

Министерство образования и молодежной политики Свердловской области
Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение
Свердловской области
«Уральский колледж технологий и предпринимательства»
(ГАПОУ СО «УКТП»)

Преподаватель – Югринов Владимир Евгеньевич

Обратная связь осуществляется :

+79086330053; yugrinov59@mail.ru

Профессия : 23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств ОП 07. Электротехника и электроника

Тема: «Трёхфазные электрические цепи». «Трехфазная электрическая цепь переменного тока.»

Вид учебного занятия: *Повторение пройденного материала*

Изучение нового материала, закрепление изученного материала.

Дата проведения: 22.10.2022 Группа № У 210 Курс 2

Повторение пройденного материала:

Повторить вопросы пройденной темы:

- 1. Трехфазные цепи переменного тока.**
- 2. Виды подключения «звезда», «треугольник».**
- 3. Схемы подключения трехфазной нагрузки — «звезда» и «треугольник»**

Изучение нового материала, закрепление изученного материала.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ЗАНЯТИЯ:

1. Изучение нового материала по конспекту. Просмотр видеокурса.

<https://youtu.be/kgX3mLh56Wg>

Раскрыть в личном конспекте следующие определения:

- 1. Фазное и линейное напряжения**
- 2. ЭДС и напряжение**
- 3. Напряжение в трехфазных цепях**

2. Ответить на контрольные вопросы.

Ответы на вопросы в конспектах сдать для проверки преподавателю на очередном уроке .

КОНСПЕКТ для повторения материала

Трехфазные цепи переменного тока

Трехфазные цепи переменного тока по сей день служат для обеспечения генерации, передачи и распределения электрической энергии. Данные цепи, как следует из их названия, строятся каждая из трех электрических подцепей, в каждой из которых действует синусоидальная ЭДС. ЭДС эти генерируются общим источником, имеют равные амплитуды, равные частоты, однако смещены по фазе друг относительно друга на 120 градусов или на $2/3$ пи (треть периода).

Каждая из трех цепей трехфазной системы именуется фазой: первая фаза – фаза "A", вторая фаза – фаза "B", третья фаза – фаза "C".

Начала этих фаз обозначаются соответственно буквами **A, B и C**, а концы фаз – **X, Y и Z**. Данные системы отличаются экономичностью, в сравнении с однофазными; возможностью простого получения вращающегося магнитного поля статора для двигателя, доступностью двух напряжений на выбор — **линейного и фазного**.

Генератор трехфазного тока и асинхронные двигатели

Генератор трехфазного тока

Итак, трехфазный генератор представляет собой синхронную электрическую машину, предназначенную для создания трех гармонических ЭДС, смещенных на 120 градусов по фазе (по сути - во времени) друг относительно друга.

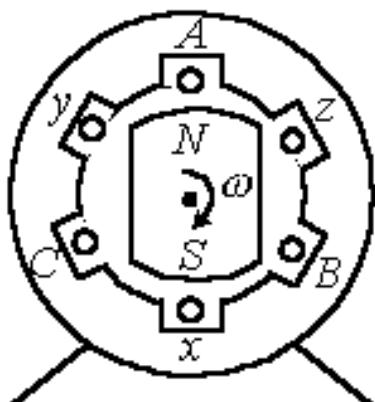


Рис.1

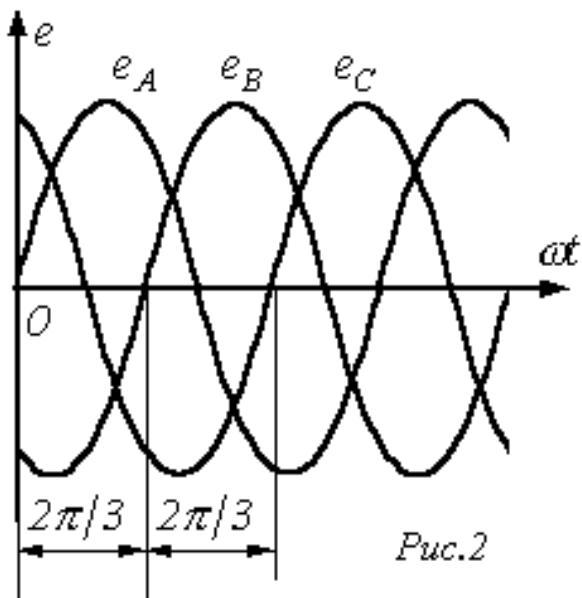


Рис.2

На статоре генератора для этой цели установлена трехфазная обмотка, у которой каждая фаза состоит из нескольких катушек, причем магнитная ось каждой «фазы» обмотки статора физически в пространстве повернута на треть окружности относительно двух других «фаз».

Такое расположение обмоток позволяет получать из них систему трехфазных ЭДС в процессе вращения ротора. Ротором здесь служит постоянный электромагнит, возбуждаемый током обмотки возбуждения, расположенной на нем.

Турбина на электростанции вращает ротор с постоянной скоростью, магнитное поле ротора вращается вместе с ним, магнитные силовые линии пересекают проводники обмоток статора, в итоге получается система индуцированных синусоидальных ЭДС одинаковой частоты (50 Гц), смещенных друг относительно друга во времени на треть периода.

Амплитуда ЭДС определяется индукцией магнитного поля ротора и количеством витков в обмотке статора, а частота — **угловой скоростью вращения ротора**. Если принять начальную фазу обмотки А равной нулю, то для симметричных ЭДС трех фаз можно сделать запись в форме тригонометрических функций (**фаза в радианах и в градусах**):

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

$$e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

$$E_A = E_B = E_C = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = E \cdot \text{ действующие значения равны}$$

ЭДС

Кроме того возможна запись действующих значений ЭДС и в комплексной форме, а также изображение множества мгновенных значений в графическом виде (см.рис2):

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

$$e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

$$E_A = E_B = E_C = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = E \text{ - действующие значения равны}$$

Запись действующих значений ЭДС и в комплексной форме

Векторные диаграммы отражают взаимный фазовый сдвиг трех ЭДС системы, причем в зависимости от направления вращения ротора генератора, направление чередования фаз будет различаться (прямое или обратное). Соответственно, направление вращения ротора подключенного к сети асинхронного двигателя будет разным:

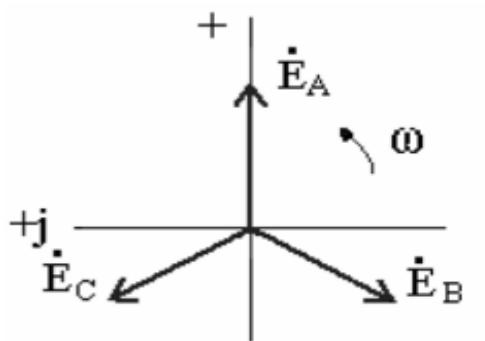
$$\dot{E}_A = E e^{j0^\circ} = E$$

$$\dot{E}_B = E e^{-j120^\circ}$$

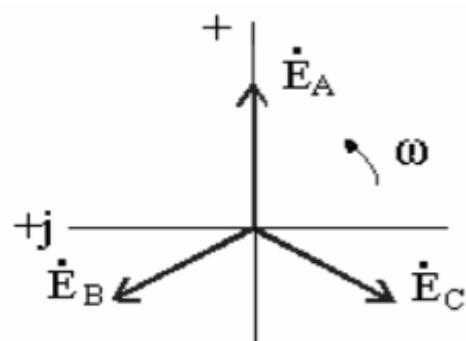
$$\dot{E}_C = E e^{-j240^\circ}$$

Прямая и обратная последовательность

Если нет дополнительных оговорок, то подразумевается прямое чередование ЭДС в фазах трехфазной цепи. Обозначение начал и концов обмоток генератора - соответствующих фаз, а также направление действующих в них ЭДС, показано на рисунке (справа схема замещения):



прямая последовательность



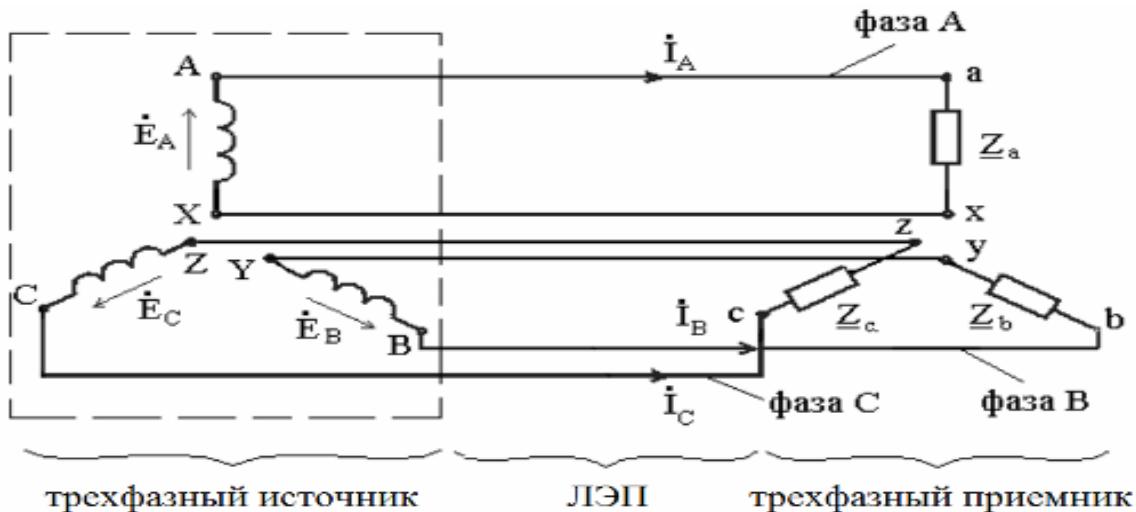
обратная последовательность

Обмотка статора и схема замещения

Схемы подключения трехфазной нагрузки — «звезда» и «треугольник»

Для питания нагрузки через три провода трехфазной сети, к каждой из трех фаз присоединяют как-бы по своему потребителю, или по фазе трехфазного потребителя (так называемого приемника электроэнергии).

Трехфазный источник можно изобразить схемой замещения из трех идеальных источников симметричных гармонических ЭДС. Идеальные приемники представлены здесь тремя полными комплексными сопротивлениями Z , каждое из которых питается от соответствующей фазы и источника:



трехфазный источник, ЛЭП и трехфазный приемник

На рисунке для ясности изображены три цепи, не связанные между собой электрически, однако на практике такое включение не используется. В реальности три фазы все же имеют электрические соединения друг с другом.

Фазы трехфазных источников и трехфазных потребителей соединяют друг с другом различными способами, и чаще всего встречается одна из двух схем - «треугольник» или «звезда».

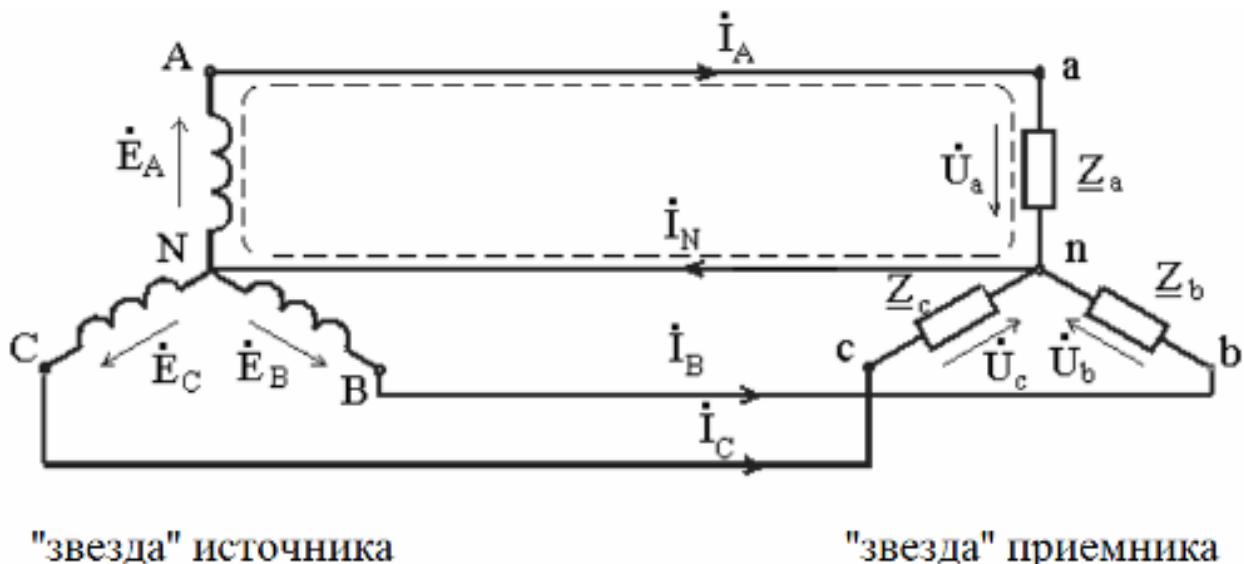
Фазы источника и фазы потребителя могут быть сопряжены между собой разными сочетаниями: источник соединен звездой и приемник звездой, или источник — звездой, а приемник — треугольником.

Именно такие сочетания соединений и применяются чаще всего на практике.

Схема «звезда» предполагает наличие одной общей точки у трех «фаз» генератора или трансформатора, такая общая точка называется нейтралью источника (или нейтралью приемника, если речь о «звезде» потребителя).

Соединение в звезду

Соединяющие источник и приемник провода, называются линейными проводами, они связывают выводы обмоток фаз генератора и приемника. Провод, соединяющий нейтраль источника и нейтраль приемника называют нейтральным проводом. Каждая фаза образует своеобразную индивидуальную электрическую цепь, где каждый из приемников присоединен к своему источнику парой проводов - одним линейным и одним нейтральным.



"звезда" источника

"звезда" приемника

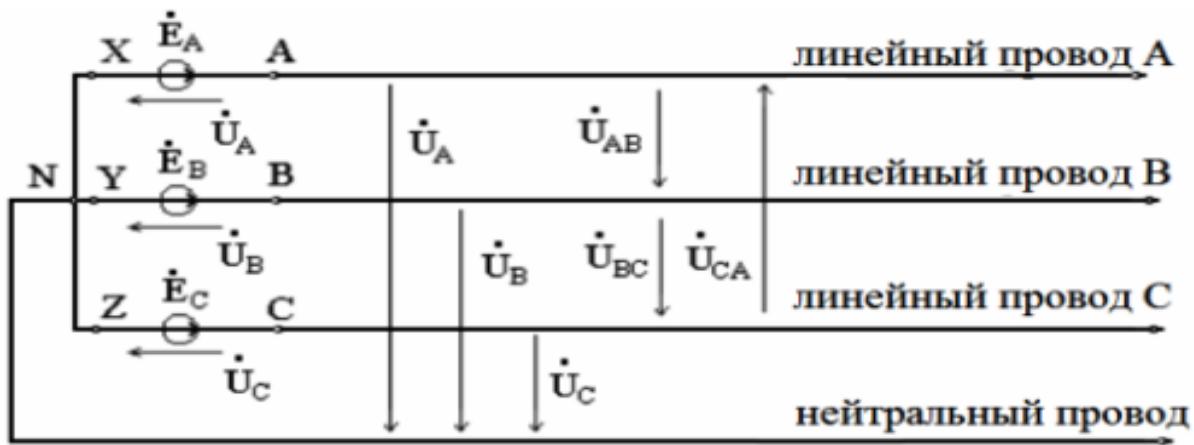
Соединение в треугольник

Когда конец одной фазы источника соединяется с началом второй его фазы, конец второй — с началом третьей, а конец третьей — с началом первой, такое соединение фаз источника называется «треугольник». Три провода приемника, присоединенные аналогичным образом между собой, тоже образуют схему «треугольник», и вершины данных треугольников присоединяются друг к другу.

Каждая фаза источника в данной схеме образует собственную электрическую цепь с приемником, где присоединение образовано двумя проводами. Для такого подключения названия фаз приемника записывают двумя буквами в соответствии с проводами: **ab, ac, ca**. Индексы для параметров фаз обозначают этими же буквами: **комплексные сопротивления Zab, Zac, Zca**.

КОНСПЕКТ для изучения материала

Фазное и линейное напряжения



У источника, обмотка которого соединена по схеме «звезда», имеется две системы трехфазных напряжений: **фазное и линейное**.

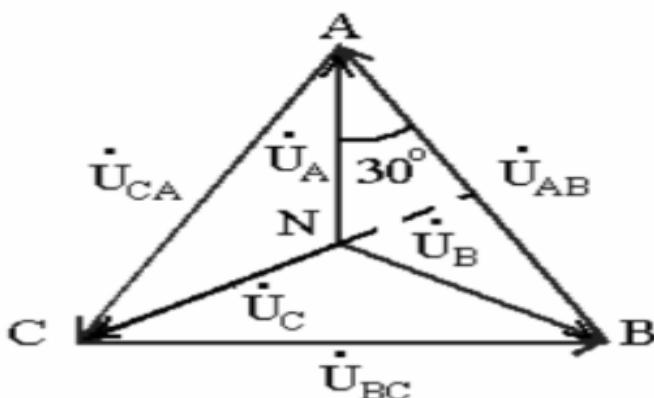
Фазное напряжение — между линейным проводом и нейтралью (между концом и началом одной из фаз).

Линейное напряжение — между началами фаз или между линейными проводами. За положительное направление напряжения здесь условно принимают направление от точки цепи с более высоким потенциалом — к точке с более низким потенциалом.

Поскольку внутренние сопротивления обмоток генератора крайне малы, ими обычно пренебрегают, и считают, что фазные напряжения равны фазным ЭДС, поэтому и на векторных диаграммах напряжения и ЭДС обозначают одними и теми же векторами:

$$\dot{E}_A = \dot{U}_A; \quad \dot{E}_B = \dot{U}_B; \quad \dot{E}_C = \dot{U}_C;$$

$$\dot{U}_A = U_\phi e^{j0^\circ}; \quad \dot{U}_B = U_\phi e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_C = U_\phi e^{-j240^\circ}$$



ЭДС и напряжение

Приняв потенциал нейтральной точки за ноль, получим, что потенциалы фаз окажутся тождественны фазным напряжениям источника, а **линейные напряжения — разностям фазных напряжений**. Векторная диаграмма примет вид как на рисунке выше.

Каждая точка на такой диаграмме соответствует определенной точке трехфазной цепи, и проведенный между двумя точками диаграммы вектор покажет поэтому напряжение (**его величину и fazу**) между соответствующими двумя точками той цепи, для которой построена данная диаграмма.

$$\underline{\varphi}_N = 0$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= \underline{\varphi}_A - \underline{\varphi}_N = \underline{\varphi}_A; \\ \dot{U}_B &= \underline{\varphi}_B - \underline{\varphi}_N = \underline{\varphi}_B; \\ \dot{U}_C &= \underline{\varphi}_C - \underline{\varphi}_N = \underline{\varphi}_C\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \underline{\varphi}_A - \underline{\varphi}_B = \dot{U}_A - \dot{U}_B; \\ \dot{U}_{BC} &= \underline{\varphi}_B - \underline{\varphi}_C = \dot{U}_B - \dot{U}_C; \\ \dot{U}_{CA} &= \underline{\varphi}_C - \underline{\varphi}_A = \dot{U}_C - \dot{U}_A\end{aligned}$$

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$$

Напряжение в трехфазных цепях

В силу **симметричности фазных напряжений, симметричны и линейные напряжения**. Это видно по векторной диаграмме. Векторы линейных напряжений лишь сдвинуты между собой так же на 120 градусов. А соотношение между фазными и линейными напряжениями легко находится из треугольника на диаграмме: **линейное в корень из трех раз больше фазного**.

Кстати, для трехфазных цепей всегда нормируются именно линейные напряжения, ибо только при введении нейтрали можно будет говорить еще и о напряжении фазном.

Линейные напряжения

Расчеты для «звезды»

$$\begin{aligned}U_{AB} &= 2U_A \cos 30^\circ = \sqrt{3}U_A && \text{например:} \\ U_L &= \sqrt{3}U_\phi, \quad U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}} && U_L = 660 \text{ В}; U_\phi = 380 \text{ В}; \\ &&& U_L = 380 \text{ В}; U_\phi = 220 \text{ В}; \\ &&& U_L = 220 \text{ В}; U_\phi = 127 \text{ В}. \end{aligned}$$

На рисунке ниже изображена схема замещения приемника, фазы которого соединены «звездой», подключенного через провода ЛЭП к симметричному источнику, выводы которого обозначены соответствующими буквами. При расчетах трехфазных цепей решаются задачи по нахождению линейных и фазных токов когда известны сопротивления фаз приемника и напряжения источника.

Токи в линейных проводниках называются **линейными токами**, их **положительное направление — от источника — к приемнику**. Токи в фазах приемника — это **фазные токи**, их **положительное направление — от начала фазы — к ее концу**, как направление фазных ЭДС.

Когда приемник собран по схеме «звезда», имеет место ток и в нейтральном проводнике, **его положительным направлением принимается — от приемника — к источнику, как на ниже приведенном рисунке**.

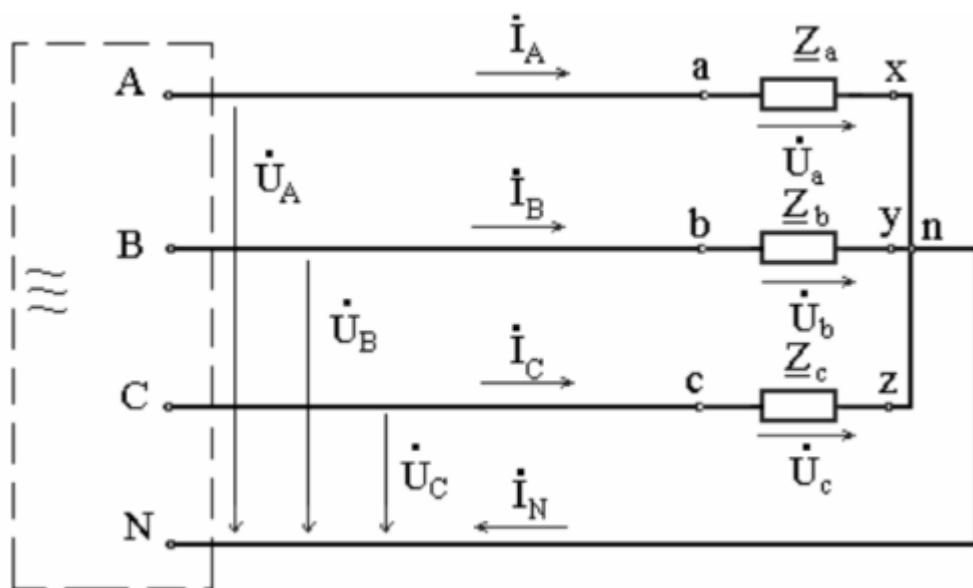


Схема звезды

Если рассмотреть для примера несимметричную четырехпроводную цепь нагрузки, то **фазные напряжения приемника, при наличии нейтрального проводника, окажутся равны фазным напряжениям источника**. Токи в каждой фазе находятся по закону Ома. А первый закон Кирхгофа позволит найти величину тока и в нейтрали (в нейтральной точке n на рисунке выше):

Расчеты для звезды

Далее рассмотрим векторную диаграмму данной цепи. На ней отражены линейные и фазные напряжения, также построены несимметричные фазные токи, показан цветом и ток в нейтральном проводнике. Ток нейтрального провода построен как сумма векторов фазных токов.

Векторная диаграмма

Пусть теперь нагрузка фаз симметрична и имеет активно-индуктивный характер. Построим векторную диаграмму токов и напряжений, приняв в расчет тот факт, что ток отстает от напряжения на угол фи:

Линейные напряжения действуют между линейными проводами. В соответствии со вторым законом Кирхгофа для линейных напряжений можно записать

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN}; \quad (1)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN}; \quad (2)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN}. \quad (3)$$

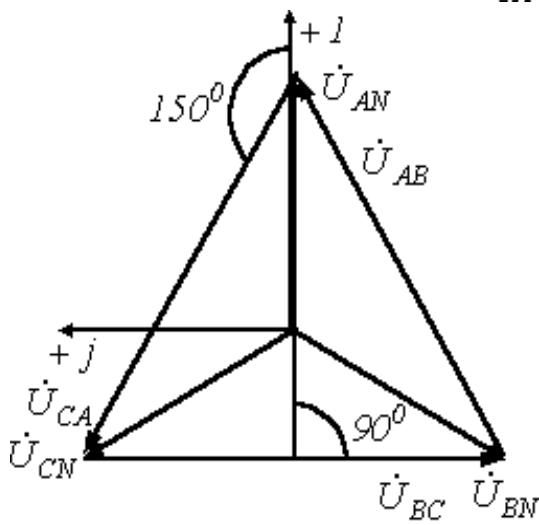


Рис.7

Отметим, что всегда $\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$ - как сумма напряжений по замкнутому контуру.

На рис. 7 представлена векторная диаграмма для симметричной системы напряжений. Как показывает ее анализ (лучи фазовых напряжений образуют стороны равнобедренных треугольников с углами при основании, равными 300), в этом случае

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi \quad (4)$$

Обычно при расчетах принимается $\dot{U}_{AN} = U_\phi e^{j0^\circ} = U_\phi$. Тогда для случая **прямого чередования фаз** $\dot{U}_{BN} = U_\phi e^{-j120^\circ}$, $\dot{U}_{CN} = U_\phi e^{-j240^\circ} = U_\phi e^{j120^\circ}$ (при **обратном чередовании**

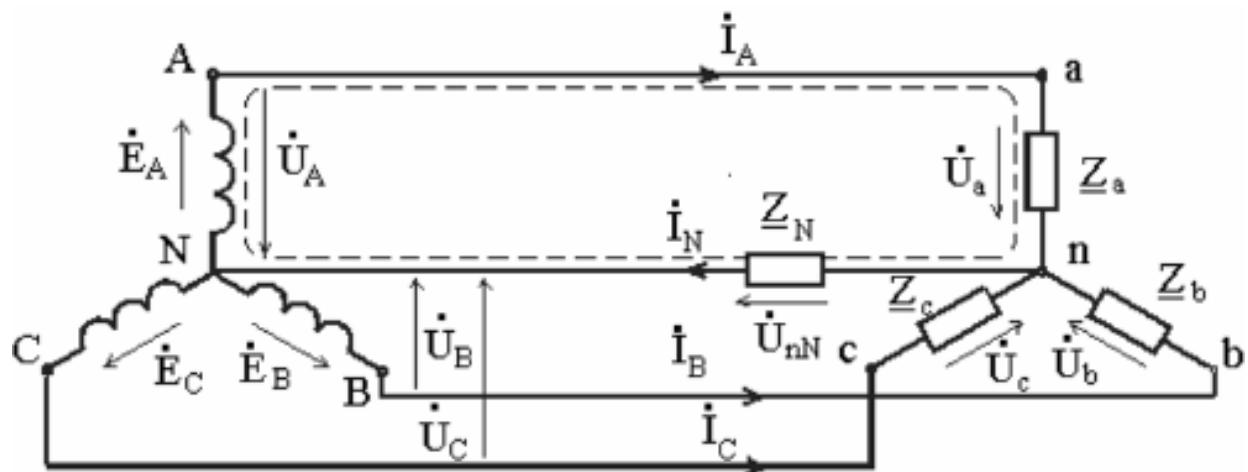
фаз фазовые сдвиги у \dot{U}_{BN} и \dot{U}_{CN} меняются местами). С учетом этого на основании соотношений (1) ... (3) могут быть определены комплексы линейных напряжений. Однако при симметрии напряжений эти величины легко определяются непосредственно из векторной диаграммы на рис. 7.

Направляя вещественную ось системы координат по вектору \dot{U}_{AN} (его начальная фаза равна нулю), отсчитываем фазовые сдвиги линейных напряжений по отношению к этой оси, а их модули

определяем в соответствии с (4). Так для линейных напряжений \dot{U}_{BC} и \dot{U}_{CA} получаем:

$$\dot{U}_{BC} = \sqrt{3}U_\phi e^{-j90^\circ}, \dot{U}_{CA} = \sqrt{3}U_\phi e^{j150^\circ}.$$

Ток в нейтрально проводе будет равен нулю. Значит при соединении «звездой» симметричного приемника нейтральный провод влияния не оказывает, и может быть в принципе убран. Нет надобности в четырех проводах, достаточно трех.



Контрольные вопросы

1. Какой принцип действия у трехфазного генератора?
2. В чем заключаются основные преимущества трехфазных систем?
3. Какие системы обладают свойством уравновешенности, в чем оно выражается?
4. Какие существуют схемы соединения в трехфазных цепях?