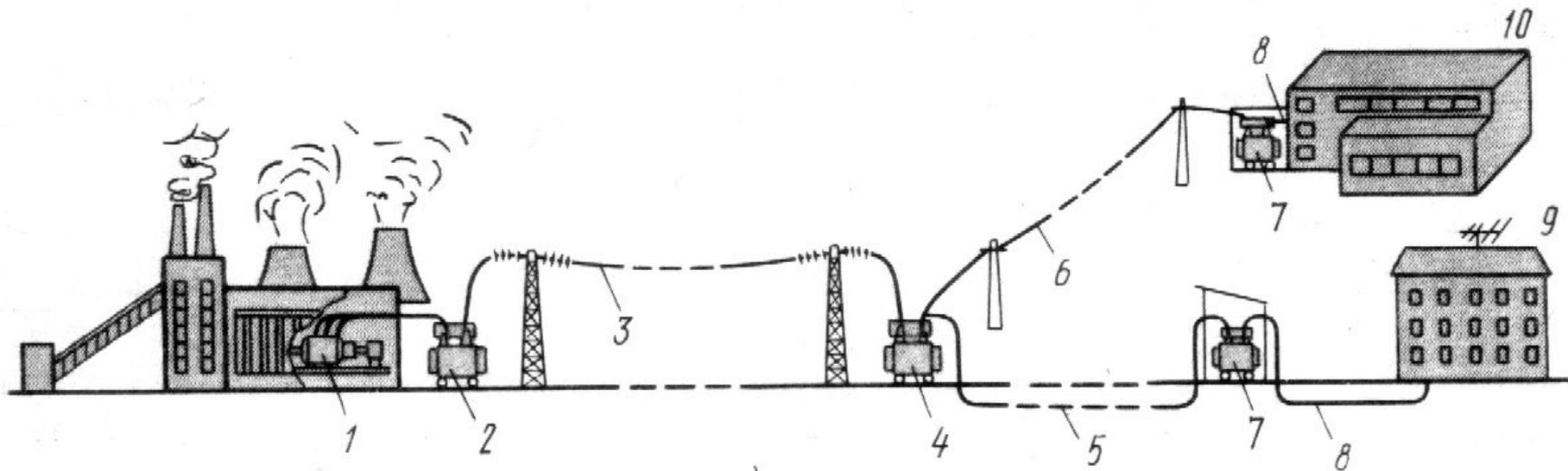
Трёхфазные цепи

Трехфазная цепь является частным случаем многофазных систем, представляющих собой совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, различающиеся по фазе и создаваемые общим источником энергии.

Трехфазные цепи — наиболее распространенные в современной электроэнергетике. Это объясняется рядом их преимуществ по сравнению как с однофазными, так и с другими многофазными цепями (экономичность передачи энергии, возможность сравнительно простого получения кругового вращающегося магнитного поля, а также двух различных эксплуатационных напряжений в одной установке: фазного и линейного).

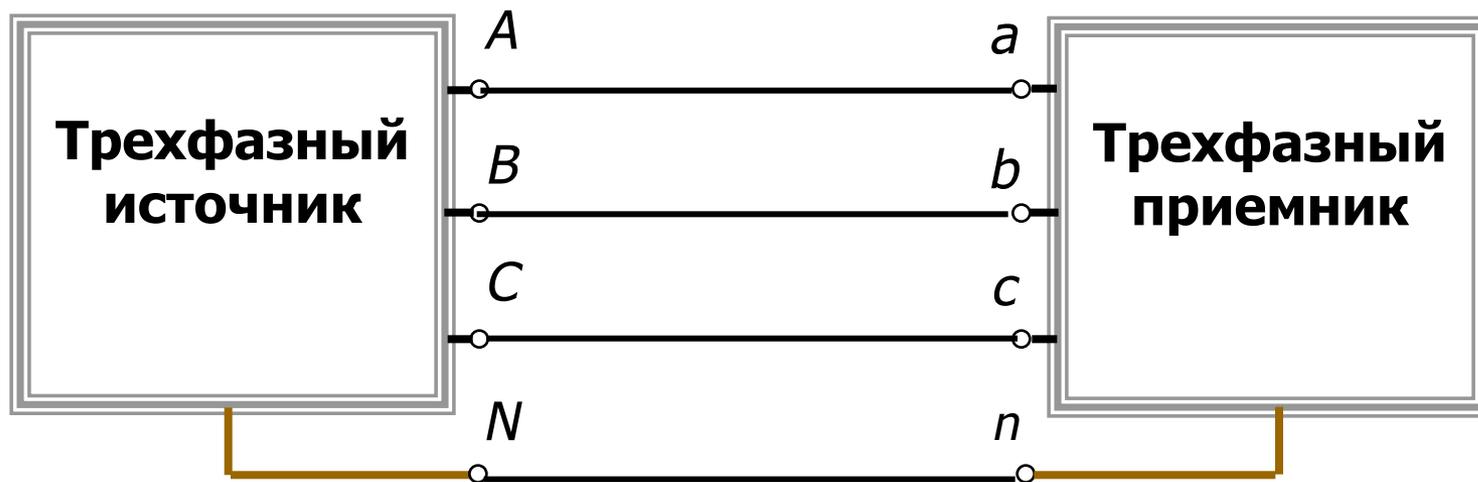


Трехфазная цепь состоит из трех основных элементов (частей): трехфазного генератора (1), в котором механическая энергия преобразуется в электрическую с трехфазной системой ЭДС, линии передачи (3, 5, 6, 8) и приемников (потребителей) (9,10), которые могут быть как трехфазными (например, электродвигатели), так и однофазными (например, лампы освещения).



Кроме этого в трехфазную систему при передаче на большие расстояния входят повышающие (2) и понижающие (4, 7) трансформаторы .

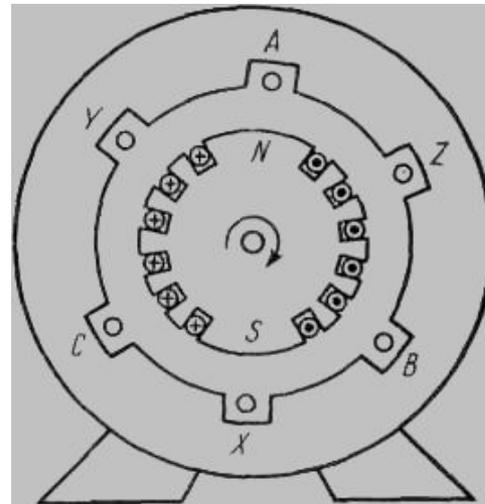
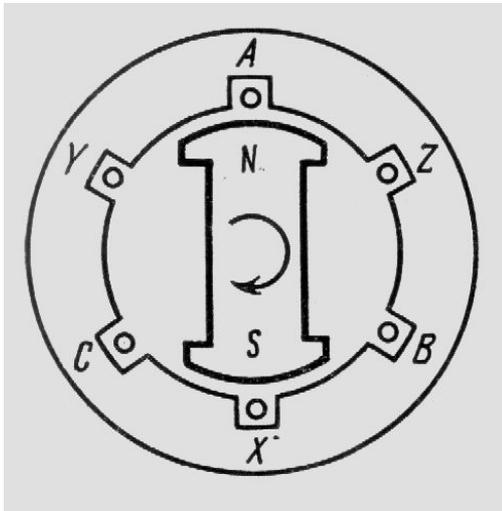
Каждый из трех источников (потребителей) вместе с соединительными проводами принято называть *фазой*. Таким образом, понятие «фаза» имеет в электротехнике два значения: 1) аргумент синусоидально изменяющейся величины; 2) часть многофазной системы электрических цепей. Цепи в зависимости от числа фаз называют двухфазными, трехфазными, шестифазными.



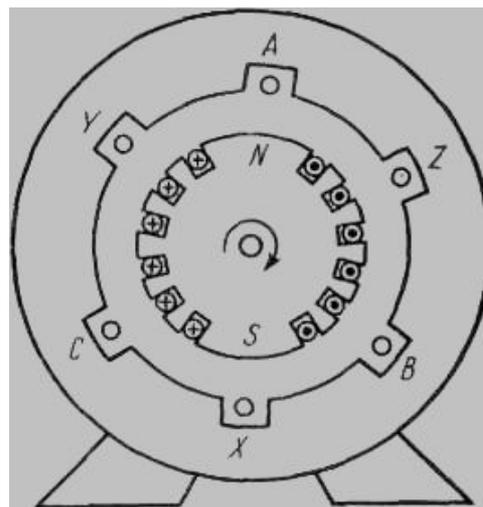
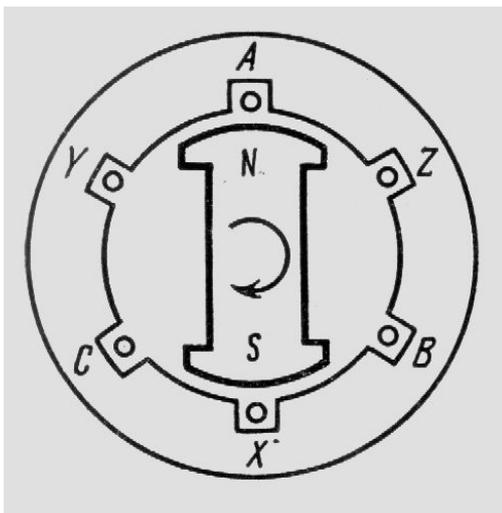
Функциональная схема трехфазной цепи

Трехфазный переменный электрический ток получают в трехфазных генераторах. Это устройство преобразующее механическую энергию вращения в электрическую (турбогенератор, гидрогенератор или др.). На рисунке схематически изображена модель трехфазного генератора. Каждая фаза обмотки условно изображена одним витком, витки сдвинуты относительно друг друга на угол 120° .

Начала фаз обозначены A, B, C , а концы — X, Y, Z .

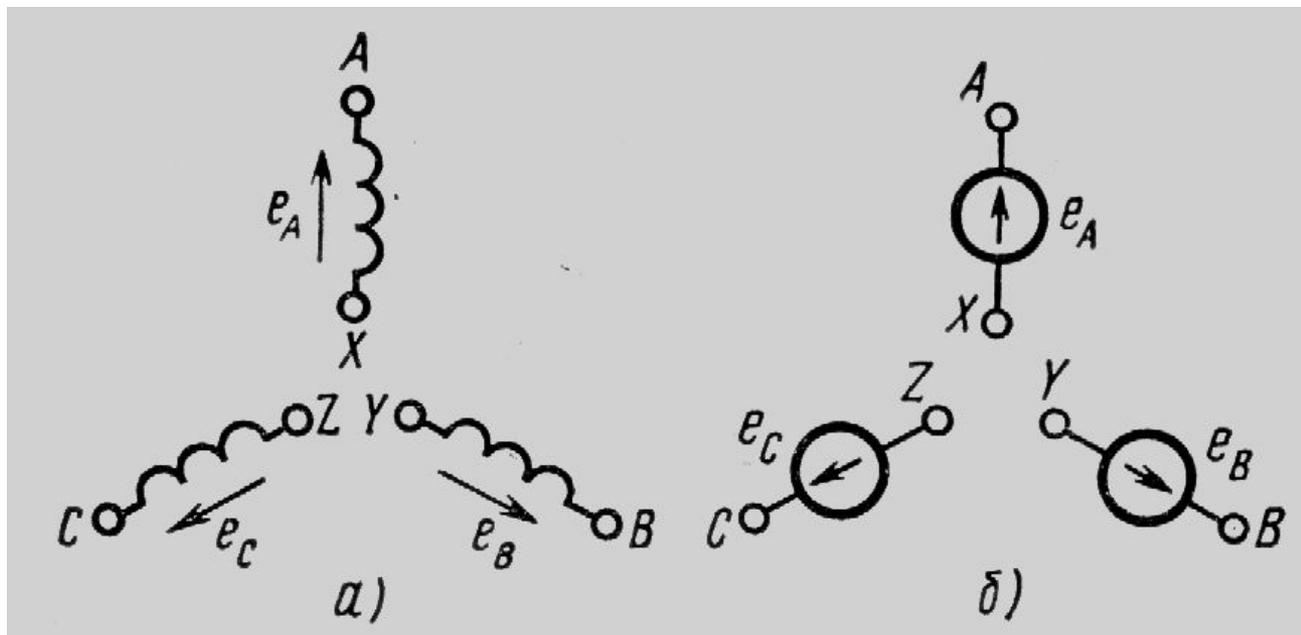


При вращении ротора, представляющего собой электромагнит (многовитковый проволочный), возбуждаемый постоянным током, в неподвижных обмотках статора наводятся ЭДС, имеющие одинаковые амплитуды и сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол 120° .



На схемах обмотку (или фазу) источника переменного ЭДС обозначают как показано ниже. За условное положительное направление ЭДС в каждой фазе принимают направление от конца к началу.

Система ЭДС с равными амплитудами и сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол 120° называется *симметричной*. Если хоть одно из условий не выполняется, то система будет *несимметричной*.



Вся история развития трехфазных цепей — наглядная иллюстрация постоянно возникающих технико-экономических противоречий и изыскания путей их разрешения.

В начале 70-х годов XIX в., когда был создан экономичный генератор постоянного тока и началось массовое применение электрической энергии для целей освещения (свеча Яблочкова и др.) возникла проблема централизованного производства и распределения энергии.

Первые электростанции вырабатывали постоянный ток. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что экономичность передачи электроэнергии возрастает при повышении напряжения.

Но постоянный ток, нельзя было трансформировать (повысить с помощью трансформатора), поэтому применение высокого постоянного напряжения было ограниченным. Естественной была попытка использовать переменный однофазный ток, который легко трансформировался (уже были созданы простейшие трансформаторы).

Но возникло другое противоречие: однофазные двигатели переменного тока имели малый начальный пусковой момент, следовательно, они не удовлетворяли требованиям промышленного электропривода. Поэтому применение однофазного тока в 70—80-х годах 19 века было ограничено лишь областью электрического освещения.

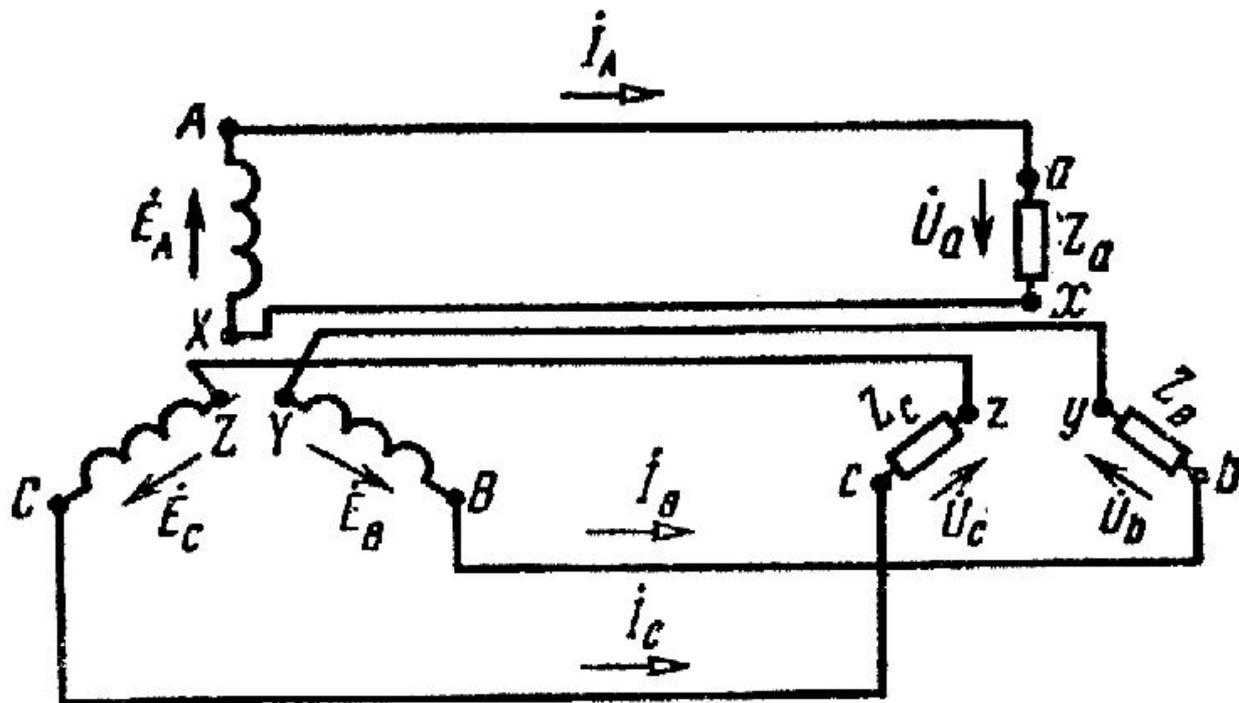
Важнейшей предпосылкой разработки многофазных систем явилось открытие явления вращающегося магнитного поля (Г. Феррарис и Н. Тесла, 1888). Первые электрические двигатели были двухфазными, но они имели плохие рабочие характеристики. Наиболее рациональной оказалась трехфазная система.

В разработку трехфазных систем большой вклад внесли ученые и инженеры разных стран: Н. Тесла, М. О. Доливо-Добровольский, Ф. Хазельвандер, М. Депре, Ч. Бредли. Наибольшая заслуга среди них принадлежит выдающемуся русскому электротехнику М. О. Доливо-Добровольскому, сумевшему придать своим работам практический характер, создавшему трехфазные двигатели, трансформаторы, разработавшему четырехпроводную и трехпроводную цепи.

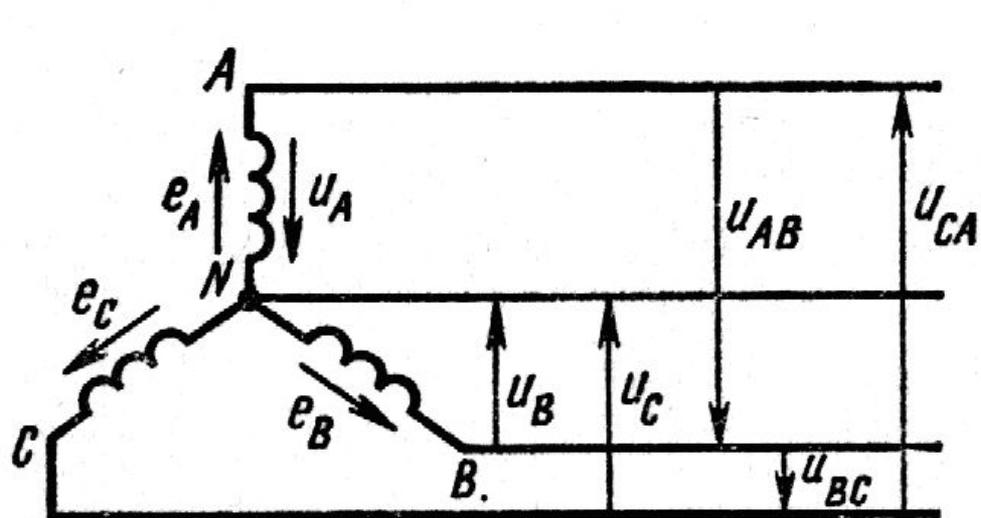
Убедительной демонстрацией преимуществ трехфазных цепей была знаменитая Лауфен-Франкфуртская электропередача (1891 г., длина 170 км, напряжение $U = 15$ кВ), сооруженная при активном участии М. О. Доливо-Добровольского. С этого времени начинается бурное развитие электрификации.

Подавляющее большинство дальних и сверхдальних линий электропередач в нашей стране осуществляется при переменном трехфазном напряжении 110—750 кВ.

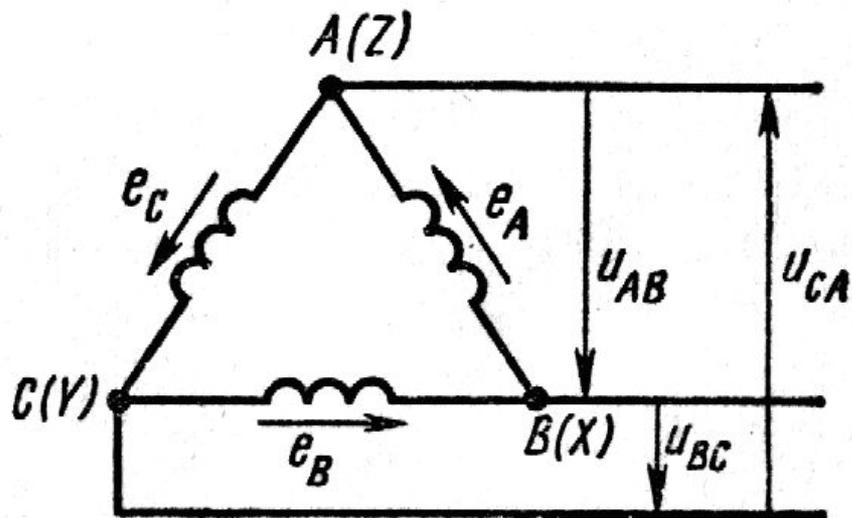
Если фазы обмотки генератора не соединены между собой, то они образуют **несвязанную** трехфазную систему цепей. В этом случае каждая из фаз должна соединяться со своим приемником двумя проводами. Несвязанные системы не получили применения вследствие их неэкономичности, вызванной большим числом проводов, соединяющих источник питания и приемники. В схеме представленной ниже таких проводов будет шесть.



Более совершенными и экономичными являются **связанные** цепи, в которых фазы обмоток соединены между собой. Основные схемы соединения трехфазных цепей: соединение **звездой** (а) и **треугольником** (б), разработанные и внедренные в практику М.О. Доливо-Добровольским в начале 90-х годов 19 века.



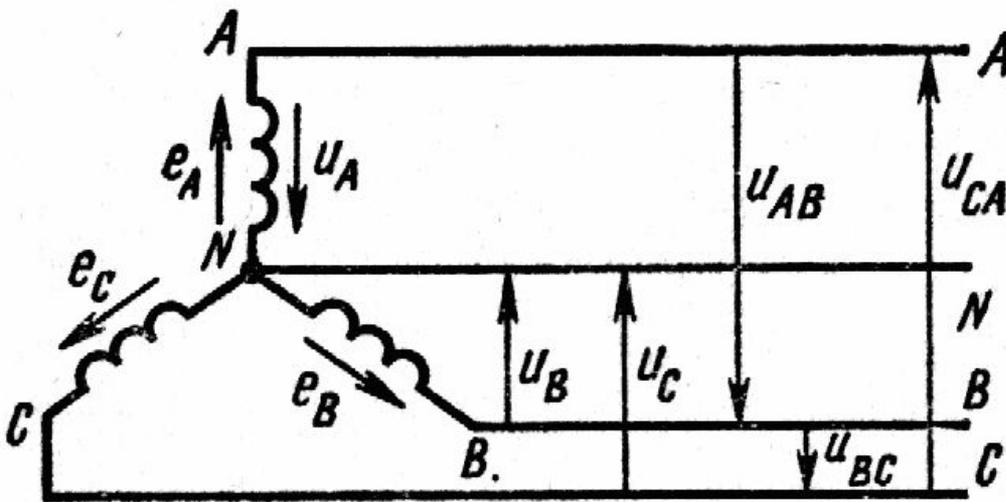
а)



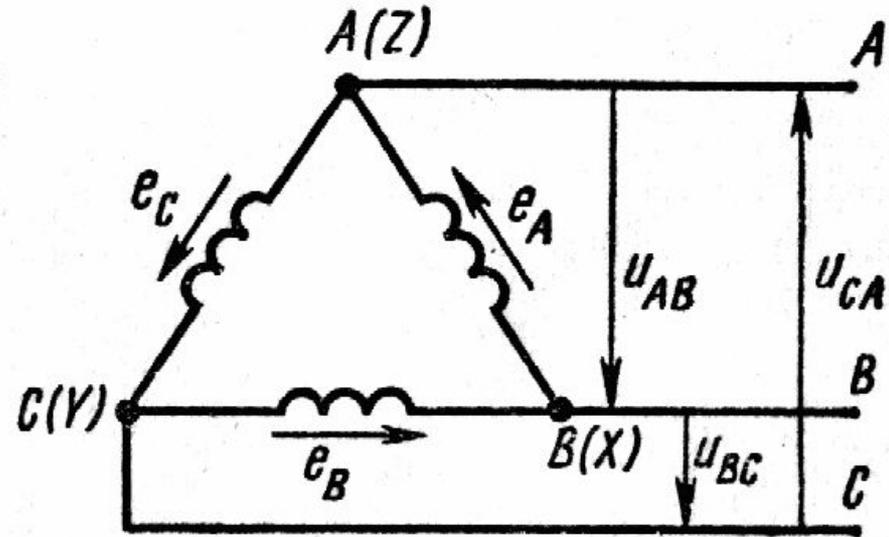
б)

В схеме соединения звездой концы всех фаз (X , Y , Z) соединяют в одну точку N , а к началам (A , B , C) подключают провода, идущие к потребителям (рис. а).

Схема соединения треугольником образуется последовательным подключением трех фаз друг за другом, т.е. к концу X подключают начало B , к концу Y подключают начало C , к концу Z подключают начало A (рис. б)

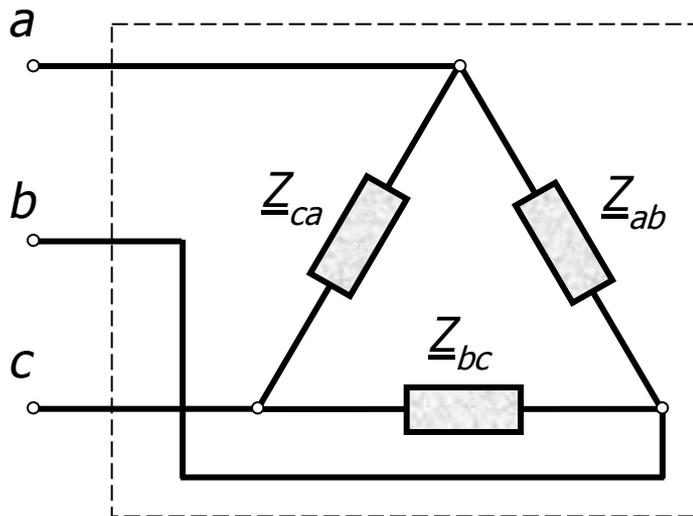


а)

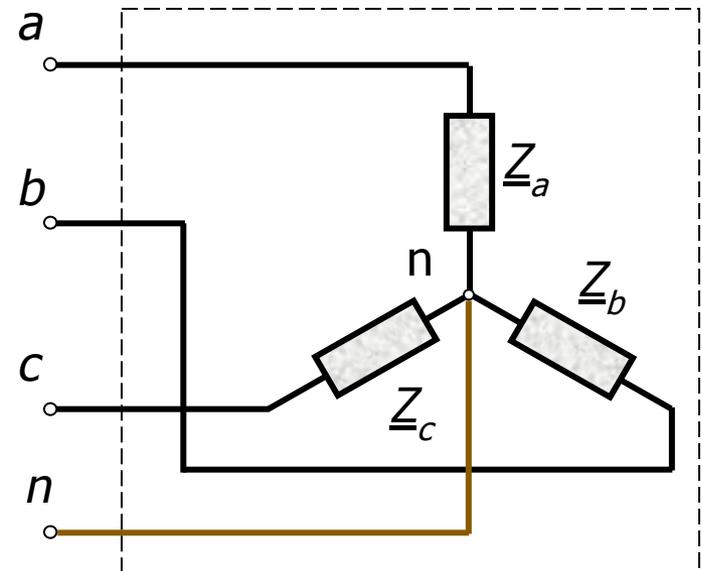


б)

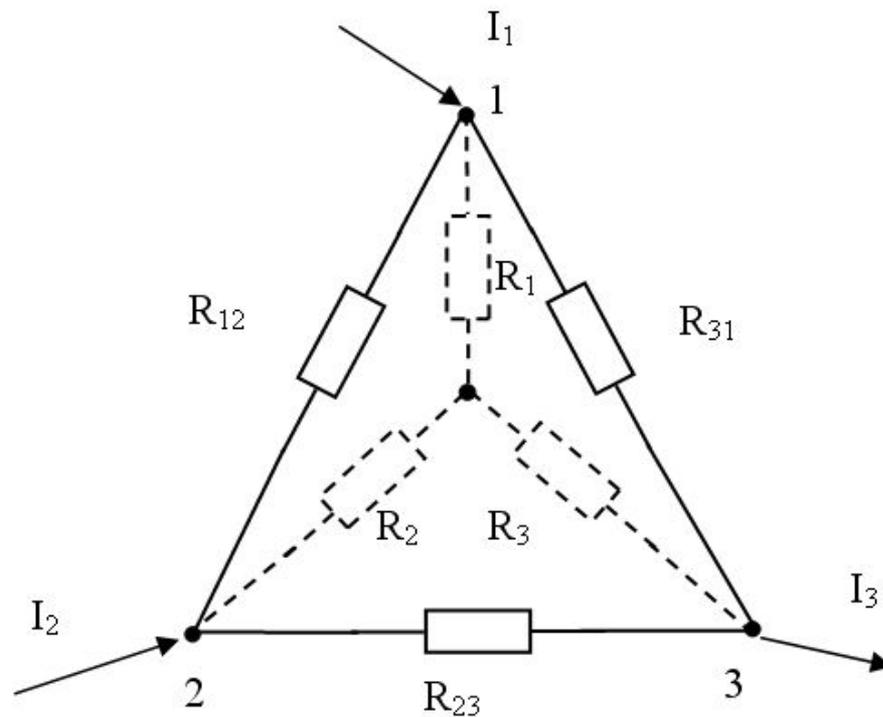
В приемнике (потребителе) энергии начала фаз обозначают малыми буквами (**a**, **b**, **c**), а концы фаз (**x**, **y**, **z**).



Соединение фаз приемника треугольником



Соединение фаз приемника звездой



Формулы перехода треугольник - звезда

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_3 = \frac{R_{23} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

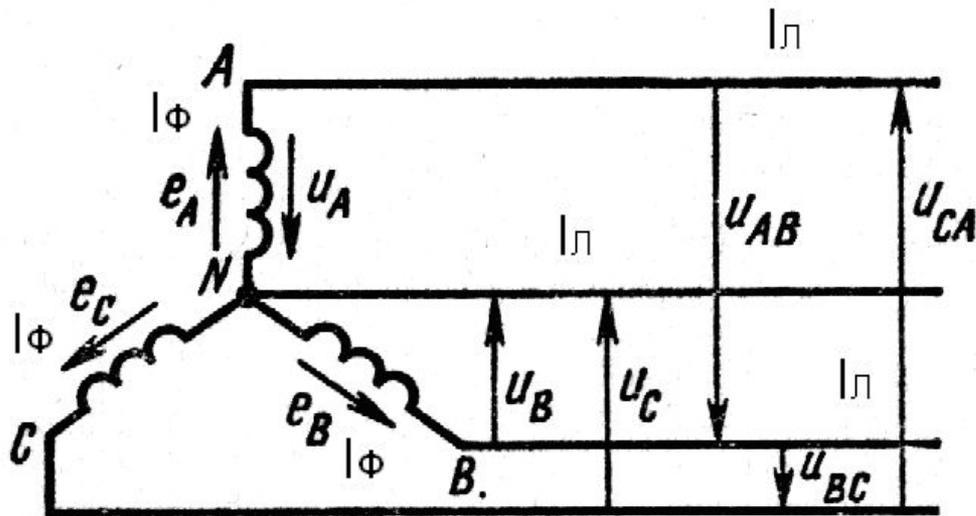
Формулы перехода звезда - треугольник

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}$$

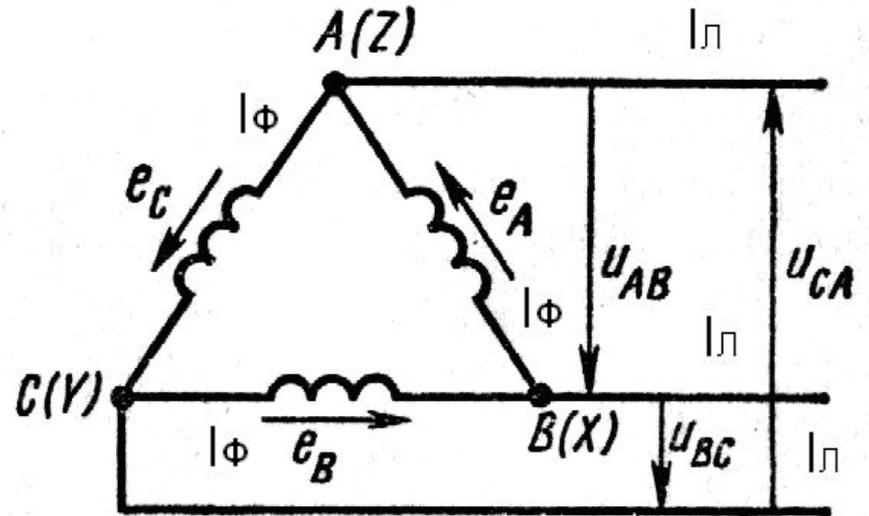
$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 \cdot R_1}{R_2}$$

Начала фаз источника (**A, B, C**) соединяют с началом фаз потребителей (**a, b, c**) с помощью проводов. Данные провода называются **линейными**, а токи протекающие по ним соответственно **линейными** токами ($I_{л}$). Между линейными проводами, т.е. между началами разных фаз измеряют **линейные** напряжения ($U_{л}$) (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}). По обмоткам фаз источников и цепям фаз потребителей протекают **фазные** токи (I_{ϕ}). А напряжения между началом и концом каждой фазы – **фазными** напряжениями (U_{ϕ}) (U_A, U_B, U_C).

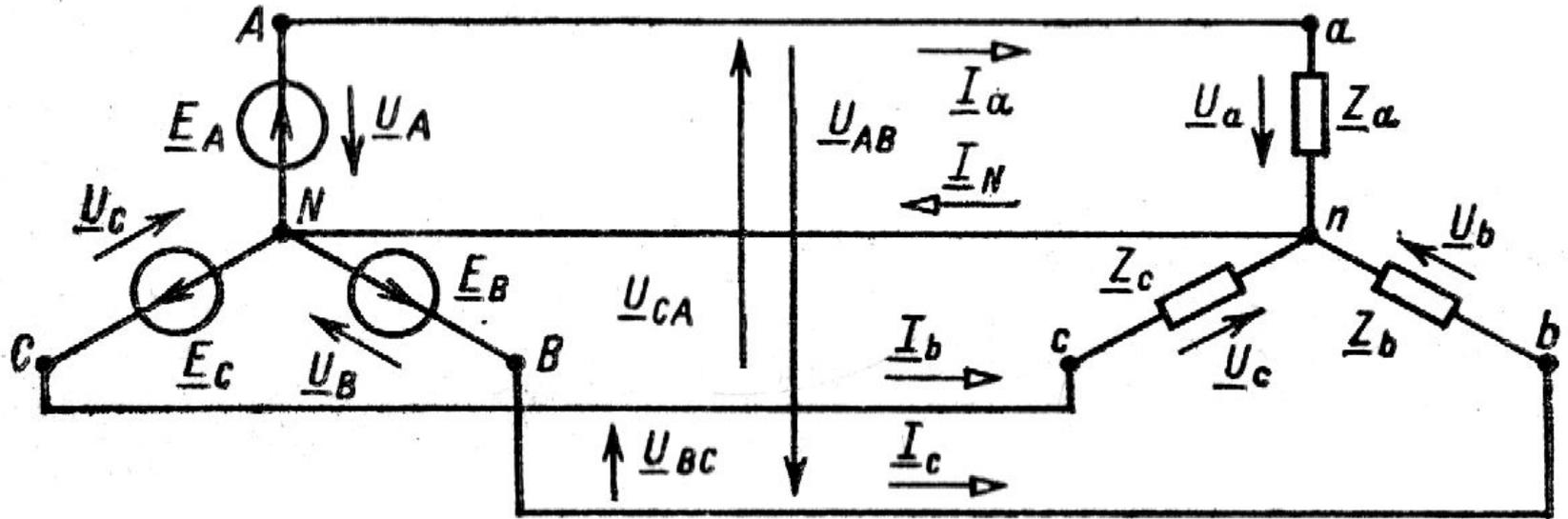


а)



б)

Нейтральные точки может соединять **нейтральный** провод N-n. В данном случае цепь будет четырехпроводной. При отсутствии данного соединительного провода, между нейтралью можно измерить напряжение смещения нейтрали U_{Nn} . При этом цепь будет трехпроводной. За условное положительное направление фазных напряжений принимают направление от начала к концу фаз обмоток, а линейных напряжений – от начала одной фазы к началу другой.



Нейтральные точки может соединять **нейтральный** провод N-n. В данном случае цепь будет четырехпроводной. При отсутствии данного соединительного провода, между нейтралью можно измерить напряжение смещения нейтрали U_{Nn} . При этом цепь будет трехпроводной. За условное положительное направление фазных напряжений принимают направление от начала к концу фаз обмоток, а линейных напряжений – от начала одной фазы к началу другой.

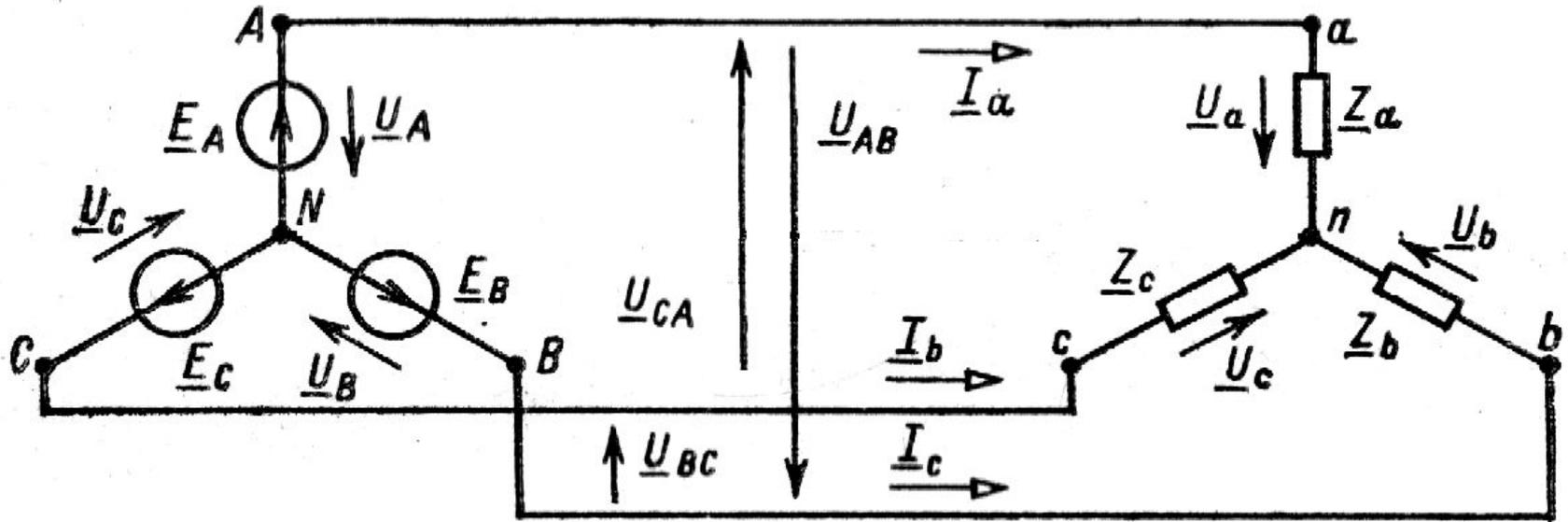
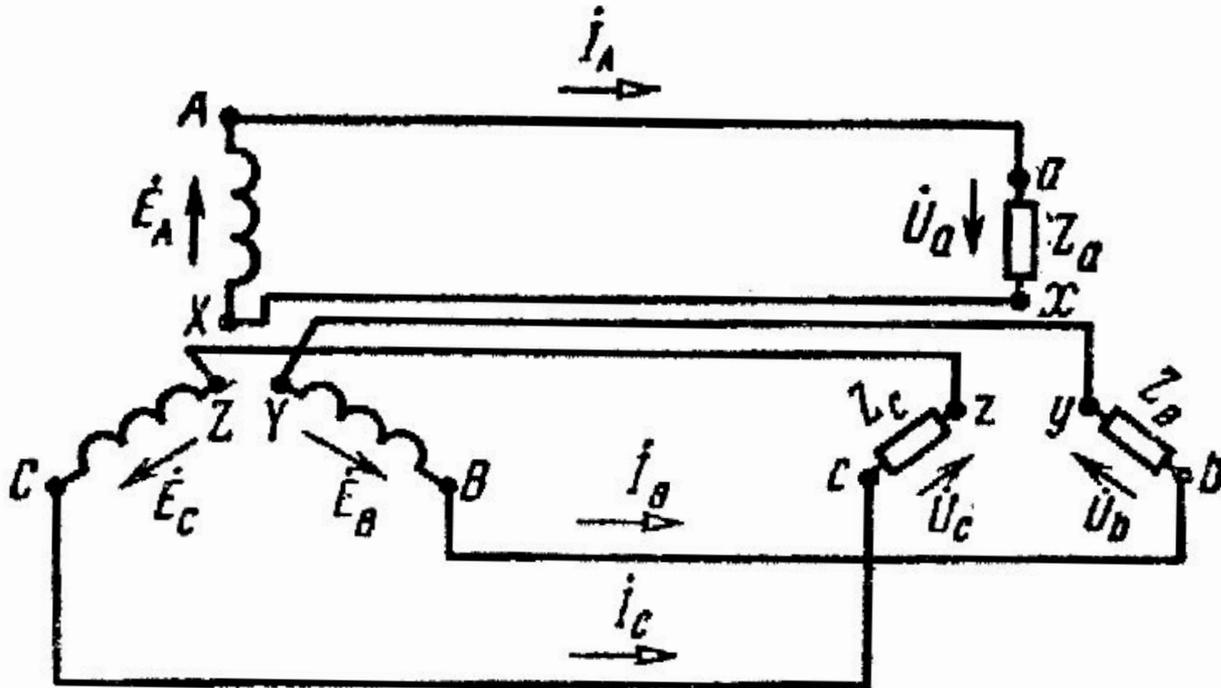
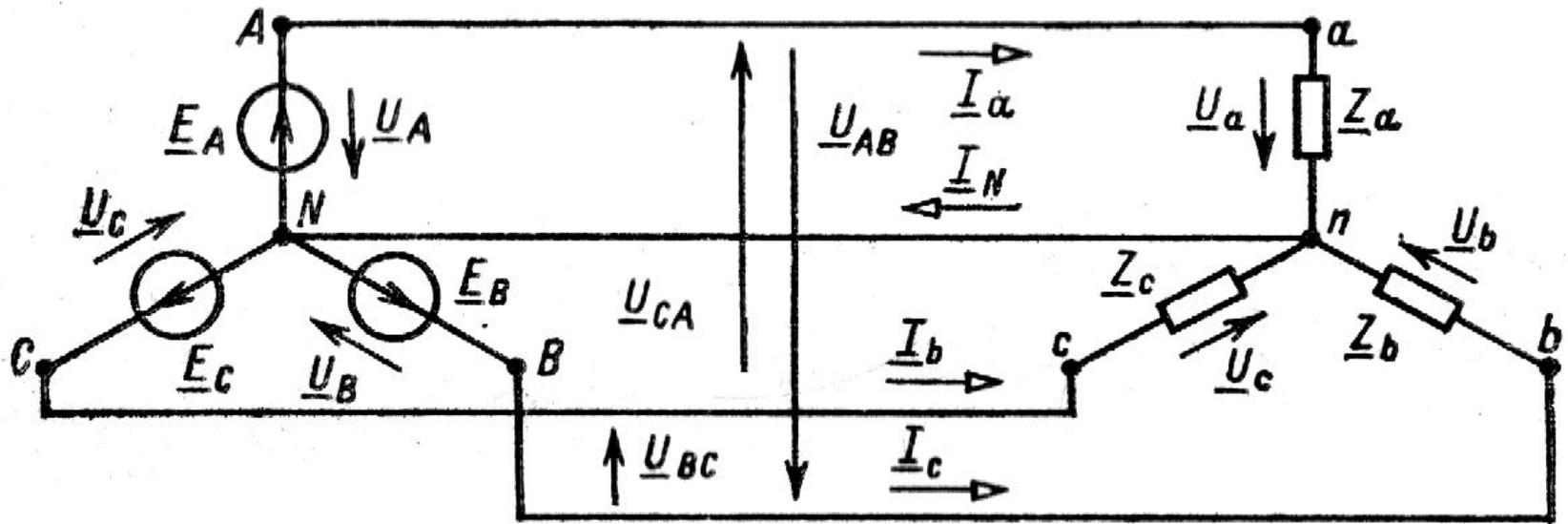


Схема соединений звезда – звезда с нейтральным проводом.

Если в несвязанной трехфазной системе обратные провода всех фаз объединить в один, общий для всех фаз провод, то получим так называемую связанную четырехпроводную систему звезда—звезда с нейтральным проводом



В этой системе нейтральная точка приемника n соединена с нейтральной точкой генератора N , и так как потенциал последней принят равным нулю, то и потенциал нейтральной точки приемника будет равен нулю (конечно, в том случае, если сопротивлением нейтрального провода можно пренебречь).

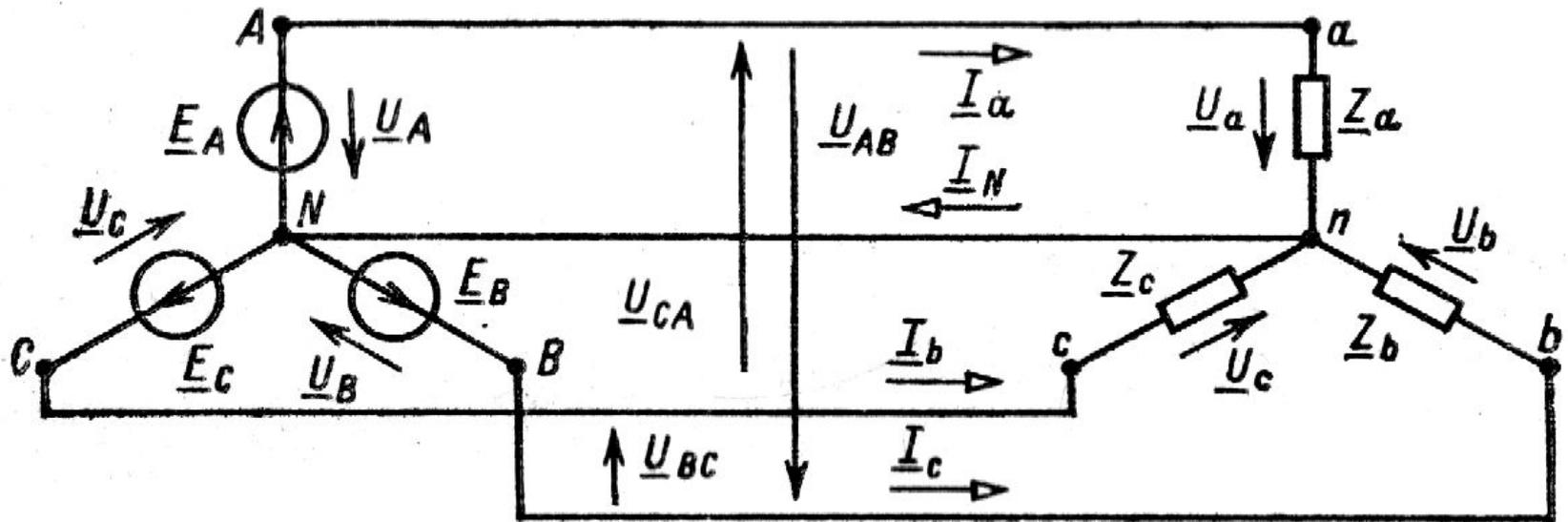


Фазные напряжения приемника в этой схеме равны фазным напряжениям генератора:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A$$

$$\underline{U}_b = \underline{U}_B$$

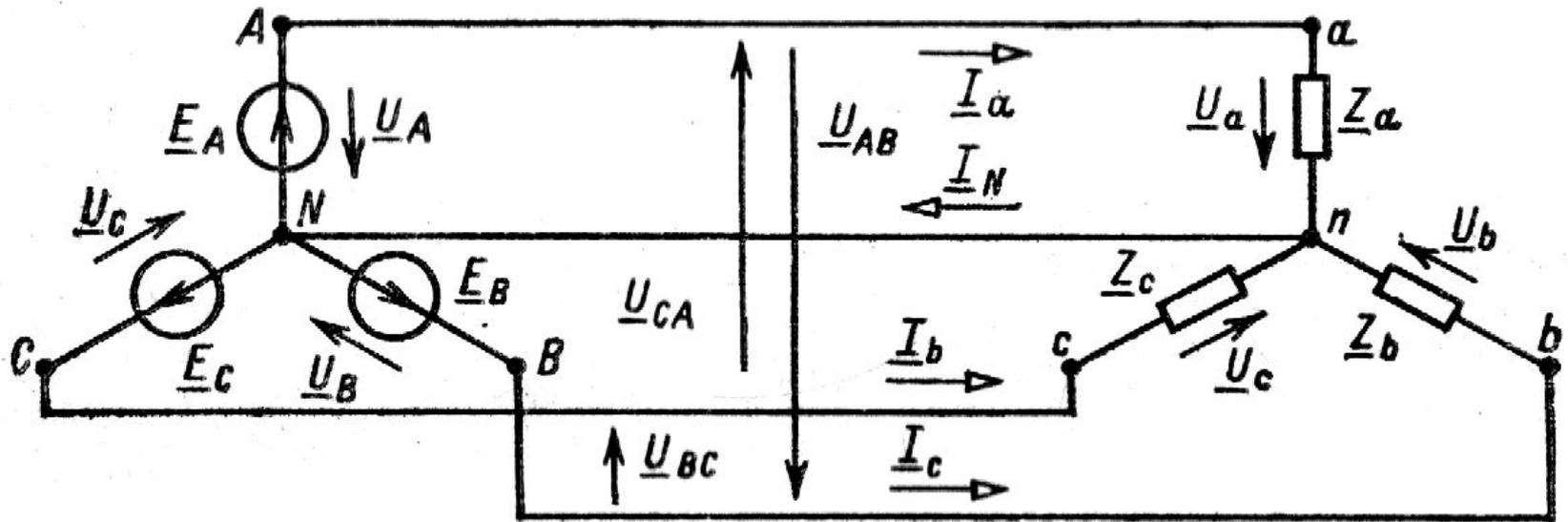
$$\underline{U}_c = \underline{U}_C$$



Соответственно равны и линейные напряжения (сопротивление всех проводов принято равным нулю) генератора и приемника. Таким образом к приемнику, фазы которого соединены звездой с нейтральным проводом, подводится два напряжения: линейное и фазное.

$$\underline{U}_{AB} = \sqrt{3}\underline{U}_A \quad \underline{U}_{BC} = \sqrt{3}\underline{U}_B \quad \underline{U}_{CB} = \sqrt{3}\underline{U}_C$$

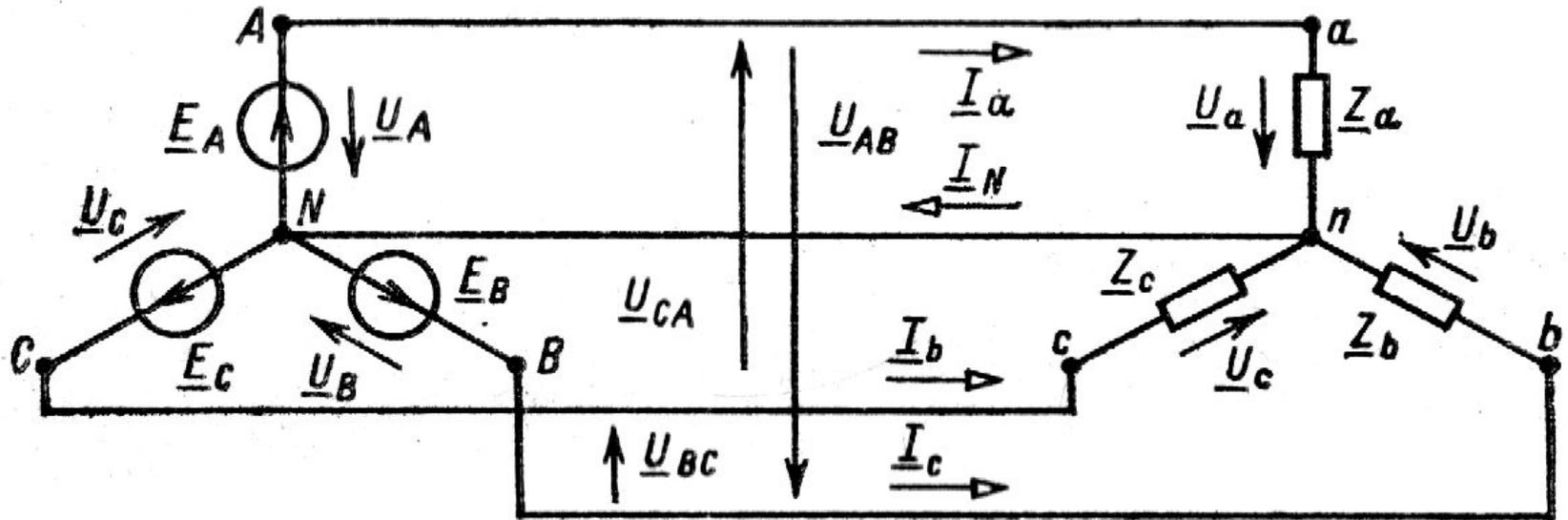
или в общем виде $U_{Л} = \sqrt{3} \cdot U_{\Phi}$



Токи при несимметричной нагрузке.

Положительные направления токов в линейных проводах принято выбирать от генератора к приемнику, а в нейтральном проводе — от приемника к генератору.

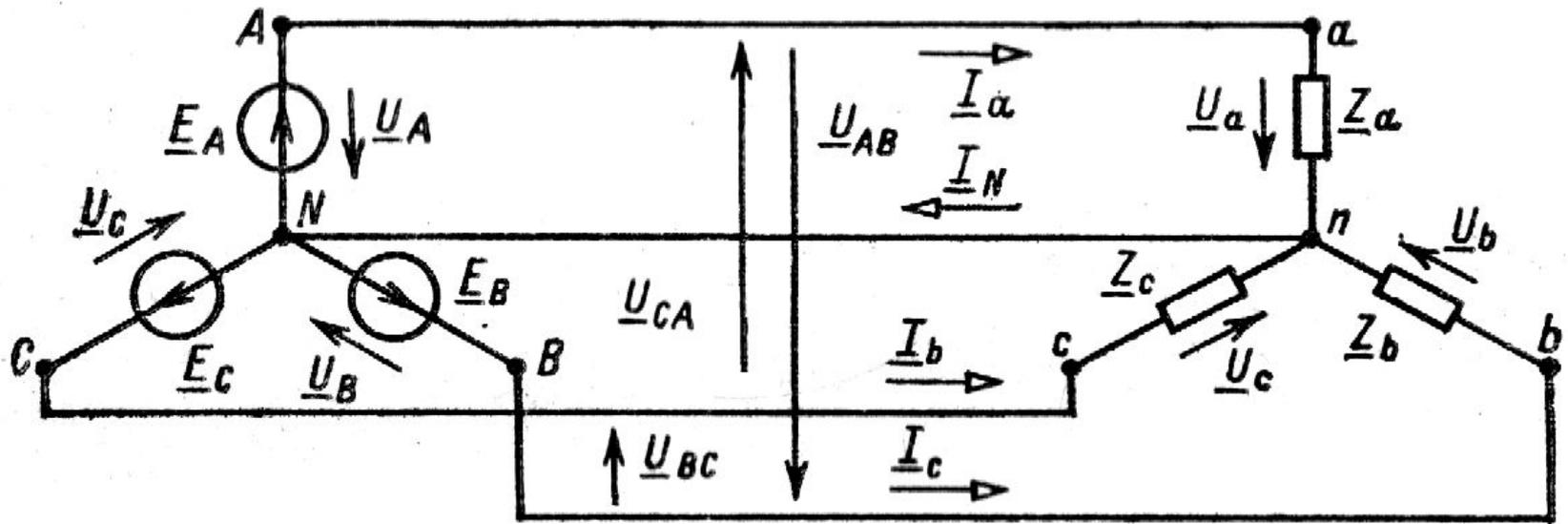
Режим каждой фазы системы не зависит от режима двух других фаз — ток определяется параметрами приемника этой фазы.



Токи при несимметричной нагрузке.

Токи в фазах рассчитываются по закону Ома:

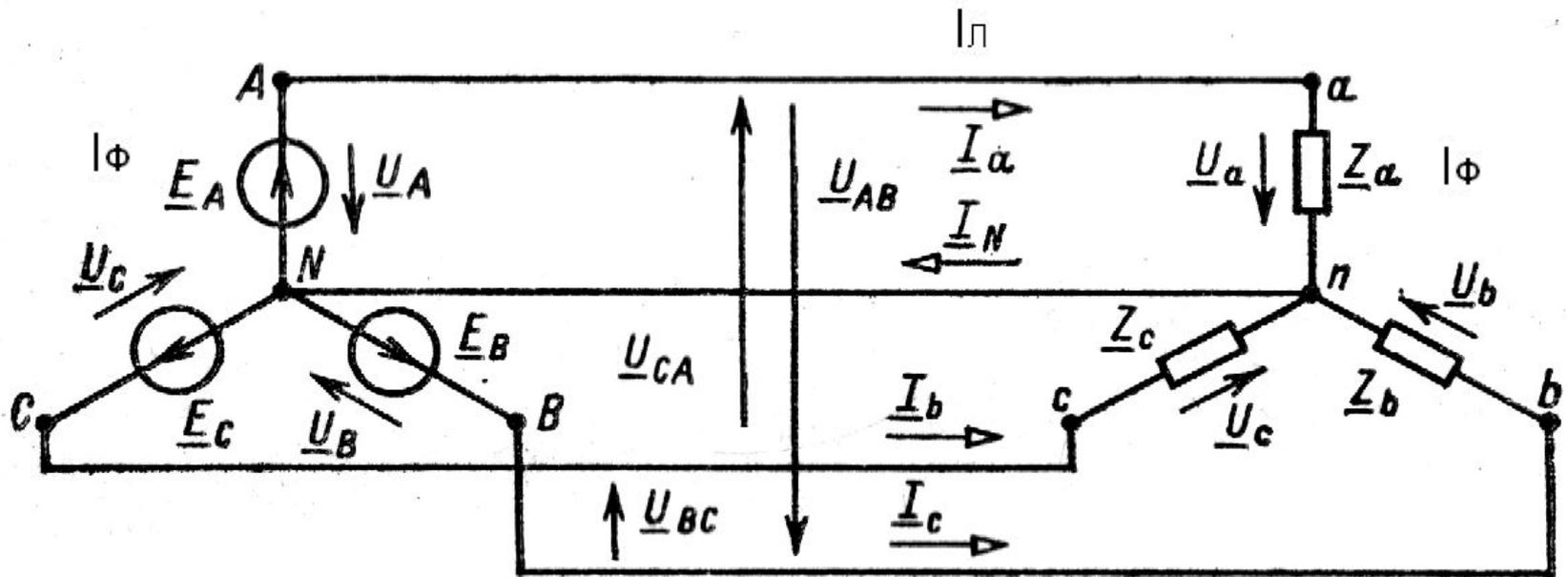
$$\underline{I}_a = \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_a} \quad \underline{I}_b = \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_b} \quad \underline{I}_c = \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_c}$$



Токи при несимметричной нагрузке.

При четырехпроводной системе при любой нагрузке: ток в фазе равен току в линейном проводе, т.к. он является физическим продолжением фазы.

$$I_{\text{л}} = I_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{Z_{\Phi}}$$

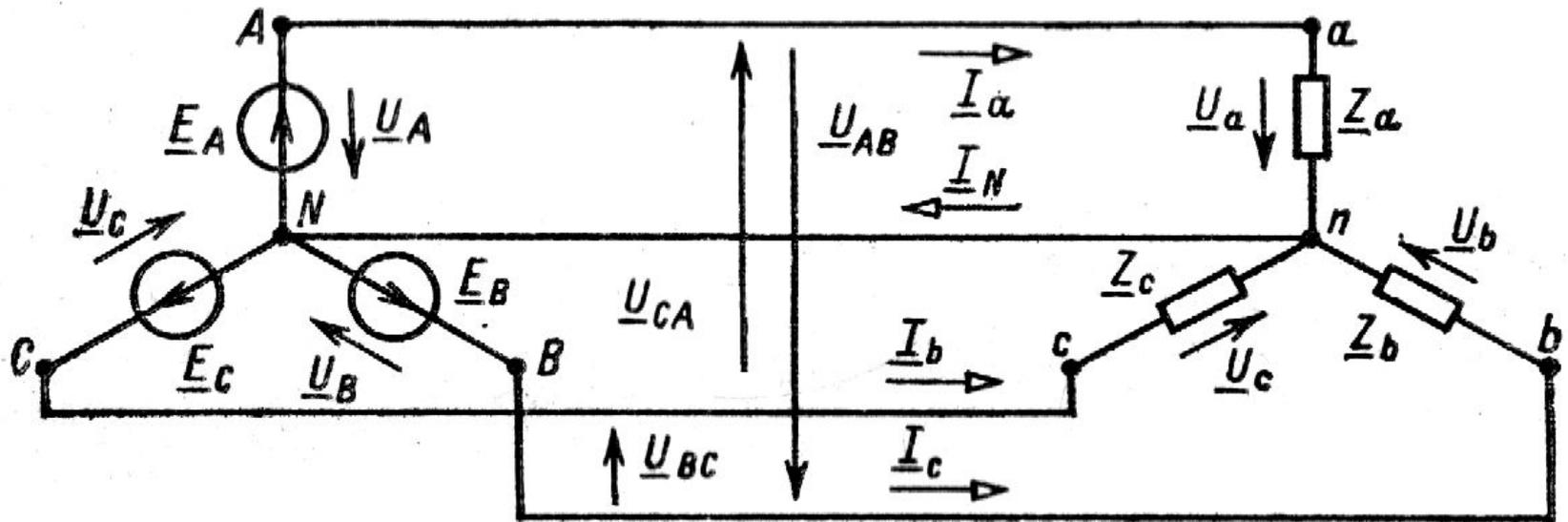


Токи при несимметричной нагрузке.

Ток в нейтральном проводе \underline{I}_N равен сумме токов трех фаз (для мгновенных значений или комплексных). По первому закону Кирхгофа:

$$i_N = i_a + i_b + i_c$$

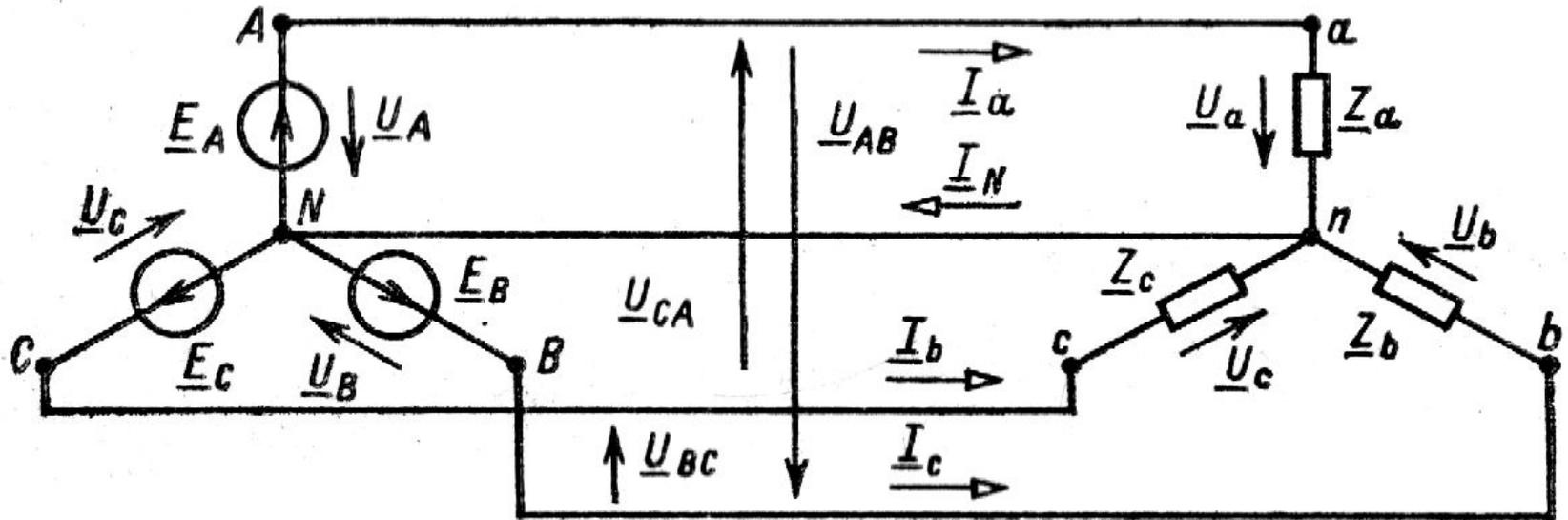
$$\underline{I}_N = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c$$



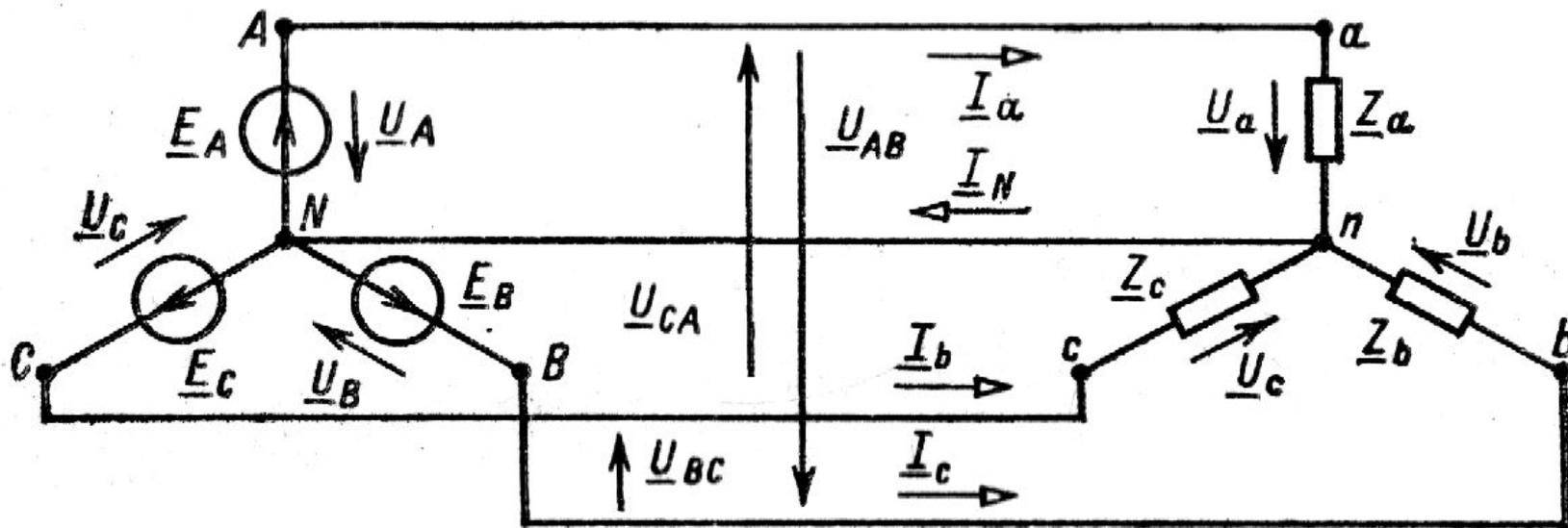
Токи при симметричной нагрузке.

Частным случаем нагрузки трехфазной системы, нередко встречающимся в практике, является случай симметричной нагрузки, т. е. при равных комплексных сопротивлениях

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = \underline{Z}_\Phi = Z_\Phi e^{j\varphi}$$



При симметричной нагрузке расчет токов в системе значительно упрощается и сводится к расчету тока в одной фазе. Действительно, при симметричной нагрузке токи в фазах имеют одинаковые значения и сдвинуты по фазе относительно соответствующих фазных напряжений на один и тот же угол φ , т. е. образуют на комплексной плоскости симметричную трехфазную систему векторов.



При симметричной нагрузке расчет токов в системе значительно упрощается и сводится к расчету тока в одной фазе. Действительно, при симметричной нагрузке токи в фазах имеют одинаковые значения и сдвинуты по фазе относительно соответствующих фазных напряжений на один и тот же угол φ , т. е. образуют на комплексной плоскости симметричную трехфазную систему векторов.

Фазные

напряжения

$$\underline{U}_a = U_\phi e^{j0} = 220e^{j0} \text{ В}; \quad \underline{U}_b = U_\phi e^{-j120^\circ} = 220e^{-j120^\circ} \text{ В};$$

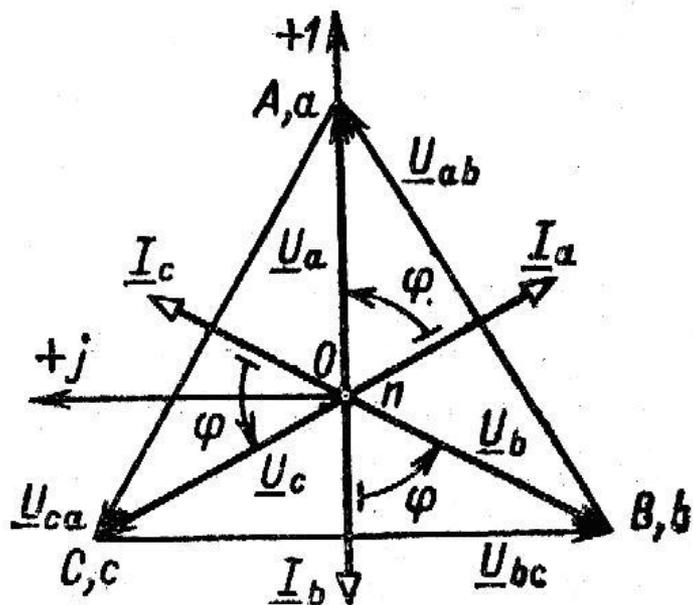
$$\underline{U}_c = U_\phi e^{+j120^\circ} = 220e^{+j120^\circ} \text{ В}.$$

Линейные

напряжения

$$\underline{U}_{ab} = 380e^{j30^\circ} \text{ , В} \quad \underline{U}_{bc} = 380e^{-j90^\circ} \text{ , В}$$

$$\underline{U}_{ca} = 380e^{j150^\circ} \text{ , В}$$



Их сумма

$$\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = \underline{I}_N = 0$$

Это равенство означает, что при симметричной нагрузке ток в нейтральном проводе отсутствует.

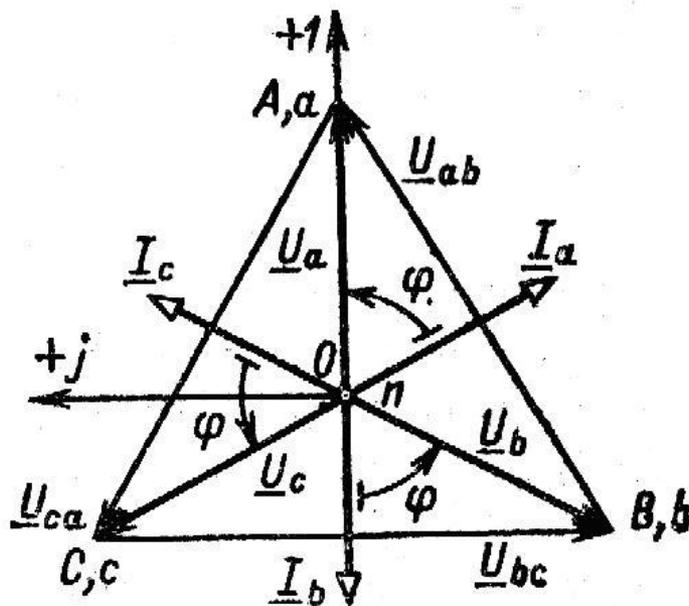


Диаграмма напряжений приемников совпадают с диаграммой напряжений генератора, если можно пренебречь сопротивлением соединительных проводов.

Векторы токов на диаграмме напряжений строятся с учетом углов сдвига фаз относительно соответствующих фазных напряжений.

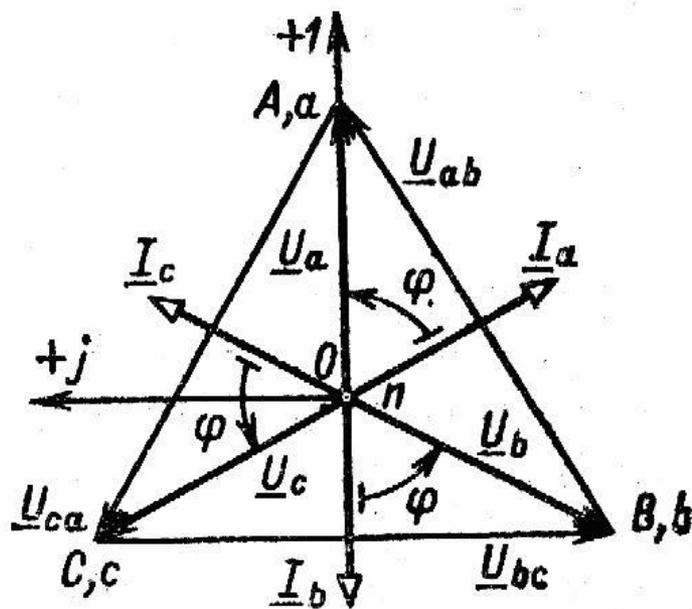


Схема соединений звезда – звезда без нейтрального провода.

В схеме звезда-звезда с нейтральным проводом при симметричной нагрузке в нейтральном проводе нет тока. Это означает, что при симметричной нагрузке нейтральный провод вообще может отсутствовать и трехфазная система становится трехпроводной

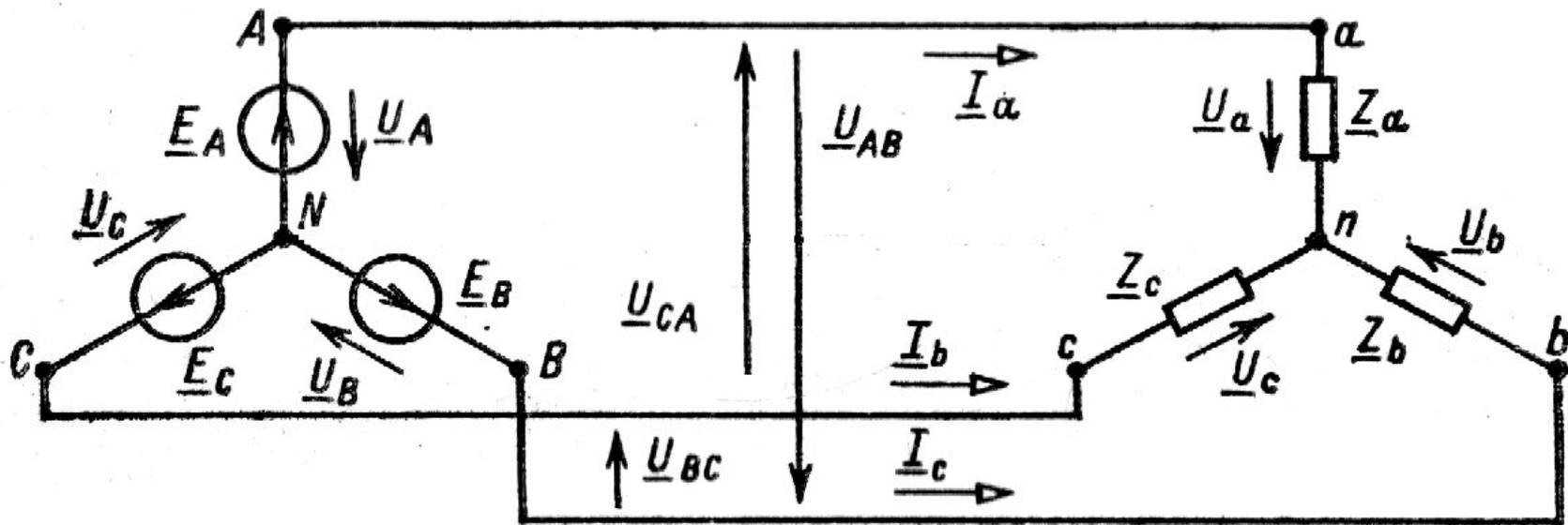


Схема соединений звезда – звезда без нейтрального провода.

На практике такая нагрузка встречается достаточно часто: все двигатели трехфазного тока создают нагрузку, близкую к симметричной, поэтому их включают по в сеть по трехпроводной схеме, т.е. без нейтрального провода.

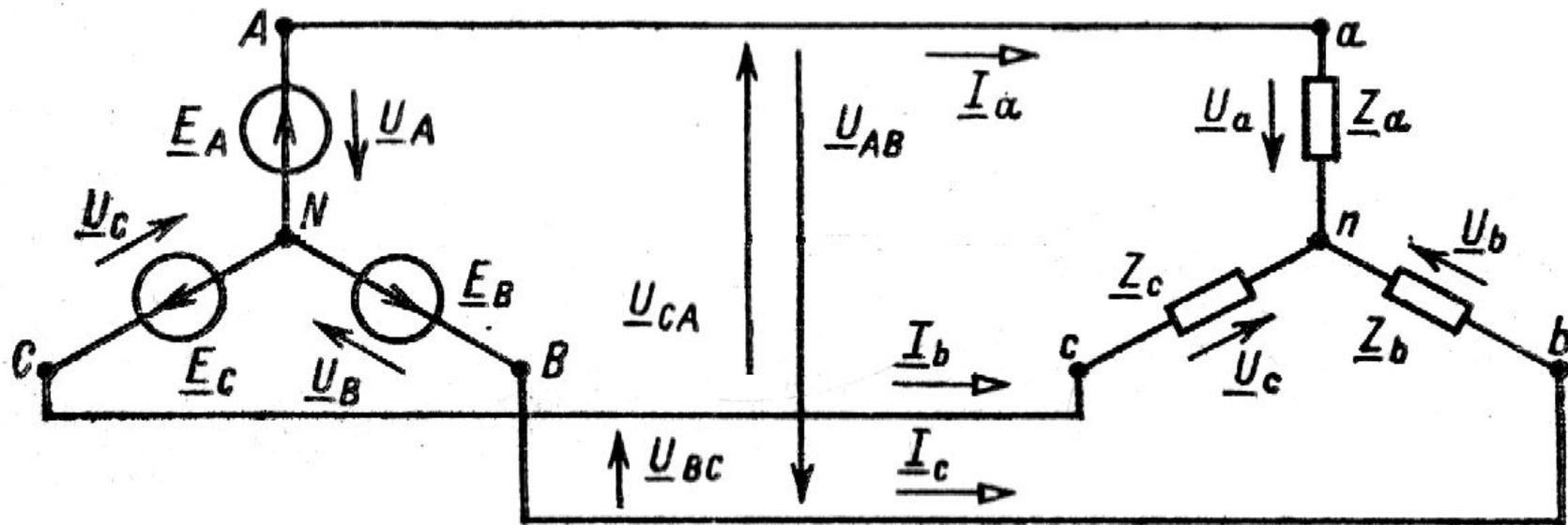


Схема соединений звезда – звезда без нейтрального провода.

Расчет токов трехпроводной системы при симметричной нагрузке

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

в данном случае ничем не отличается от расчета токов в четырехпроводной системе звезда-звезда с нейтральным проводом и ведется на одну фазу

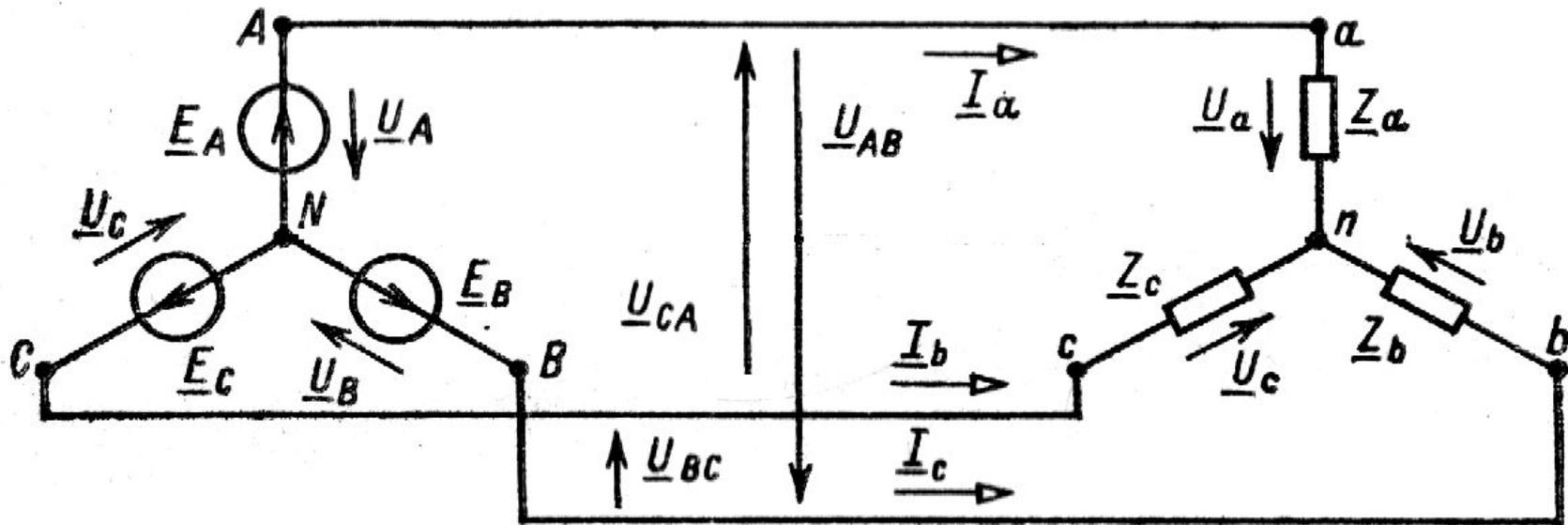


Схема соединений звезда – звезда без нейтрального провода.

$$U_{Л} = \sqrt{3} \cdot U_{\Phi}$$

для фазы а напряжение

$$\underline{U}_a = U_{\Phi} e^{j0}$$

ТОК

$$\underline{I}_a = \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_{\Phi}} = \frac{U_{\Phi} e^{j0}}{Z_{\Phi} e^{j\varphi}} = I_{\Phi} e^{-j\varphi}$$

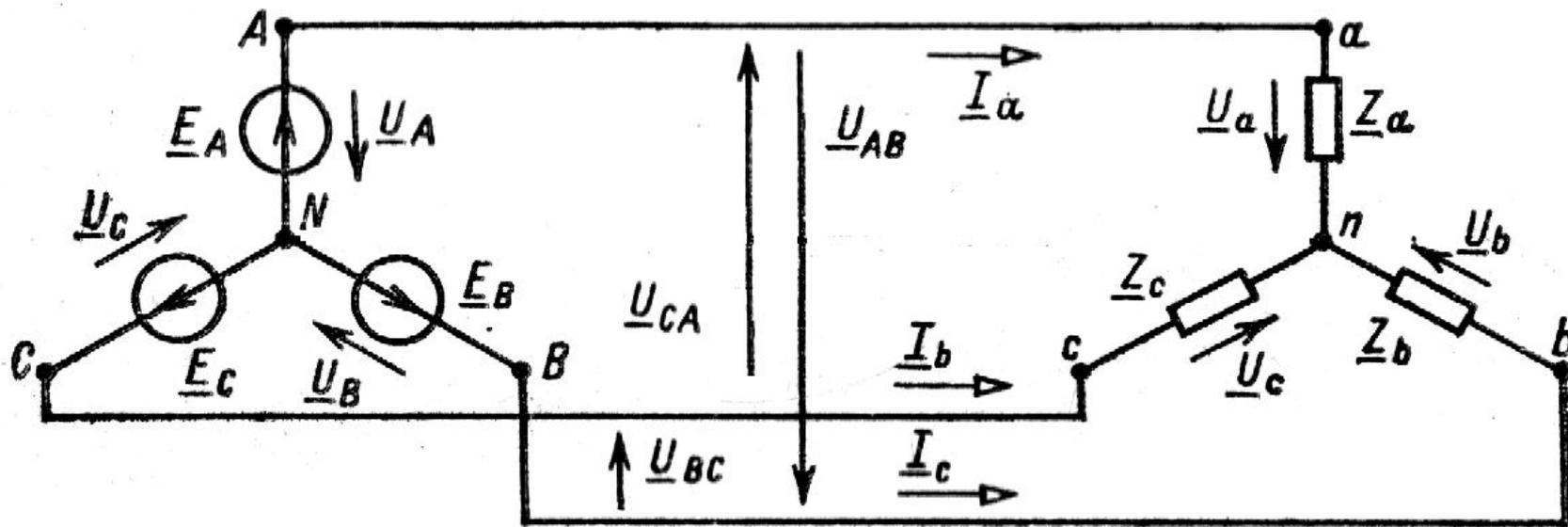


Схема соединений звезда – звезда без нейтрального провода.

Топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов в данном случае такие же, как у четырехпроводной.

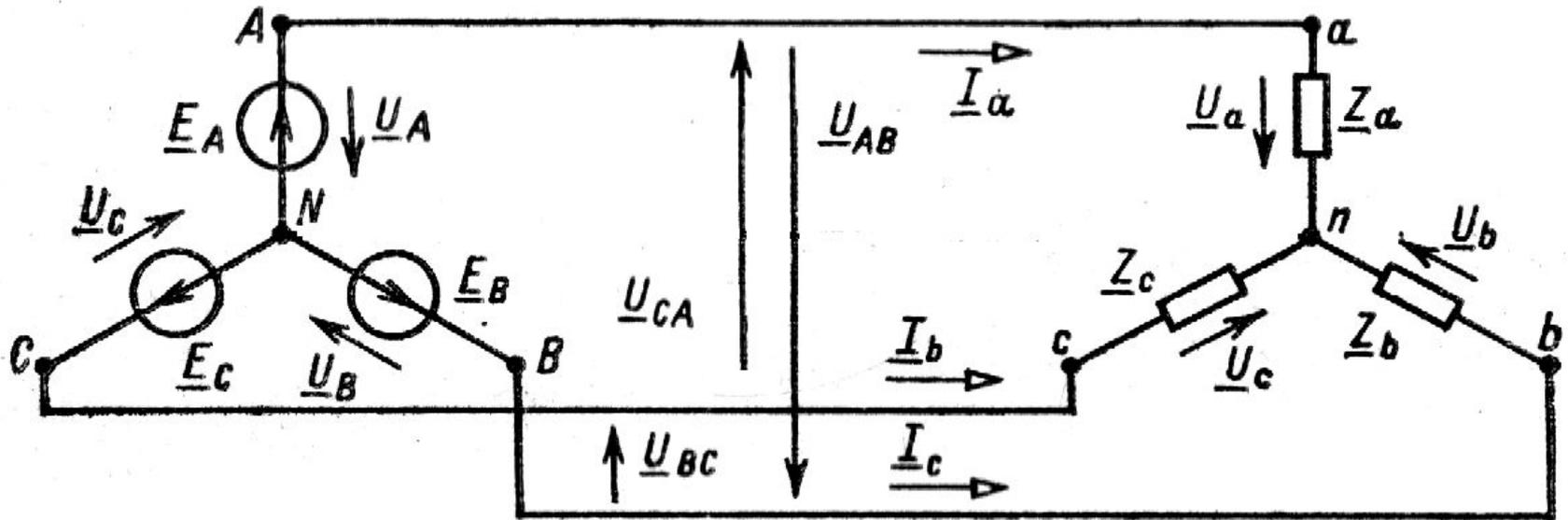
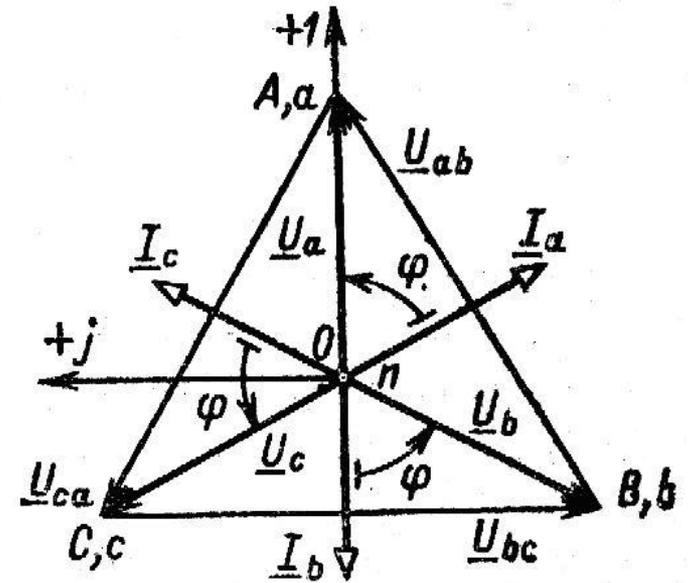


Схема соединений звезда – звезда без нейтрального провода.

При несимметричной нагрузке, т.е когда

$$\underline{Z}_a \neq \underline{Z}_b \neq \underline{Z}_c$$

симметрия фазных напряжений и токов нарушается.

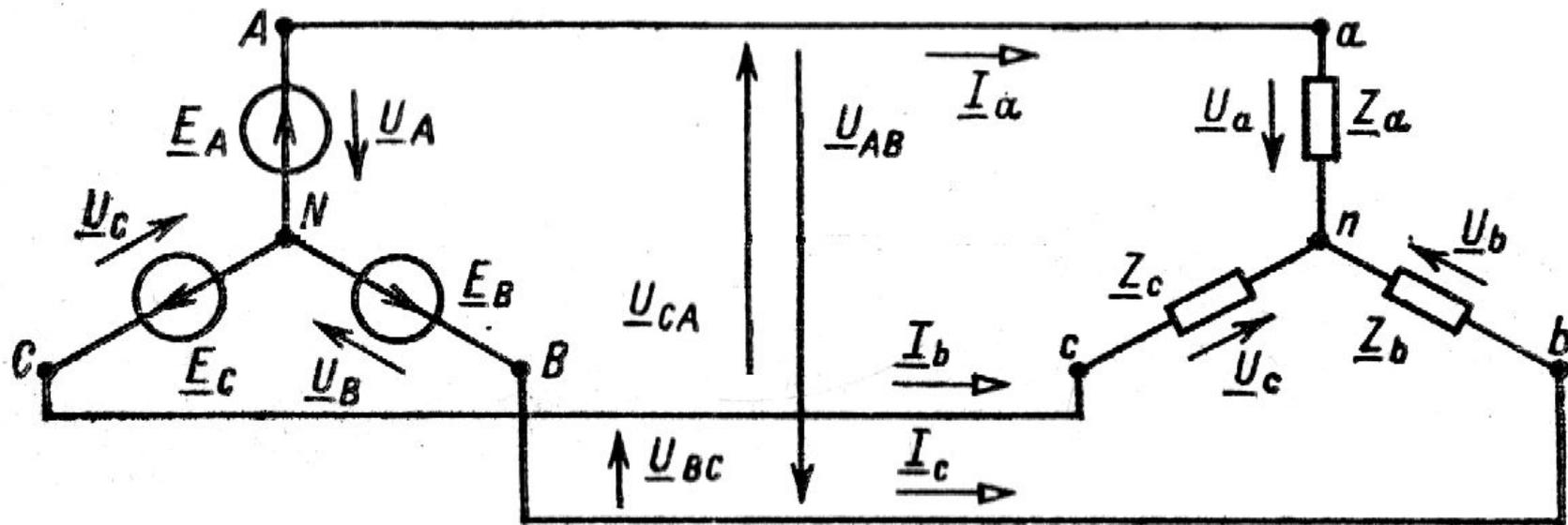


Схема соединений звезда – звезда без нейтрального провода.

Линейные напряжения в случае применения генераторов большой мощности не изменяются при изменении режима приемников, но напряжение \underline{U}_{Nn} уже не будет равно нулю. Его можно найти по формуле.

$$\underline{U}_{Nn} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = \frac{\underline{U}_A \underline{Y}_A + \underline{U}_B \underline{Y}_B + \underline{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}$$

где $\underline{Y}_a, \underline{Y}_b, \underline{Y}_c$ – комплексные проводимости фаз приемника.

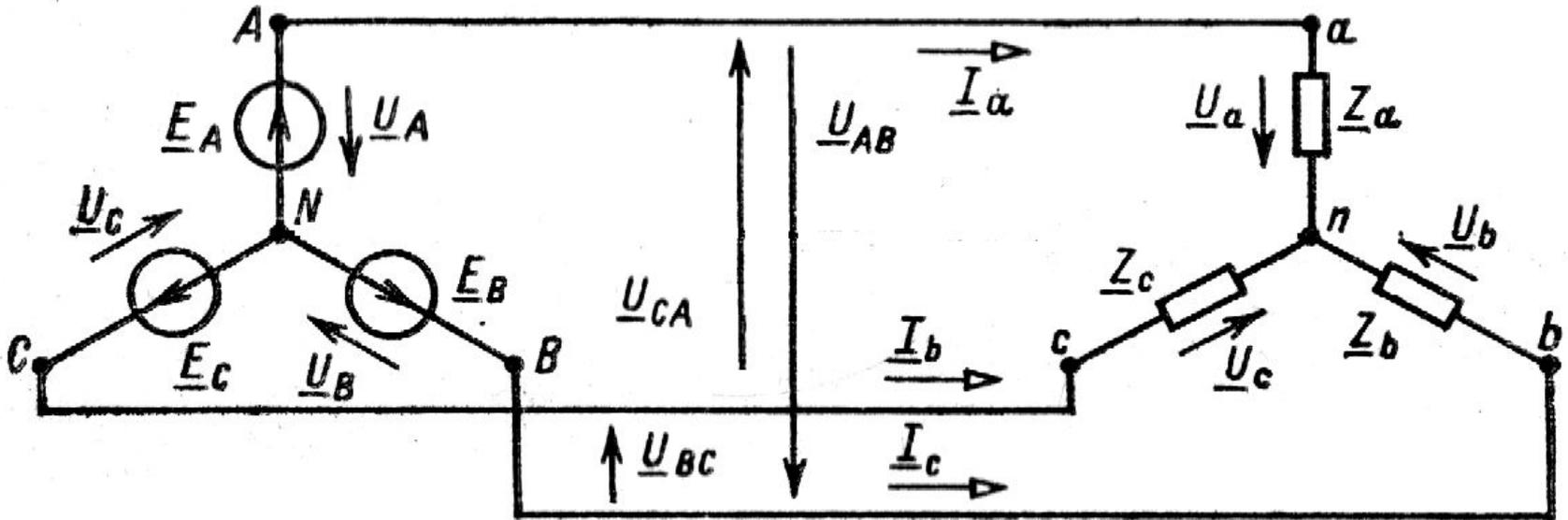


Схема соединений звезда – звезда без нейтрального провода.

Фазные напряжения приемника не равны фазным напряжениям генератора из-за смещения нейтрали:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{Nn} \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{Nn} \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{Nn}$$

Токи в фазах приемника и в линии определяются по закону Ома:

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

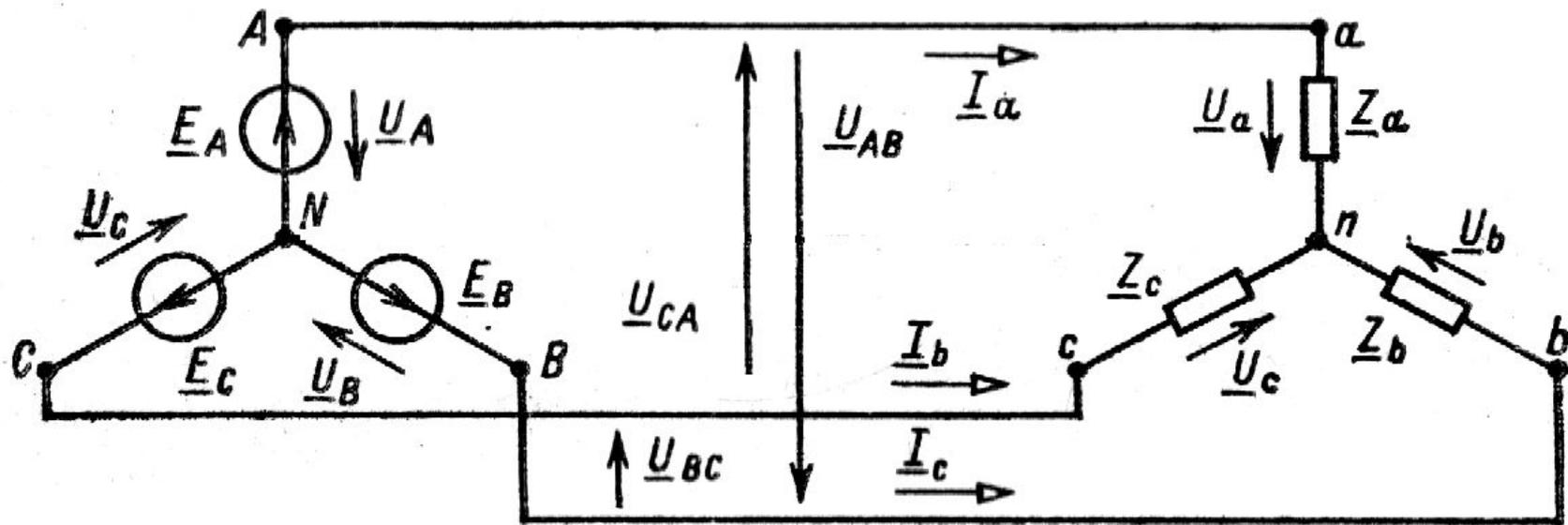


Схема соединений звезда – звезда без нейтрального провода.

Топографическая и векторная диаграмма напряжений и токов для приемников при несимметричной нагрузке строится исходя из знания, что $\underline{U}_{Nn} \neq 0$

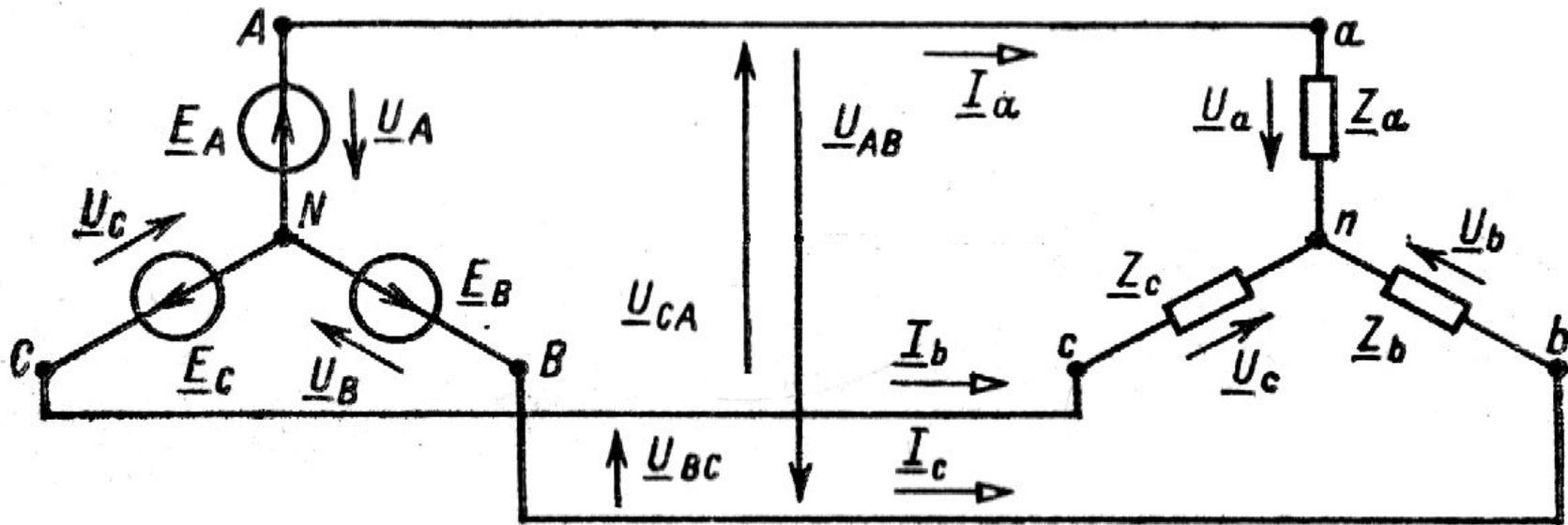


Схема соединений звезда – звезда без нейтрального провода.

т.е. нейтральная точка N генератора не совпадает с нейтральной точкой n приемника и симметрия фазных напряжений нарушается

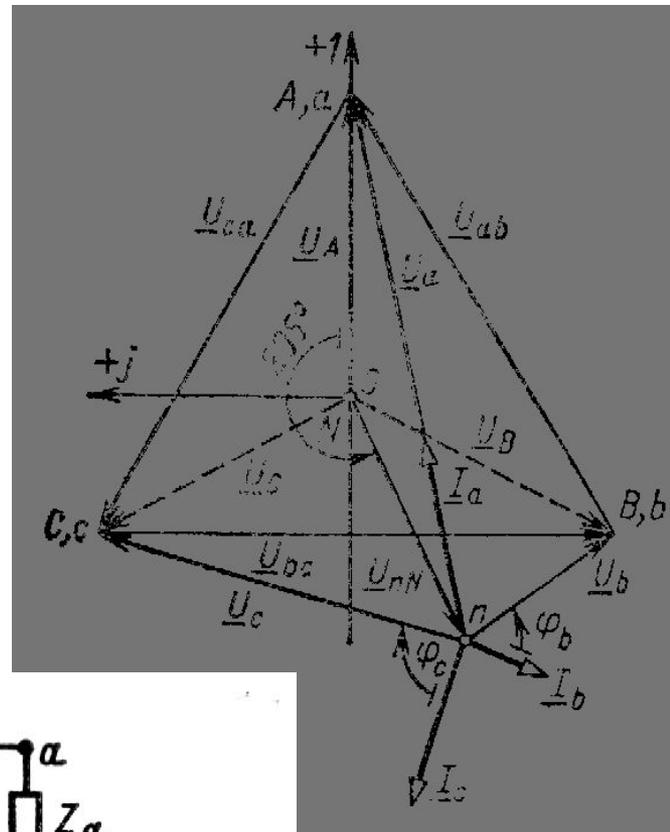
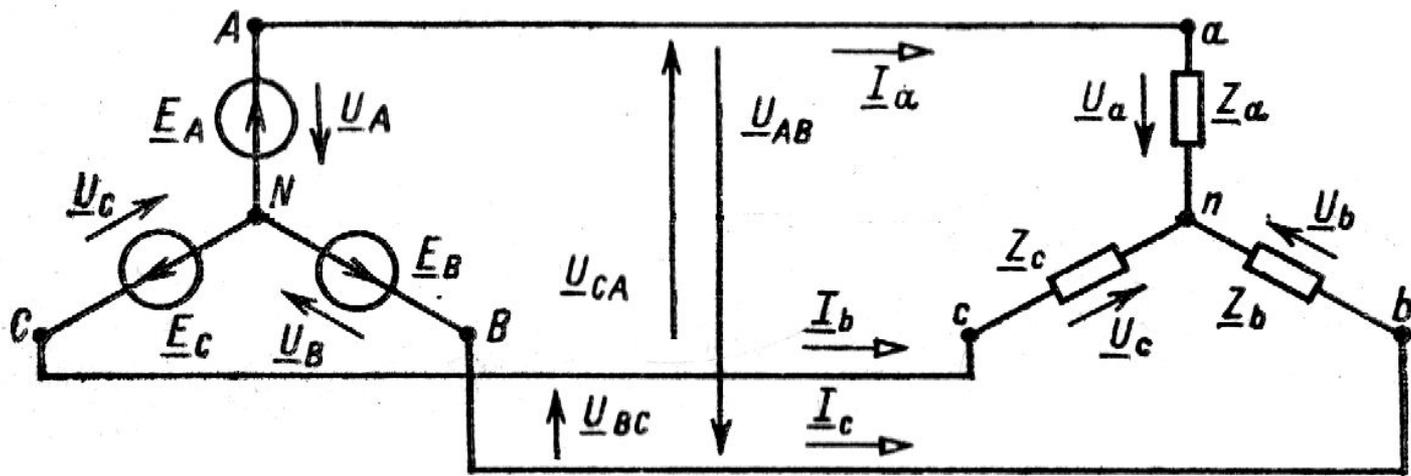


Схема соединения потребителей в треугольник.

При соединении приемников энергии треугольником их фазы присоединяют к линейным проводам, идущим от источника электроэнергии.

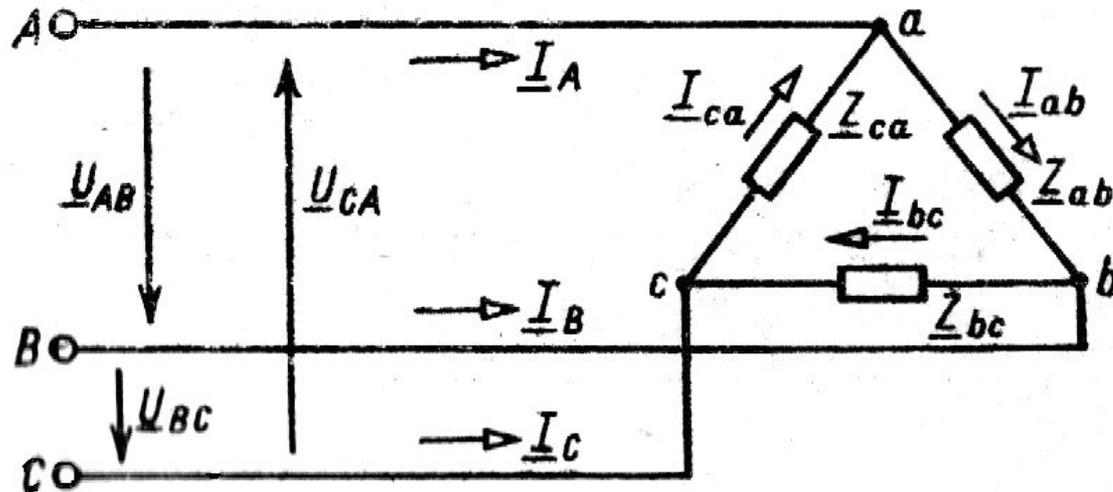


Схема соединения потребителей в треугольник.

Ток в каждом из линейных проводов равен разности фазных токов (за положительные направления токов принимают направление от генератора к приемнику). Это справедливо как для мгновенных, так и для действующих значений токов, которые находят как геометрические разности векторов соответствующих фазных токов.

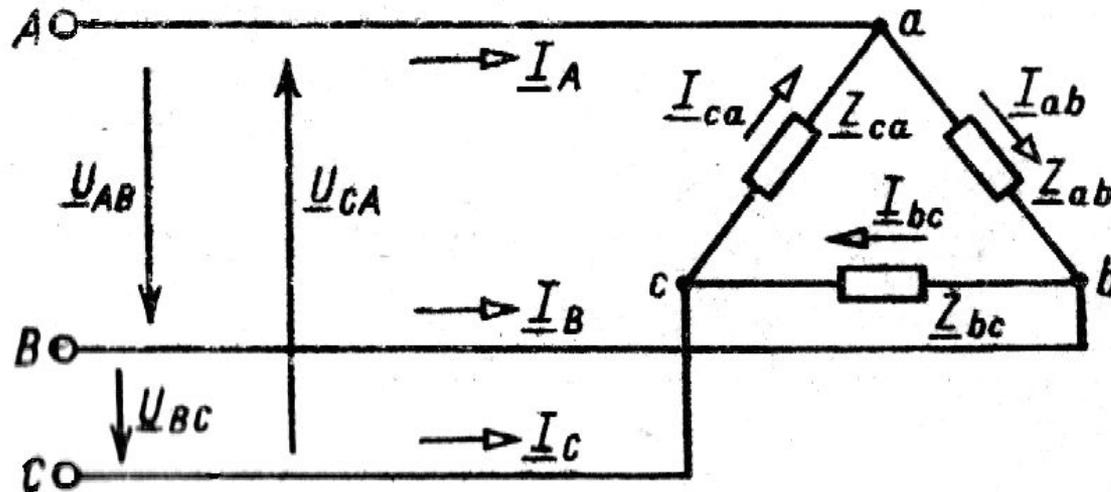


Схема соединения потребителей в треугольник.

При этом линейные токи равны (по первому закону Кирхгофа)

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab} \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$$

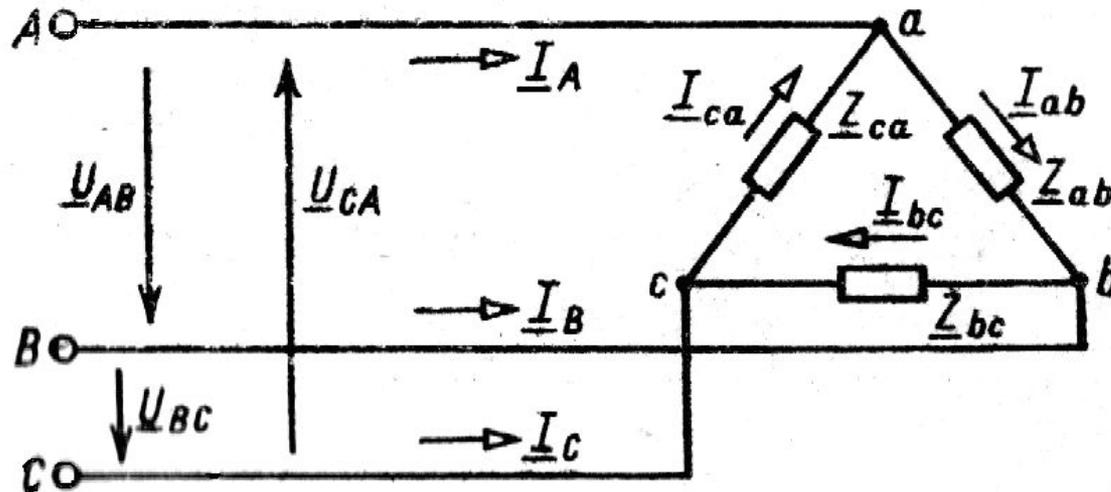


Схема соединения потребителей в треугольник.

Фазные токи равны (по закону Ома)

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}}$$

$$\underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}}$$

$$\underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}}$$

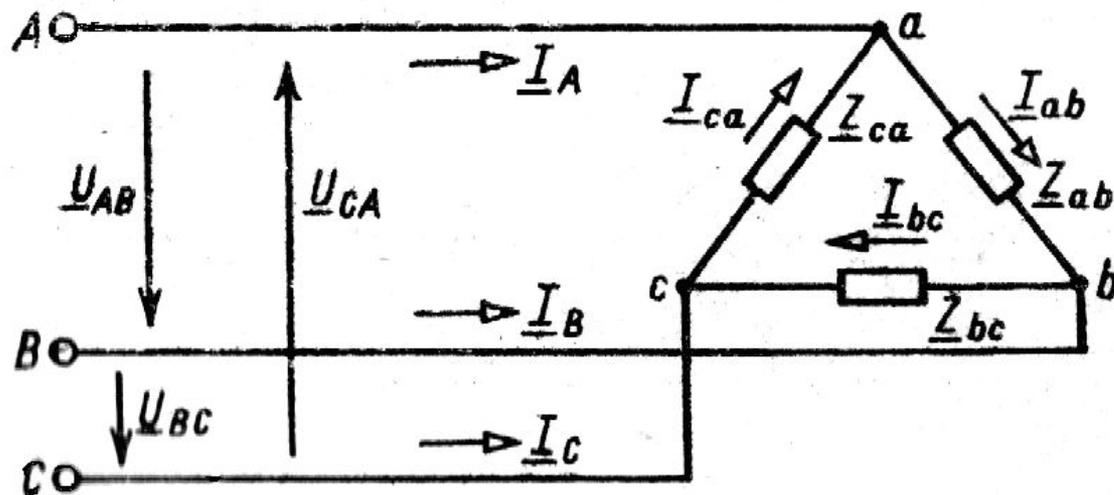


Схема соединения потребителей в треугольник.

Векторную диаграмму токов строят начиная с фазных токов \underline{I}_{ab} , \underline{I}_{bc} , \underline{I}_{ca} , сдвиги по фазе которых относительно фазных (линейных) напряжений определяют комплексные сопротивления фаз. Затем строят векторные диаграммы линейных токов.

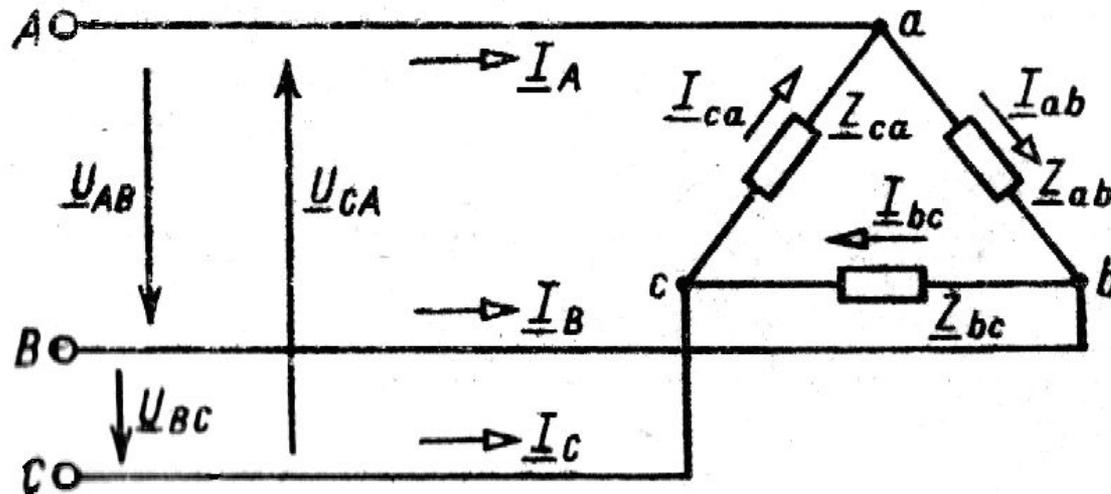


Схема соединения потребителей в треугольник.

Если нагрузка фаз симметричная, т.е.

$$\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca}$$

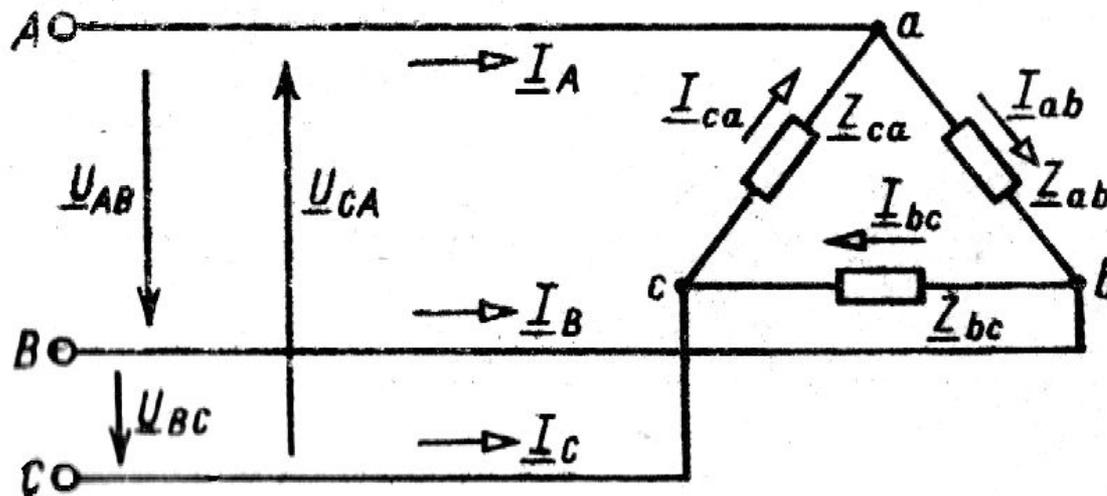


Схема соединения потребителей в треугольник.

то и действующие значения фазных токов равны между собой, имеют одинаковый фазовый сдвиг токов φ_{Φ} относительно соответствующих напряжений и на 120° один относительно другого

$$\varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca} = \varphi_{\Phi}$$

В этом случае

$$I_{Л} = \sqrt{3}I_{\Phi}$$

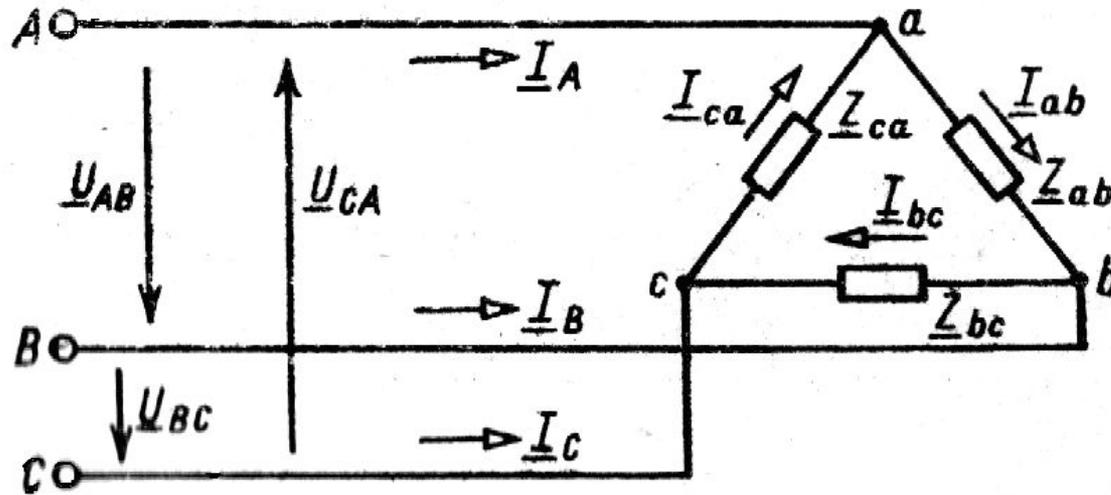
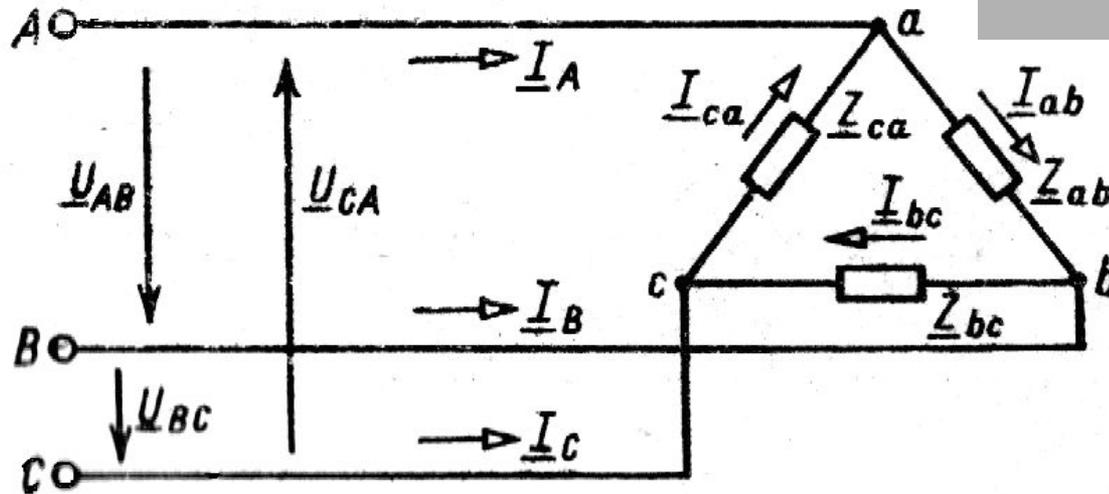
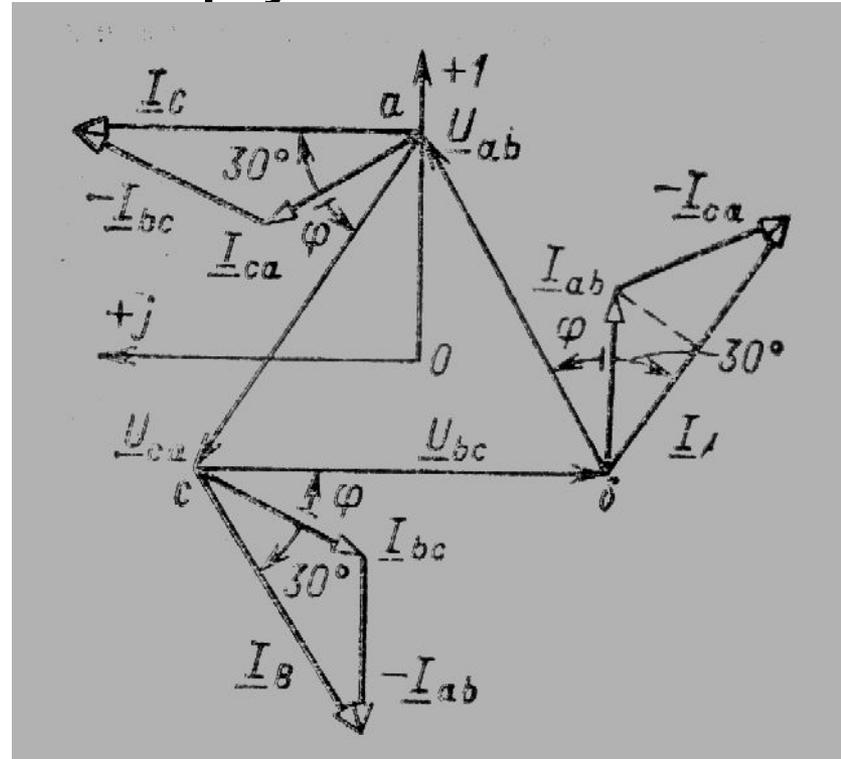


Схема соединения потребителей в треугольник.

Диаграмма токов и напряжений
схемы соединения
потребителей в треугольник при
симметричной нагрузке.



Мощность трехфазной цепи.

Активная мощность

Так как трехфазная цепь представляет собой совокупность трех однофазных цепей, то мгновенная мощность источника в трехфазной цепи равна сумме мгновенных мощностей.

$$p = p_A + p_B + p_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C$$

Тогда среднее за период значение мощности (активная мощность) генератора будет равно сумме активных мощностей отдельных фаз

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = P_A + P_B + P_C =$$

$$= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

где U , I – действующие напряжения и ток в фазах, φ – угол между напряжением и током в фазах.

Мощность трехфазной цепи. Активная мощность

Активная мощность приемников трехфазной цепи равна сумме активных мощностей отдельных фаз (при соединении звездой):

$$P = P_a + P_b + P_c$$

при соединении потребителей треугольником:

$$P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca}$$

$$P = U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c$$

При симметричной нагрузке, т.е. когда

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c \quad \text{или} \quad \underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca}$$

$$P = 3P_\phi = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi$$

Мощность трехфазной цепи. Активная мощность

т.к. при соединении нагрузки звездой напряжение:

$U_L = \sqrt{3} \cdot U_\Phi$, а ток $I_L = I_\Phi$, то мощность можно записать через линейные напряжения и токи

$P = 3P_\Phi = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi_L$, такое же выражение получится для соединения нагрузки по схеме треугольник, т.е. когда

$$\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca}$$

Мощность трехфазной цепи. Реактивная мощность

Реактивная мощность трехфазной цепи равна сумме реактивных мощностей фаз (при соединении потребителей в звезду):

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c = \\ = U_a I_a \sin \varphi_a + U_b I_b \sin \varphi_b + U_c I_c \sin \varphi_c$$

где U , I – действующие напряжения и ток в фазах, φ – угол между напряжением и током в фазах.

При симметричной нагрузке, т.е. когда

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

$$Q = 3Q_\phi = 3U_\phi I_\phi \sin \varphi_\phi$$

Мощность трехфазной цепи. Реактивная мощность

т.к. при соединении нагрузки звездой напряжение:

$$U_{Л} = \sqrt{3} \cdot U_{\Phi} \text{ , а ток} \quad I_{Л} = I_{\Phi}$$

то мощность можно записать через линейные напряжения
и токи

$$Q = 3Q_{\Phi} = \sqrt{3}U_{Л}I_{Л}\text{Sin}\varphi_{Л}$$

такое же выражение получится для соединения
нагрузки по схеме треугольник.

Мощность трехфазной цепи. Полная мощность

Полная мощность трехфазной цепи определяется выражением:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Поэтому полную мощность трехфазной цепи можно определить в комплексном виде как (для соединения нагрузки звездой):

$$\underline{S} = \underline{S}_a + \underline{S}_b + \underline{S}_c = \underline{U}_a \underline{I}_a^* + \underline{U}_b \underline{I}_b^* + \underline{U}_c \underline{I}_c^*$$

$$\underline{S} = P + jQ = P_a + P_b + P_c + j(Q_a + Q_b + Q_c)$$

При симметричной нагрузке полная мощность определяется

$$S = 3U_{\Phi} I_{\Phi} = \sqrt{3} U_{Л} I_{Л}$$

Задача 8.3.

Как изменится активная мощность, если трехфазный симметричный резистивный приемник, соединенный звездой, будет переключен в треугольник (при неизменном напряжении генератора)?

Решение:

Допустим сопротивление приемников 1 Ом, а линейное напряжение равно 1 В

$$U_{Л} = \sqrt{3} \cdot U_{\Phi}$$

тогда мощность нагрузки сети при соединении в звезду:

$$P = 3P_{\Phi} = 3U_{\Phi}I_{\Phi}\cos\varphi_{\Phi} = 3\frac{U_{\Phi}^2}{R_{\Phi}} = 3\frac{U_{Л}^2}{\sqrt{3}^2 R_{\Phi}} = 1 \quad , \text{Вт}$$

При соединении треугольником линейное напряжение равно фазному:

$$U_{Л} = U_{\Phi} \quad \text{тогда мощность нагрузки}$$

$$P = 3P_{\Phi} = 3U_{\Phi}I_{\Phi}\cos\varphi_{\Phi} = 3\frac{U_{\Phi}^2}{R_{\Phi}} = 3\frac{U_{Л}^2}{R_{\Phi}} = 3 \quad , \text{Вт}$$

т.е. при соединении треугольником мощность нагрузки больше в 3 раза по сравнению с соединением звезда при одном и том же сопротивлении фаз.

Коэффициент мощности трехфазных симметричных приемников.

Значительную часть приемников электрической энергии составляют трехфазные асинхронные двигатели, обслуживающие силовые промышленные установки (компрессоры, насосы, вентиляторы), производственные механизмы (в основном станки), установки электрического освещения, электрические печи, а также преобразовательные агрегаты, служащие для питания приемников постоянного тока. Все эти приемники, кроме установок электрического освещения, являются симметричными.

Большая часть промышленных приемников потребляет из сети помимо активной реактивную энергию. Основными потребителями реактивной энергии являются асинхронные двигатели и трансформаторы, потребляющие соответственно 60—65 и 20 – 25% общего количества реактивной энергии

Коэффициент мощности трехфазных симметричных приемников.

При загрузке линий электропередач и трансформаторов значительными потоками реактивной энергии появляются дополнительные потери на нагрев, потери напряжения (особенно в сетях районного значения), уменьшается пропускная способность линий электропередач и трансформаторов, возникает необходимость увеличения сечений проводов воздушных и кабельных линий, а также мощности или числа трансформаторов.

Поэтому в современных системах электроснабжения стремятся частично разгружать линии электропередач и трансформаторы от реактивной энергии, приближая в соответствии с технико-экономическими возможностями источники реактивной энергии к местам ее потребления. Это приводит к повышению коэффициента мощности установок.

Коэффициент мощности трехфазных симметричных приемников.

Улучшение коэффициента мощности промышленных предприятий осуществляться прежде всего естественным путем, главным образом за счет упорядочения энергетического режима оборудования, рационального использования установленных мощностей асинхронных двигателей и трансформаторов, замены мало загруженных двигателей двигателями меньших мощностей, ограничения режимов холостого хода трансформаторов и двигателей и т. д.

В случае необходимости прибегают к искусственным мерам повышения коэффициента мощности с помощью компенсирующих устройств (источников реактивной энергии) — синхронных компенсаторов (синхронных двигателей), работающих в специальном режиме, и статических конденсаторов.

Коэффициент мощности трехфазных симметричных приемников.

Коэффициент мощности трехфазных приемников

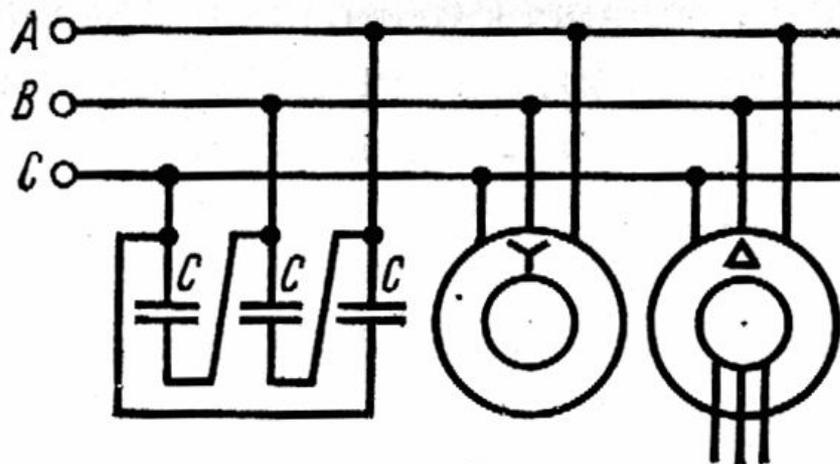
$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}}$$

где Q_C – реактивная мощность трехфазных компенсирующих устройств.

Чем больше реактивная энергия, вырабатываемая компенсирующими устройствами, установленными вблизи приемников, тем выше коэффициент мощности.

Выбор компенсирующих устройств осуществляют на основе технико-экономических расчетов. Применение синхронных компенсаторов в маломощных установках нерационально, поэтому на промышленных предприятиях при мощности компенсирующего устройства менее 5 Мвар (при $U = 6$ кВ) и 10 Мвар (при $U = 10$ кВ) экономически целесообразна установка конденсаторных батарей.

Коэффициент мощности трехфазных симметричных приемников.



Из конденсаторов собирают батареи требуемой мощности, соединяют их треугольником и включают в трехфазную сеть. Конденсаторные батареи подразделяют на три вида: индивидуальные, групповые и централизованные (в последних мощность конденсаторов используется более эффективно).

Техника безопасности при эксплуатации трехфазных цепей

При эксплуатации трехфазных цепей должны быть обеспечены соответствующие меры безопасности, исключающие возможность поражения человека электрическим током. Для этого токоведущие части электротехнических установок должны быть надежно изолированы и снабжены специальными защитными устройствами, а персонал, обслуживающий такие установки, должен быть обучен безопасным методам работы и хорошо знать правила техники безопасности.

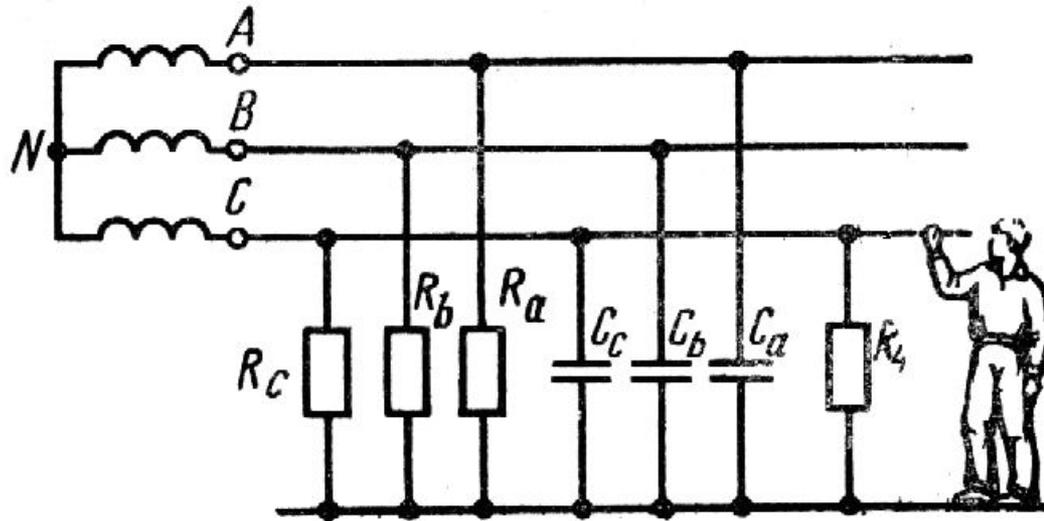
Электрический ток, проходя через тело человека, производит термическое, электрическое и биологическое воздействия. Опасность поражения током зависит от его значения, продолжительности действия и ряда других факторов. Токи промышленной частоты порядка 0,01-0,015 А опасны для жизни, а токи, превышающие 0,1 А - смертельны.

Техника безопасности при эксплуатации трехфазных цепей

Человек может оказаться под напряжением при одновременном прикосновении к двум зажимам (полюсам) цепи постоянного тока или однофазной цепи переменного тока, либо к двум фазам трехфазной цепи; прикосновении к одному зажиму или одной фазе; прикосновении к заземленным токоведущим частям, оказавшимся под напряжением, нахождении вблизи заземлителя (шаговое напряжение).

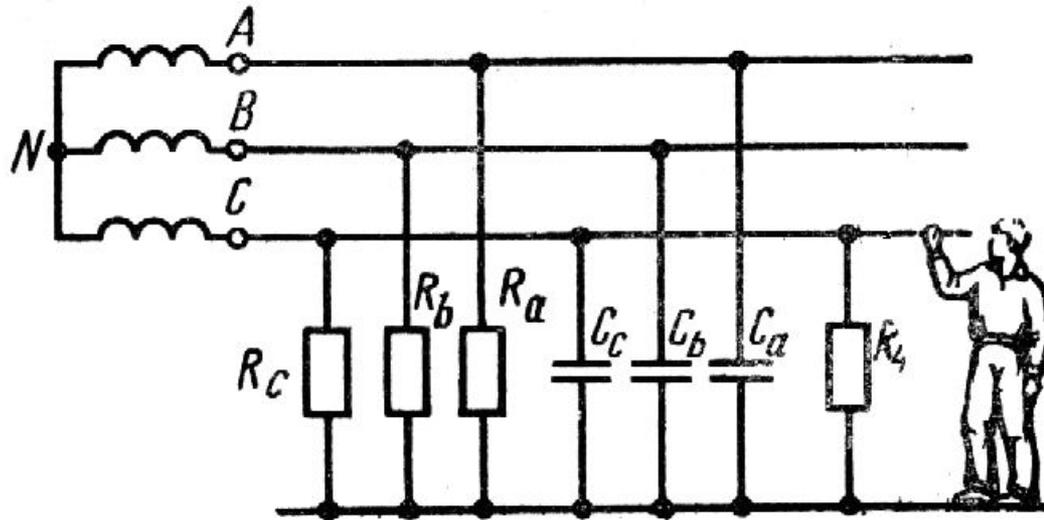
В трехфазных сетях низкого напряжения (до 1000 В) значение тока, поражающего человека, зависит от «режима нейтрали» (т. е. заземлена или изолирована нейтральная точка источника электрической энергии), а также от активной и реактивной проводимостей, существующих между проводами и землей.

Техника безопасности при эксплуатации трехфазных цепей



На рис. в качестве примера показана схема замещения трехпроводной сети с изолированной нейтралью, к одному из проводов которой прикасается человек. Здесь R_a , R_b , R_c — сопротивления изоляции ($R_{и}$); C_a , C_b , C_c — емкости проводов относительно земли, а $R_{ч}$ — сопротивление тела человека.

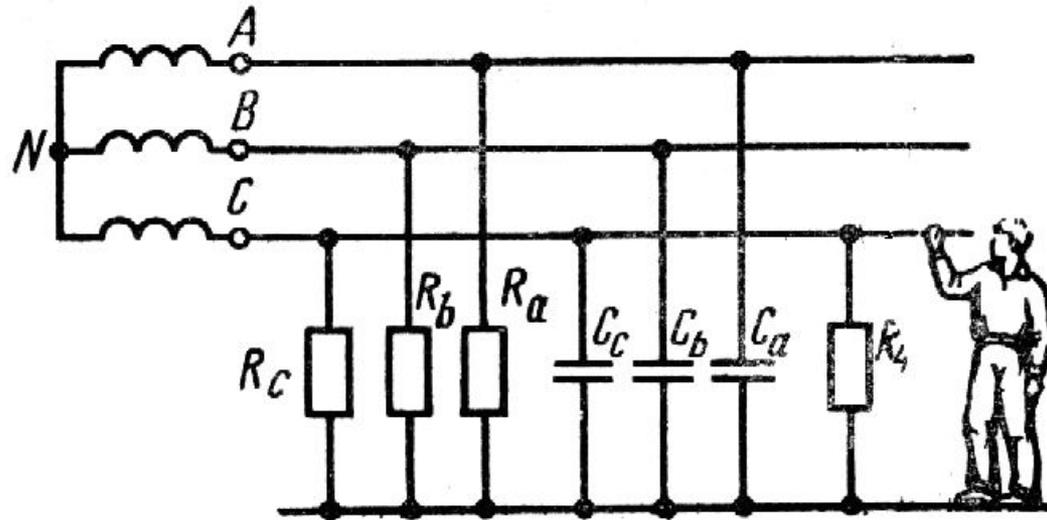
Техника безопасности при эксплуатации трехфазных цепей



Если пренебречь емкостной проводимостью, то в случае прикосновения человека к одной из фаз сети с изолированной нейтралью ток, проходящий через его тело, определится из формулы:

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч} + \frac{1}{3} R_{u}}$$

Техника безопасности при эксплуатации трехфазных цепей



Из формулы следует, что чем хуже качество изоляции, тем больше ток, проходящий через тело человека. А в аварийном режиме (например, при коротком замыкании на землю одной из фаз) человек, прикоснувшийся к исправной фазе, попадает под линейное напряжение, что опасно для жизни.

$$I_{ч} = \frac{\sqrt{3}U_{\phi}}{R_{ч}}$$

Техника безопасности при эксплуатации трехфазных цепей

Для снижения напряжения, прикосновения к металлическим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением (например, при пробое изоляции на корпус электродвигателя), применяют защитное заземление корпусов электроустановок. Сопротивление растеканию электрического тока не должно быть больше 4 Ом, а контурные заземления промышленных зданий должны выполняться из условия безопасности по допустимому напряжению прикосновения и шаговому напряжению или быть не более 0,5 Ом.

Техника безопасности при эксплуатации трехфазных цепей

В четырехпроводных сетях с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В используют защитное зануление, в результате чего металлические части электроустановок всегда соединены с заземленным нейтральным проводом. При повреждении изоляции обмоток электродвигателей или аппаратов фазный и нейтральный провода оказываются замкнутыми накоротко, что вызывает срабатывание защитного реле и отключение поврежденного электротехнического устройства.

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Вариант (данные групп ламп из таблицы по номеру в журнале)

Для заданной цепи:

При соединении потребителей в звезду:

Условие: в четырехпроводную линию трехфазной симметричной сети с фазным напряжением $U_{\phi}=U_A=U_B=U_C=220$ В включены группы ламп (все лампы одинаковые, включены параллельно, сопротивление одной лампы $R=400$, Ом) по схеме звезда. Первая группа ламп соединяется к фазе А (сопротивление в фазе - Z_a), вторая группа к фазе В (сопротивление в фазе - Z_b) и третья группа к фазе С (сопротивление в фазе - Z_c)

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

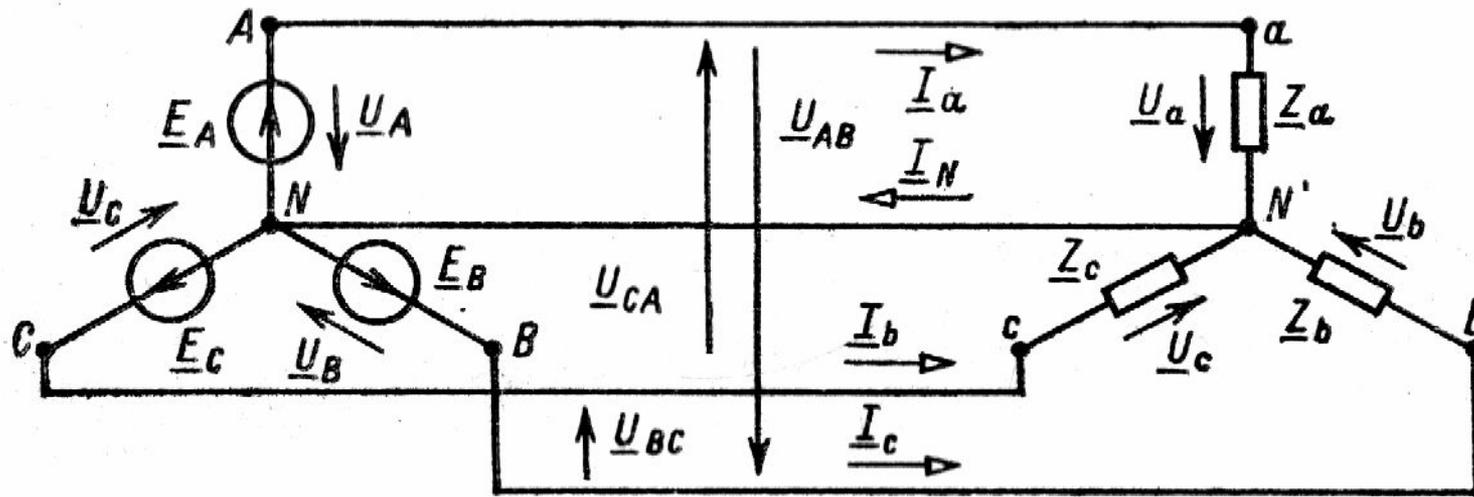
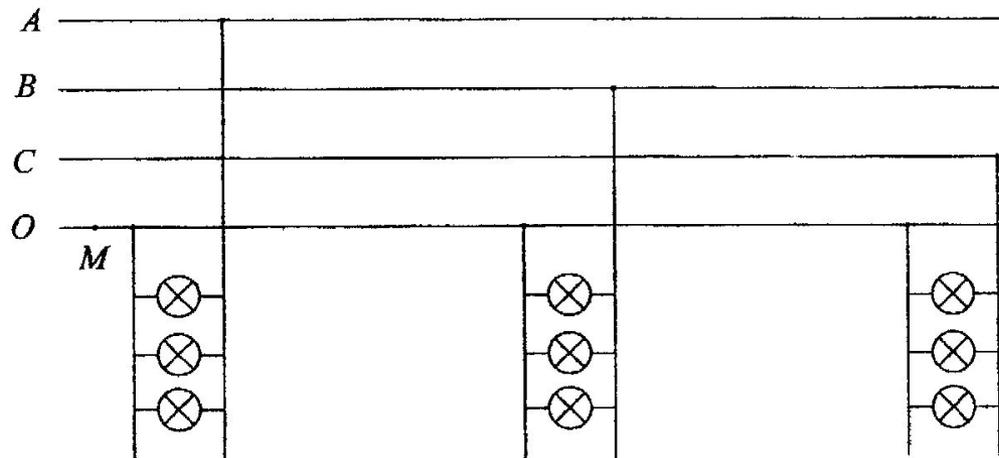


Схема соединения потребителей в звезду



Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

1. определить напряжение смещение нейтрали.
2. определить линейные напряжения.
3. определить линейные и фазные токи.
4. определить ток в нейтральном проводе.
5. рассчитать мощность трехфазной сети
6. под каким напряжением окажется нагрузка в каждой фазе при обрыве нейтрального провода в точке М.
7. построить векторные диаграммы токов и напряжений на комплексной плоскости, направив напряжение фазы А по действительной оси

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

При соединении потребителей в треугольник

Условие: в трехпроводную линию трехфазной симметричной сети с фазным напряжением $U_{\phi} = U_A = U_B = U_C = 220$ В включены группы ламп (все лампы одинаковы, включены параллельно, сопротивление одной лампы $R = 400$, Ом) по схеме треугольник. Первая группа ламп соединяется к фазе А и В (сопротивление в фазе - Z_{ab}), вторая группа к фазе В и С (сопротивление в фазе - Z_{bc}) и третья группа к фазе С и А (сопротивление в фазе - Z_{ca}).

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

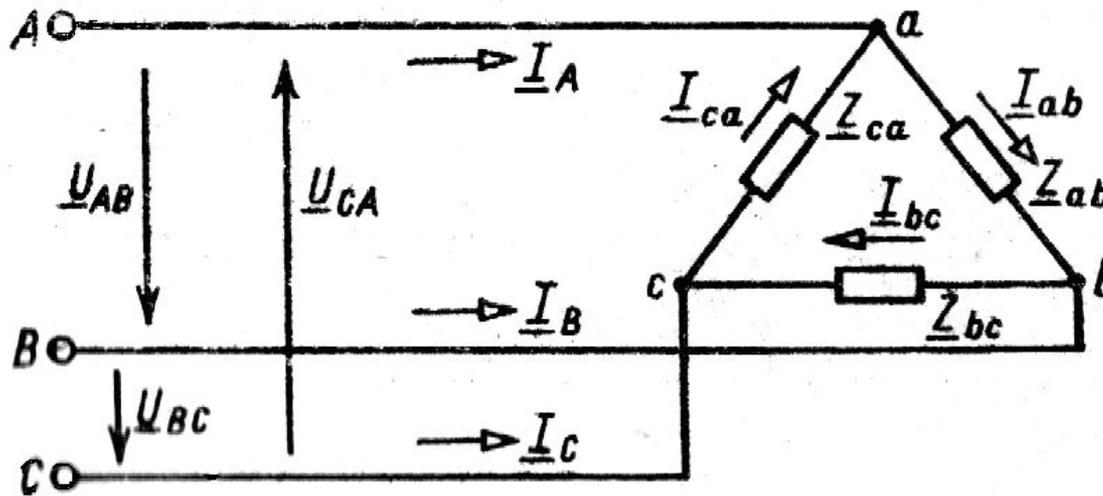


Схема соединения потребителей в треугольник

1. определить линейные напряжения.
2. определить линейные и фазные токи.
3. рассчитать мощность трехфазной сети
4. построить векторные диаграммы токов и напряжений на комплексной плоскости.

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Вариант №	Группы ламп		
	1 группа ламп, шт.	2 группа ламп, шт.	3 группа ламп, шт.
1	10	180	54
2	20	98	64
3	30	88	74
4	40	78	84
5	50	68	94
6	60	58	104
7	70	48	108
8	80	38	110
9	90	28	10
10	100	18	20
11	14	104	30
12	24	94	40

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Вариант №	Группы ламп		
	1 группа ламп, шт.	2 группа ламп, шт.	3 группа ламп, шт.
13	34	84	50
14	44	74	60
15	54	100	70
16	64	90	10
17	74	80	20
18	84	70	30
19	94	60	40
20	104	50	88
21	18	40	10
22	28	10	60
23	38	80	100
24	48	60	90

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Расчет трехфазных сетей с соединением потребителей в звезду.

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

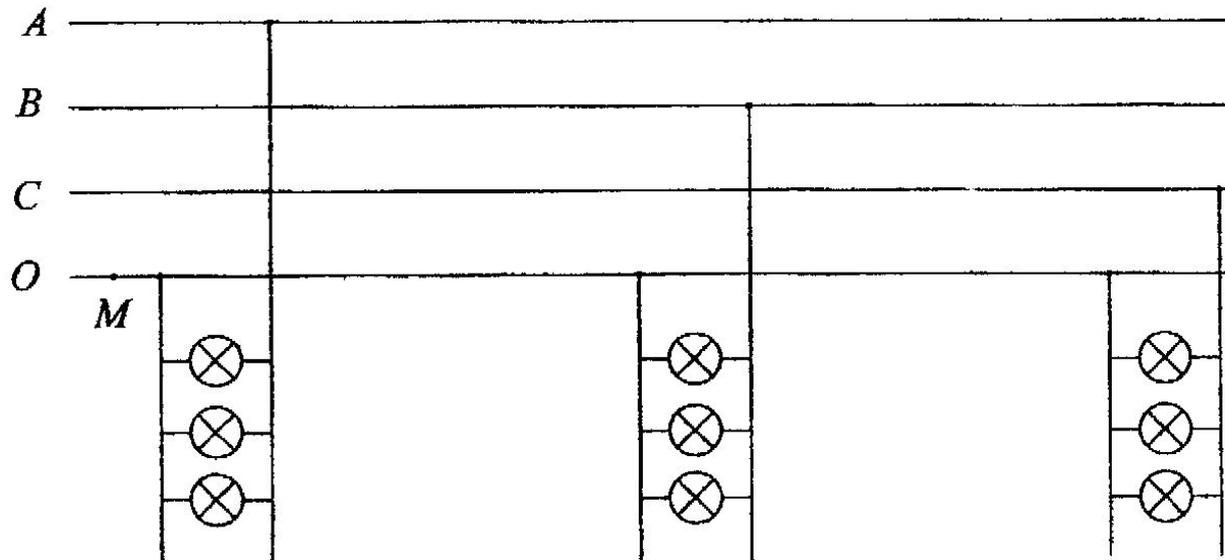
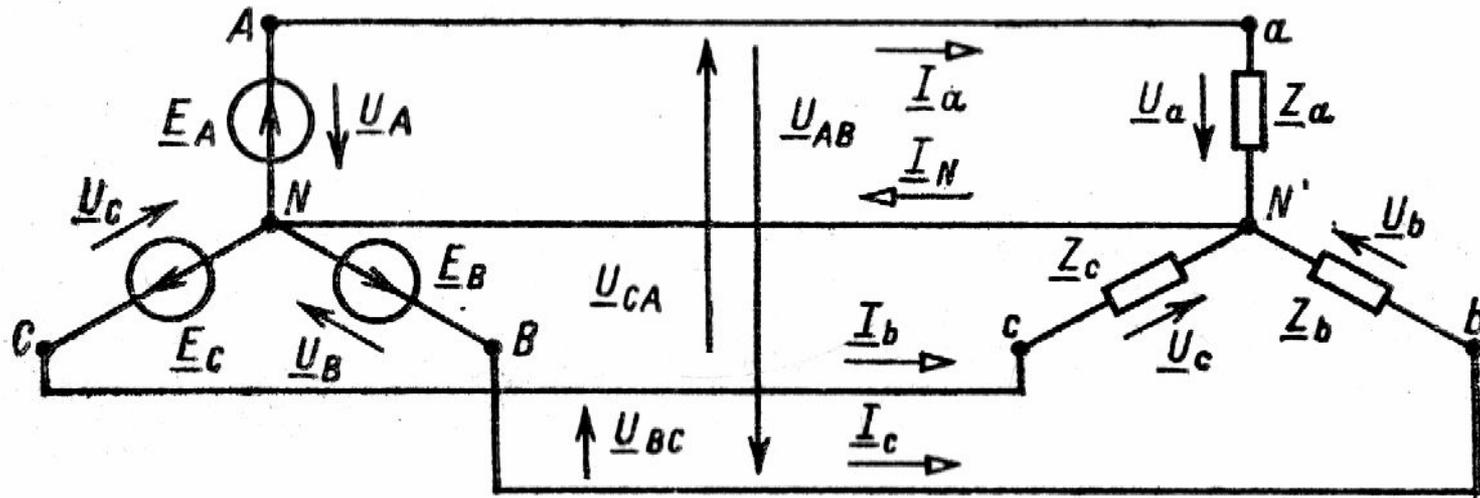
В четырехпроводную линию трехфазной симметричной сети с фазным напряжением $U_{\phi} = U_A = U_B = U_C = 120 \text{ В}$ включены три группы одинаковых ламп (лампы соединены параллельно): 30 ламп, 25 ламп, 20 ламп.

Сопротивление каждой лампы считать неизменным и равным 300 Ом .

Определить:

- напряжение смещения нейтрали;
- линейные напряжения;
- линейные и фазные токи;
- ток в нейтральном проводе;
- мощность трехфазной цепи;
- под каким напряжением окажется каждая группа ламп при обрыве нейтрального провода в точке М?

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

В четырехпроводной линии, если нулевой провод обладает весьма малым сопротивлением $Z_{N'N} \approx 0$, то потенциал точки N' практически равен потенциалу точки N , следовательно, напряжение смещения $U_{N'N} = 0$.

Рассчитаем линейные напряжения:

$$U_{\text{Л}} = \sqrt{3}U_{\Phi} \qquad U_{\text{Л}} = \sqrt{3} \cdot 120 = 207,846 \text{ В}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Рассчитаем фазные токи:

$$r_A = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_{30}}} = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{300}} = \frac{1}{\frac{30}{300}} = 10 \text{ Ом}$$

$$I_A = \frac{U_A}{r_A}$$

$$I_A = \frac{120}{10} = 12 \text{ А}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

аналогично,

$$r_B = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{300}} = \frac{1}{\frac{25}{300}} = 12 \text{ Ом}$$

$$I_B = \frac{U_B}{r_B} \qquad I_B = \frac{120}{12} = 10 \text{ А}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

$$r_C = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{300}} = \frac{1}{\frac{20}{300}} = 15 \text{ Ом}$$

$$I_C = \frac{U_C}{r_C}$$

$$I_C = \frac{120}{15} = 8 \text{ А}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Так как при соединении в звезду фазные токи равны линейным, то линейные токи равны: 12 А, 10 А и 8 А.

Определим ток в нулевом проводе, воспользовавшись соотношением:

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

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Так, как нагрузка чисто активная, то фазные токи совпадают по фазе с фазными напряжениями, поэтому можем записать:

$$\underline{I}_A = I_A e^{j0^\circ}$$

$$\underline{I}_B = I_B e^{-j120^\circ}$$

$$\underline{I}_C = I_C e^{+j120^\circ}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Тогда

$$\underline{I}_A = 12e^{j0^\circ} = 12 + j0 = 12 \text{ A}$$

$$\underline{I}_B = 10e^{-j120^\circ} = 10[\cos(-120^\circ) + j\sin(-120^\circ)] =$$

$$10[-0,5 - j0,866] = -5 - 8,66j \text{ A}$$

$$\underline{I}_C = 8e^{j120^\circ} = 8[\cos(120^\circ) + j\sin(120^\circ)] =$$

$$8[-0,5 + j0,866] = -4 + 6,928j \text{ A}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Вычислим ток в нулевом проводе:

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

$$\underline{I}_N = 12 + j(-5 - 8,66j - 4 + 6,928j)$$

$$\underline{I}_N = 3 - 1,732j = 3,464e^{-j30^\circ} \text{ A}$$

Определим мощность трехфазной цепи:

Для определения активной мощности воспользуемся формулой:

$$P_\Phi = U_\Phi I_\Phi \cos \varphi$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Т.к. нагрузка чисто активная φ – угол сдвига по фазе между напряжением и током = 0 и следовательно $\cos \varphi = 1$, тогда:

$$P_A = U_A I_A = 120 \cdot 12 = 1440 \text{ Вт}$$

$$P_B = U_B I_B = 120 \cdot 10 = 1200 \text{ Вт}$$

$$P_C = U_C I_C = 120 \cdot 8 = 960 \text{ Вт}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Следовательно, активная мощность цепи:

$$P = 1440 + 1200 + 960 = 3600 \text{ Вт}$$

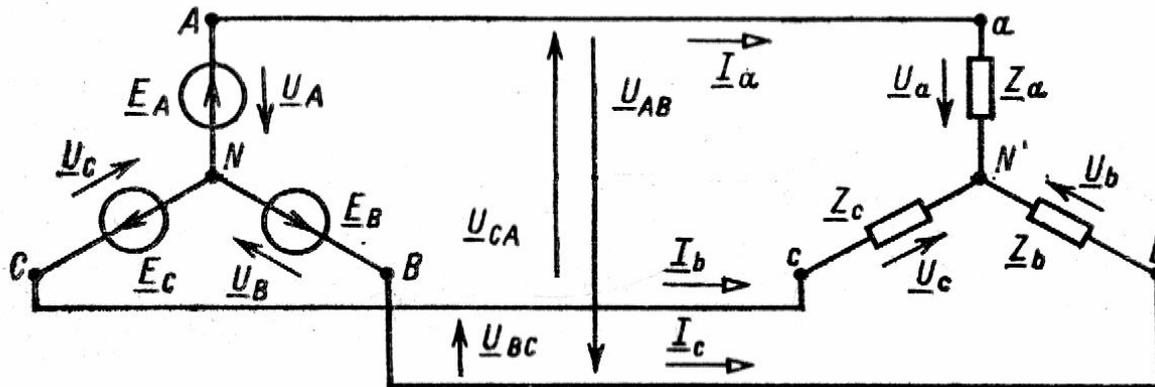
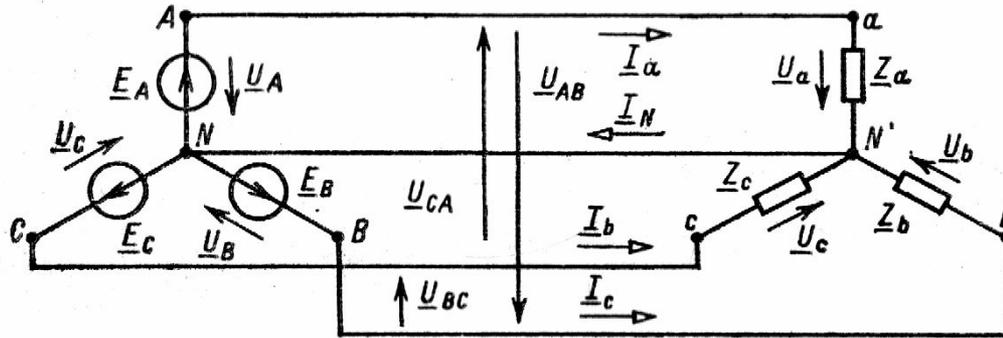
Реактивная мощность определяется соотношением:

$$Q = U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi$$

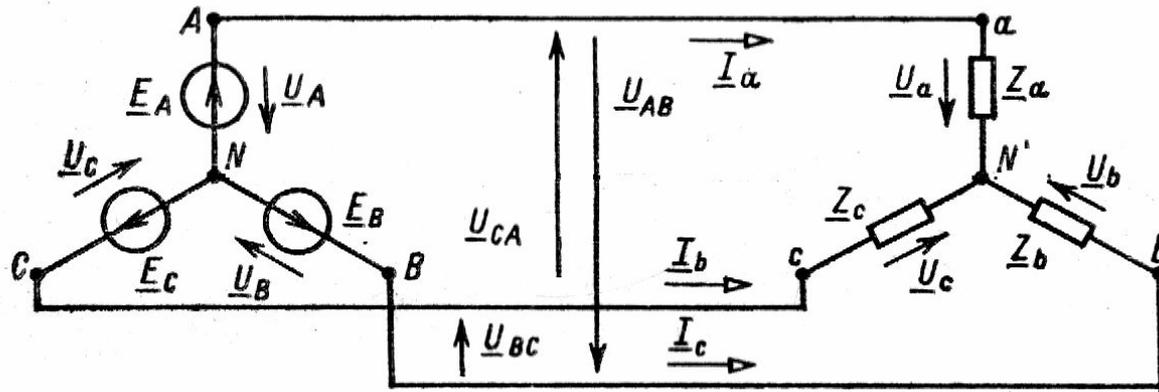
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Т.к. $\varphi = 0$, следовательно, $\sin \varphi = 0$ и $Q = 0$. Тогда полная мощность цепи равна 3,6 кВт.

При обрыве нейтрального провода в точке M , четырехпроводная трехфазная цепь станет трехпроводной.



Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



Рассчитаем эту цепь:

Определим напряжение смещения $\underline{U}_{N'N}$, воспользовавшись соотношением:

$$\underline{U}_{N'N} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = \frac{\underline{U}_A \underline{Y}_A + \underline{U}_B \underline{Y}_B + \underline{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}$$

т.к. нагрузка чисто активная, то

$$\underline{U}_{N'N} = \frac{\underline{U}_A g_A + \underline{U}_B g_B + \underline{U}_C g_C}{g_A + g_B + g_C}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Т.к. нагрузка в фазах чисто активная, тогда

$$\underline{U}_{N'N} = \frac{\underline{U}_A g_A + \underline{U}_B g_B + \underline{U}_C g_C}{g_A + g_B + g_C},$$

где

$$g_A = \frac{1}{r_A} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ См}$$

$$g_B = \frac{1}{r_B} = \frac{1}{12} \text{ См}$$

$$g_C = \frac{1}{r_C} = \frac{1}{15} \text{ См}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Тогда

$$\underline{U}_{N'N} = \frac{\underline{U}_A e^{j0^\circ} g_A + \underline{U}_B e^{-j120^\circ} g_B + \underline{U}_C e^{j120^\circ} g_C}{g_A + g_B + g_C}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

$$\underline{U}_{N'N} = \frac{120 \frac{1}{10} 1 + 120 \frac{1}{12} \left(\cos(-120^\circ) + j \sin(-120^\circ) \right) + 120 \frac{1}{15} \left(\left(\cos 120^\circ \right) + j \sin 120^\circ \right)}{\frac{1}{10} + \frac{1}{12} + \frac{1}{15}} =$$

$$= \frac{12 + 10(-0,5 - 0,886j) + 8(-0,5 + j \cdot 0,866)}{0,25} = \frac{12 - 5 - 8,66j - 4 + 6,928j}{0,25} =$$

$$= \frac{3 - 1,732j}{0,25} = 12 - 6,928j \text{ B}$$

$$\underline{U}_{N'N} = \sqrt{(12)^2 + (-6,928)^2} e^{j \arctg \left(\frac{-6,928}{12} \right)} = 13,85 \cdot e^{-j 29,99^\circ} = 11,99 - 6,92j \text{ B}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Рассчитаем фазные напряжения нагрузки:

$$\underline{U}_{AN'} = \underline{U}_A - \underline{U}_{N'N}$$

$$\underline{U}_{AN'} = 120 - (11,99 - 6,92j) = 108,01 - 17,32j \text{ B}$$

$$\underline{U}_{AN'} = \sqrt{108,01^2 + (-17,32)^2} e^{j \arctg\left(\frac{-17,32}{108,01}\right)} = 109,39 e^{j-9,1^\circ}$$

$$\underline{U}_{BN'} = \underline{U}_B - \underline{U}_{N'N}$$

$$\underline{U}_B = 120 e^{-j120^\circ} = 120 (\cos(-120^\circ) + j \sin(-120^\circ)) = -60 - 103,92j \text{ B}$$

$$\underline{U}_{BN'} = -60 - 103,92j - (11,99 - 6,92j) = -71,99 - 110,84j \text{ B}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

$$\underline{U}_{BN'} = \sqrt{(-71,99)^2 + (-110,84)^2} e^{j \cdot \arctg\left(\frac{-110,84}{-71,99}\right)} = 132,16 e^{56,99^\circ} \text{ B}$$

$$\underline{U}_{CN'} = \underline{U}_C - U_{NN'}$$

$$\underline{U}_C = 120 e^{j120^\circ} = 120 (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) = -60 + 103,92j \text{ B}$$

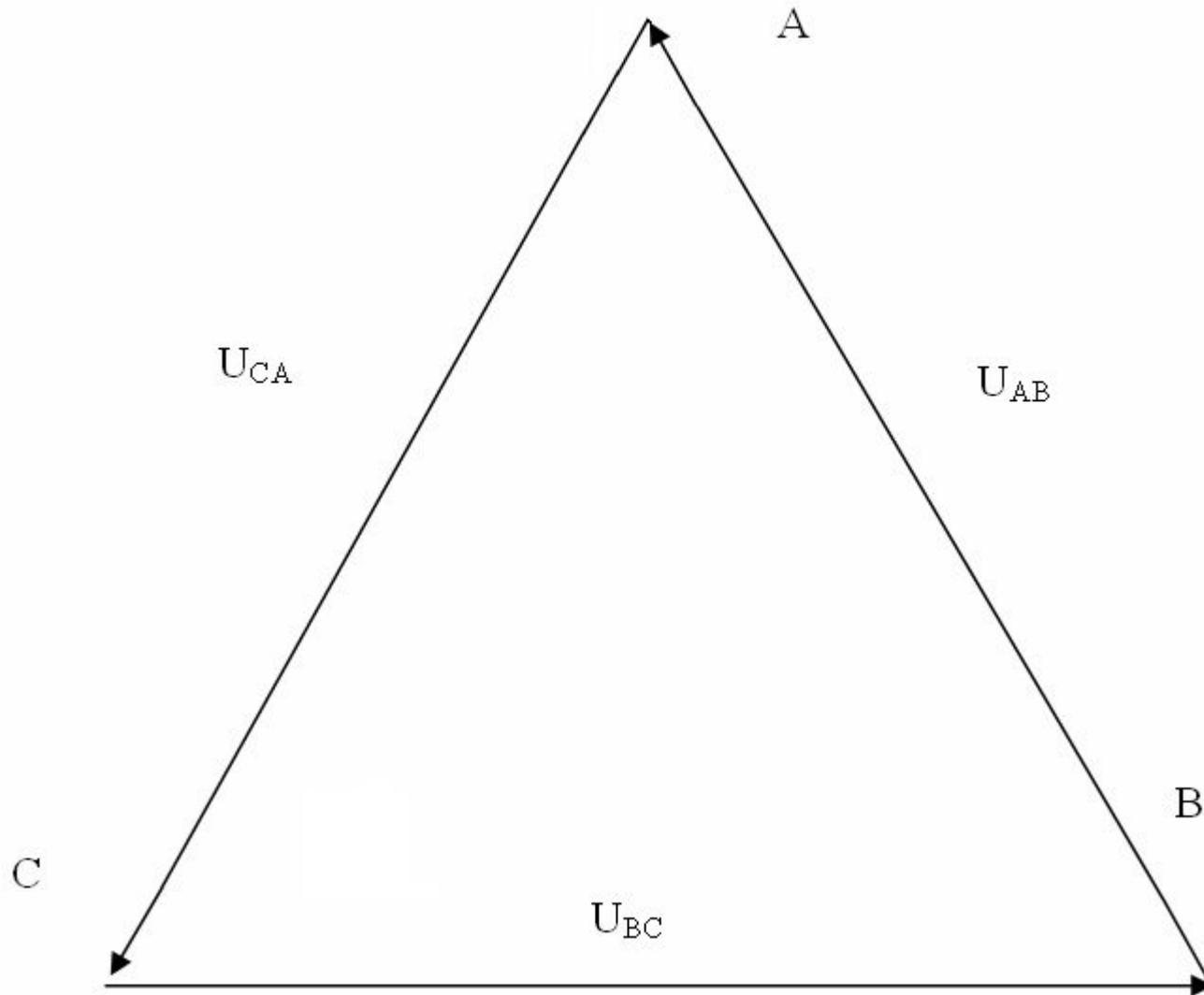
$$\underline{U}_{CN'} = -60 + 103,92j - (11,99 - 6,92j) = -71,99 - 97j \text{ B}$$

$$\underline{U}_{CN'} = \sqrt{(-71,99)^2 + (97)^2} e^{j \cdot \arctg\left(\frac{97}{-71,99}\right)} = 120,79 e^{j53,42^\circ} \text{ B}$$

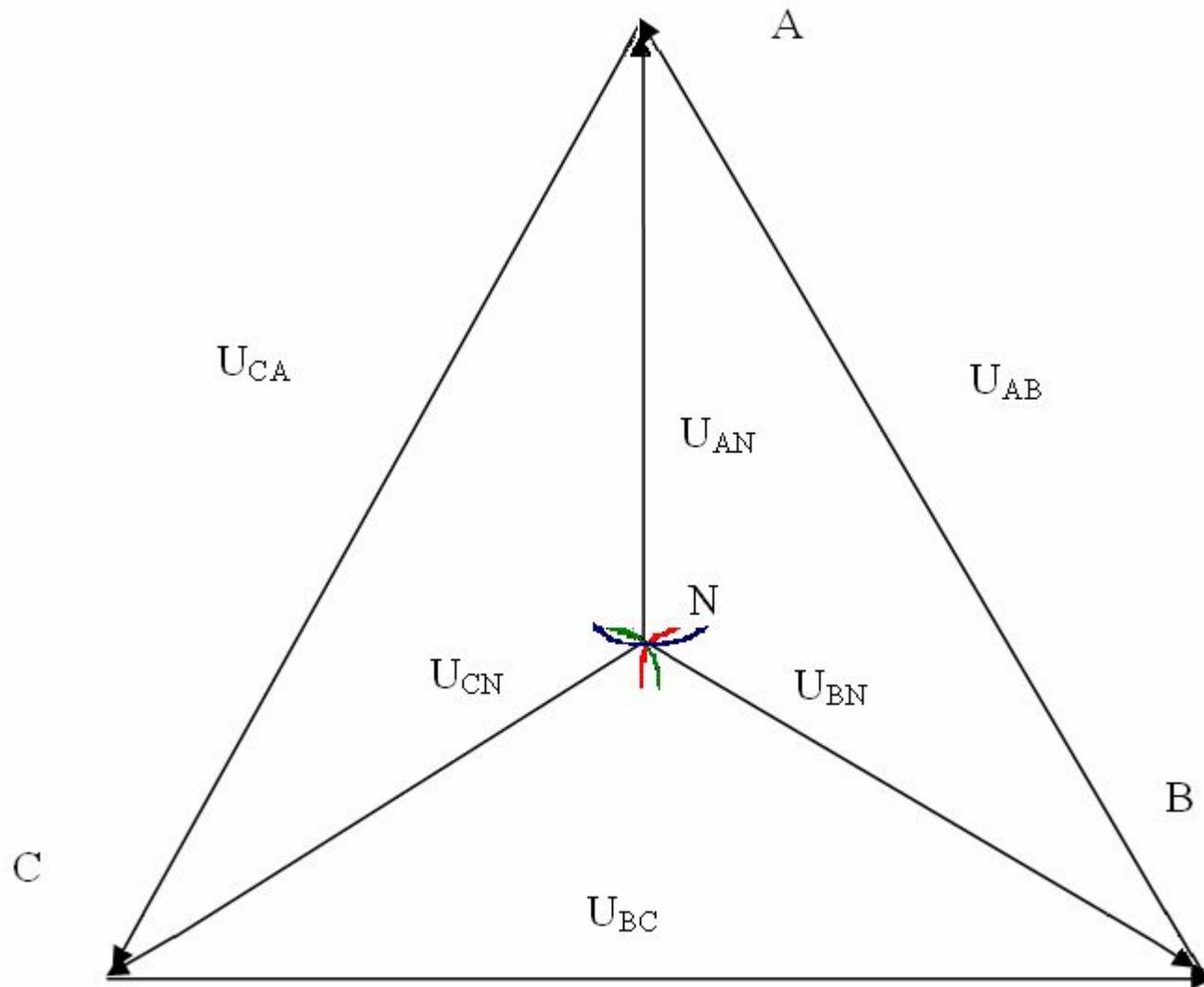
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

**Векторная диаграмма напряжений
при использовании нулевого
провода**

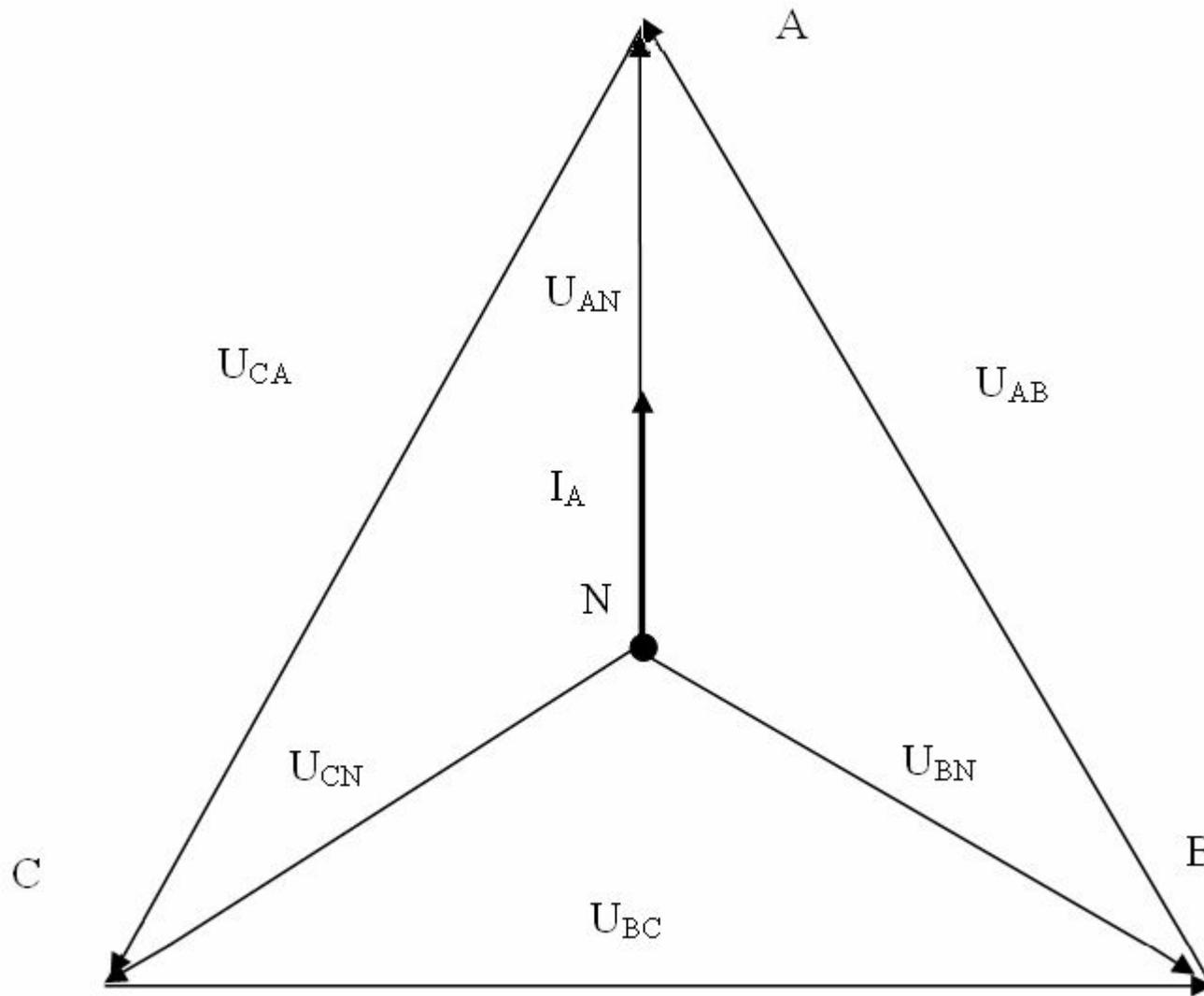
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



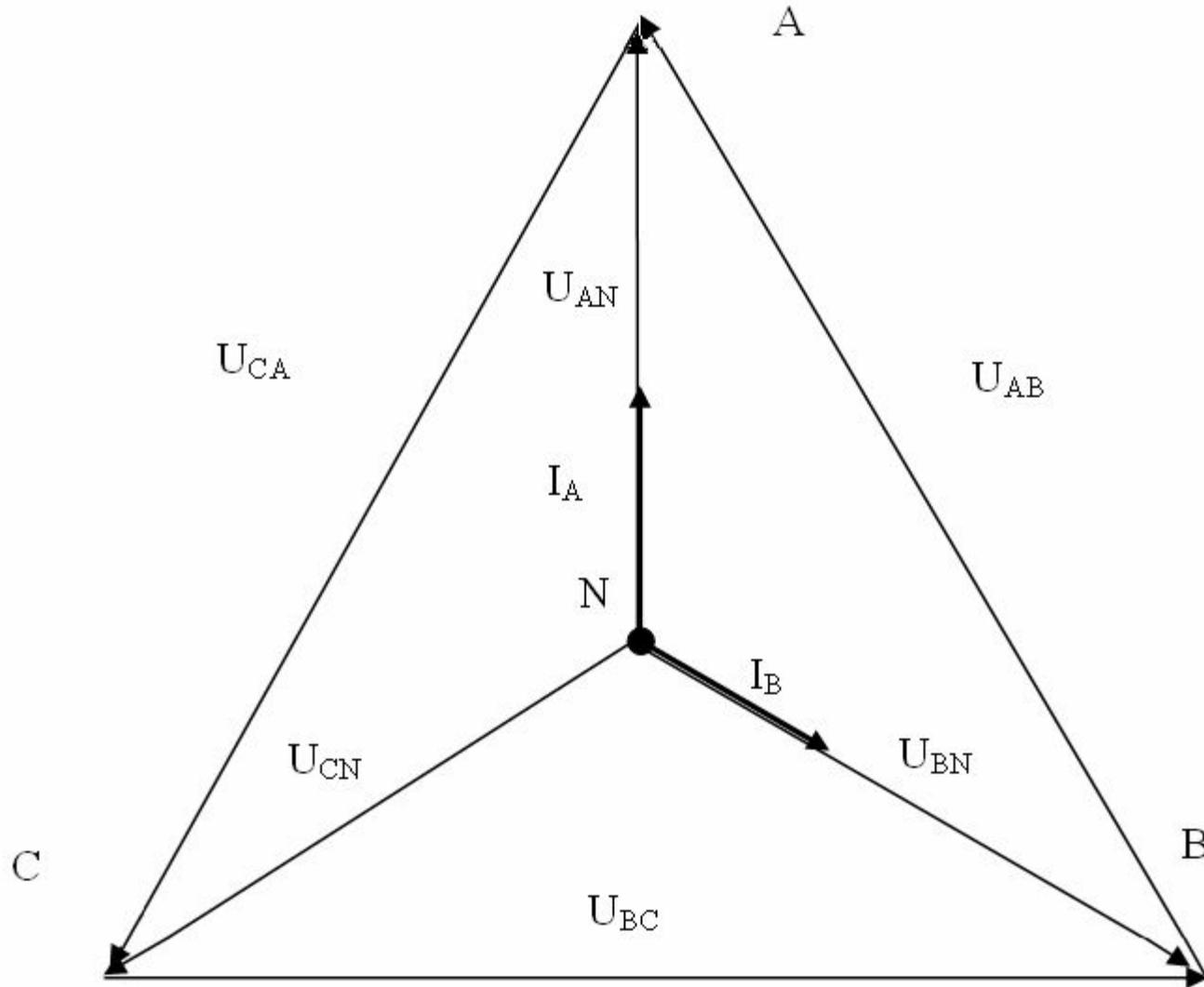
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



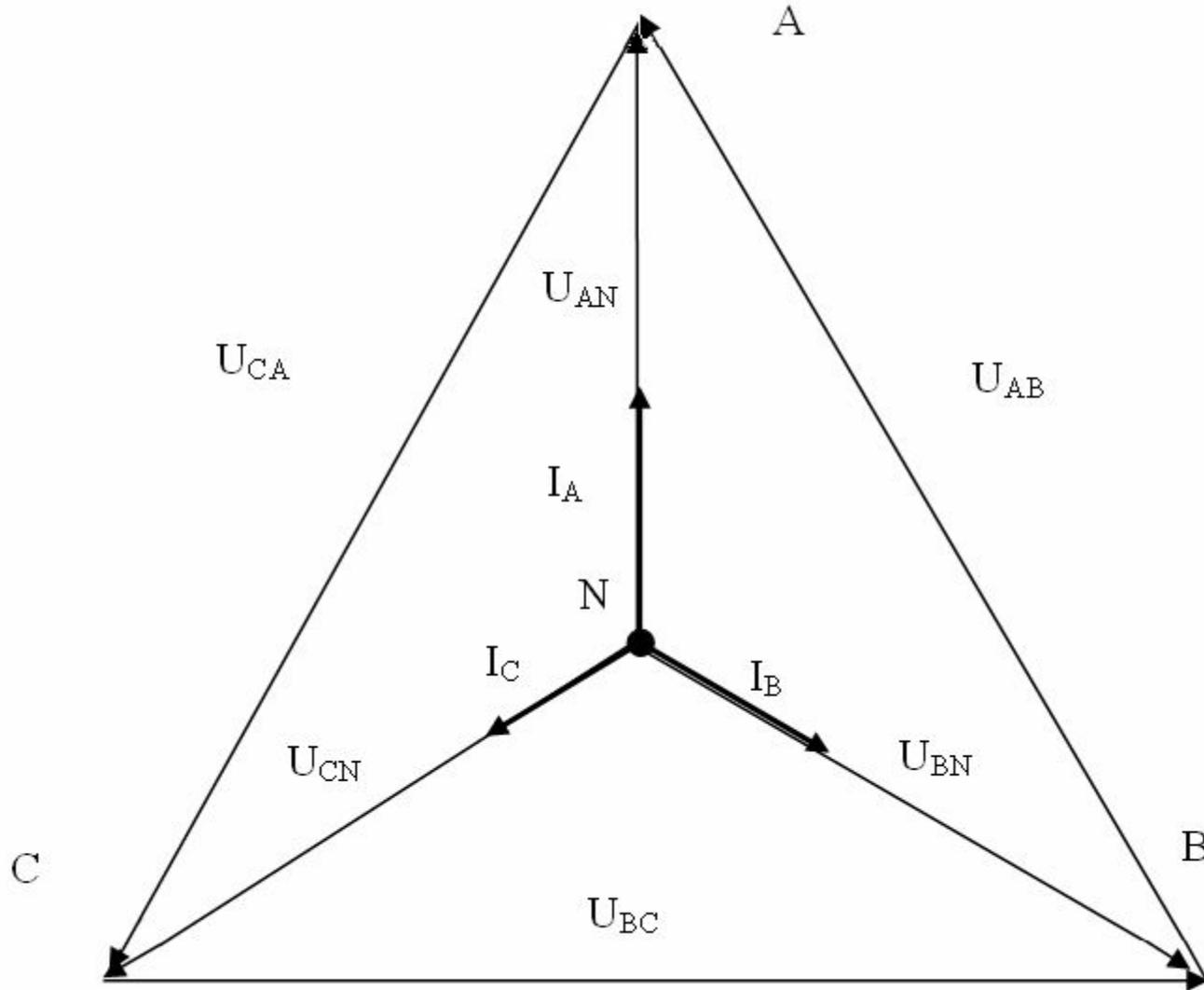
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



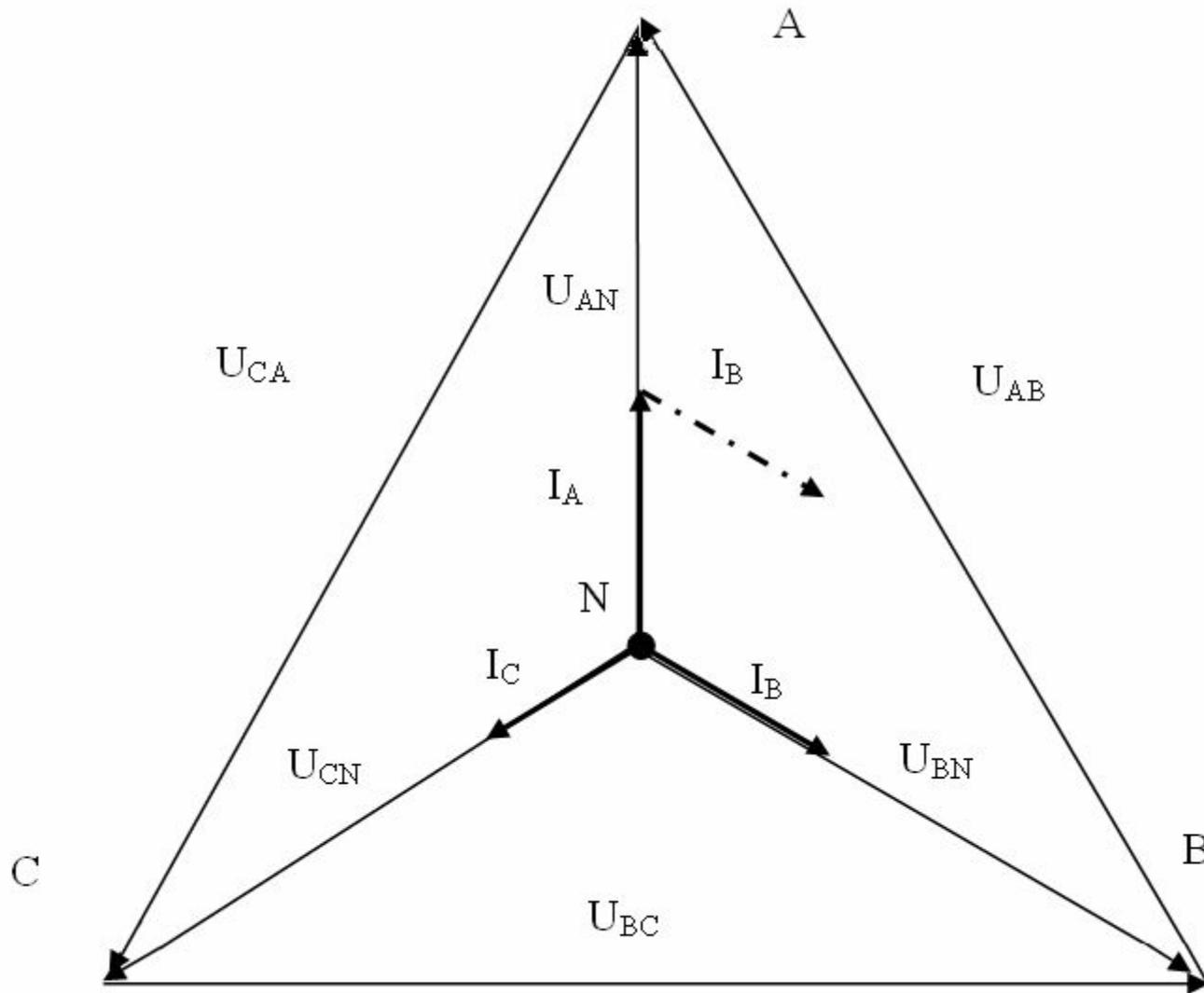
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



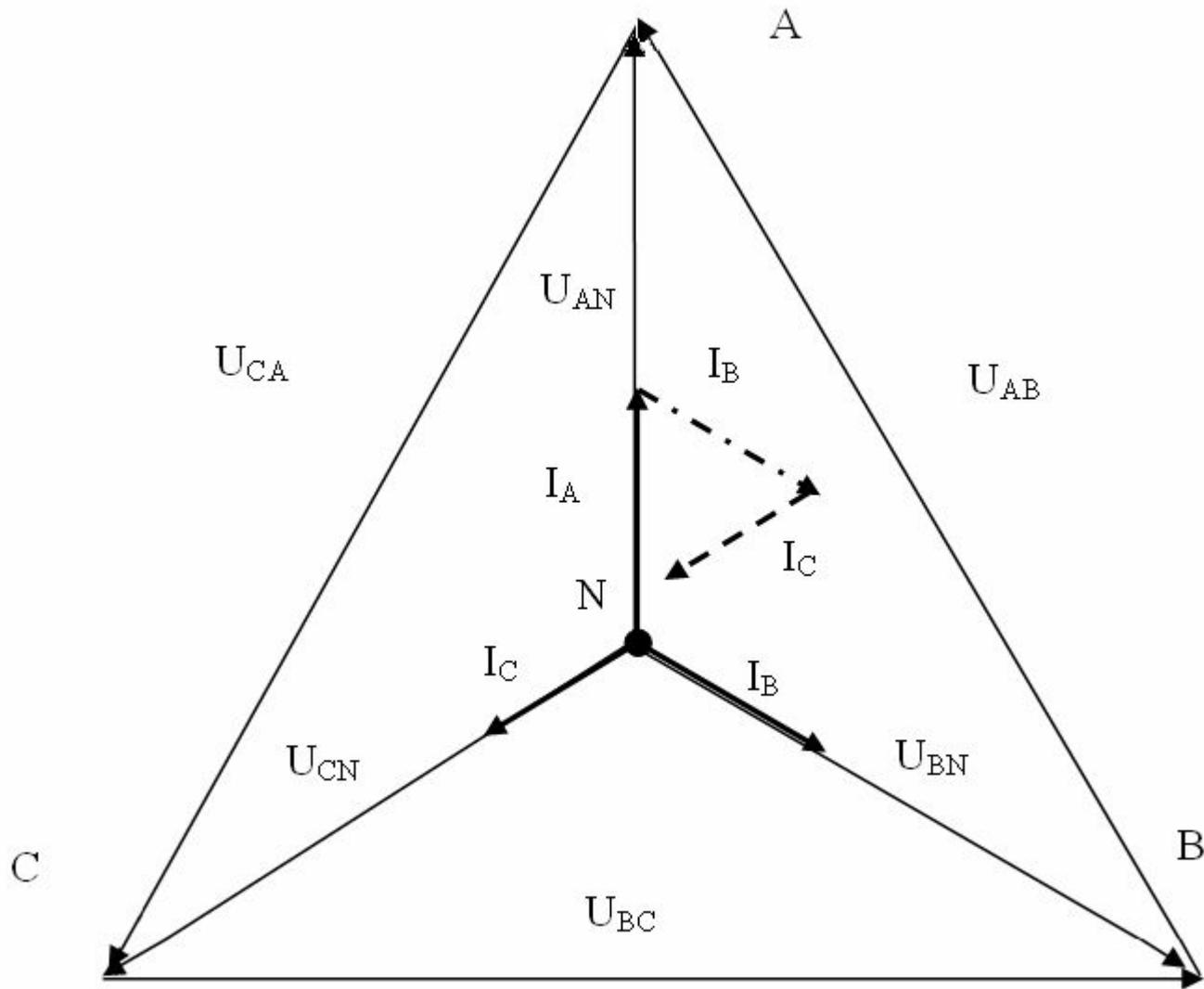
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



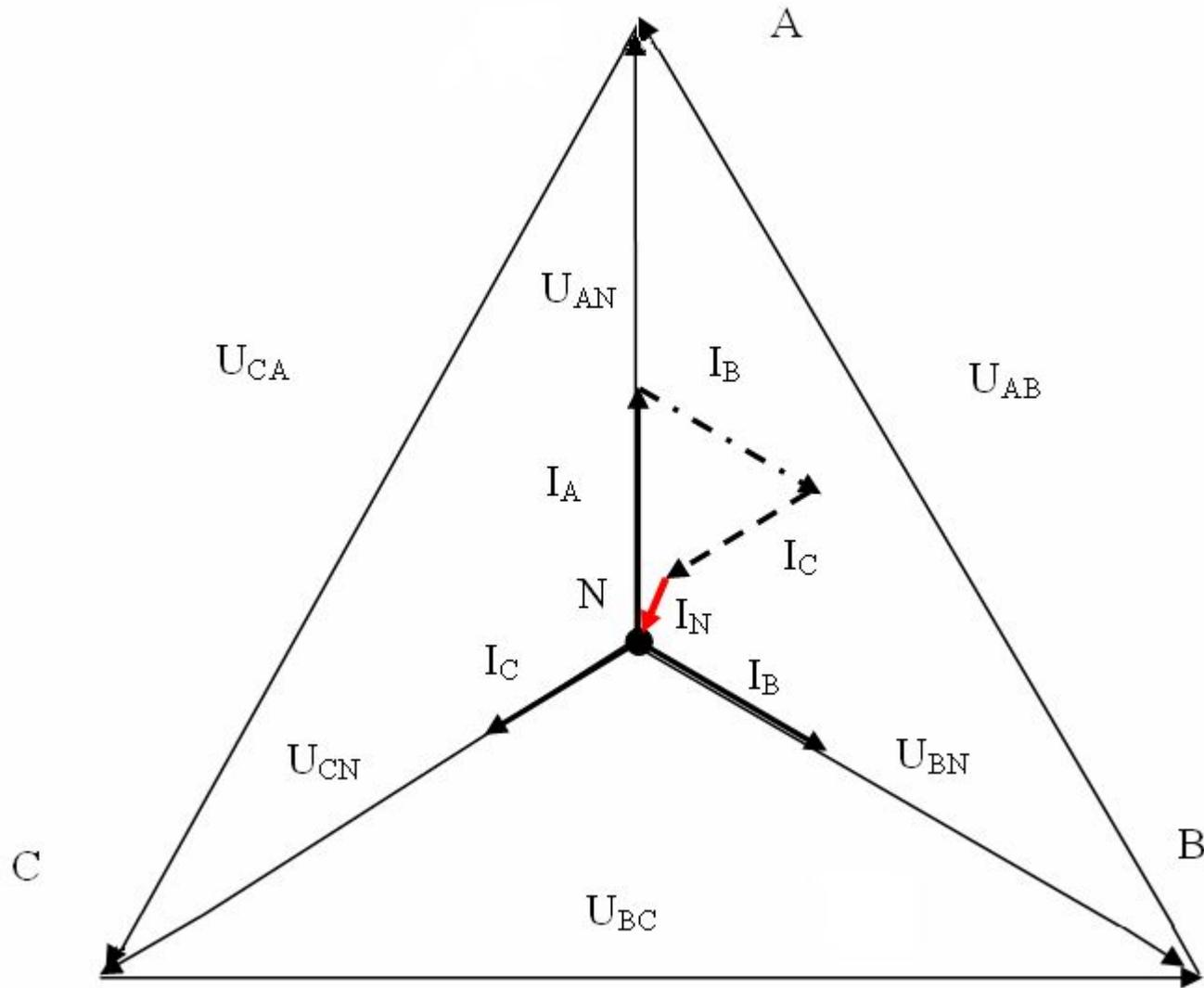
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



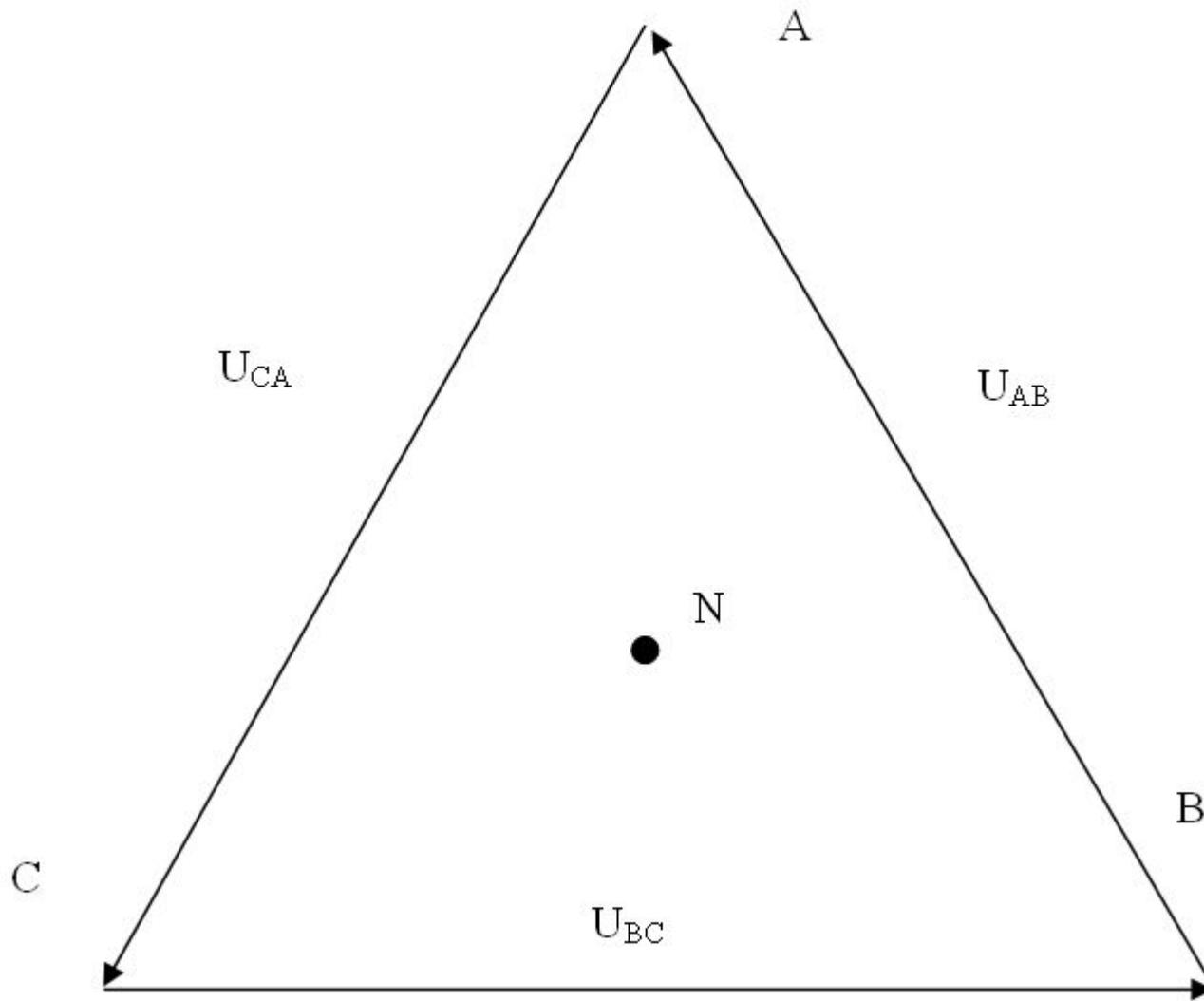
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



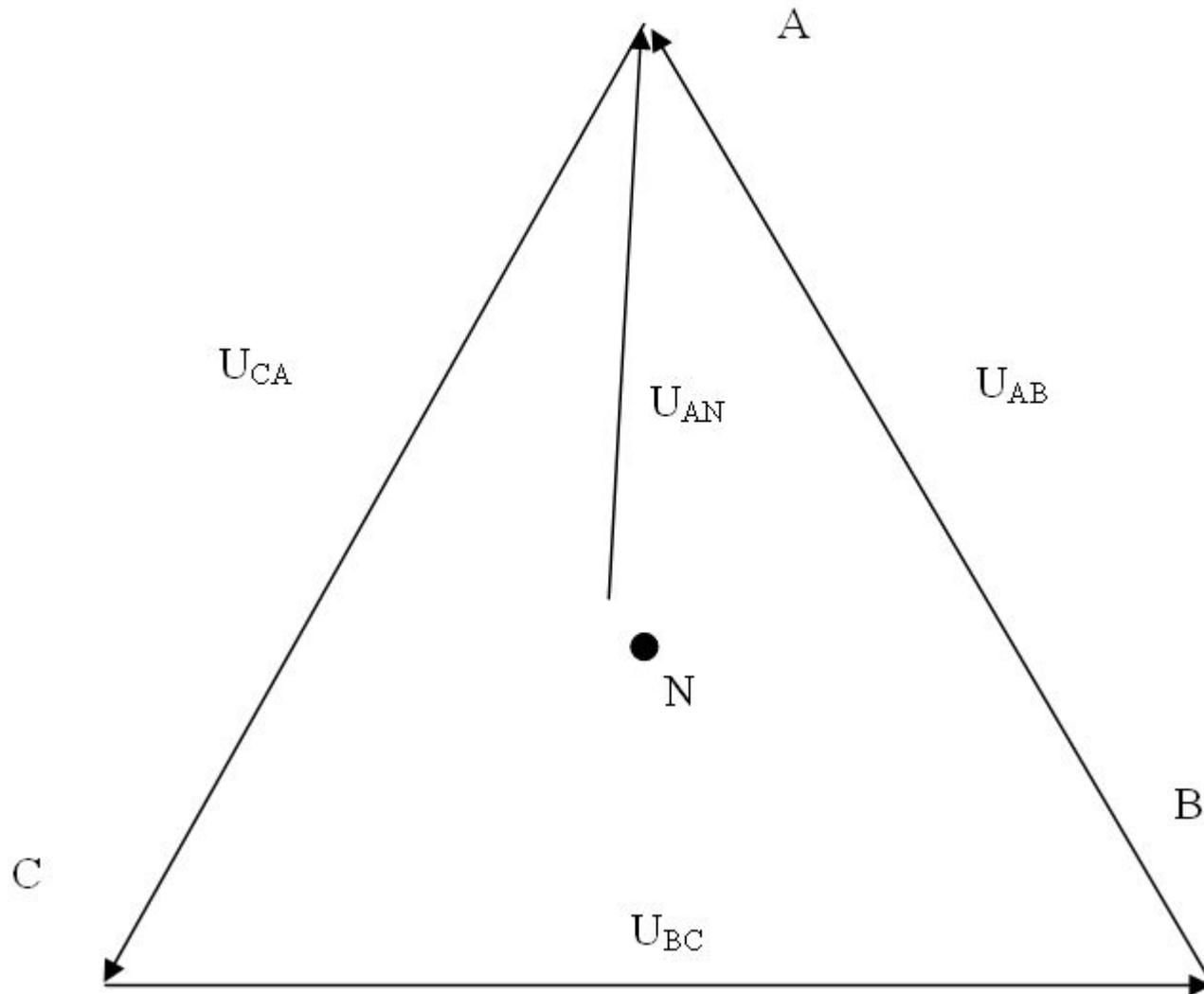
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

**Векторная диаграмма напряжений
без использования нулевого
провода**

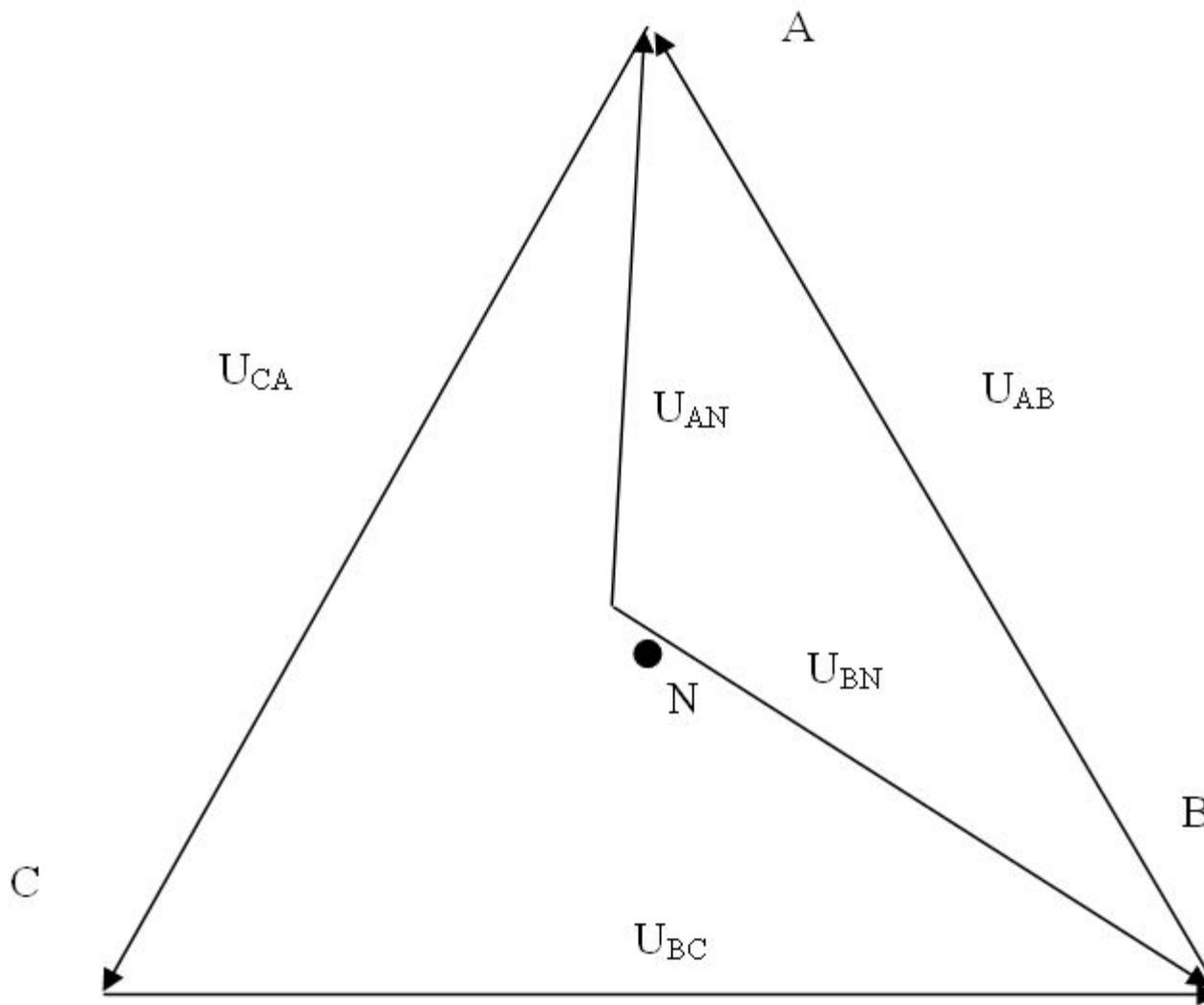
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



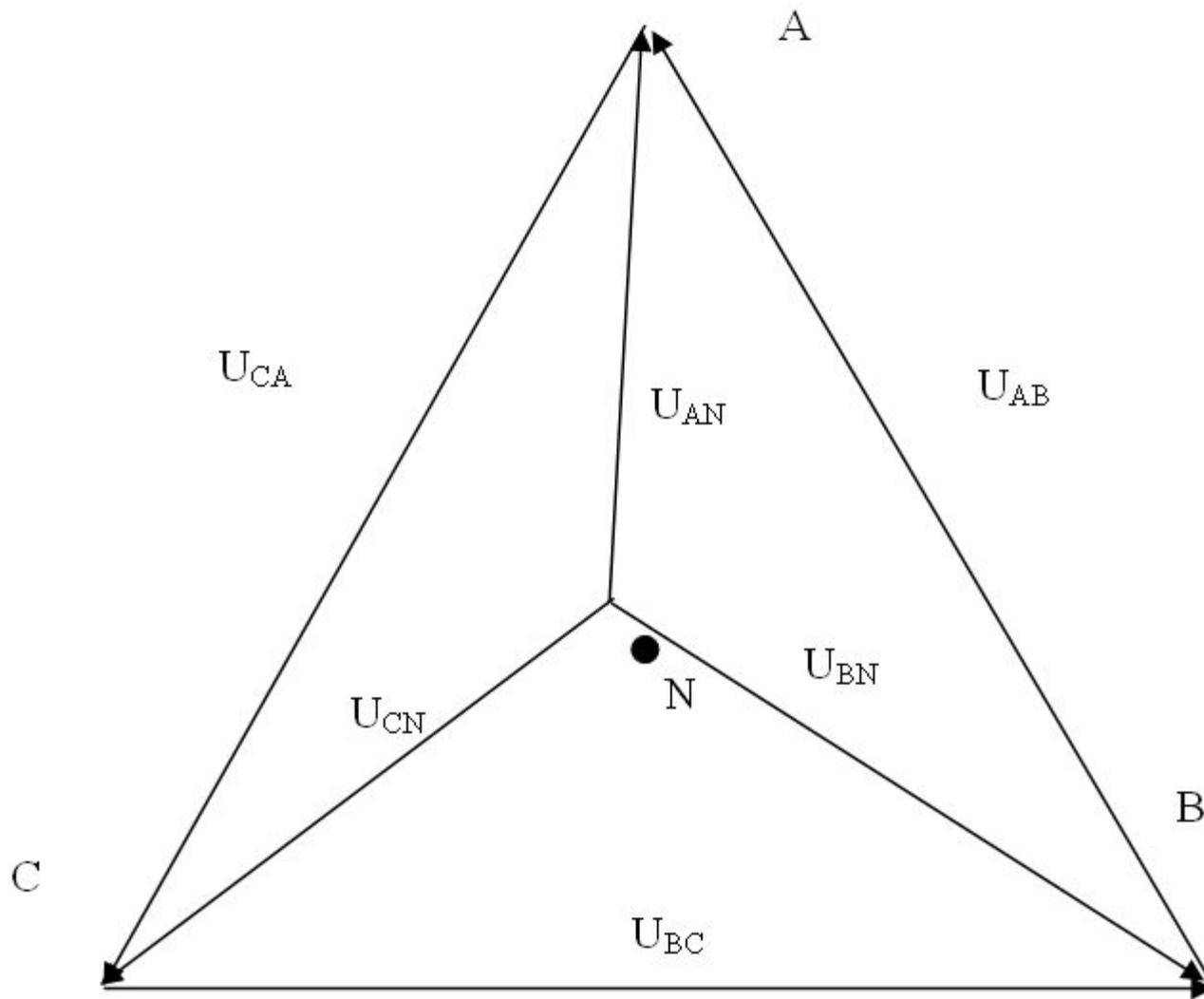
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



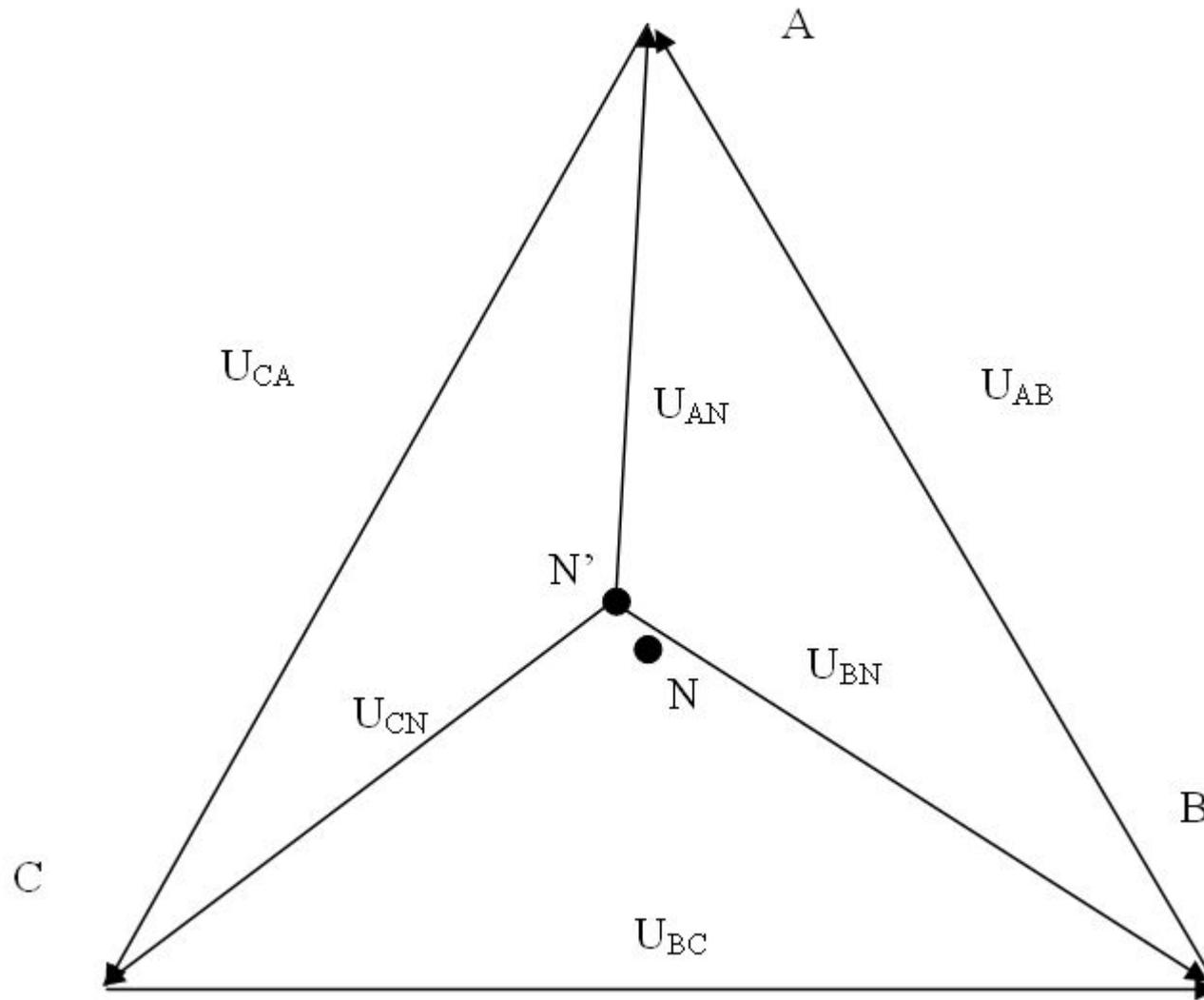
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



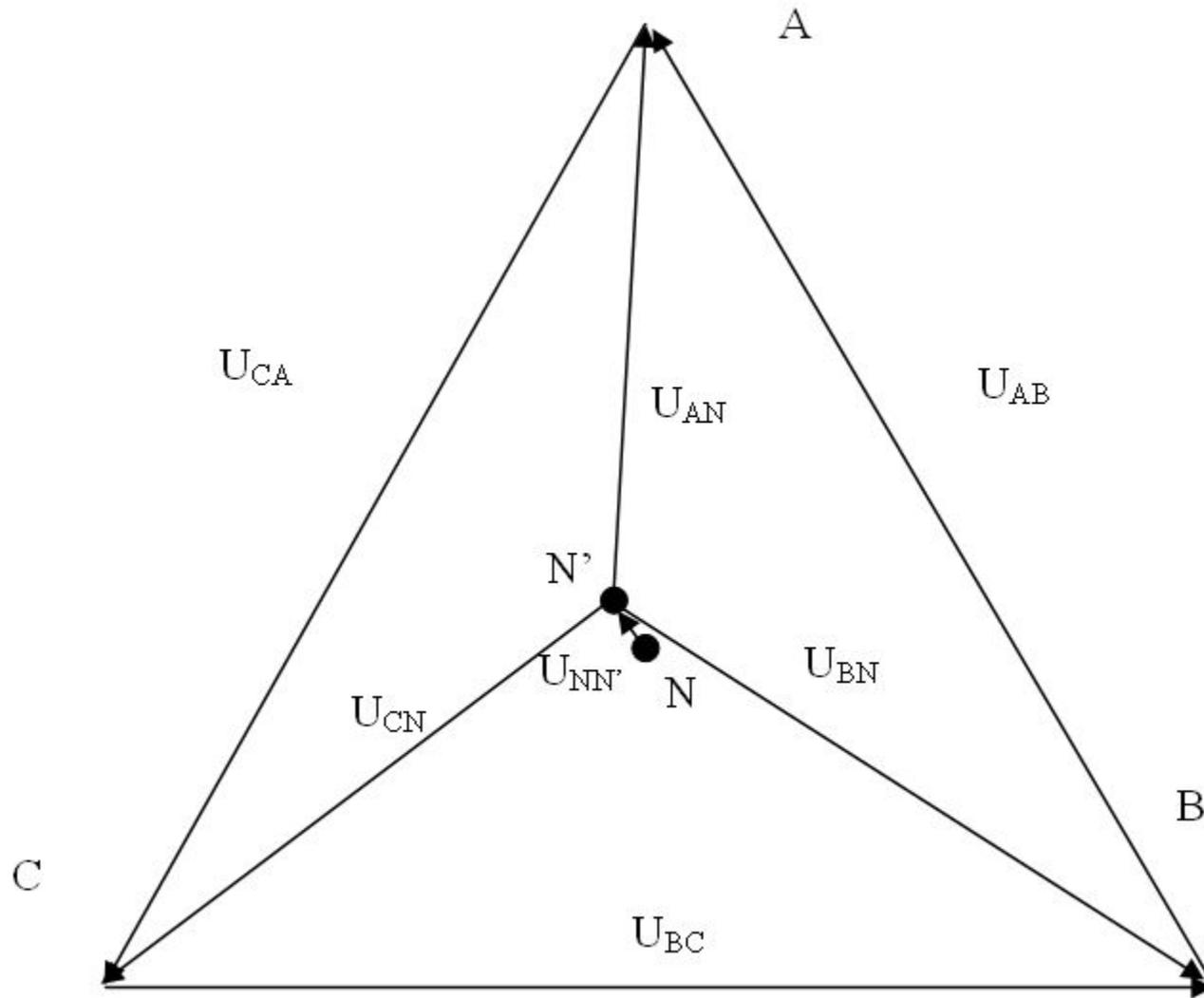
Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Расчет трехфазных сетей с соединением потребителей в треугольник.

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

В трехфазную сеть с фазным напряжением

$U_{\phi} = U_A = U_B = U_C = 120 \text{ В}$ включены три группы одинаковых ламп, сопротивление каждой лампы 300 Ом .

Группы содержат:

30 ламп,

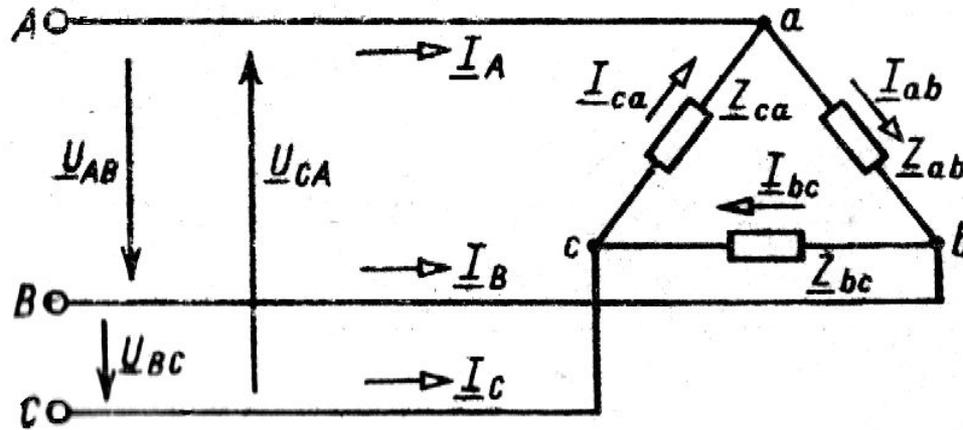
25 ламп,

20 ламп.

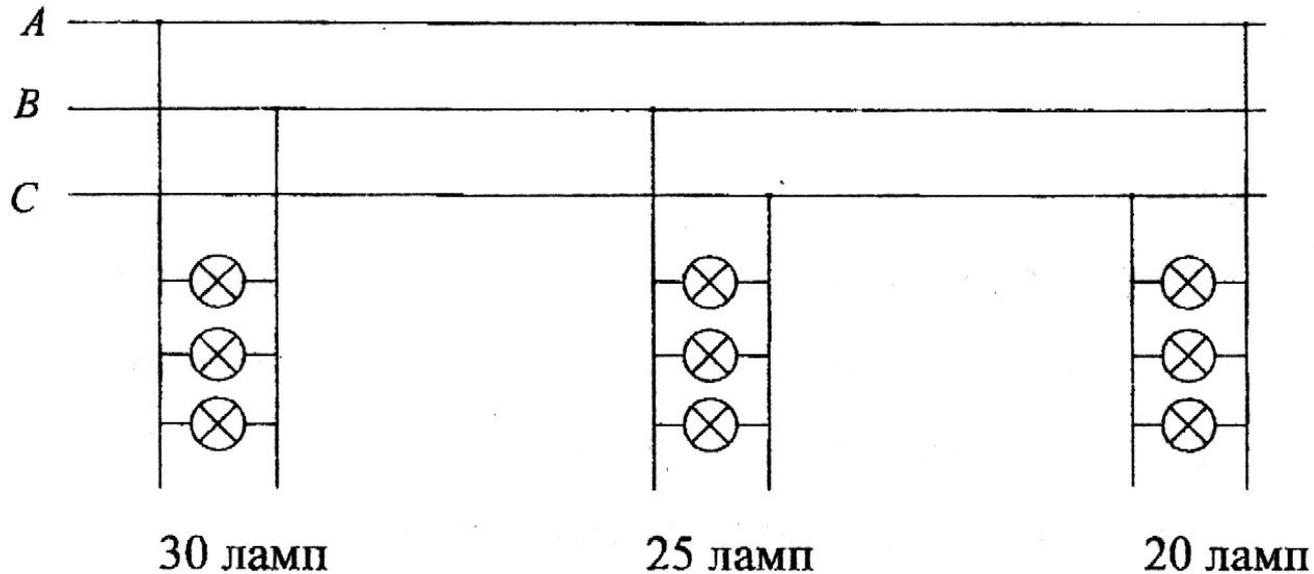
Определить:

1. линейные напряжения;
2. фазные и линейные токи;
3. мощность трехфазной нагрузки;
4. построить векторные диаграммы напряжений и токов.

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



Начертим принципиальную схему нагрузки, соединенной треугольником:



Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

В трехфазной цепи:

1. При соединении нагрузки треугольником

$$U_{л} = U_{\Phi}$$

Следовательно,

$$U_{л} = 120 \text{ В}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

2. Определим фазные токи по закону Ома:

Т.к.

$$r_{AB} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_{30}}} = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{300}} = \frac{1}{\frac{30}{300}} = 10 \text{ Ом}$$

$$I_{AB} = \frac{U_{\Phi}}{r_{AB}}$$

$$I_{AB} = \frac{120}{10} = 12 \text{ А}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Т.К.

$$r_{BC} = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{300}} = \frac{1}{\frac{25}{300}} = 12 \text{ Ом}$$

$$r_{BC} = 12 \text{ Ом}$$

$$I_{BC} = \frac{U_{\Phi}}{r_{BC}} \quad I_{BC} = \frac{120}{12} = 10 \text{ А}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

$$r_{CA} = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{300}} = \frac{1}{\frac{20}{300}} = 15 \text{ Ом}$$

$$I_{CA} = \frac{U_{\phi}}{R_{CA}} \quad I_{CA} = \frac{120}{15} = 8 \text{ А}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Так как нагрузка чисто активная, то ток на нагрузке совпадает по фазе с напряжением, следовательно:

$$\underline{I}_{AB} = I_{AB} e^{j0^\circ}, \quad \underline{I}_{AB} = 12 e^{j0^\circ} \text{ A}, \quad \underline{I}_{AB} = 12 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{BC} = I_{BC} e^{-j120^\circ}, \quad \underline{I}_{BC} = 10 e^{-j120^\circ} \text{ A}$$

$$\underline{I}_{BC} = 10 \left(\cos(-120^\circ) + j \sin(-120^\circ) \right) = 10(-0,5 - j0,866) = -5 - 8,66j \text{ A}$$

$$\underline{I}_{CA} = I_{CA} e^{j120^\circ}$$

$$\underline{I}_{CA} = 8 \left(\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ \right) = 8(-0,5 + j0,866) = -4 + 6,928j \text{ A}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Определим линейные токи:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA} \text{ A}$$

$$\underline{I}_A = 12 + j0 - (-4 + 6,928j) = 12 + 4 - 6,928j = 16 - 6,928j \text{ A}$$

$$\underline{I}_A = \sqrt{16^2 + (-6,928)^2} e^{j \cdot \arctg \frac{-6,928}{16}} = 17,436^{-j23,413^\circ} \text{ A}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{BC} - \underline{I}_{AB} \text{ A}$$

$$\underline{I}_B = -5 - 8,66j - 12 - j0 = -17 - 8,66j \text{ A}$$

$$\underline{I}_B = \sqrt{(-17)^2 + (-8,66)^2} e^{j \cdot \arctg \frac{8,66}{17}} \text{ A}$$

$$\underline{I}_B = 19,079 e^{-j153,005^\circ} \text{ A}$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{CA} - \underline{I}_{BC} \text{ A}$$

$$\underline{I}_C = -4 + 6,928j - (-5 - 8,66j) = -4 + 6,928j + 5 + 8,66j = 1 + 15,588j \text{ A}$$

$$\underline{I}_C = \sqrt{1^2 + 15,588^2} e^{j \cdot \arctg \frac{15,558}{1}} = 15,62 e^{j86,329^\circ} \text{ A}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

Рассчитаем мощность трехфазной нагрузки:

$$P = P_A + P_B + P_C$$

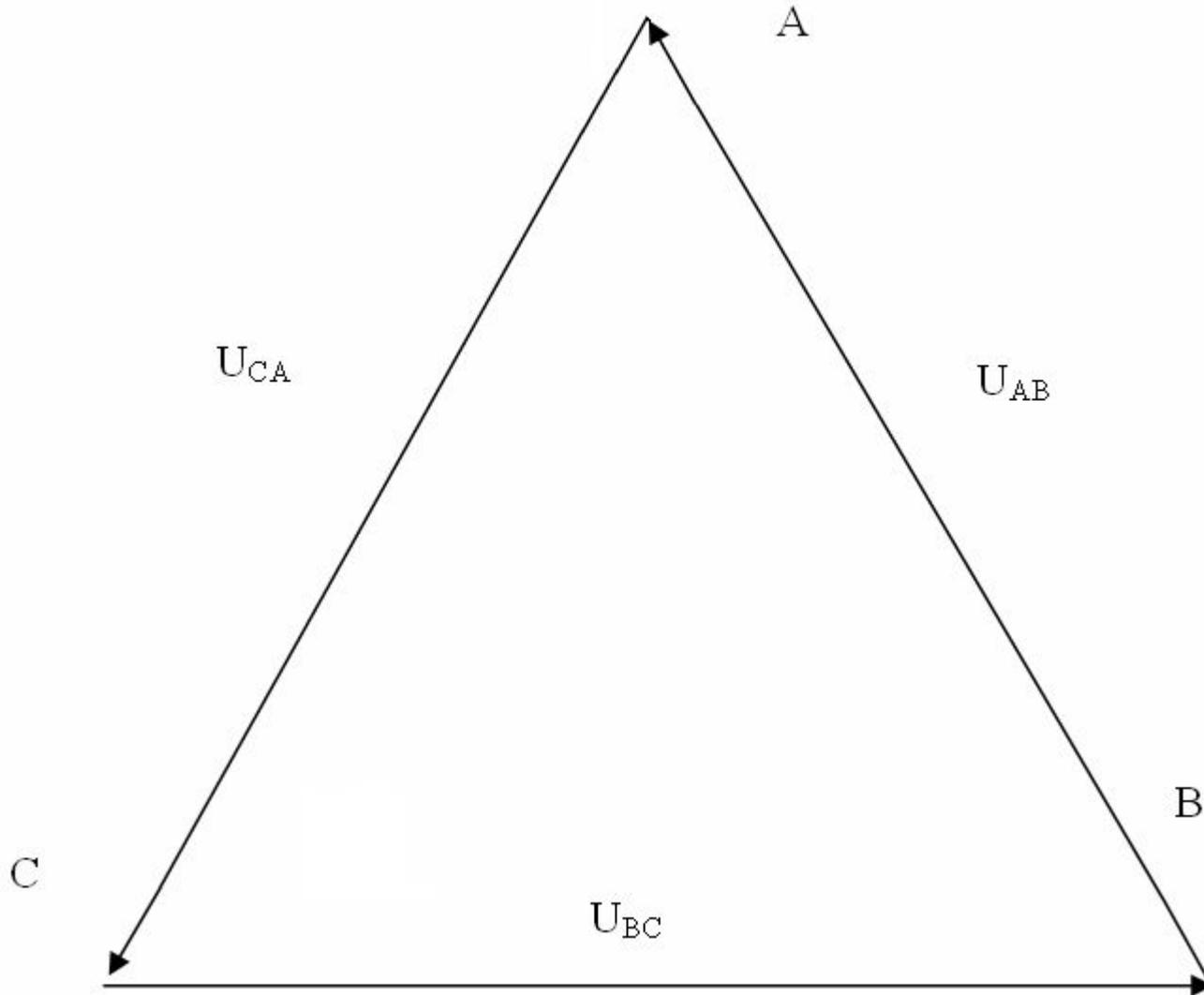
$$P_A = U_A I_A = 120 \cdot 12 = 1440 \text{ Вт}$$

$$P_B = U_B I_B = 120 \cdot 10 = 1200 \text{ Вт}$$

$$P_C = U_C I_C = 120 \cdot 8 = 960 \text{ Вт}$$

$$P = 1440 + 1200 + 960 = 3600 \text{ Вт}$$

Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.



Задание 2. Часть Б. Расчет трехфазных сетей.

