

§ 7. Вынужденные электромагнитные колебания. Переменный ток

Вынужденные электромагнитные колебания. По закону Ома сила тока в электрической цепи в любой момент времени пропорциональна ЭДС источника тока. Если ЭДС источника не изменяется со временем и остаются неизменными параметры цепи, то через некоторое время после замыкания цепи изменения силы тока прекращаются, в цепи течет постоянный электрический ток.

Однако в современной технике широко применяются не только источники постоянного тока, но и различные генераторы электрического тока, в которых ЭДС периодически изменяется. При подключении в электрическую цепь генератора переменной ЭДС в цепи возникают вынужденные электромагнитные колебания.

Вынужденными электромагнитными колебаниями называют периодические изменения силы тока и напряжения в электрической цепи, происходящие под действием переменной ЭДС от внешнего источника. Вынужденные электромагнитные колебания обеспечивают работу электрических двигателей в станках на заводах и фабриках, приводят в действие осветительные приборы в наших квартирах и на улице, холодильники и пылесосы, отопительные приборы и т. п.

Во всех этих примерах вынужденные электромагнитные колебания в электрических цепях создаются *генератором переменного тока*, работающим на электростанции.

Виток в однородном магнитном поле. Для выяснения принципа действия генератора переменного тока рассмотрим сначала, что происходит при вращении витка провода в однородном магнитном поле.

Пусть виток ограничивает поверхность площадью S и вектор \vec{B} индукции однородного магнитного поля расположен под углом α к перпендикуляру к плоскости витка. Магнитный поток Φ через площадь витка создает составляющую \vec{B}_1 вектора индукции, направленной перпендикулярно плоскости витка (рис. 1.23) и равной по модулю:

$$B_1 = B \cos \alpha. \quad (7.1)$$

При вращении витка с периодом T угол α изменяется по закону $\alpha = \frac{2\pi}{T}t$, а магнитный поток Φ , пронизывающий виток, изменяется с течением времени по закону:

$$\Phi = BS \cos \alpha = BS \cos \left(\frac{2\pi}{T}t \right). \quad (7.2)$$

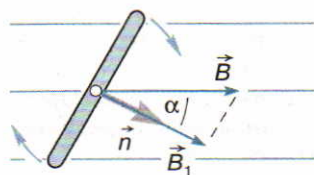


Рис. 1.23

Так как $\frac{2\pi}{T} = \omega$, то для магнитного потока получаем выражение

$$\Phi = BS \cos \omega t. \quad (7.3)$$

Изменения магнитного потока возбуждают в витке ЭДС индукции, равную:

$$e = -\Phi'. \quad (7.4)$$

Изменения ЭДС индукции со временем происходят по закону:

$$e = BS\omega \sin \omega t, \quad (7.5)$$

или

$$e = \mathcal{E}_m \sin \omega t, \quad (7.6)$$

где

$$\mathcal{E}_m = BS\omega \quad (7.7)$$

амплитуда ЭДС.

Если с помощью контактных колец и скользящих по ним щеток соединить концы витка с электрической цепью (рис. 1.24), то под действием ЭДС индукции, изменяющейся со временем по гармоническому закону, в электрической цепи возникнут вынужденные гармонические колебания силы тока — *переменный ток*.

Для получения больших значений амплитуды ЭДС и больших значений амплитуды силы тока во внешней цепи используются генераторы переменного тока с большой площадью S витка и большим числом витков в обмотке.

На практике синусоидальная ЭДС в мощных генераторах возбуждается не путем вращения витков в магнитном поле, а путем вращения магнита или электромагнита (*ротора*) внутри *статора* — неподвижной обмотки, навитой на стальной сердечник.

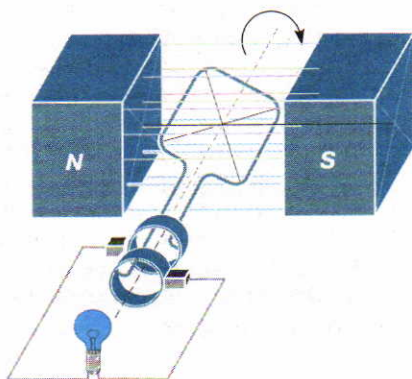


Рис. 1.24

■ Вопросы. 1. От чего зависит ЭДС индукции в витке провода, вращающемся в однородном магнитном поле? 2. По какому закону изменяется во времени сила тока во внешней цепи, соединенной с витком провода, вращающимся в однородном магнитном поле с постоянной частотой ν ?

■ Задачи для самостоятельного решения

7.1. Виток провода площадью $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ вращается с частотой 5 Гц в однородном магнитном поле с индукцией 1,1 Тл. Определите амплитуду колебаний ЭДС индукции в витке.

§ 8. Активное сопротивление

Рассмотрим процессы, происходящие в проводнике, включенном в цепь переменного тока. Если индуктивность проводника настолько мала, что индукционные электрические поля оказываются пренебрежимо малыми по сравнению с внешним электрическим полем, то движение электрических зарядов в проводнике определяется действием только внешнего электрического поля, напряженность которого пропорциональна напряжению на концах проводника.

При изменении напряжения по гармоническому закону

$$u = U_m \cos \omega t \quad (8.1)$$

напряженность электрического поля в проводнике изменяется по такому же закону. Под действием переменного электрического поля в проводнике возникает переменный электрический ток, частота и фаза колебаний которого совпадают с частотой и фазой колебаний напряжения; мгновенное значение силы тока равно:

$$i = I_m \cos \omega t. \quad (8.2)$$

Колебания силы тока в цепи являются вынужденными электрическими колебаниями, возникающими под действием приложенного переменного напряжения. Очевидно, что амплитуда силы тока равна:

$$I_m = \frac{U_m}{R}, \quad (8.3)$$

где R — электрическое сопротивление проводника.

Мощность переменного тока. При совпадении фазы колебаний силы тока и напряжения мгновенная мощность переменного тока равна:

$$p = iu = I_m U_m \cos^2 \omega t. \quad (8.4)$$

Среднее значение квадрата косинуса за период равно 0,5 (рис. 1.25), поэтому среднее значение мощности равно:

$$P = \frac{I_m U_m}{2} = \frac{I_m^2 R}{2}. \quad (8.5)$$

Действующие значения силы тока и напряжения. Для того чтобы формула для расчета мощности переменного тока совпадала по форме с аналогичной формулой для постоянного тока ($P = I^2 R$), вводятся понятия действующих значений силы тока и напряжения.

Действующим значением *силы переменного электрического тока* называют величину, в $\sqrt{2}$ раза меньшую ее амплитудного значения:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (8.6)$$

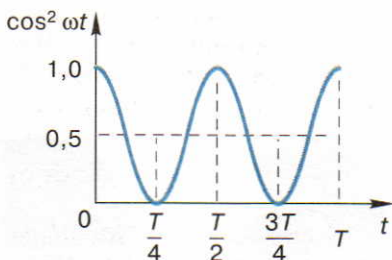


Рис. 1.25

Действующее значение силы тока равно силе такого постоянного тока, при котором средняя мощность, выделяющаяся в проводнике в цепи переменного тока, равна мощности, выделяющейся в том же проводнике в цепи постоянного тока.

Действующее значение переменного напряжения в $\sqrt{2}$ раза меньше его амплитудного значения:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (8.7)$$

Средняя мощность переменного тока при совпадении фаз колебаний силы тока и напряжения равна произведению действующих значений силы тока и напряжения:

$$P = IU. \quad (8.8)$$

Заметим, что обычно электроизмерительные приборы для цепей переменного тока показывают действующие значения измеряемых величин.

Активное сопротивление. Активным сопротивлением R называется физическая величина, определяемая отношением среднего значения мощности P переменного тока, поглощаемой на участке электрической цепи, к квадрату действующего значения силы электрического тока I на этом участке:

$$R = \frac{P}{I^2}. \quad (8.9)$$

Средняя мощность, выделяющаяся на участке цепи переменного тока, равна произведению квадрата действующего значения силы электрического тока на активное сопротивление R участка цепи:

$$P = I^2 R. \quad (8.10)$$

При небольших значениях частоты переменного тока активное сопротивление проводника не зависит от частоты и практически совпадает с его электрическим сопротивлением в цепи постоянного тока.

■ **Вопросы.** 1. При каком условии колебания силы тока в проводнике совпадают по фазе с колебаниями напряжения в цепи переменного тока? 2. Что такое активное сопротивление? 3. Каково соотношение между активным сопротивлением проводника в цепи переменного тока и его электрическим сопротивлением в цепи постоянного тока?

■ **Задачи для самостоятельного решения**

8.1. Изменится ли активное сопротивление проводника при увеличении частоты переменного тока от 20 до 40 Гц?

8.2. Найдите среднюю мощность, выделяющуюся в резисторе в цепи переменного тока при амплитудном значении силы тока 2 А и амплитудном значении напряжения 30 В.

8.3. Найдите активное сопротивление электрической лампы накаливания, включенной в цепь переменного тока с действующим напряжением 220 В, если при этом на ней выделяется средняя мощность 100 Вт.