

8.1. Общие положения о цепях синусоидального тока

Основная роль в прикладной электротехнике принадлежит переменному току, главное преимущество которого заключается в возможности с малыми потерями передавать электроэнергию, трансформировать (преобразовывать) напряжение, получая высокое напряжение для передачи электрической энергии по длинным линиям и сравнительно низкое – для ее распределения потребителям. Кроме того, однофазные и трехфазные генераторы и двигатели синусоидального тока имеют более простое устройство и, следовательно, более просты в эксплуатации и надежны.

На практике все источники энергии переменного тока (генераторы электростанций) создают ЭДС, изменяющуюся во времени по синусоидальному закону. Электрические цепи, в которых действуют синусоидальные источники ЭДС, называются электрическими цепями синусоидального тока, напряжения. Такие понятия, как схема цепи, ветвь, узел, контур, способы соединения участков цепи, которые были даны ранее для цепей постоянного тока, остаются равнозначными и для цепей синусоидального тока.

Электродвижущие силы, напряжения и токи, изменяющиеся во времени, называют *переменными*. Значение тока в любой данный момент времени называют *мгновенным*. Аналогичное определение имеют и мгновенные значения ЭДС, напряжения, магнитного потока, магнитодвижущей силы и т. д. Мгновенные значения обозначаются строчными буквами: i , u , e . В дальнейшем будем рассматривать все понятия на примере тока.

Ток определен, если известна его зависимость от времени $i(t)$ и указано положительное направление. Ток, мгновенные значения которого повторяются через равные промежутки времени в той же последовательности, называют *периодическим*. Наименьший про-

межутков времени, через который эти повторения наблюдаются, называют *периодом* T . Для периодического тока

$$i = F(t) = F(t + T).$$

Величину, обратную периоду, называют *частотой*:

$$f = \frac{1}{T}.$$

Частота равна 1 Гц, если период равен 1 с.

Форма кривой периодически изменяющегося переменного тока может быть любой (синусоидальной, пилообразной, прямоугольной и т. д.). Наиболее рациональный эксплуатационный режим работы электрических установок переменного тока обеспечивается при питании их от источников синусоидального тока. Поэтому преобладающим видом периодического процесса в электрических цепях является *синусоидальный режим*, характеризующийся тем, что все напряжения и токи являются синусоидальными функциями одинаковой частоты. При синусоидальном токе напряжения на всех элементах линейной электрической цепи также оказываются синусоидальными функциями времени.

Как известно из курса математического анализа, синусоида является простейшей периодической функцией, а другие несинусоидальные периодические функции могут быть представлены бесконечным рядом синусоид кратных частот. Это обуславливает первоочередную необходимость изучения цепей синусоидального тока.

8.2. Величины, характеризующие синусоидальный ток. Генерирование синусоидальной ЭДС

Периодические ЭДС, напряжения и токи, являющиеся синусоидальными функциями времени, аналитически представляют в виде следующих уравнений:

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi_e); \quad u = U_m \sin(\omega t + \psi_u); \quad i = I_m \sin(\omega t + \psi_i). \quad (8.1)$$

Величины e , u , i называют *мгновенными*, а E_m , U_m , I_m – *амплитудными* (максимальными) *значениями* ЭДС, напряжения и

тока. Аргумент синуса $(\omega t + \psi)$ называют *фазой*. Величину $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$, определяющую скорость изменения аргумента угла, называют *угловой частотой*, а ψ_e , ψ_u , ψ_i — *начальной фазой* соответственно ЭДС, напряжения и тока.

На рисунке 8.1 показаны графики изменения во времени синусоидальных напряжения и тока с одним и тем же периодом. Их еще называют *временными диаграммами*. По оси абсцисс можно откладывать или время t , или пропорциональную ему угловую величину ωt . Соответственно периодом будет являться T или 2π .

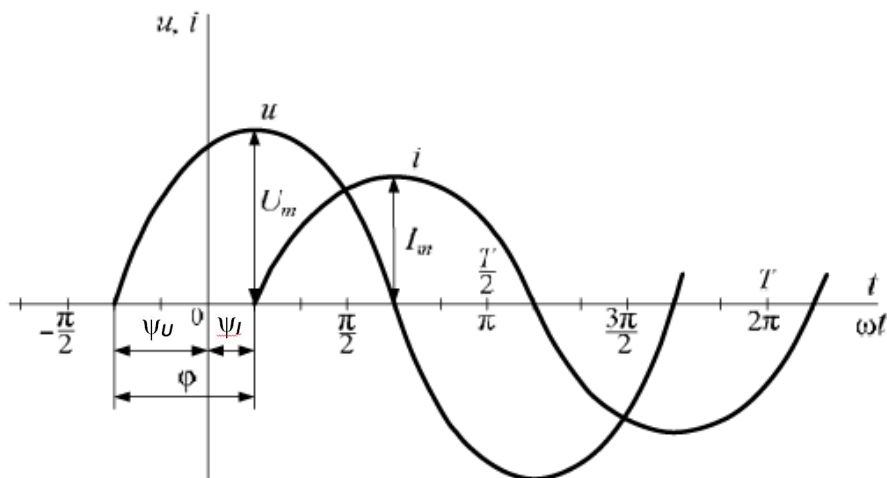


Рис. 8.1. Графики синусоидальных функций $u(t)$ и $i(t)$

Следует обратить внимание, что *начальная фаза* ψ_u или ψ_i , определяемая смещением синусоиды относительно начала координат, измеряется абсциссой точки перехода отрицательной полу волны синусоиды в положительную и является величиной алгебраической. Угол Ψ положителен и отсчитывается вправо к точке $t = 0$, когда синусоидальная функция смещена влево относительно

начала координат. Таким образом, для представленных на рисунке 8.1 функций $\psi_u > 0$, а $\psi_i < 0$.

Если начала синусоид напряжения и токов, изменяющихся с одинаковой частотой, в какой-то цепи не совпадают, то говорят, что они сдвинуты по фазе относительно друг друга.

Угол сдвига фаз измеряется разностью начальных фаз напряжения и тока, т. е.

$$\varphi = \psi_u - \psi_i.$$

Таким образом, основными величинами, характеризующими синусоидально изменяющуюся величину (ЭДС, напряжение и ток), являются амплитуда E_m , U_m или I_m , угловая частота ω и начальная фаза ψ .

К синусоидальным функциям в общем случае причисляют и косинусоидальные функции. Поскольку косинусоида может рассматриваться как синусоида с начальной фазой $\psi = \frac{\pi}{2}$, ее можно представить в синусоидальной форме:

$$u = U_m \cos(\omega t + \psi_u) = U_m \sin\left(\omega t + \psi_u + \frac{\pi}{2}\right).$$

В зависимости от требуемой частоты источниками синусоидальной ЭДС являются генераторы разных типов: вращающиеся электрические машины (для промышленных частот); ионные и полупроводниковые преобразователи постоянного тока в переменный (инверторы) или ламповые генераторы (для промышленных и повышенных частот); квантовые генераторы (для высоких частот).

Наиболее распространенным промышленным способом получения синусоидальной ЭДС является применение электромагнитных машин – синхронных генераторов, приводимых во вращение гидравлическими, тепловыми и другими двигателями.

Синхронный генератор (рис. 8.2) состоит из неподвижной части – статора 1 и вращающейся части – ротора 2.

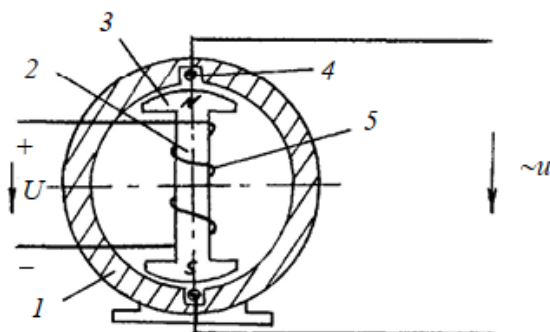


Рис. 8.2. Упрощенный схематичный разрез синхронного генератора

Магнитная цепь машины изготавливается из электротехнической стали: статор и полюсные наконечники 3 ротора – из листовой стали; остальная часть ротора – из сплошного стального массива. В пазах статора размещена *рабочая обмотка 4*, а на роторе – *обмотка возбуждения 5*, которая через кольца и щетки питается от источника постоянного тока.

Таким образом, ротор представляет собой электромагнит с явно выраженными полюсами. При вращении ротора в генераторе получается вращающееся магнитное поле, под действием которого в каждом проводнике рабочей обмотки (согласно закону Фарадея) наводится ЭДС

$$e = Blv,$$

где B – магнитная индукция поля под проводником обмотки;

l – длина активной части витка (проводника);

v – линейная скорость перемещения магнитного поля.

При постоянных значениях l и v закон изменения ЭДС $e(t)$ определяется законом распределения B в воздушном зазоре машины. Благодаря специальной форме полюсных наконечников распределение магнитной индукции создается синусоидальным вдоль всей окружности зазора между ротором и статором: магнитная индукция максимальна, когда полюса ротора находятся напротив витка обмотки, и постепенно убывает к краям полюсных наконечников при повороте ротора.

В момент времени, когда ротор находится в положении, перпендикулярном указанному на рисунке 8.2, магнитная индукция

под проводником обмотки равна нулю, и поэтому ЭДС также равна нулю.

После поворота ротора по часовой стрелке в положение, когда полюсные наконечники появляются в зоне проводников обмотки, возникает небольшая ЭДС, постепенно возрастающая до максимума, когда положение ротора соответствует указанному на рисунке 8.2. Затем ЭДС уменьшается до нуля. В это время ток протекает от одного (допустим, верхнего) вывода обмотки к другому.

При последующем вращении ротора поменяются полюса магнитного поля и возникает ЭДС другой полярности (от нижнего к верхнему выводу). Таким образом, на выводах генератора возникает практически синусоидальная ЭДС.

Частота генерируемой ЭДС

$$f = \frac{np}{60},$$

где n – частота вращающегося ротора, об/мин;

p – число пар полюсов.

Генератор может иметь одну или несколько пар полюсов. Более детально устройство и принцип действия различных генераторов изучают специальные учебные дисциплины: «Электрические машины», «Основы электроники» и др.