

Трехфазный синусоидальный ток

*Миронова Тамара Васильевна,
преподаватель общепрофессиональных дисциплин*

Задачи:

- понять принцип действия трехфазного генератора
- выяснить преимущества трехфазных систем
- рассмотреть соединения обмоток в трехфазных цепях
- сравнить фазное ($U_{\text{ф}}$) и линейное ($U_{\text{л}}$) напряжения
- определить мощность трехфазной цепи
- сделать практические выводы

Получение переменной трехфазной ЭДС

Трехфазный переменный ток получают в трехфазных генераторах. Генераторы переменного тока - электрическая машина, преобразующая механическую энергию в электрическую энергию переменного тока.

Элементы: Индуктором в генераторе трехфазного тока служит электромагнит, обмотка которого питается постоянным током. Индуктором является ротор, якорь генератора-статором. В пазах статора расположены три обмотки, сдвинутые в пространстве на 120 градусов.

Генераторы переменного тока



Получение трехфазной ЭДС
Генератор



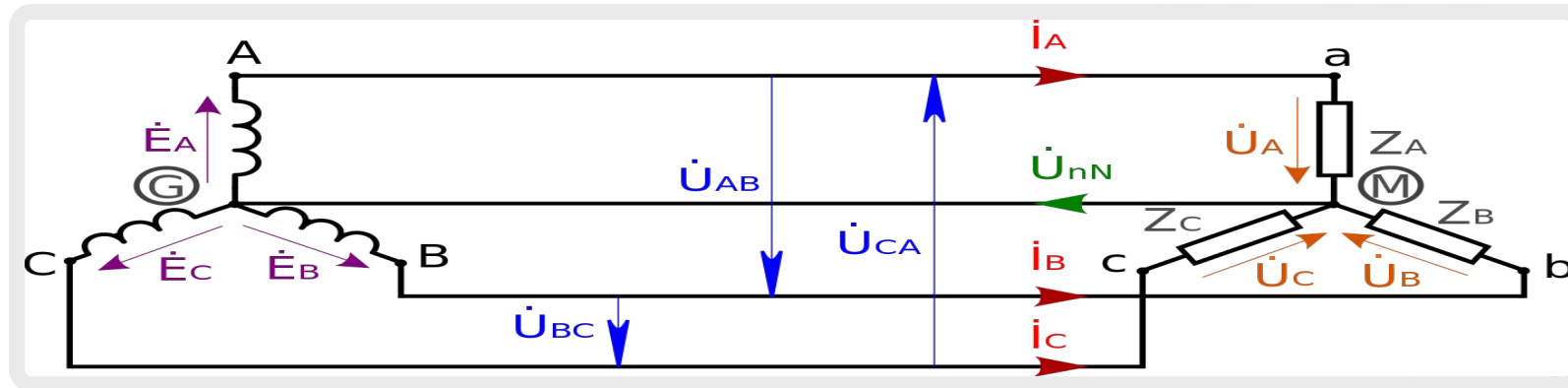
Кто получил трехфазную систему?

Михаи́л О́сипович До́ливо-Доброво́льский, русский электротехник польского происхождения, один из создателей техники трёхфазного переменного тока, немецкий предприниматель.

Творческая и инженерная деятельность М. О. Доливо-Добровольского направлена на решение задач, с которыми неизбежно пришлось бы столкнуться при широком использовании электроэнергии.



Соединение обмоток в трехфазных цепях



Соединяя концы всех обмоток «звездой», соединяем генератор с приемниками электроэнергии четырьмя проводами: 3 линейными проводами и нулевым или нейтральным проводом, идущим от нулевой точки генератора.

Основные преимущества :

Устойчивый и длительный режим безостановочной работы двигателя;

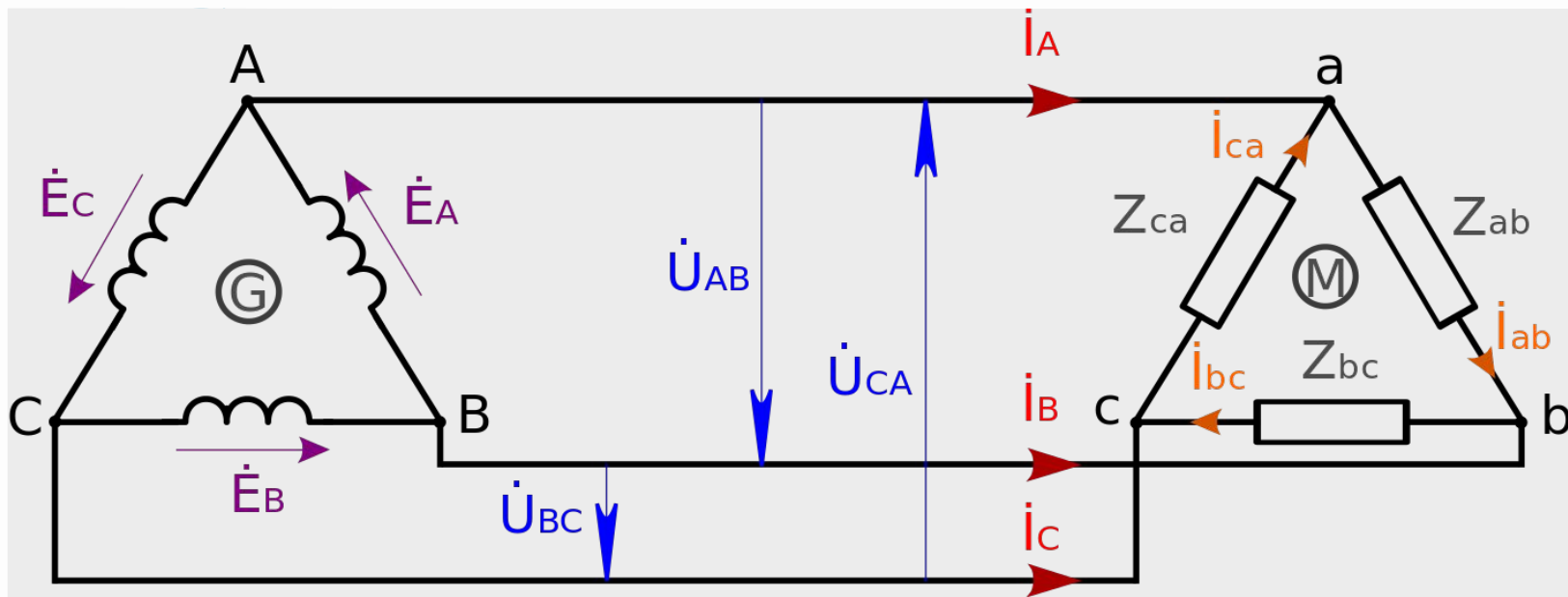
Повышенная надежность и долговечность, за счет снижения мощности оборудования;

Максимальная плавность пуска электрического привода;

Возможность воздействия кратковременной перегрузки;

В процессе эксплуатации корпус оборудования не перегревается.

Недостатки: двигатель будет выдавать до 70% от своей номинальной мощности.



Треугольник - конец первой фазы соединяется с началом второй фазы, конец второй фазы с началом третьей, а конец третьей фазы соединяется с началом первой.

Преимущества: Увеличение до максимального значения мощности электрооборудования; Использование пускового реостата; Повышенный вращающийся момент; Большие тяговые усилия.

Недостатки: Повышенный ток пуска; При длительной работе двигатель сильно греется.

Математические соотношения между фазными токами и напряжениями

Соединение «треугольником» - линейное напряжение генератора равно фазному напряжению:

$$U_{л} = U_{ф}.$$

Переключение обмоток генератора со «звезды» на «треугольник» приводит к снижению линейного напряжения.

Соединение «треугольником» допустимо при одинаковой или почти одинаковой нагрузке фаз.



Звезда



Между амплитудами значений фазных и линейных напряжений при соединении обмоток генератора звездой существует соотношение

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}} \approx 1,73U_{\text{ф}}$$

при фазном напряжении генератора $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$,

при соединении обмоток генератора «звездой» линейное напряжение равно $U_{\text{л}} - 380 \text{ В}$.

Мощность трехфазной цепи

Мощность при соединении в звезду

$$\begin{aligned} \text{полная } S &= 3 \times S_{\phi} = 3 \times (U / \sqrt{3}) \times I = \sqrt{3} \times U \times I; \\ \text{активная } P &= \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi; \\ \text{реактивная } Q &= \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \varphi. \end{aligned}$$

Мощность при соединении в треугольник

$$\begin{aligned} \text{полная } S &= 3 \times S_{\phi} = 3 \times U \times (I / \sqrt{3}) = \sqrt{3} \times U \times I; \\ \text{активная } P &= \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi; \\ \text{реактивная } Q &= \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \varphi. \end{aligned}$$

Одинаковый вид формул мощности для соединений в звезду и треугольник иногда служит причиной недоразумений, так как наталкивает недостаточно опытных людей на неправильный вывод, будто вид соединений всегда безразличен.

Практическое применение

Определяем ток двигателя при переключении со звезды на треугольник:

$$I_{\text{л}} = P_{\text{ном}} / 1.73 * U_{\text{ном}} * \cos\varphi * \eta$$

$$I_{\text{л}} = 3000 / 1.73 * 380 * 0.84 * 0.785 = 6.92 \text{ А}$$

Определяем активную мощность $P = 3 * U_{\text{л}} * I_{\text{л}} * \cos\varphi * \eta = 1.73 * 380 * 6.92 * 0.84 * 0.785 = 3000 \text{ Вт}$

Вывод : Мощность увеличится в три раза

Ток увеличится в 1,73 раза

Напряжение повышается с 220В на 380 В.

Определяем ток двигателя при переключении с треугольника на звезду:

$$I_{\text{л}} = P_{\text{ном}} / 1.73 * U_{\text{ном}} * \cos\varphi * \eta * 3$$

$$I_{\text{л}} = 3000 / 1.73 * 380 * 0.84 * 0.785 * 3 = 2.3 \text{ А}$$

Определяем активную мощность

$$P = 3 * U_{\text{л}} * I_{\text{л}} / 3 * \cos\varphi * \eta = 1.73 * 380 * 0.84 * 6.92 / 3 * 0.785 = 1000 \text{ Вт}$$

Вывод : Мощность уменьшится в три раза

Ток уменьшится в 1,73 раза

Напряжение уменьшится с 380В на 220 В

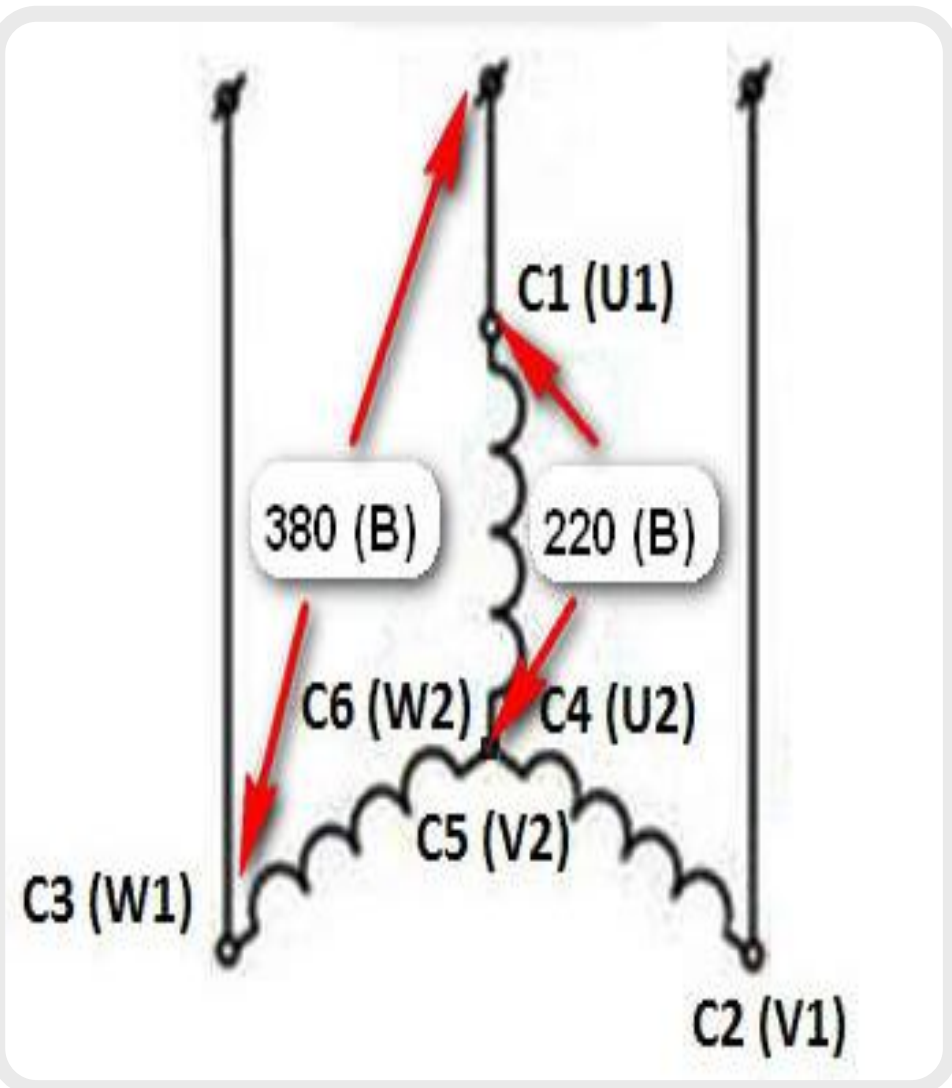
Практическое соединение обмоток звездой

Трехфазный трансформатор имеет 3 рабочих обмотки.

Каждая обмотка имеет два вывода - начало и конец.

Соединение «звезда» предполагает, что концы обмоток соединяются в один узел (нулевая точка).

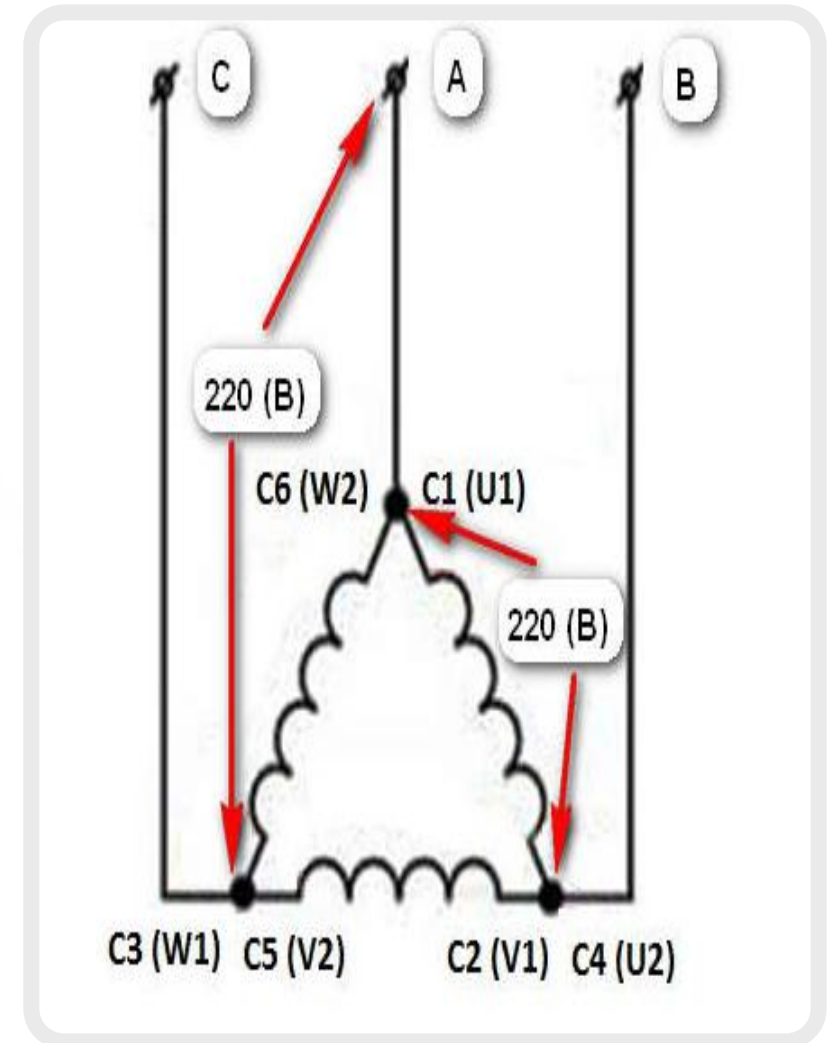
Между любыми двумя началами обмоток прилагается фазное напряжение питающей сети, зачастую 380 или 660 В.



Соединение обмоток в треугольник

При соединении к каждой обмотки прилагается линейное напряжение равное 220 или 380 В.

Такое соединение реализуется с помощью металлических перемычек, которые предусмотрены заводской комплектацией электрического оборудования.



C3 (W1) C2 (V1) C5 (V2) C4 (U2)

Порядок выполнения учебно-практического кейса №1

- 1. Определяем полное сопротивление $Z_{\phi} = U_{\text{НОМ}} / I_{\phi}$
- 2. Определяем индуктивное сопротивление $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$
- 3. Определяем коэффициент мощности $\cos \varphi = R / Z$
- 4. Определяем линейный $I_{\Delta\text{Л}}$ и фазный токи $I_{\Delta\text{Ф}}$ и активную мощность P_{Δ} при соединении катушек в треугольник, применяя математические соотношения между токами и напряжениями. ($U_{\Delta\text{НОМ}} = U_{\Delta\text{Ф}}$, $I_{\Delta\text{Л}} = 1,73 * I_{\Delta\text{Ф}}$)
- $I_{\Delta\text{Ф}} = U_{\Delta\text{НОМ}} / Z_{\phi}$
- $I_{\Delta\text{Л}} = 1,73 * I_{\Delta\text{Ф}}$
- $P_{\Delta} = 3 * U_{\Delta\text{Ф}} * I_{\Delta\text{Ф}} * \cos \varphi$

Порядок выполнения учебно-практического кейса №1

- 5. Определяем фазный ток I_{ϕ} и активную мощность P при соединении катушек в звезду, применяя математические соотношения между токами и напряжениями. Полное сопротивление катушки не зависит от способа включения. ($U_{\text{ном}} = 1,73U_{\phi}$, $I_{\text{л}} = I_{\phi}$)
- $I_{\phi} = U_{\phi} / Z_{\phi}$
- $I_{\text{л}} = I_{\phi}$
- $P_{\Delta} = 3 * U_{\phi} * I_{\phi} * \cos \varphi$
- 7. Определяем отношения:
 - - линейных токов I_{Δ} / I ;
 - - фазных напряжений U_{Δ} / U ;
 - - активных мощностей P_{Δ} / P .
- 8. Сделать вывод (во сколько раз изменились величины при переключении нагрузки со звезды на треугольник).

Решение производственных кейсов

- **Кейс №2.** Приемники электрической цепи соединены в звезду, нагрузка симметричная.
 - 1.Произошел обрыв фазы А.
 - 2.Короткое замыкание в фазе А.
- Несмотря на то что такие ситуации в электрических сетях возникают редко и имеется надежная защита, аварийные режимы не исключены. Они нежелательны уже потому, что их следствием может быть временный перерыв электроснабжения.
- **Ответ –1.**обрыв фазного провода приведет к полному отсутствию напряжения и тока в этой фазе. Две другие фазы приемника оказываются включенными последовательно под линейное напряжение. Если сопротивление фаз одинаковое, то напряжение между ними делится поровну.
- 2.Напряжение в фазе уменьшится до нуля, две других фазы остаются под линейным напряжением, что приведет к срабатываю защиты.

Решение производственных кейсов

- **Кейс №3.** Приемники электрической цепи соединены в звезду с нулевым проводом, нагрузка несимметричная.
- 1.Произошел обрыв фазы А.
- 2.Короткое замыкание в фазе А.
- Несмотря на то что такие ситуации в электрических сетях возникают редко и имеется надежная защита, аварийные режимы не исключены. Они нежелательны уже потому, что их следствием может быть временный перерыв электроснабжения.
- **Ответ –1.**обрыв фазного провода приведет к полному отсутствию напряжения и тока в этой фазе. Две другие фазы приемника не нарушает режим работы, так как есть нулевой провод.
- 2.Напряжение в фазе уменьшится до нуля, две других фазы остаются под линейным напряжением, что приведет к срабатываю защиты.

Решение производственного кейса

- **Кейс №4.** Приемники электрической цепи соединены в треугольник, нагрузка симметричная.
- 1.Произошел обрыв фазы АВ.
- 2. Короткое замыкание в фазе АВ.
- Несмотря на то что такие ситуации в электрических сетях возникают редко и имеется надежная защита, аварийные режимы не исключены. Они нежелательны уже потому, что их следствием может быть временный перерыв электроснабжения.
- **Ответ – 1.**Обрыв фазного провода приведет к полному отсутствию напряжения и тока в этой фазе. Две другие фазы приемника не нарушает режим работы и остаются под нормальным напряжением.
- 2.Напряжение в фазе уменьшится до нуля, две других фазы оказываются соединенными параллельно, но остаются под линейным напряжением

Кейс №5. Приемники электрической цепи соединены в треугольник, нагрузка симметричная.

1.Произошел обрыв линейного провода А.

Несмотря на то что такие ситуации в электрических сетях возникают редко и имеется надежная защита, аварийные режимы не исключены. Они нежелательны уже потому, что их следствием может быть временный перерыв электроснабжения.

Ответ – 1.Обрыв линейного провода приведет к тому, что две фазы Z_{AB} и Z_{CA} оказываются соединенными последовательно под линейное напряжение, а фаза Z_{BC} остается под нормальным напряжением .



Домашнее задание

На табличке асинхронного двигателя АИР71А4У2 указано напряжение 380/660 В. Что это значит? И как можно подключить в сеть электродвигатель. В чем опасность такого подключения?

Литература:

1. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники. Учебник для техникумов. - 5-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский центр «Академия», 2014 - 488 с., ил.
2. Немцов М.В. Электротехника и электроника: учебник для студентов общеобразовательных учреждений среднего профессионального образования / Немцов М.В., Немцова М.Л. – 5-е изд., - М.:, 2016. - 480 с.
2. Эськов В.Д., и др. Теоретические основы электротехники Учебное пособие. - Томск, ТПУ, 2017. - 165 с.

*Занятие полезно, все понятно.- поднять
обе –руки вверх*

*Лишь кое-что чуть-чуть неясно.-правая
рука вверх*

*Еще придется потрудиться.-левая рука
вверх*

Да, трудно все-таки учиться!