

## ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

### Основные определения. Трехфазная система э. д. с.

Объединение нескольких цепей с независимыми источниками электроэнергии проводниками линии передачи широко используется при переменном токе. Объединяемые цепи переменного тока принято называть *фазами*, а всю объединенную систему цепей — *многофазной системой*. Таким образом в электротехнике, термин фаза применяется в двух различных смыслах: во-первых, это относительный момент периодического процесса, а во-вторых, — наименование составной части многофазной системы цепей переменного тока.

Обычно применяют симметричные многофазные системы, у которых амплитудные значения э. д. с. одинаковы, а фазы сдвинуты друг относительно друга на один и тот же угол  $2\pi/m$ , где  $m$  — число фаз. Наиболее часто в электротехнике используют двухфазные, трехфазные, шестифазные цепи. Так, в автоматике и в электроизмерительной технике широко распространены двухфазные системы, в электроэнергетике наибольшее практическое значение имеют трехфазные системы. Эта система была изобретена и разработана во всех деталях, включая трехфазный трансформатор и асинхронный двигатель, выдающимся русским инженером М.С. Доливо-Добровольским в 1891 г.

Трехфазные цепи — это совокупность трех однофазных цепей, в которых действуют синусоидальные э. д. с. одной и той же частоты, сдвинутые по фазе друг относительно друга на угол  $2\pi/3$ . Передача электрической энергии на дальние расстояния по трехфазным цепям более выгодна, чем передача энергии по однофазным цепям; кроме того, трехфазные синхронные генераторы и двигатели, трехфазные асинхронные двигатели и трансформаторы более просты в производстве, экономичны и надежны в эксплуатации. В трехфазных системах достаточно просто получить вращающееся магнитное поле, воздействие которого на проводники с током положено в основу принципа работы асинхронных и синхронных электродвигателей.

Источником электрической энергии в трехфазной цепи является синхронный генератор, в трех обмотках которого, конструктивно сдвинутых друг относительно друга на угол  $2\pi/3$  и называемых фазами, индуцируются три э. д. с., фазы которых, в свою очередь,

также сдвинуты относительно друг друга на угол  $2\pi/3$ . Устройство трехфазного генератора схематично показано на рисунке 1.1. В пазах сердечника статора расположены три одинаковые обмотки. Для простоты будем считать, что каждая из обмоток состоит только из одного витка. т. е. из двух проводов, заложенных в диаметрально противоположных пазах статора. Эти два провода каждой из обмоток на заднем торце статора соединены друг с другом. На переднем торце статора витки обмоток оканчиваются зажимами А, В, С (начало обмоток) и соответственно зажи-

мами Х, Y, Z (концы обмоток). Начала обмо-

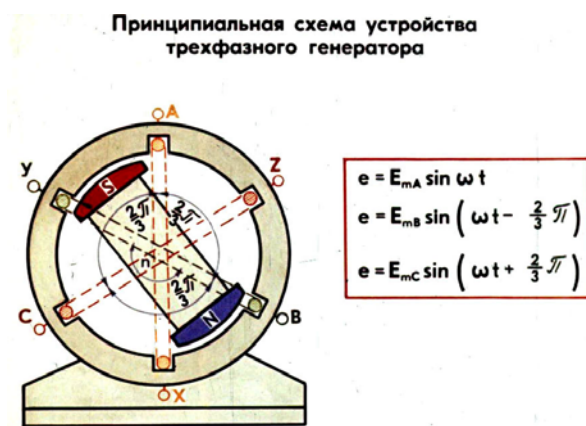


Рис.1.1.

ток смещены относительно друг друга на угол  $2\pi/3$ , и соответственно их концы также сдвинуты относительно друг друга на угол  $2\pi/3$ . На рисунке представлен однополюсный ротор, если же ротор многополюсный, то каждой паре полюсов соответствуют на статоре три катушки трехфазных обмоток. Размещенные вдоль окружности статора отдельные катушки каждой фазной обмотки соединяются между собой последовательно или параллельно.

При вращении ротора в фазных обмотках статора индуцируются переменные э.д.с. Благодаря симметрии устройства генератора максимальные  $E_m$  и действующие фазные  $E_\phi$

значения этих э.д.с. во всех фазах одинаковы, но так как магнитное поле вращающегося ротора пересекает фазные обмотки не одновременно, то э.д.с. обмоток сдвинуты по фазе по отношению друг к другу на одну треть периода, чему соответствует дуга  $\frac{2\pi}{3}$ .

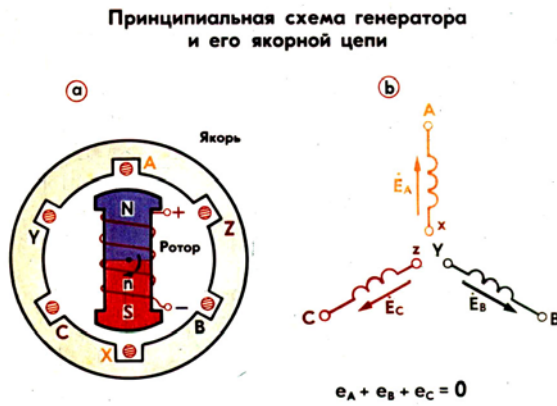


Рис.1.2

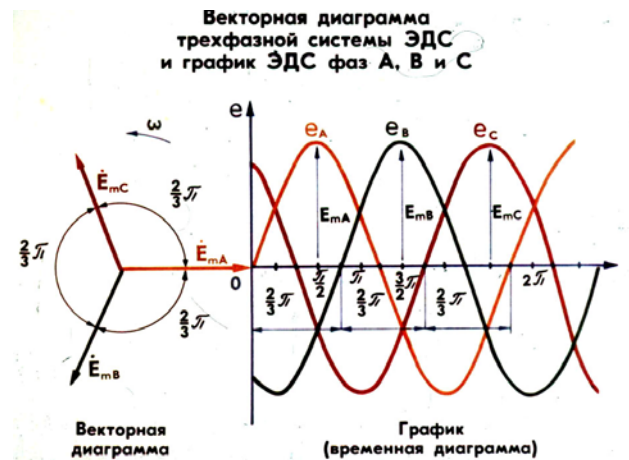


Рис. 1.3.

На электрических схемах обмотки статора трехфазного генератора условно изображают так, как показано на рис. 1.2, б; за условное положительное направление э. д. с. в каждой фазе генератора принимают направление от конца к началу обмотки.

Если фазу фазной э. д. с. А принять за исходную, равную нулю, то мгновенные значения э. д. с. трехфазного генератора можно выразить аналитически:

$$\begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t; \\ e_B &= E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right); \\ e_C &= E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right). \end{aligned} \quad (1.1.)$$

На рис.1.3. показаны кривые мгновенных значений этих э.д.с. и три вектора их максимальных значений.

Трехфазная система, в которой условия во всех фазах одинаковы называется *симметричной*. Для симметричной системы согласно уравнений (1.1) справедливо равенство:

$$e_A + e_B + e_C = 0 \quad (1.2.)$$

Итак, алгебраическая сумма мгновенных значений э. д. с. симметричной трехфазной системы равна нулю.

Учитывая, что вектор э. д. с. фазы А совмещен с вещественной осью комплексной плоскости (рис. 1.4, а, б), для комплексных значений э. д. с. систему (1.1) можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{E}_A &= E e^{j0} = E \\ \dot{E}_B &= E e^{-j120^\circ} = E [\cos(-120^\circ) - j \sin(-120^\circ)] = -E \cdot \frac{1}{2} - jE \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}; \\ \dot{E}_C &= E e^{j120^\circ} = E [\cos(120^\circ) + j \sin(120^\circ)] = -E \cdot \frac{1}{2} + jE \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}. \end{aligned} \quad (1.2.)$$

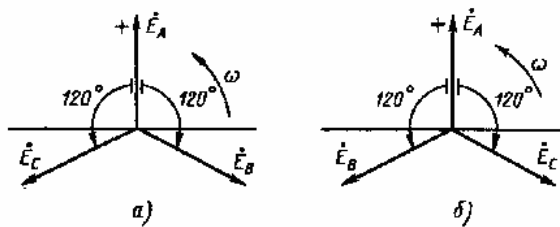


Рис 1.4.

На рис.1.4,а и б даны векторные диаграммы для прямой и обратной последовательности чередования фаз. Из векторных диаграмм и уравнений 1.2. следует, что  $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$ . Таким образом,

сумма амплитуд или действующих значений э. д. с. симметричной трехфазной системы равна нулю.

Последовательность в обозначении фаз системы А, Б, С не может быть случайной, так как она определяется последовательностью изменения фазных э.д.с. Если ротор генератора вращать по часовой стрелке, то получается последовательность чередования фаз АВС, т. е. э. д. с. фазы В отстает по фазе от э. д. с. фазы А и э. д. с. фазы С отстает по фазе от э. д. с. фазы В. Такую систему э. д. с. называют системой прямой последовательности. Если изменить направление вращения ротора генератора на противоположное, то последовательность чередования фаз будет обратной. У генераторов роторы всегда вращаются в одном направлении, вследствие чего последовательность чередования фаз никогда не изменяется. На практике у генераторов обычно применяется прямая последовательность чередования фаз.

От последовательности чередования фаз зависит направление вращения трехфазных синхронных и асинхронных двигателей. Достаточно поменять местами две любые фазы двигателя, как возникает обратная последовательность чередования фаз и, следовательно, противоположное направление вращения двигателя.

Последовательность фаз необходимо также учитывать при параллельном включении трехфазных генераторов.