

Дата **1.03.2023г.** Группа: **ХКМ 2/1.** Курс: **2.** Семестр: **IV**

Дисциплина: Электротехника и основы электроники

Специальность: 15.02.06 «Монтаж и техническая эксплуатация холодильно-компрессорных машин и установок (по отраслям)»

Тема занятия: Трехфазные электрические цепи

Цель занятия:

-методическая - совершенствование методики проведения лекционного занятия;

- учебная – знать основные характеристики электрического поля

- воспитательная – обучать учащихся соотносить полученные знания с наблюдаемыми явлениями.

Вид занятия: Вводная лекция

Вид лекции: Усвоение новых знаний.

Форма проведения занятия: Объяснительно - иллюстративная

Межпредметные связи:

Обеспечивающие: Математика, физика

Обеспечиваемые: Техническая механика, инженерная графика, курсовое и дипломное проектирование

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1.Б.И.Петленко. Электротехника и электроника. М.: «Академия», 2014.-319 с.

2.Ю.Г.Лапытин .В.Ф. Атарщиков. Контрольные материалы по электротехнике и электронике 2012

Дополнительная литература:

1. А.С.Касаткин.,М.В.Немцов. лектротехника.М. : Издательский центр «Академия», 2009 г..

2. Прошин В.М. Лабораторно-практические работы по электротехнике. (2-е-изд., стер.) Уч.пос.НПО. «Академия», 2009-2010.

<https://www.youtube.com/watch?v=kgX3mLh56Wg> Трехфазные цепи Часть 1

<https://www.youtube.com/watch?v=h6KUDLCBgIk> Трехфазные цепи Часть 2

<https://www.youtube.com/watch?v=Kb1CN7cXaVQ> Трехфазные цепи

<https://www.youtube.com/watch?v=d8psjznn3fM> Трехфазный ток

<https://www.youtube.com/watch?v=ACDUWH3RYDQ> 380 вольт что это? Зачем три фазы

Тема: Трехфазные электрические цепи

- 1.Соединение обмоток трехфазных источников электрической энергии звездой и треугольником.
- 2.Фазные и линейные напряжения, фазные и линейные токи, соотношения между ними.
3. Способы соединения обмоток (фаз) генератора и трехфазного приемника
- 4.Мощность трехфазного тока

1.Соединение обмоток трехфазных источников электрической энергии звездой и треугольником.

Трехфазная цепь представляет собой совокупность электрических цепей, в которых действуют три синусоидальные э.д.с. одинаковой частоты, отличающиеся по фазе одна от другой ($\varphi = 120^\circ$) и создаваемые общим источником энергии. Каждую из частей многофазной системы, характеризующуюся одинаковым током, принято называть фазой. Таким образом, слово фаза в электротехнике имеет два значения – угол φ и часть многофазной системы (отдельный фазный провод).

Основные преимущества трехфазной системы: возможность простого получения кругового вращающегося магнитного поля (это позволило создать электродвигатели переменного тока), экономичность и эффективность (мощность можно передать по трем фазным проводам без применения четвертого общего провода -нейтрали), а также возможность использования двух различных эксплуатационных напряжений в одной установке (фазного и линейного, которые обычно составляют 220 В и 380 В, соответственно).

История появления трехфазных электрических цепей связана с именем М.С. Доливо-Добровольского Петербургского ученого, который в 1886 г., доказав, что многофазные токи способны создавать вращающееся магнитное поле, предложил (запатентовал) конструкцию трехфазного электродвигателя.

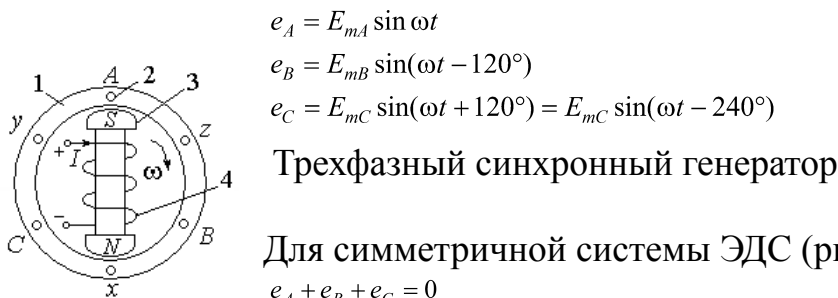
Трехфазный ток является простейшей системой многофазных токов, способных создавать вращающееся магнитное поле. Этот принцип положен в основу работы трехфазных электродвигателей.

Предложив конструкцию электродвигателя переменного тока, М.С. Доливо-Добровольский разработал и все основные элементы трехфазной электрической цепи. Трехфазная цепь состоит из трехфазного генератора, трехфазной линии электропередач и трехфазных приемников.

В результате предложенной трехфазной системы электрического тока стало возможным эффективно преобразовывать электрический ток в механическую энергию.

2. Фазные и линейные напряжения, фазные и линейные токи, соотношения между ними.

Электрическую энергию трехфазного тока получают в синхронных трехфазных генераторах (рис. 27). Три обмотки 2 статора 1 смещены между собой в пространстве на угол 120° . Их начала обозначены буквами A, B, C , а концы — x, y, z . Ротор 3 выполнен в виде постоянного электромагнита, магнитное поле которого возбуждает постоянный ток I , протекающий по обмотке возбуждения 4. Ротор принудительно приводится во вращение от постороннего двигателя. При вращении магнитное поле ротора последовательно пересекает обмотки статора и индуцирует в них ЭДС, сдвинутые (но уже во времени) между собой на угол 120° .



$$e_A = E_{mA} \sin \omega t$$

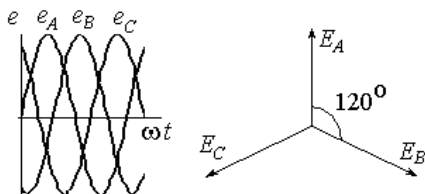
$$e_B = E_{mB} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_{mC} \sin(\omega t + 120^\circ) = E_{mC} \sin(\omega t - 240^\circ)$$

Для симметричной системы ЭДС (рис. 28) справедливо

$$e_A + e_B + e_C = 0$$

$$\vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C = 0$$



Волновая и векторная диаграммы симметричной системы ЭДС

На диаграмме изображена прямая последовательность чередования фаз (пересечение ротором обмоток в порядке A, B, C). При смене направления вращения чередование фаз меняется на обратное — A, C, B . От этого зависит направление вращения трехфазных электродвигателей.

3. Способы соединения обмоток (фаз) генератора и трехфазного приемника

Существует два способа соединения обмоток (фаз) генератора и трехфазного приемника: «звезда» и «треугольник».

В генераторах трехфазного тока электрическая энергия генерируется в трех одинаковых обмотках, соединенных по схеме звезда. Чтобы сэкономить

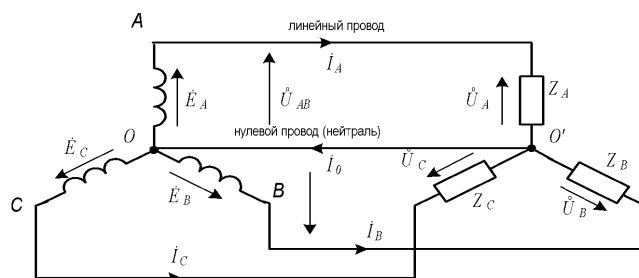


Рис. 7.5

на проводах линии передачи электроэнергии от генератора к потребителю тянутся только три провода. Провод от общей точки соединения обмоток не тянется, т.к. при одинаковых сопротивлениях нагрузки (при *симметричной* нагрузке) ток в нем равен нулю.

Схема замещения трехфазной системы, соединенной "звездой"

Согласно первому закону Кирхгофа можно записать $I_0 = I_A + I_B + I_C$.

При равенстве ЭДС в фазных обмотках генератора и при равенстве сопротивлений нагрузки (т.е. при равенстве значений токов I_A, I_B, I_C) в представленной на рисунке системе, с помощью векторных диаграмм можно показать, что результирующий ток I_0 в центральном проводнике будет равен нулю. Таким образом, получается, что в *симметричных системах* (когда сопротивления нагрузок одинаковы), центральный провод может отсутствовать и линия для передачи системы трехфазного тока может состоять только из трех проводов.

В распределительных низковольтных сетях, в которых присутствует много однофазных потребителей, обеспечение равномерной нагрузки каждой фазы становится не возможным, такие сети делаются четырехпроводными.

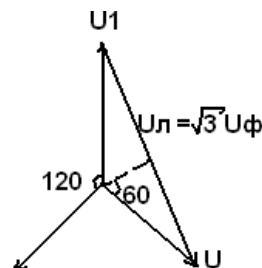
Для обеспечения электробезопасности принято низковольтные потребительские сети (сети < 1000 В), выполнять 4-х проводными с глухо-заземленной нейтралью.

Напряжение между фазными проводами в линии принято называть *линейным напряжением*, а напряжение, измеренное между фазным проводом (фазой) и центральным – *фазным напряжением*.

В системах электроснабжения, в частности в генераторах и трансформаторах подстанций используется преимущественно соединения звездой.

Соотношение между линейным и фазным напряжением

С помощью векторной диаграммы, показывающей систему трехфазного тока, легко установить, что соотношение между фазным и линейным напряжениями будет: $U_{\text{л}} = 2(U_{\text{ф}} \sin 60^\circ) = \sqrt{3} U_{\text{ф}}$.

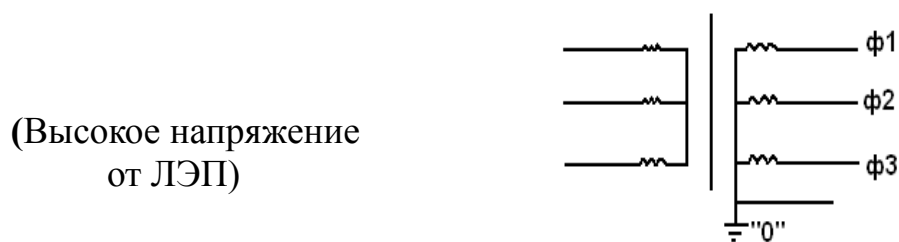


Это соотношение справедливо при определенных условиях также в случае отсутствия нейтрального провода, т. е. в **трехпроводной** цепи.

На основании указанного соотношения можно сделать вывод о том, что соединение звездой следует применять в том случае, когда каждая фаза трехфазного приемника или однофазные приемники рассчитаны на напряжение в $\sqrt{3}$ раз меньшее, чем номинальное линейное напряжение сети.

Для низковольтных сетей (с напряжением менее 1000В) основным стандартным линейным (между фазными проводами) напряжением принимается напряжение 380 В, при этом фазное напряжение (между фазным проводом и центральным) будет составлять 220 В.

Низковольтные сети являются потребительскими сетями разного назначения, не обязательно питающими трехфазные двигатели. В таких сетях для питания различных потребителей могут быть использованы разные фазы по отдельности. В результате нагрузка разных фаз окажется неодинаковой. Кроме того, с целью техники безопасности, ПУЭ (правилами устройства электроустановок) устанавливается, что низковольтные трехфазные электрические сети должны устраиваться *четырёхпроводными, с глухозаземленной нейтралью*. Для этого схема понижающего трансформатора (понижающей подстанции) обычно выглядит следующим образом.



Т.е. центральный, называемый при этом «нулевым», провод на вторичной обмотке трехфазного трансформатора подключается к заземляющему устройству и подводится к потребителям наряду с фазными проводами (ф1, ф2, ф3).

Из рисунке 6 видно, что при соединении звездой фазные напряжения приемника U_a , U_b и U_c не равны линейным напряжениям U_{ab} , U_{bc} и U_{ca} . Применяя **второй закон Кирхгофа** и к контурам $aNba$, $bNcb$ и $cNac$, можно получить следующие соотношения между линейными и фазными напряжениями:

$$\underline{U}_{ab} = \underline{U}_a - \underline{U}_b; \underline{U}_{bc} = \underline{U}_b - \underline{U}_c; \underline{U}_{ca} = \underline{U}_c - \underline{U}_a.$$

. Нетрудно построить векторы линейных напряжений (рис. 7).

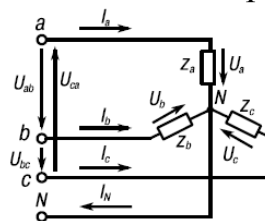


Рис. 6. Схема соединения приемника звездой

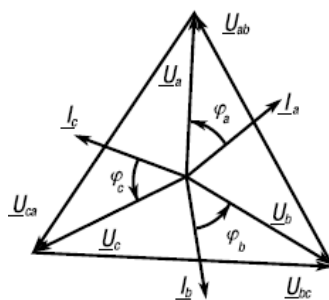


Рис. 7. Векторная диаграмма при соединении приемника звездой в случае симметричной нагрузки

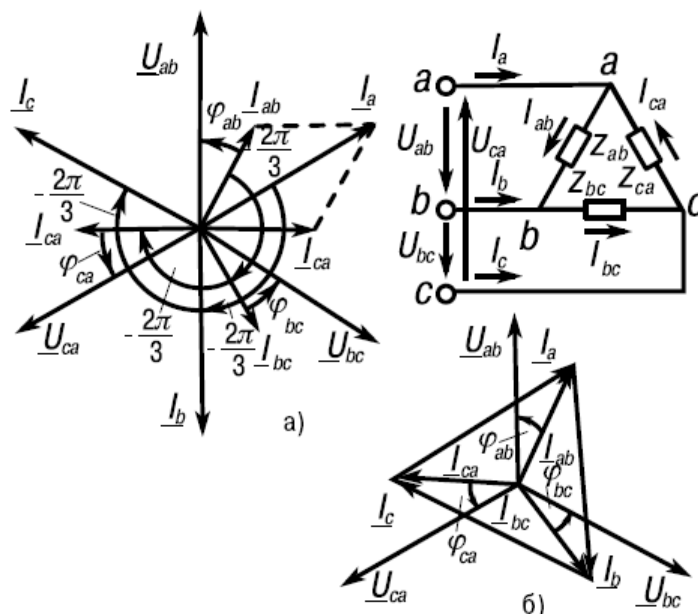
Если не учитывать сопротивлений линейных проводов и нейтрального провода, то следует считать комплексные значения линейных и фазных напряжений приемника равными, соответственно, комплексным значениям линейных и фазных напряжений источника. Вследствие указанного равенства векторная диаграмма напряжений приемника не отличается от векторной диаграммы источника при соединении звездой (см. рис.7). Линейные и фазные напряжения приемника, как и источника, образуют две симметричные системы напряжений. Между линейными и фазными напряжениями приемника существует соотношение $U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$. Основным стандартным линейным (между фазными проводами) напряжением для низковольтных сетей (до 1000 В) принимается напряжение 380 В, при этом фазное напряжение (между фазным проводом и центральным) будет составлять $(380/\sqrt{3}) = 220 \text{ В}$.

Из схемы рисунка 6 видно, что при соединении звездой линейные токи равны соответствующим фазным токам: $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$. С помощью **первого закона Кирхгофа** получим следующее соотношение между фазными токами и током нейтрального провода:

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

Соединение приемников «треугольником»

Как видно из схемы, каждая фаза приемника при соединении треугольником подключена к двум линейным проводам. Поэтому независимо от значения и характера сопротивлений приемника каждое фазное напряжение равно соответствующему линейному напряжению: $U_{\text{ф}} = U_{\text{л}}$. Между линейными и фазными токами приемника существует соотношение $I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\text{ф}}$.



Если не учитывать сопротивлений проводов сети, то напряжения приемника следует считать равными линейным напряжениям источника.

На основании схемы и последнего выражения можно сделать вывод о том, что соединение треугольником следует применять тогда, когда каждая фаза трехфазного приемника или однофазные приемники рассчитаны на напряжение, равное номинальному линейному напряжению сети. Фазные токи I_{ab} , I_{bc} и I_{ca} в общем случае *не равны* линейным токам I_a , I_b и I_c . Применяя первый закон Кирхгофа к узловым точкам a , b , c , можно получить следующие соотношения между линейными и фазными токами:

$$\underline{I}_a = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}; \quad \underline{I}_b = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}; \quad \underline{I}_c = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}.$$

Используя указанные соотношения и имея векторы фазных токов, нетрудно построить векторы линейных токов.

Схема включения треугольником применяется для любых (симметричных и несимметричных) приемников.

4. Мощность трехфазного тока

Под активной мощностью трехфазной системы понимают сумму активных мощностей фаз и активной мощности, выделяемой в сопротивлении, включенном в нулевой провод:

$$P_{cp} = P_A + P_B + P_C + P_0.$$

Реактивная мощность - сумма реактивных мощностей фаз и реактивной мощности сопротивления, включенного в нулевой провод:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C + Q_0.$$

Полная мощность:

$$S = \sqrt{P_{cp}^2 + Q^2}$$

Если нагрузка симметричная, то

$$P_0 = 0. \quad Q_0 = 0;$$

$$P_A = P_B = P_C = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi;$$

$$Q_A = Q_B = Q_C = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \varphi.$$

Здесь под φ понимается угол между напряжением U_ϕ и током I_ϕ фазы нагрузки.

При симметричной нагрузке фаз

$$P_{cp} = 3U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi;$$

$$Q = 3U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \varphi;$$

$$S = 3U_\phi \cdot I_\phi.$$

При симметричной нагрузке независимо от способа ее соединения в "звезду" или в "треугольник"

$$3U_\phi I_\phi = \sqrt{3}\sqrt{3}U_\phi I_\phi = \sqrt{3}U_{л} I_{л}.$$

Поэтому вместо формул (7.11) используют следующие:

$$P_{cp} = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \cos \varphi;$$

$$Q = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \sin \varphi;$$

$$S = \sqrt{3}U_{л} I_{л},$$

опуская индексы для линейных токов и напряжения, $S = \sqrt{3} U I$;
 $P = \sqrt{3} U I \cos \varphi.$

Контрольные вопросы.

1. Что представляет собой трехфазная цепь?
2. Назвать способы соединения обмоток
3. Чему равна активная мощность при симметричной нагрузке фаз?

Задание для самостоятельной работы:

1. Посмотреть видео из списка литературы. Краткий конспект лекции
2. Письменно ответить на контрольные вопросы

3. Фотографию работы прислать в личном сообщении ВК
<https://vk.com/id139705283>

На фотографии вверху должна быть фамилия, дата выдачи задания, группа, дисциплина. Например: «Иванов И.И, **1.03.2023г.**, группа ХКМ 2/1 «Электротехника и основы электроники»