

Лекция № 10

ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ, ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

Учебные вопросы

1. Определение многофазных электрических систем, цепей и величин.
2. Принцип получения трехфазной системы ЭДС. Порядок чередования фаз.
3. Соединения звездой и треугольником. Понятие о фазных и линейных токах и напряжениях.

1. Определение многофазных электрических систем, цепей и величин

Вспомним, что *электрической цепью* называется совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы, в которых могут быть описаны с помощью понятий об ЭДС, токе и напряжении (ГОСТ 19880-74, п.84).

В прошлом семестре мы изучили электрические цепи постоянного и переменного синусоидального однофазного токов.

Многофазная система электрических цепей (МСЭЦ) – совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые друг относительно друга по фазе, создаваемые общим источником электрической энергии (ГОСТ 19880-74, п.151).

Трехфазной системой э.д.с. называется система *трех* синусоидальных э.д.с., одинаковой частоты, сдвинутых друг относительно друга по фазе на 120 электрических градусов, а сумма трех фазных углов равна 2π .

Отдельные электрические цепи, образующие многофазную систему, называют *фазами*.

При отсутствии гальванической связи между фазами говорят о системе многофазных цепей.

При наличии такой связи о многофазной системе.

Фаза многофазной системы цепей – часть многофазной системы электрических цепей, в которых может протекать один из токов многофазной системы токов.

Число цепей, входящих в систему, называют числом фаз многофазной системы и определяет название самой системы (трехфазная, шестифазная, двенадцатифазная).

Многофазная цепь – многофазная система электрических цепей, в которой отдельные фазы электрически соединены друг с другом (ГОСТ, п.152).

Совокупность ЭДС, действующих в МСЭЦ, называют *многофазной системой электродвижущих сил*, а совокупность токов, протекающих в этих цепях, называют многофазной системой токов.

Схематично 3-х фазную систему можно представить в виде рис. 1. На этом рисунке все токи, напряжения, э.д.с., действующие в трехфазной системе, называются *трехфазными*.

Один из зажимов каждой фазы генератора называют *началом* фазы и обозначают соответственно буквами *A, B, C*.

Другой зажим каждой фазы называют концом и обозначают соответственно буквами *X, Y, Z*.

Условились всегда выбирать положительные направления э.д.с. в обмотках генератора от концов фаз к началам (рис. 1).

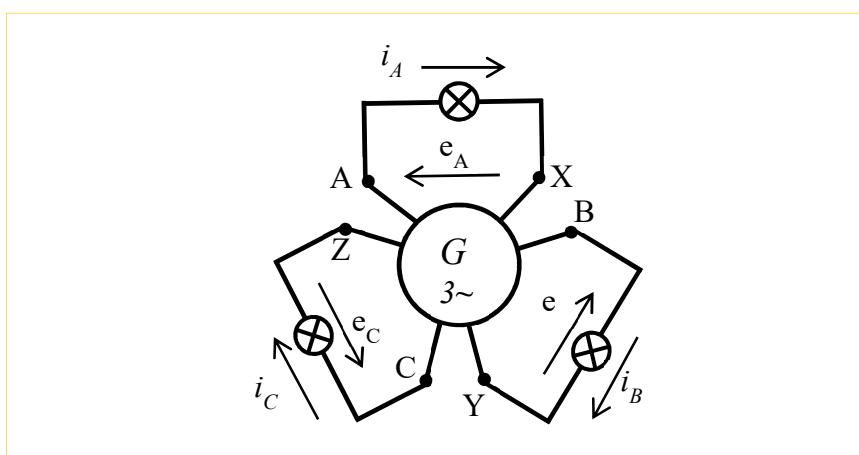


Рисунок 1. Упрощенное представление трехфазной системы

Каждая обмотка трехфазного генератора может служить самостоятельным источником электроэнергии и быть соединена с отдельным приемником энергии, как показано на рис. 2. В этом случае получается несвязанная 3-х фазная система из трех отдельных электрических цепей. Режим каждой цепи может быть рассчитан уже известными методами.

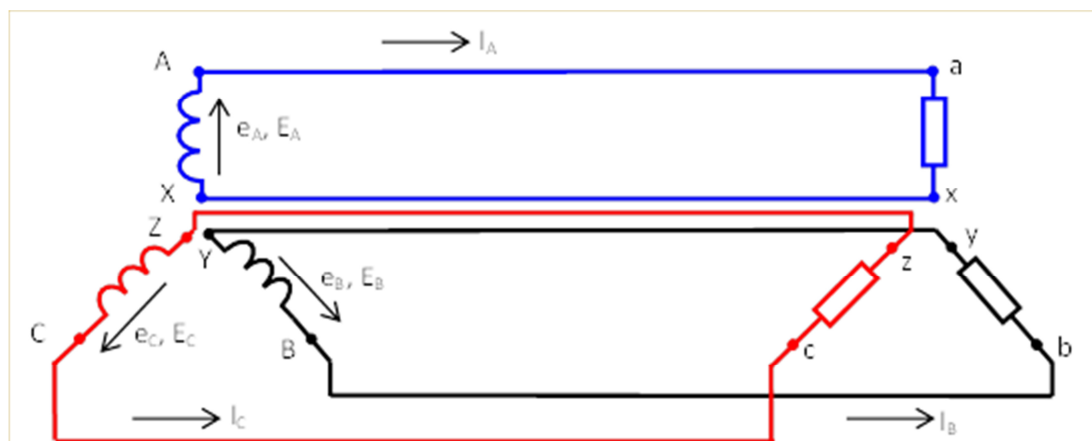


Рисунок 2. Несвязанная трехфазная система

Но в несвязанной системе для передачи электроэнергии требуется **шесть** проводов. Поэтому на практике такие системы не применяются.

Заметим, что как ЭДС, так и токи, образующих многофазную систему, могут отличаться друг от друга не только по фазе, но и по величине.

Многофазная система электрических токов – совокупность синусоидальных токов одной частоты, сдвинутых друг относительно друга по фазе, действующих в МСЭЦ (ГОСТ, п.154).

Примечание. Аналогично определяются многофазные системы ЭДС и напряжений.

Итак, в МСЭУ ЭДС создаются общим (одним) источником электроэнергии.

Рассмотрим принцип получения многофазной системы ЭДС и принцип устройства многофазного (трехфазного) генератора электрической энергии (ЭДС, тока).

2. Принцип получения трехфазной системы ЭДС. Порядок чередования фаз

Получение многофазных (трехфазных) ЭДС аналогично получению однофазной ЭДС, уже знакомого нам.

Укрепим на оси несколько витков или обмоток, плоскости которых сдвинуты друг относительно друга на некоторые углы (рис. 3). Вращая с постоянной угловой скоростью ω в однородном магнитном поле такую систему из m обмоток, мы получим m -фазный генератор, все ЭДС, генерируемые в нем, будут синусоидальными и сдвинуты по фазе на углы, равные углам между плоскостями, в которых расположены обмотки:

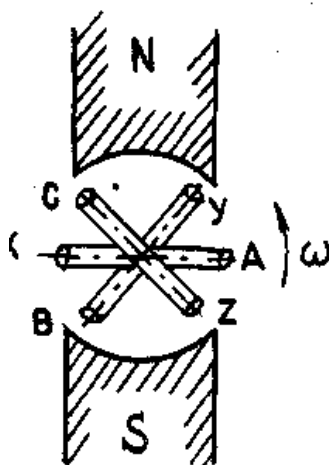


Рисунок 3. – Принцип получения трехфазной системы ЭДС

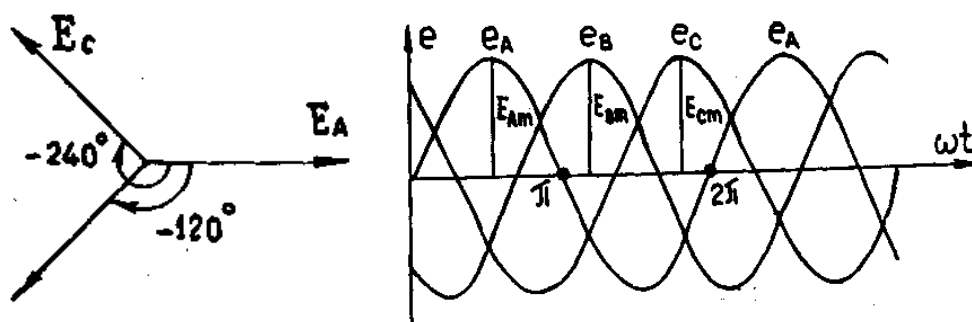


Рисунок 4 – Временная (а) и векторная диаграмма (б) трехфазной системы ЭДС, и ее аналитические записи.

$$\begin{aligned}
 e_A &= E_m \sin \omega t; & \underline{E}_A &= E e^{j\cdot} \\
 e_B &= E_m \sin (\omega t - 120^\circ); & \underline{E}_B &= E e^{-j120^\circ}; \\
 e_C &= E_m \sin (\omega t - 240^\circ); & \underline{E}_C &= E e^{-j240^\circ}.
 \end{aligned}$$

На рис. 3 представлена схема устройства элементарного трехфазного генератора. Схема поясняет принцип получения трехфазной системы ЭДС.

На рис. 4 представлены временные диаграммы ЭДС, индуцируемых в обмотках генератора при условии, что обмотки одинаковы (совершенно) и расположены в плоскостях, сдвинутых на угол $\frac{2\pi}{3}$ друг относительно друга.

Реально трехфазные генераторы переменного тока конструктивно выполняются так, как и однофазные. Обмотки, в которых индуцируется ЭДС, располагаются на неподвижной части машины – *статоре*, а на вращающейся части машины – *роторе* – располагают обмотку возбуждения, по которой проходит ток (постоянный).

На рисунке 5 схематично показано устройство генератора переменного (синусоидального) тока с тремя обмотками на статоре. Ради простоты каждая обмотка показана состоящей только из двух проводков одного витка, заложенных в диаметрально противоположные пазы статора. Эти проводка на заднем торце статора соединены друг с другом (соединения показаны пунктиром). На переднем торце статора они оканчиваются зажимами $A, X; B, Y; C, Z$, которые служат для подсоединения внешней цепи. Наводимые в обмотке ЭДС максимальны, когда ось полюсов ротора пересекает проводники статора. Для разных обмоток это имеет место в различные моменты времени. Поэтому наводимые ЭДС не совпадают по фазе.

Генераторы с несколькими обмотками, в которых наводятся ЭДС одинаковой частоты, но сдвинутые друг относительно друга по фазе, называются *многофазными генераторами*. (Они же – многофазные источники питания).

По числу фаз многофазные источники питания в системах цепей подразделяются на двух-, трех-, четырехфазные и т.д.

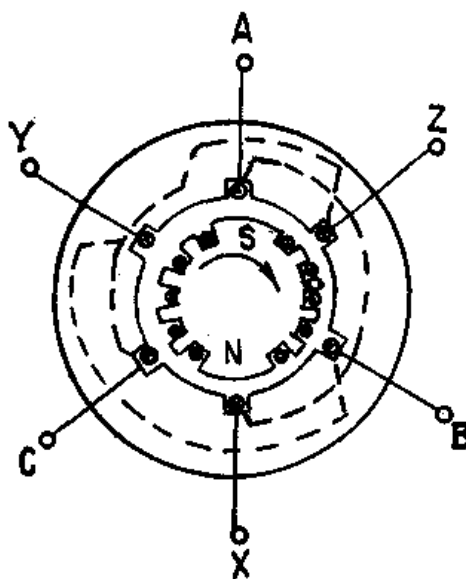


Рисунок 5 – Принцип устройства трехфазного генератора ЭДС

Впервые многофазные системы цепей и многофазные генераторы были применены на практике П.Н.Яблочковым для питания изобретенных им электрических свечей. В его установках обмотки многофазных генераторов присоединялись к электрически не соединенным друг к другу линиям, питавшим отдельные группы свечей. Такие многофазные системы цепей называются *несвязанными*.

В настоящее время применяются многофазные системы цепей, электрически соединенные друг с другом. Такие МСЭЦ называются *связанными*. О способах соединения речь будет ниже.

Связанная МСЭЦ образует по существу одну сложную разветвленную цепь и ее обычно называют просто *многофазной цепью*.

В электроэнергетике в силу наибольшей экономичности и технического совершенства почти исключительно применяются трехфазные цепи. Автором трехфазной электрической цепи является русский инженер-ученый М.О.Доливо-Добровольский.

В выпрямительных устройствах встречаются шести-, а иногда - двенадцатифазные цепи.

В автоматике и телемеханике применяются двухфазные цепи.

Крайние точки обмоток генераторов называют “началом” и “концом” и обозначают латинскими буквами: “начала” – *A, B, C*; “концы” – *X, Y, Z*.

При этом при разметках руководствуются следующим: при одинаковых положительных направлениях ЭДС во всех обмотках (от “начал” к “концам” или от “концов” к “началам”) ЭДС должны быть сдвинуты друг относительно друга симметрично. (Исключение при этом составляют двухфазные генераторы.

Порядок чередования фаз

Порядок (последовательность), в котором ЭДС в фазных обмотках генератора проходят через одинаковые значения, например, через положительные максимумы, называют *последовательностью фаз* или *порядком чередования фаз*.

Для выбранного направления вращения ротора (рисунок 3) последовательность фаз - *A, B, C* и т.д. Очевидно, последовательность зависит от направления вращения ротора. Если ротор будет вращаться в обратном направлении, то последовательность фаз будет обратной - *A, C, B* и т.д.

Ротаторы у генераторов всегда вращаются в одном направлении, поэтому разметку представляется возможным сделать заранее, раз и навсегда и таким образом, чтобы имел место нормальный порядок следования букв (*A, B, C* и наоборот).

В рассматриваемом генераторе имеем совокупность трехфазных ЭДС. Рассматриваемая совокупность ЭДС в обмотках трехфазного генератора называется *трехфазной системой ЭДС*.

Аналогичные определения и для многофазной системы, а также для напряжений и токов.

Эти системы ЭДС (напряжений, токов) подразделяются на симметричные и несимметричные.

Симметричная многофазная система ЭДС – многофазная система ЭДС, в которой отдельные ЭДС равны по амплитуде и отстают по фазе друг относительно друга на углы

$$K = \frac{2\pi}{m}$$

Примечание: 1. m – число фаз, K – любое число.

2. Аналогично определяются симметричные многофазные системы электрических токов и напряжений.

Системы называют симметричными, если все ЭДС (напряжения, токи) равны по величине и если каждая ЭДС (напряжение, ток) отстает по фазе от предыдущей ЭДС (напряжения, тока) на один и тот же фазный угол), равный $2\pi/m$, где m – число фаз.

3. Соединения звездой и треугольником. Понятие о фазных и линейных токах и напряжениях

По способу соединения фаз различают соединение *звездой* и *треугольником*. Обычно обмотки генератора трехфазного тока соединены звездой, по-

этому на щитках генераторов трехфазного тока имеются четыре выводных клеммы A, B, C, N (или 0), к которым присоединены свободные концы фазных обмоток генератора и его нейтральная (нулевая) точка.

Соединения фаз приёмников электрической энергии может быть как звездой, так и треугольником.

Генератор и приемник связаны между собой проводами, называемыми *линейными* (или линиями).

Соединение звездой

На рис. 6 представлена цепь с соединением по схеме «звезда»

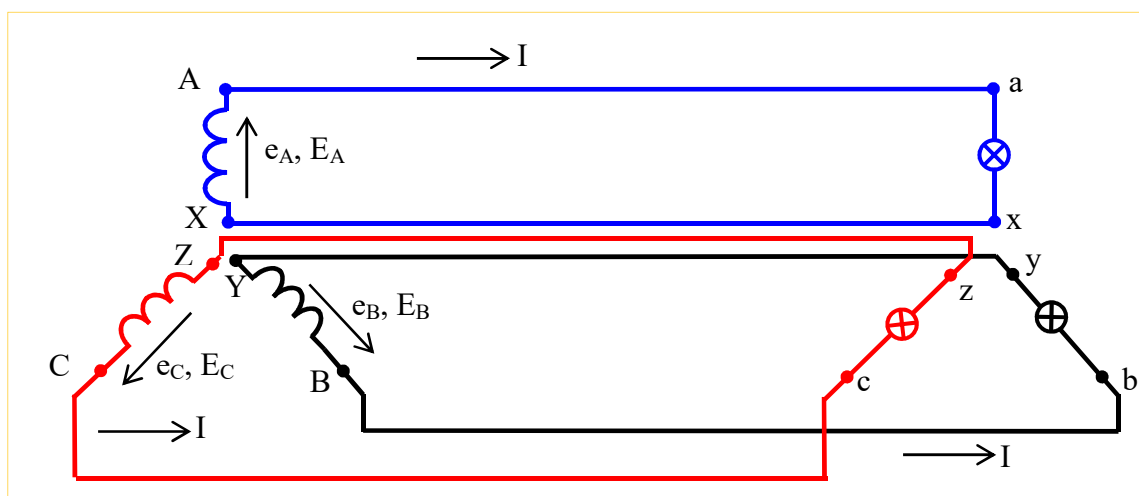


Рисунок 6. Несвязанная трехфазная система, в которой фазные обмотки генератора и приемника включены по схеме «звезда»

Ранее отмечалось, что на практике такие схемы не находят применения. Рассмотрим практическую трехфазную схему с соединением обмоток генератора и приемника «звездой». Комплексная схема замещения связанной трехфазной цепи при соединении фаз генератора и приемника звездой изображена на (рис 7).

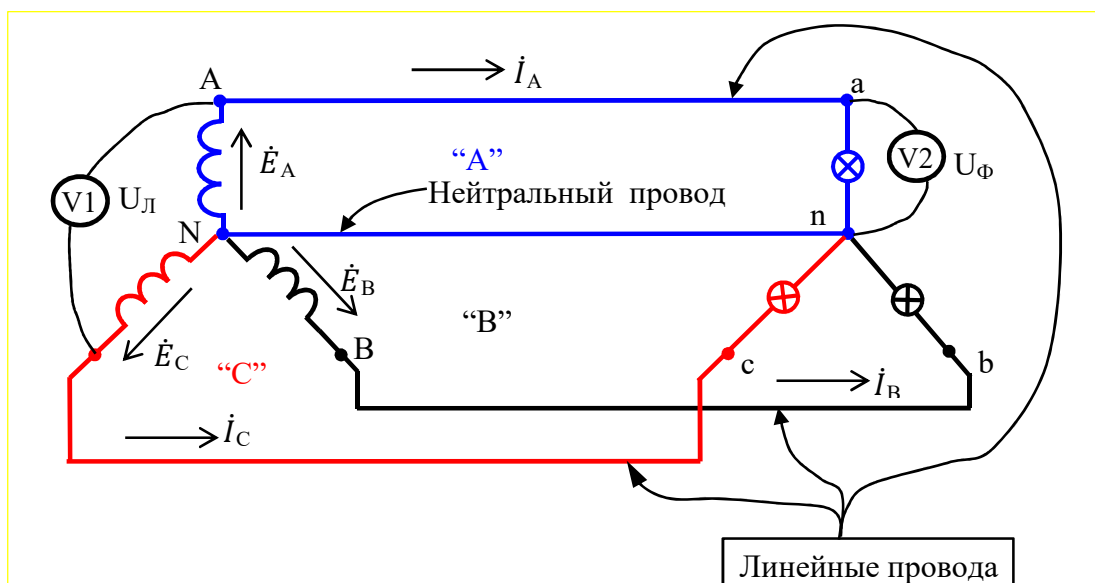


Рисунок 7. Связанная трехфазная система, в которой фазные обмотки генератора и приемника включены по схеме «звезда»

В трехфазных электрических цепях выделяют понятия **линейные напряжения и токи** и **фазные напряжения и токи**.

Линейное напряжение – напряжение между линейными проводами.

Напряжение между двумя любыми линиями в такой цепи называется **линейным напряжением** и обозначается U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} или U_L .

Напряжение между любой линией и нейтральным (нулевым) проводом $N-n$ называется **фазным напряжением** и обозначается U_A , U_B , U_C для генератора и U_a , U_b , U_c для приемника или U_ϕ .

Токи в линейных проводах $A-a$, $B-b$, $C-c$ называются **линейными токами** и обозначаются I_A , I_B , I_C или I_L . Токи на участках цепи $a-n$, $b-n$, $c-n$ называются **фазными токами** и обозначаются I_a , I_b , I_c или I_ϕ .

Соединение треугольником.

Комплексная схема замещения связанной трехфазной цепи при соединении фаз генератора и приемника «треугольником» изображена на рис. 8.

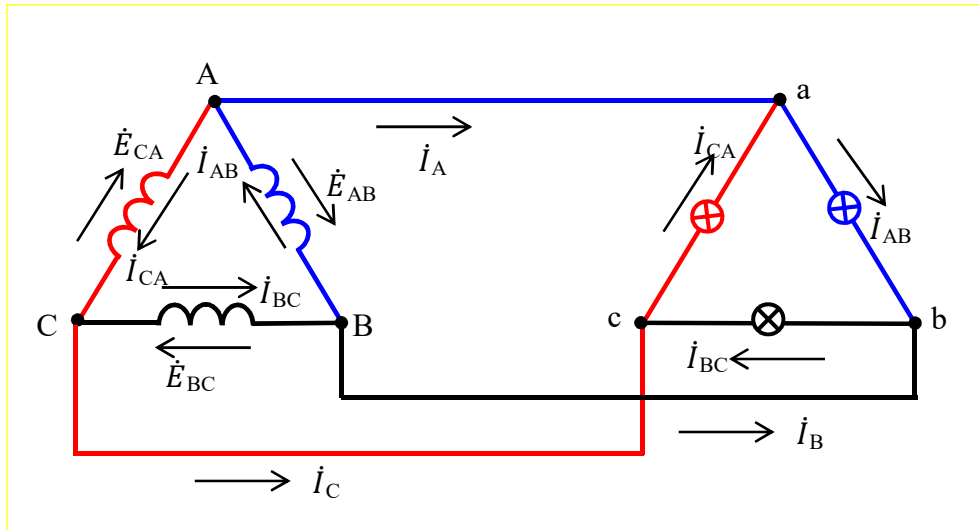


Рисунок 8. Связанная трехфазная система, в которой фазные обмотки генератора и приемника включены по схеме «треугольник»

Напряжения на участках цепи $a-b$, $b-c$, $c-a$ в такой схеме называются **фазными напряжениями** и обозначаются U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} или U_{ϕ} . Следовательно, при соединении треугольником **фазные напряжения совпадают по величине с линейными**, обозначаемыми, как и для звезды, U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} или $U_{л}$.

Токи на участках цепи $a-b$, $b-c$, $c-a$ называются **фазными токами** и обозначаются I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} или I_{ϕ} . Таким образом, при соединении треугольником **фазные токи не совпадают по величине с линейными** I_A , I_B , I_C или $I_{л}$.