

Трехфазный переменный ток

В настоящее время во всем мире получила наибольшее распространение **трехфазная система переменного тока**.

Трехфазной системой электрических цепей называют систему, состоящую из трех цепей, в которых действуют переменные, ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые по фазе друг относительно друга на $1/3$ периода ($\varphi = 2\pi/3$). Каждую отдельную цепь такой системы коротко называют ее фазой, а систему трех сдвинутых по фазе переменных токов в таких цепях называют просто **трехфазным током**.



Почти все генераторы, установленные на наших электростанциях, являются **генераторами трехфазного тока**. По существу, каждый такой генератор представляет собой соединение в одной электрической машине трех генераторов переменного тока, сконструированных таким образом, что индуцированные в них ЭДС сдвинуты друг относительно друга на одну треть периода, как это показано на рис. 1.

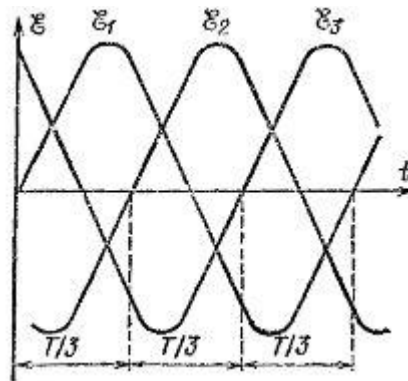


Рис. 1. Графики зависимости от времени ЭДС, индуцированных в обмотках якоря генератора трехфазного тока

Как осуществляется подобный генератор легко понять из схемы на рис. 2.

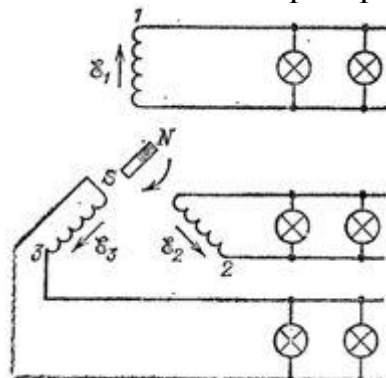


Рис. 2. Три пары независимых проводов, присоединенных к трем якорям генератора трехфазного тока, питают осветительную сеть

Здесь имеются три самостоятельных якоря, расположенных на статоре электрической машины и смещенных на $1/3$ окружности (120°). В центре электрической машины вращается общий для всех якорей индуктор, изображенный на схеме в виде постоянного магнита.

В каждой катушке индуцируется переменная ЭДС одной и той же частоты, но моменты прохождения этих ЭДС через нуль



(или через максимум) в каждой из катушек окажутся сдвинутыми на $1/3$ периода друг относительно друга, ибо индуктор проходит мимо каждой катушки на $1/3$ периода позже, чем мимо предыдущей.

Каждая обмотка трехфазного генератора является самостоятельным генератором тока и источником электрической энергии. Присоединив провода к концам каждой из них, как это показано на рис. 2, мы получили бы три независимые цепи, каждая из которых могла бы питать те или иные электроприемники, например электрические лампы.

В этом случае для передачи всей энергии, которую поглощают электроприемники, требовалось бы шесть проводов. Можно однако, так соединить между собой обмотки генератора трехфазного тока, чтобы обойтись четырьмя и даже тремя проводами, т. е. значительно сэкономить проводку.

Первый из этих способов, называется **соединением звездой** (рис. 3).

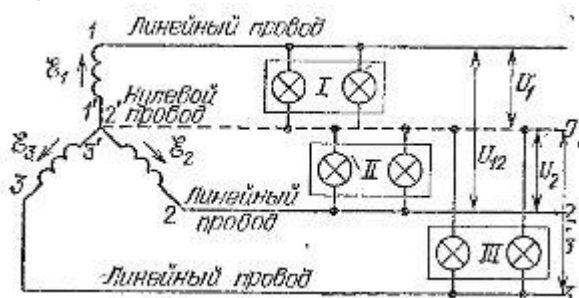


Рис. 3. Четырехпроводная система проводки при соединении трехфазного генератора звездой. Нагрузки (группы электрических ламп I, II, III) питаются фазными напряжениями.

Будем называть зажимы обмоток 1, 2, 3 началами, а зажимы 1', 2', 3' - концами соответствующих фаз.

Соединение звезд заключается в том, что мы соединяем концы всех обмоток в одну точку генератора, которая называется **нулевой точкой** или **нейтралью**, и соединяем генератор с приемниками электроэнергии четырьмя проводами: тремя так называемыми **линейными проводами**, идущими от начала обмоток 1, 2, 3, и **нулевым или нейтральным проводом**, идущим от нулевой точки генератора. Такая система проводки называется **четырехпроводной**.



Напряжения между нулевой точкой и началом каждой фазы называют **фазными напряжениями**, а напряжения между началами обмоток, т. е. точками 1 и 2, 2 и 3, 3 и 1, называют **линейными**. Фазные напряжения обычно обозначают U_1, U_2, U_3 , или в общем виде U_{ϕ} , а линейные напряжения - U_{12}, U_{23}, U_{31} , или в общем виде U_L .

Между амплитудами или действующими значениями фазных и линейных напряжений при соединении обмоток генератора звездой существует соотношение $U_L = \sqrt{3}U_{\phi} \approx 1,73U_{\phi}$

Таким образом, например, если фазное напряжение генератора $U_{\phi} = 220$ В, то при соединении обмоток генератора звездой линейное напряжение $U_L = 380$ В.

В случае равномерной нагрузки всех трех фаз генератора, т. е. при приблизительно одинаковых токах в каждой из них, ток в нулевом проводе равен нулю. Поэтому в этом случае можно нулевой провод упразднить и перейти к еще более экономной трехпроводной системе. Все нагрузки включаются при этом между соответствующими парами линейных проводов.

При несимметричной нагрузке ток в нулевом проводе не равен нулю, но, вообще говоря, он слабее, чем ток в линейных проводах. Поэтому нулевой провод может быть тоньше, чем линейные.

При эксплуатации трехфазного переменного тока стремятся сделать нагрузку различных фаз по возможности одинаковой. Поэтому, например, при устройстве осветительной сети большого дома при четырехпроводной системе вводят в каждую квартиру нулевой провод и один из линейных с таким расчетом, чтобы в среднем на каждую фазу приходилась примерно одинаковая нагрузка.

Другой способ соединения обмоток генератора, также допускающий трехпроводную проводку - это соединение треугольником, изображенное на рис. 4.

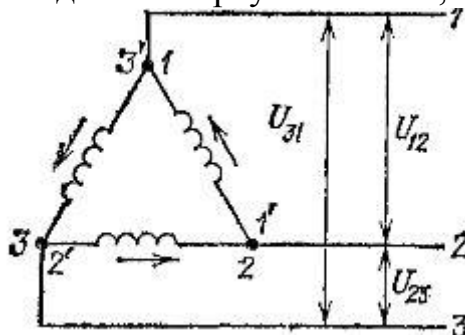


Рис. 4. Схема соединения обмоток трехфазного генератора треугольником

Здесь конец каждой обмотки соединен с началом следующей, так что они образуют замкнутый треугольник, а линейные провода присоединены к вершинам этого треугольника — точкам 1, 2 и 3. **При соединении треугольником линейное напряжение генератора равно его фазному напряжению: $U_{л} = U_{ф}$.**

Таким образом, **переключение обмоток генератора со звезды на треугольник приводит к снижению линейного напряжения в $\sqrt{3} \approx 1,73$ раза.** Соединение треугольником также допустимо лишь при одинаковой или почти одинаковой нагрузке фаз. Иначе ток в замкнутом контуре обмоток будет слишком силен, что опасно для генератора.

При применении трехфазного тока отдельные приемники (нагрузки), питающиеся от отдельных пар проводов, также могут быть соединены либо звездой, т. е. так, что один конец их присоединен к общей точке, а оставшиеся три свободных конца присоединяются к линейным проводам сети, либо треугольником, т. е. так, что все нагрузки соединяются последовательно и образуют общий контур, к точкам 1, 2, 3 которого присоединяются линейные провода сети.

На рис. 5 показано соединение нагрузок звездой при трехпроводной системе проводки, а на рис. 6 — при четырехпроводной системе проводки (в этом случае общая точка всех нагрузок соединяется с нулевым проводом).

На рис. 7 показана схема соединения нагрузок треугольником при трехпроводной системе проводки.

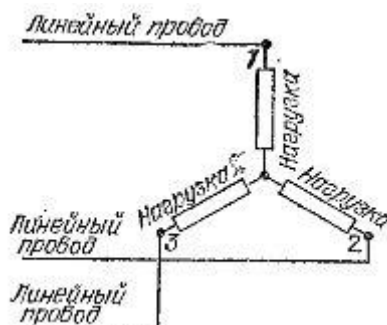


Рис. 5. Соединение нагрузок звездой при трехпроводной системе проводки

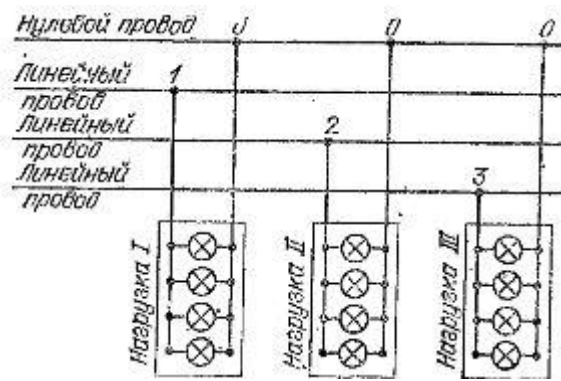


Рис. 6. Соединение нагрузок звездой при четырехпроводной системе проводов

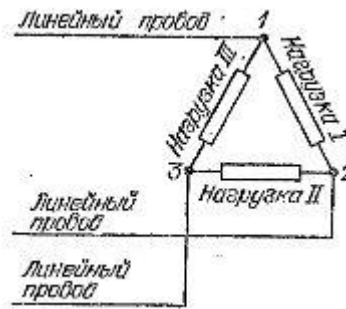


Рис. 7. Соединение нагрузок треугольником при трехпроводной системе проводки

Практически важно иметь в виду следующее. При соединении нагрузок треугольником каждая нагрузка находится под линейным напряжением, а при соединении звездой - под напряжением, в $\sqrt{3}$ раз меньшим. Для случая четырехпроводной системы это ясно из рис. 6. Но то же имеет место в случае трехпроводной системы (рис. 5).

Между каждой парой линейных напряжений здесь включены последовательно две нагрузки, токи в которых сдвинуты по фазе на $2\pi/3$. Напряжение на каждой нагрузке равно соответствующему линейному напряжению, деленному на $\sqrt{3}$.

Таким образом, при переключении нагрузок со звезды на треугольник напряжения на каждой нагрузке, а следовательно, и ток в ней повышаются в $\sqrt{3} \approx 1,73$ раза. Если, например, линейное напряжение трехпроводной сети равнялось 380 В, то при соединении звездой (рис. 5) напряжение на каждой из нагрузок будет равно 220 В, а при включении треугольником (рис. 7) будет равно 380 В.