

Рис. 2.8

В действительности из-за энергетических потерь колебания будут затухающими. Чем больше сопротивление R , тем больше будет период колебаний. При достаточно большом сопротивлении колебания не возникают. Конденсатор разрядится, но перезарядки не произойдет.

§ 2.4. ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Свободные электромагнитные колебания в контуре быстро затухают, и поэтому их нельзя использовать на практике. Напротив, незатухающие вынужденные колебания имеют огромное практическое значение, гораздо большее, чем вынужденные механические колебания.

Переменный ток в обычной осветительной цепи квартиры, применяемый на заводах и фабриках, представляет собой вынужденные электрические колебания. Периодически меняется по гармоническому закону напряжение на концах цепи и это вызывает гармонические колебания силы тока.

Колебания напряжения легко обнаружить с помощью осциллографа. На вертикально отклоняющие пластины осциллографа надо подать напряжение от сети. Тогда временная развертка колебаний будет представлять собой синусоиду (рис. 2.9). Зная скорость движения электронного луча по экрану в горизонтальном направлении (она определяется частотой «пилообразного» напряжения), можно определить частоту ко-



Рис. 2.9

лебаний напряжения в сети. Она равна 50 Гц. Такую же частоту колебаний имеет и сила переменного тока. Это означает, что на протяжении 1 с ток 50 раз меняет свое направление. Частота 50 Гц принята для промышленного тока во многих странах мира. В США частота промышленного тока 60 Гц.

Квазистационарный ток

Если напряжение на концах цепи меняется по гармоническому закону, то напряженность электрического поля внутри проводников, созданного поверхностными зарядами, будет также меняться гармонически. Эти гармонические изменения напряженности поля вызовут гармонические колебания скорости упорядоченного движения заряженных частиц и, следовательно, гармонические колебания силы тока.

Правда, при изменении напряжения на концах цепи электрическое поле не меняется мгновенно во всей цепи. Изменения поля распространяются хотя и с очень большой, но не бесконечно большой скоростью.

Однако, если время распространения изменения поля в цепи много меньше периода T колебаний напряжения, можно считать, что электрическое поле во всей цепи сразу же меняется при изменении напряжения на концах цепи. При этом сила тока в данный момент времени имеет практически одно и то же значение во всех сечениях неразветвленной цепи.

Такой медленно меняющийся переменный ток называется *к в а з и с т а ц и о н а р н ы м*. Если длина цепи l , то время распространения изменений электрического поля от одного конца цепи до другого определяется величиной $\frac{l}{c}$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость распространения электромагнитных взаимодействий (скорость света). Для переменного тока периодом T условие квазистационарности запишется так:

$$T \gg \frac{l}{c}. \quad (2.4.1)$$

Период электрических колебаний квазистационарного тока должен быть много больше времени распространения в цепи электромагнитных возмущений. При частоте $\nu = 50$ Гц длина цепи должна быть много меньше расстоя-

ния: $l \ll 6000$ км. Поэтому во всех случаях, кроме передачи электроэнергии по проводам на очень большие расстояния, промышленный ток можно считать квазистационарным.

Мы в дальнейшем будем изучать вынужденные квазистационарные электрические колебания, происходящие в цепях под действием напряжения, гармонически меняющегося с частотой ω по синусоидальному или косинусоидальному закону:

$$u = U_m \sin \omega t \quad \text{или} \quad u = U_m \cos \omega t, \quad (2.4.2)$$

где U_m — амплитуда напряжения, а ω — циклическая частота колебаний. Когда колебания происходят длительное время, то значение начальной фазы не играет сколько-нибудь существенную роль. Поэтому начальную фазу можно принять равной нулю и с одинаковым успехом использовать как синусоидальную функцию, так и косинусоидальную.

Если напряжение меняется с частотой ω , то и сила тока в цепи будет меняться с той же частотой, но колебания силы тока не обязательно должны совпадать по фазе с колебаниями напряжения. Аналогично колебания скорости при вынужденных механических колебаниях не совпадают по фазе с колебаниями силы. Поэтому в общем случае

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_c), \quad (2.4.3)$$

где φ_c — разность (сдвиг) фаз между колебаниями силы тока и напряжения.

§ 2.5. ДЕЙСТВУЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЯ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Напряжение и сила промышленного переменного тока изменяются сравнительно быстро. Поэтому при прохождении тока по проводнику, например по нити электрической лампочки, количество выделенной энергии также меняется со временем. Но этих быстрых изменений мы не замечаем. Нас интересует количество теплоты, которое выделяется в среднем за единицу времени. Это значение совпадает со средним за период, и оно определяет мощность лампочки.

Как и при механических колебаниях, в случае электрических колебаний нас не интересуют значения силы тока, напряжения и заряда в каждый момент времени (мгновенные значения). Важны общие характеристики колебаний, такие, как амплитуда, частота, сдвиг фаз, а также средние по времени значения силы тока, напряжения, мощности и других величин.

Выясним вначале, чему равно среднее за период T значение силы тока. В течение половины периода сила тока положительна, а во время другой половины периода отрицательна (рис. 2.10). Если разбить весь интервал времени T на очень малые отрезки, то положительному значению силы тока на любом малом отрезке первой половины периода будет отвечать такое же отрицательное значение на соответствующем отрезке второй половины периода (см. рис. 2.10). Поэтому среднее за период значение силы тока равно нулю:

$$\bar{i} = 0. \quad (2.5.1)$$

Угол отклонения стрелки амперметра, в котором проволочная рамка с током поворачивается в поле постоянного магнита (прибор магнитоэлектрической системы), пропорционален силе тока. Такой амперметр может измерять силу тока только в цепях постоянного тока. При включении его в цепь переменного тока он покажет нуль. Стрелка обладает инертностью и не успевает отклоняться в такт с изменением силы тока. Она будет лишь слегка дрожать на месте.

Мощность в цепи постоянного тока на участке сопротивлением R определяется квадратом силы тока. В случае же переменного тока она определяется средним значением квадрата силы тока. Среднее значение квадрата силы тока за период уже не равно нулю, так как квадрат силы тока на протяжении всего периода положителен (рис. 2.11).

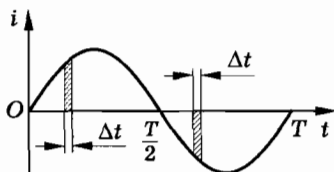


Рис. 2.10

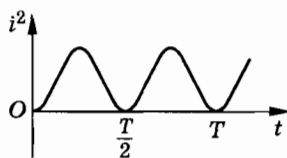


Рис. 2.11

Так как $\sin^2\alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$, то

$$i^2 = I_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{I_m^2}{2} (1 - \cos 2\omega t). \quad (2.5.2)$$

Величина $\frac{I_m^2}{2}$ постоянна. Среднее за период значение $\cos 2\omega t$ равно нулю, так же как и среднее значение $\sin \omega t$. Следовательно, среднее значение квадрата силы тока

$$\bar{i}^2 = \frac{I_m^2}{2}. \quad (2.5.3)$$

Действующим значением I силы переменного тока называют квадратный корень из среднего квадрата силы тока:

$$I = \sqrt{\bar{i}^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.5.4)$$

Действующее значение напряжения определяется подобным образом:

$$U = \sqrt{\bar{U}^2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.5.5)$$

Амперметры и вольтметры для переменного тока устроены так, что углы отклонения их стрелок пропорциональны I^2 или U^2 . В приборах электродинамической системы ток проходит через две катушки, соединенные последовательно. К одной из них прикреплена стрелка. Эта легкая подвижная катушка поворачивается в магнитном поле второй, неподвижной катушки. При этом угол поворота стрелки пропорционален I^2 или U^2 . Градуируют амперметры и вольтметры так, чтобы они показывали действующее значение силы тока и напряжения.

Конечно, можно было бы характеризовать силу тока и напряжение амплитудами, а не действующими значениями. Но действующие значения значительно удобнее в том смысле, что именно они непосредственно определяют мощность переменного тока в цепи.

Действующее значение силы переменного тока равно силе постоянного тока, выделяющего в цепи такое же количество теплоты, что и переменный ток за то же время.