

Задание для группы № 160 по электротехнике и электронике по теме:

«Трехфазные электрические цепи»

Срок сдачи 14.04.20 до 15-00

Цель: изучить устройство трехфазной сети, ее преимущества и понятия

1. Изучить теорию и ответить на вопросы.

<https://www.youtube.com/watch?v=kgX3mLh56Wg>

1. Что называют трехфазной электрической сетью (цепью)?
2. В чем преимущества трехфазной сети перед однофазной?
3. Что называют фазой? (дать два определения)?
4. Как называют фазы в 3-х фазной цепи?
5. Какими буквами обозначаются начала фаз и концы фаз?
6. Какая трехфазная цепь называется симметричной?
7. Кем впервые была осуществлена передача трехфазного тока?
8. Что является источником энергии для трех фазной сети?
9. Каким цветом обозначаются фазы трехфазной сети?

Теоретические сведения

В настоящее время получение, передача и распределение электроэнергии в большинстве случаев производится посредством трехфазной системы.

Эта система была изобретена и практически разработана во всех основных частях выдающимся русским инженером М. О. Доливо-Добровольским.

Как показывает само название, трехфазная система состоит из трех источников электроэнергии и трех цепей, соединенных общими проводами линии передачи.

Источником энергии для всех фаз системы является трехфазный генератор (рис. 3.1). Он отличается от однофазного генератора переменного тока тем, что у него на статоре размещены три изолированные друг от друга одинаковые обмотки. Они расположены так, чтобы индуцируемые в них э.д.с. были сдвинуты по фазе одна относительно другой на 120° .

Если генератор двухполюсный, как на рис. 3.1, то оси катушек обмоток фазы сдвинуты одна по отношению к другой на одну треть окружности статора.

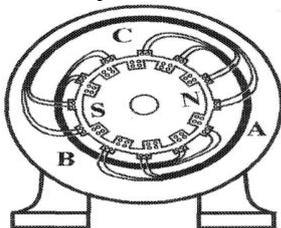


Рис.3.1 Схема устройства трехфазного генератора.

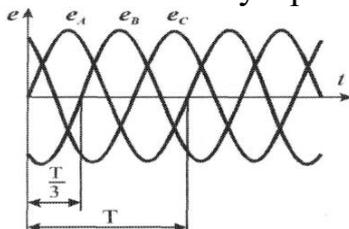


Рис.3.2 Кривые мгновенных значений э.д.с. трехфазной системы.

При вращении ротора его постоянное магнитное поле пересекает проводники обмоток не одновременно. Э.д.с. обмотки A достигает своего максимального значения, когда мимо нее проходит середина полюса ротора. Э.д.с. в следующей обмотке B достигает максимума позже, когда ротор повернется на $1/3$ оборота. В двухполюсном генераторе повороту на $1/3$ оборота соответствует $1/3$ периода индуцируемой э.д.с. Следовательно, э.д.с. в обмотке B отстает по фазе от э.д.с. в обмотке A на $1/3$ периода. В свою очередь, э.д.с. в обмотке C отстает по фазе от э.д.с. обмотки B на $1/3$ периода и от э.д.с. обмотки A на $2/3$ периода. При такой симметрии устройства генератора максимальные значения этих э.д.с. одинаковы. Конструкция генератора должна обеспечивать их синусоидальность.

Уравнения мгновенных значений э.д.с. будут:

$$E_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{T}{3}\right) \quad (3.1)$$

$$e_C = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2T}{3}\right)$$

Кривые мгновенных значений э.д.с. показаны на рис. 3.2. На рис. 3.3 дана векторная диаграмма для их действующих значений

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

Сумма этих векторов образует замкнутый треугольник: $E_A + E_B + E_C = 0$ — это трехфазная симметричная система э.д.с. Алгебраическая сумма мгновенных значений э.д.с. $e_A + e_B + e_C = 0$, что легко проверить, подставив выражения этих значений как синусоидальных функций времени.

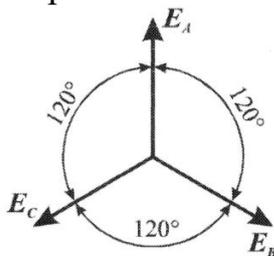


Рис. 3.3 Векторы э.д.с. трехфазной системы.

Изображения э.д.с. трехфазной системы в комплексной форме будут:

$$\dot{E}_A = E_\phi \cdot e^{j0} = E_\phi$$

$$\dot{E}_B = E_\phi \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} = E_\phi \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right); \quad (3-2)$$

$$\dot{E}_C = E_\phi \cdot e^{-j\frac{4\pi}{3}} = E_\phi \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} = E_\phi \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right);$$

От последовательности фаз системы зависит направление вращения трехфазных двигателей, поэтому в трехфазных устройствах она проверяется специальными указателями последовательности фаз и обозначается раскраской шин на распределительных устройствах; приняты следующие

цвета: фаза A — желтый, фаза B — зеленый и фаза C — красный; незаземленная нейтраль — белый, заземленная нейтраль — черный. Зажимы обмоток генератора различают: начала A, B, C , концы X, Y, Z .

Два основных способа соединения обмоток генераторов, трансформаторов и приемников в трехфазных цепях: звездой и треугольником

Задание для группы № 160 по электротехнике и электронике по теме:

«Способы соединения обмоток трехфазного генератора.».

Срок сдачи 16.04.20 до 12-30

Цель: изучить способы соединения обмоток генератора; освоить методы расчета трехфазных цепей

1. Теоретические сведения <http://chertovlektor.ru/toe/trehfaznie-cepi/osnovnyeshemy-soedineniya-trehfaznogo-generatora-i-nagruzki>

В настоящее время получение, передача и распределение электроэнергии в большинстве случаев производится посредством **т р е х ф а з н о й с и с т е м ы**.

Эта система была изобретена и практически разработана во всех основных частях выдающимся русским инженером М. О. Доливо-Добровольским.

Как показывает само название, трехфазная система состоит из трех источников электроэнергии и трех цепей, соединенных общими проводами линии передачи.

Источником энергии для всех фаз системы является трехфазный генератор (рис. 3.1). Он отличается от однофазного генератора переменного тока тем, что у него на статоре размещены три изолированные друг от друга одинаковые обмотки. Они расположены так, чтобы индуцируемые в них э.д.с. были сдвинуты по фазе одна относительно другой на 120° .

Если генератор двухполюсный, как на рис. 3.1, то оси катушек обмоток фазы сдвинуты одна по отношению к другой на одну треть окружности статора.

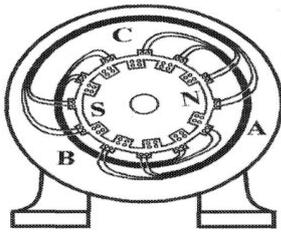


Рис.3.1 Схема устройства трехфазного генератора.

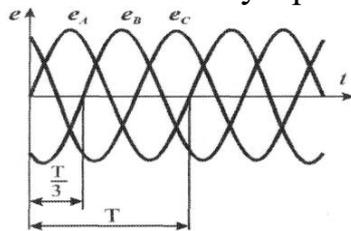


Рис.3.2 Кривые мгновенных значений э.д.с. трехфазной системы.

При вращении ротора его постоянное магнитное поле пересекает проводники обмоток не одновременно. Э.д.с. обмотки *A* достигает своего максимального значения, когда мимо нее проходит середина полюса ротора. Э.д.с. в следующей обмотке *B* достигает максимума позже, когда ротор повернется на $1/3$ оборота. В двухполюсном генераторе повороту на $1/3$ оборота соответствует $1/3$ периода индуцируемой э.д.с. Следовательно, э.д.с. в обмотке *B* отстает по фазе от э.д.с. в обмотке *A* на $1/3$ периода. В свою очередь, э.д.с. в обмотке *C* отстает по фазе от э.д.с. обмотки *A* на $2/3$ периода. При такой симметрии устройства генератора максимальные значения этих э.д.с. одинаковы. Конструкция генератора должна обеспечивать их синусоидальность.

Уравнения мгновенных значений э.д.с. будут:

$$E_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{T}{3}\right) \quad (3.1)$$

$$e_C = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2T}{3}\right)$$

Кривые мгновенных значений э.д.с. показаны на рис. 3.2. На рис. 3.3 дана векторная диаграмма для их действующих значений

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

Сумма этих векторов образует замкнутый треугольник: $E_A + E_B + E_C = 0$ — это трехфазная симметричная система э.д.с. Алгебраическая сумма мгновенных значений э.д.с. $e_A + e_B + e_C = 0$, что легко проверить, подставив выражения этих значений как синусоидальных функций времени.

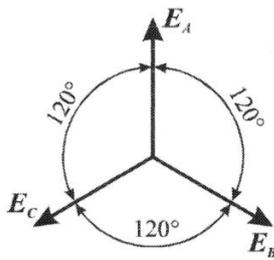


Рис. 3.3 Векторы э.д.с. трехфазной системы.

Изображения э.д.с. трехфазной системы в комплексной форме будут:

$$\dot{E}_A = E_\phi \cdot e^{j0} = E_\phi$$

$$\dot{E}_B = E_\phi \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} = E_\phi \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right); \quad (3-2)$$

$$\dot{E}_C = E_\phi \cdot e^{-j\frac{4\pi}{3}} = E_\phi \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} = E_\phi \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right);$$

От последовательности фаз системы зависит направление вращения трехфазных двигателей, поэтому в трехфазных устройствах она проверяется специальными указателями последовательности фаз и обозначается раскраской шин на распределительных устройствах; приняты следующие цвета: фаза *A* — желтый, фаза *B* — зеленый и фаза *C* — красный; незаземленная нейтраль — белый, заземленная нейтраль — черный. Зажимы обмоток генератора различают: начала *A, B, C*, концы *X, Y, Z*.

Два основных способа соединения обмоток генераторов, трансформаторов и приемников в трехфазных цепях: звездой и треугольником

СОЕДИНЕНИЕ ФАЗ ЗВЕЗДОЙ

Обмотки фаз генераторов можно было бы соединить с тремя приемниками электроэнергии шестью проводами (рис. 3.4а) и получить таким путем три независимые фазные цепи. Практически подобное соединение применяется лишь в редких случаях, но с помощью такой схемы можно нагляднее представить условия, возникающие при объединении цепей в трехфазную систему. Как и в однофазных цепях переменного тока, стрелки на схеме показывают положительные направления фазных э.д.с. и создаваемых ими токов. Положительные направления определяет разметка зажимов обмоток фаз генератора. Внутри обмоток э.д.с. и токи направлены от «концов» (*X, Y, Z*) к «началам» (*A, B, C*). Во внешней цепи токи направлены от начал обмоток фаз генераторов к приемникам.

Для соединения звездой (условное обозначение *Y*) зажимы *X, Y, Z* («концы» обмоток фаз генератора) объединяются в одну общую точку *N*. Соответственно в точке *n* объединяются и три конца фазных цепей приемника (рис. 3.4б) Между нейтральными точками генератора и приемника проложен общий нейтральный провод (или нейтраль) трехфазной системы, образуемый объединением трех обратных проводов.

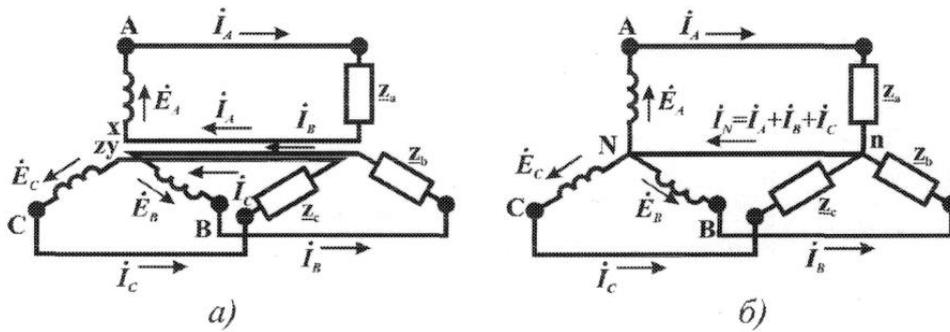


Рис.3.4 Образование соединения фаз звездой:
 а — схема не объединенной трехфазной системы.
 б — объединенная трехфазная система

Если предположить равными нулю поочередно все фазные эдс, кроме одной (например, проследить в объединенной системе контур тока I_A при наличии в системе одной э.д.с. E_A) то легко убедиться, что объединение системы не изменит контуры, по которым замыкаются фазные токи. Следовательно, в нейтральном проводе системы ток будет равен векторной сумме фазных токов:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \quad (3.3)$$

Нагрузка всех трех фаз называется симметричной, если ток во всех фазах одинаков и равны сдвиги фаз между фазными напряжениями и токами, а также полные сопротивления отдельных фаз приемника (т. е. равны комплексные сопротивления фаз приемника).

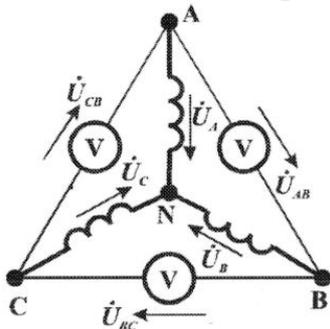


Рис. 3.5. Положительные направления фазных напряжений при соединении фаз звездой.

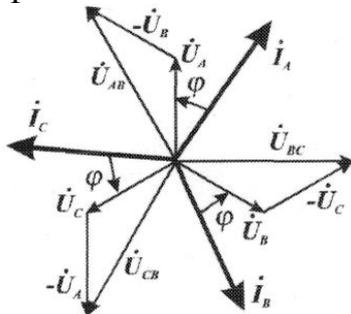


Рис. 3.6. Векторная диаграмма линейных и фазных напряжений для соединения фаз звездой.

При симметричной нагрузке сумма векторов фазных токов образует замкнутый треугольник. Следовательно, в этом случае ток в нейтральном проводе $\dot{I}_N = 0$. По этой причине для заведомо симметричной трехфазной нагрузки нейтральный провод не нужен. В частности, он не используется для

трехфазных двигателей.

При соединении звездой фаз генератора и приемника напряжения на их зажимах называются ф а з н ы м и н а п р я ж е н и я м и U_ϕ (U_A, U_B, U_C на рис. 3.5). Но в системе имеются также напряжения между линейными проводами, называемые л и н е й н ы м и н а п р я ж е н и я м и U_Δ (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}). Положительные направления фазных напряжений противоположны по отношению к приемнику, включенному между линейными проводами (рис. 3.5). Следовательно, каждое из трех линейных напряжений равно векторной разности соответствующих фазных напряжений:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B; \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C; \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A; \end{aligned} \quad (3.4)$$

Численные соотношения между линейными и фазными напряжениями в симметричной системе легко определить на основании векторной диаграммы (рис. 3.6). За основу диаграммы можно взять три вектора фазных напряжений \dot{U}_A, \dot{U}_B и \dot{U}_C . Углы между ними равны 120° . Для построения вектора линейного напряжения \dot{U}_{AB} следует из \dot{U}_A вычесть \dot{U}_B , следовательно, нужно к \dot{U}_A прибавить $(-\dot{U}_B)$.

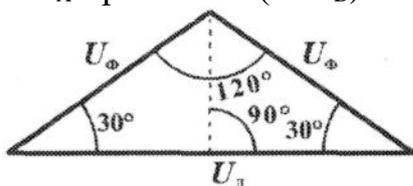


Рис. 3.7. Соотношения между фазными и линейными напряжениями при соединении фаз звездой.

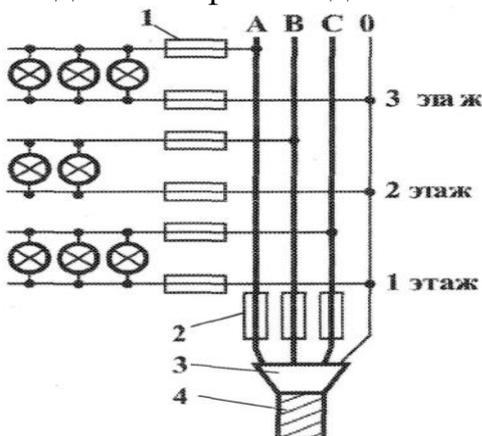


Рис. 3.8. Осветительная нагрузка при соединении приемников звездой с нейтральным проводом (четырёхпроводная система)

1 - квартирные предохранители; 2 - домовые предохранители; 3 - муфта; 4 - кабель.

Последний равен \dot{U}_B по величине, но противоположен ему по направлению. Так же строятся \dot{U}_{BC} и \dot{U}_{CA} . Так как рассматриваемая система напряжений симметрична, то векторы фазных и линейных напряжений образуют три равнобедренных треугольника с острыми углами по 30° и тупым углом 120° . Опустив из вершины тупого угла любого из треугольников перпендикуляр на

противоположную сторону (рис. 3.7), можно найти, что

$$U_{\phi} \cos 30^{\circ} = U_{\text{л}}/2 \quad \text{или} \quad U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\phi};$$

В трехфазной системе, соединенной звездой, линейные напряжения больше фазных в $\sqrt{3}$ раз. При смешанной осветительной и силовой нагрузке линейное напряжение 380 В подается на зажимы трехфазных двигателей, а фазное $220 \text{ В} = 380/\sqrt{3}$ — на осветительные приборы.

При соединении звездой токи в проводах линии передачи—линейные токи $I_{\text{л}}$ равны фазным, так как все части фазной цепи и линейные провода соединены последовательно: $I_{\text{л}} = I_{\phi}$.

При осветительной нагрузке в случае соединения звездой приемники включаются между линейными проводами и нейтральным проводом.

Часто осветительная нагрузка бывает несимметричной, в этом случае необходим нейтральный провод (рис. 3.8). При отсутствии нейтрального провода в зависимости от отношения сопротивлений фаз приемника одно фазное напряжение может быть ниже необходимого, а другое слишком велико. По этой причине в нейтральном проводе магистрали запрещается устанавливать предохранители или выключатели.

СОЕДИНЕНИЕ ФАЗ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

Несколько реже, чем соединение звездой, в трехфазных устройствах применяют соединение треугольником (условное обозначение Δ).

При соединении треугольником (рис. 3.9) обмотки фаз генератора соединяются так, чтобы начало одной обмотки фазы соединялось с концом предыдущей (A с Z ; B с X и C с Y). Положительные направления э.д.с. при таком соединении направлены внутри треугольника обмоток фаз одинаково; следовательно, внутри этого треугольника действует алгебраическая сумма мгновенных значений фазных э.д.с. $e_A + e_B + e_C = 0$ и поэтому уравнительного тока в мотках генератора не возникает¹. Общие точки, созданные объединением двух зажимов обмоток, соединяются с линейными проводами, к которым подключаются фазы приемника. Ток в каждом из линейных проводов системы равен сумме двух токов, положительные направления которых противоположны (см. рис. 3.9). На основании сказанного ясно, что результирующие, токи линейных проводов равны векторной разности соответствующих фазных токов:

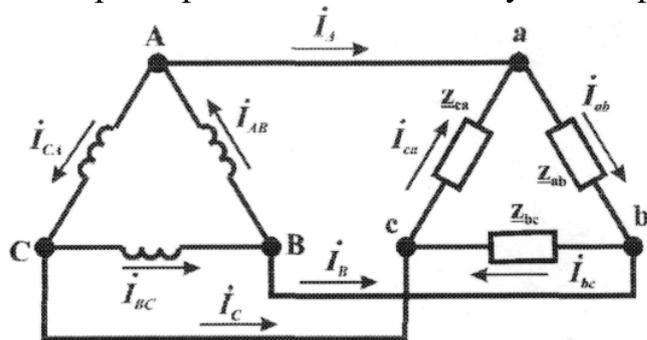


Рис. 3.9 Соединение фаз треугольником

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}; \quad (3.5)$$

В этой системе три фазных напряжения будут вместе с тем линейными, поэтому как линейные, так и фазные токи, ими создаваемые, обозначают двумя индексами узлов («начал» обмоток генератора или фаз приемника).

Три линейных напряжения \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} и \dot{U}_{CA} могут быть исходными при построении векторной диаграммы системы (рис. 10а). Углы между ними равны 120° . Векторы фазных токов \dot{I}_{ab} , \dot{I}_{bc} , \dot{I}_{ca} симметричной нагрузке сдвинуты по отношению создающим их напряжениям на некоторый угол φ значение которого зависит от отношения реактивного и активного сопротивлений приемника.

На основании соотношений (3.5), чтобы построить вектор линейного тока \dot{I}_A , нужно к \dot{I}_{ab} прибавить $(-\dot{I}_{ca})$, т. е. вектор, равный по \dot{I}_{ca} величине, но противоположный ему по направлению. На этом же основании определяются и два остальных линейных тока.

При симметричной нагрузке фазные токи по величине одинаковы: $I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = I_\phi$ и должны быть равны между собой линейные токи $I_A = I_B = I_C = I_L$.

На диаграмме векторы фазных и линейных токов образуют три равнобедренных треугольника с острыми углами по 30° и тупым углом 120° . В таком треугольнике, опустив из вершины угла перпендикуляр на противоположную сторону (рис. 3.10б), найдем, что

$$I_\phi \cos 30^\circ = I_L / 2 \quad \text{или} \quad I_L = \sqrt{3} \cdot I_\phi; \quad (3.6)$$

Следовательно, в трехфазной симметричной системе, соединенной треугольником, фазные напряжения являются одновременно линейными: $U_{\phi\Delta} = U_{\Delta\Delta}$, а линейные токи больше фазных в $\sqrt{3}$ раз:

$$I_{\phi\Delta} = \sqrt{3} I_{\phi\Delta};$$

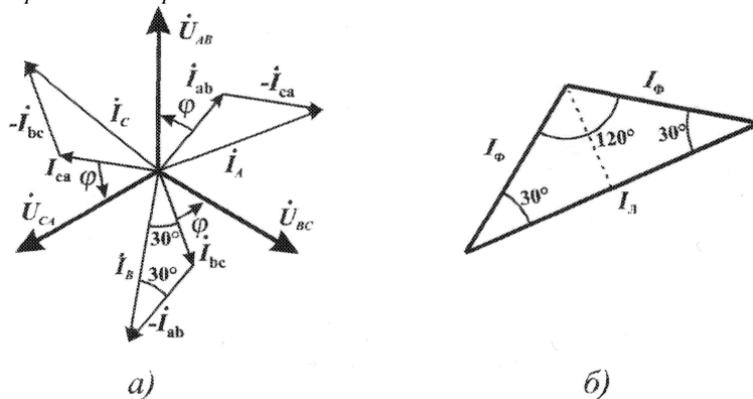


Рис. 3.10 Векторная диаграмма напряжений и токов трехфазной системы, соединенной треугольником (а), и векторные соединения между фазными и линейными токами (б)

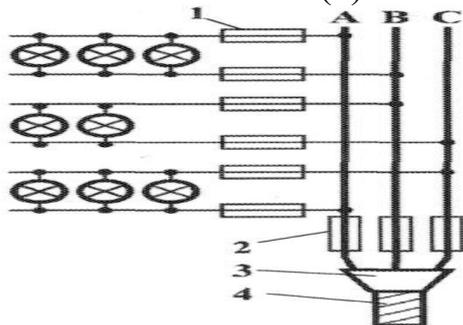


Рис. 3.11 Осветительная сеть, соединенная треугольником:

1 — квартирные предохранители, 2 — ломовые предохранители,
3 — муфт., 4 — кабель.

Некоторым преимуществом соединения фаз треугольником является то, что при несимметричной нагрузке нет необходимости использовать четвертый провод. На рис. 3.11 показана схема осветительной сети жилого дома при соединении фаз приемников треугольником.

Приемники подключаются к трем проводам трехфазной сети, причем они могут быть соединены звездой или треугольником независимо от способа соединения фаз генератора, питающего сеть.

В ряде случаев целесообразно в зависимости от условий работы приемников изменять способ соединения фаз — переключать фазы приемника от звезды на треугольник и обратно. Такое переключение применяется для уменьшения пусковых токов трехфазных электродвигателей, для изменения температуры трехфазных электрических печей, для изменения вторичных напряжений трансформаторов.

При переключении со звезды, на треугольник фаз симметричных приемников, сопротивления которых не зависят от напряжения, линейные токи увеличиваются в три раза:

$$I_{\Delta} = 3I_{Y}$$

но фазные токи возрастают в $\sqrt{3}$ раз:

$$I_{\phi\Delta} = \sqrt{3}I_{\phi Y};$$

2.Пример решения типовой задачи

Задача 1

Обмотки трехфазного генератора соединены в звезду и каждая из них создает напряжение 127 В. Приемник состоит из трех одинаковых катушек, имеющих активное сопротивление 10 Ом каждая. Определить линейное напряжение, линейный и фазный токи и коэффициент мощности цепи. Катушки соединены в звезду.

Решение

Линейное напряжение

$$U_{\Delta} = \sqrt{3}U_{\phi} = 1,73 \cdot 127 = 220 \text{ В.}$$

Полное сопротивление фазы приемника

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2} = \sqrt{15^2 + 10^2} = 18 \text{ Ом.}$$

Фаза приемника с сопротивлением z подключена на фазное напряжение U_{ϕ} , поэтому фазный ток

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{z} = \frac{127}{18} = 7,05 \text{ А.}$$

Линейный ток при соединении в звезду

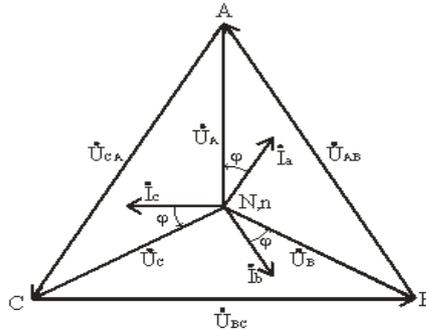
$$I_n = I_\phi = 7,05 \text{ A.}$$

Коэффициент мощности цепи

$$\cos \varphi = \frac{r}{z} = \frac{15}{18} = 0,83$$

$$\varphi = 33^\circ$$

Векторная диаграмма напряжений и токов



Задача 2

2. Пример решения типовой задачи

Задача 1

Три одинаковых приемника с активным сопротивлением 30 Ом и индуктивным сопротивлением 18 Ом соединены в треугольник и питаются от сети с линейным напряжением 330 В . Определить фазное напряжение, фазный и линейный токи и коэффициент мощности цепи.

Решение. При соединении в треугольник $U_\phi = U_n = 330 \text{ В. В.}$

Полное сопротивление фазы приемника

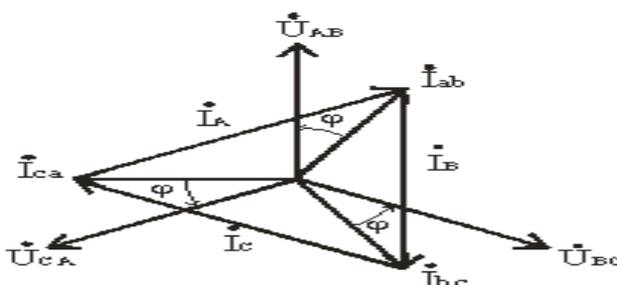
$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2} = \sqrt{30^2 + 18^2} = 33,5 \text{ Ом.}$$

Линейный ток $I_n = \sqrt{3}I_\phi = 1,73 \cdot 11,3 = 19,5 \text{ А}$

Коэффициент мощности $\cos \varphi = \frac{r}{z} = 0,895.$

$$\varphi = 26^\circ$$

Векторная диаграмма напряжений и токов



$$\text{Фазный ток } I_{\phi} = \frac{U_{\lambda}}{z} = \frac{330}{33,5} = 11,3 \text{ A}$$

3. Выполнить контрольную работу.

Номер варианта соответствует номеру в списке журнала

Задача 1

К источнику трехфазной сети с линейным напряжением $U_{\text{л}}$ и частотой $f=50$ Гц подключена симметричная нагрузка, соединенная по схеме «звезда» с полным сопротивлением фазы Z и индуктивностью L . Определить активное сопротивление фазы, действующее значение линейного тока $I_{\text{л}}$, коэффициент мощности, активную, реактивную и полную мощность цепи. Начертить схему замещения цепи и построить векторную диаграмму токов и напряжений в соответствующих масштабах.

Таблица 1. Исходные данные к задаче 1

№ варианта	$U_{\text{л}}, \text{ В}$	$Z, \text{ Ом}$	$L, \text{ мГн}$
1,11,21	220	100	170
2,12,22	380	120	160
3,13,23	127	130	150
4,14,24	660	140	140
5,15,25	220	50	130
6,16,26	380	60	120
7,17,27	127	70	110
8,18,28	660	80	100
9,19,29	220	90	90
10,20,30	380	100	80

Задача 2

Для трехфазного приемника электрической энергии, соединенного по схеме треугольник определить фазные и линейные токи, активную, реактивную и полную мощность цепи и построить векторную диаграмму токов и напряжений, начертить схему замещения цепи.

Таблица 2. Исходные данные к задаче 2

№ варианта	$U_{\text{л}}, \text{ В}$	$R_{\text{AB}}, \text{ Ом}$	$X_{\text{AB}}, \text{ Ом}$	$R_{\text{BC}}, \text{ Ом}$	$X_{\text{BC}}, \text{ Ом}$	$R_{\text{CA}}, \text{ Ом}$	$X_{\text{CA}}, \text{ Ом}$
1,11,21	220	8	- 6	8	- 6	8	- 6
2,12,22	380	4	3	4	3	4	3
3,13,23	127	-	- 12	-	- 12	-	- 12
4,14,24	660	12	- 9	12	- 9	12	- 9
5,15,25	220	3	4	3	4	3	4
6,16,26	380	6	8	6	8	6	8

7,17,27	127	9	12	9	12	9	12
8,18,28	660	-	- 10	-	- 10	-	- 10
9,19,29	220	6	-	6	-	6	-
10,20,30	380	10	- 8	10	- 8	10	- 8