Мы знаем, что во всех реальных колебательных системах колебания затухают. Если в систему включён периодически действующий источник, то колебания не затухают, происходят вынужденные колебания. В этом параграфе мы познакомимся с ещё одним видом незатухающих колебаний — автоколебаниями.

Автоколебания — незатухающие колебания в системе, поддерживаемые за счёт постоянного источника энергии.

Системы, в которых генерируются незатухающие колебания за счёт поступления энергии от источника внутри самой системы, называются автоколебательными

Механические автоколебания. Примерами автоколебаний в механических системах являются незатухающие колебания маятника часов, струн при равномерном движении смычка, воздуха в органных трубах и т. д.

Рассмотрим механические автоколебания на примере маятниковых часов (рис. 4.22). На рисунке видно, что подвешенная гиря стремится вращать зубчатое колесо. К маятнику прикреплён анкер — перекладина с изогнутыми пластинами. При колебаниях анкер зацепляет зубец колеса, и маятник получает толчок. При этом энергия, сообщаемая маятнику, равна изменению потенциальной энергии гири и компенсирует потери энергии при колебаниях за счёт сил сопротивления.

Автоколебательные системы в электрической цепи. Генератор на транзисторе также пример автоколебательной системы, в которой происходят электромагнитные колебания. Он состоит из колебательного контура с конденсатором ёмкостью С и катушкой индуктивностью L, источника энергии и транзистора.

Пусть в системе, в которой могут существовать свободные электромагнитные колебания, имеется источник энергии. Если сама система будет регулировать поступление энергии в колебательный контур для компенсации потерь энергии на резисторе, то в ней могут возникнуть незатухающие колебания.

Известно, что если конденсатор колебательного контура зарядить, то в контуре возникнут затухающие колебания. В конце каждого периода колебаний заряд на пластинах конденсатора имеет меньшее значение, чем в начале периода. В результате энергия колебаний уменьшается, так как она согласно формуле (4.1) (см. с. 75), пропорциональна квадрату заряда одной из пластин конденсатора. Чтобы колебания не затухали, нужно компенсировать потери энергии за каждый период.

Пополнять энергию в контуре можно, например, подзаряжая конденсатор. Для этого надо периодически подключать контур к источнику постоянного напряжения. Конденсатор должен подключаться к источнику только в те интервалы времени, когда присоединённая к положительному полюсу источника пластина заряжена положительно, а присоединённая к отрицательному полюсу — отрицательно (рис. 4.23). Только в этом случае источник будет подзаряжать конденсатор, пополняя его энергию.

Если же ключ замкнуть в момент, когда присоединённая к положительному полюсу источника пластина имеет отрицательный заряд, а присоединённая к отрицательно му полюсу — положительный, то конденсатор будет разряжаться через источник (рис. 4.24). Энергия конденсатора при этом будет убывать.

Следовательно, необходимо обеспечить автоматическую работу ключа (или клапана, как его часто называют). При высокой частоте колебаний ключ должен обладать надёжным быстродействием. В качестве такого практически безынерционного ключа и используется транзистор.

Транзистор, напомним, состоит из трёх различных полупроводников: эмиттера, базы и коллектора. Эмиттер и коллектор имеют одинаковые основные носители заряда, например дырки (это полупроводник p-типа), а база имеет основные носители противоположного знака, например электроны (полупроводник п-типа). Схематическое изображение транзистора показано на рисунке 4.25.

Работа генератора на транзисторе. Упрощённая схема генератора на транзисторе показана на рисунке 4.26. Колебательный контур соединён последовательно с источником напряжения и транзистором таким образом, что на эмиттер подаётся положительный потенциал, а на коллектор — отрицательный. При этом переход эмиттер — база (эмиттерный переход) является прямым, а переход база — коллектор (коллекторный переход) оказывается обратным, и ток в цепи не идёт. Это соответствует разомкнутому ключу на рисунке 4.24.

Чтобы в цепи контура возникал ток и подзаряжал конденсатор контура в ходе колебаний, нужно сообщать базе отрицательный относительно эмиттера потенциал, причём в те интервалы времени, когда верхняя (см. рис. 4.26) пластина конденсатора заряжена положительно, а нижняя — отрицательно. Это соответствует замкнутому ключу на рисунке 4.23.

В те интервалы времени, когда верхняя пластина конденсатора заряжена отрицательно, а нижняя — положительно, ток в цепи контура должен отсутствовать. Для этого база должна иметь положительный потенциал относительно эмиттера.

Таким образом, для компенсации потерь энергии колебаний в контуре напряжение на эмиттерном переходе должно периодически менять знак в строгом соответствии с колебаниями напряжения в контуре. Необходима, как говорят, обратная связь, состоящая в том, что колебания в контуре влияют на транзистор.

В рассматриваемом генераторе обратная связь — индуктивная.

К эмиттерному переходу подключена катушка индуктивностью LCB, индуктивно связанная с катушкой индуктивностью L контура. Колебания в контуре вследствие электромагнитной индукции возбуждают колебания напряжения на концах катушки, а тем самым и на эмиттерном переходе. Если фаза колебаний напряжения на эмиттерном переходе подобрана правильно, то «толчки» тока в цепи контура действуют на контур в нужные интервалы времени и колебания не затухают. Напротив, амплитуда колебаний в контуре возрастает до тех пор, пока потери энергии в контуре не станут точно компенсироваться поступлением энергии от источника. Эта амплитуда тем больше, чем больше напряжение источника. Увеличение напряжения приводит к усилению «толчков» тока, подзаряжающего конденсатор.

Основные элементы любой автоколебательной системы. На примере генератора на транзисторе можно выделить основные элементы, характерные для многих автоколебательных систем (рис. 4.27).

1. Источник энергии, за счёт которого поддерживаются незатухающие колебания (в генераторе на транзисторе это источник постоянного напряжения).

2. Колебательная система — та часть автоколебательной системы, непосредственно в которой происходят колебания (в генераторе на транзисторе это колебательный контур).

3. Устройство, регулирующее поступление энергии от источника в колебательную систему, — клапан (в рассмотренном генераторе роль клапана выполняет транзистор).

4. Устройство, обеспечивающее обратную связь, с помощью которой колебательная система управляет клапаном (в генераторе на транзисторе предусмотрена индуктивная связь катушки контура с катушкой в цепи эмиттер — база).

Вынужденные колебания возникают под действием переменного напряжения, вырабатываемого генераторами на электростанциях. Такие генераторы не могут создавать колебания высокой частоты, необходимые для радиосвязи. Потребовалась бы чрезмерно большая скорость вращения ротора. Генераторы на транзисторе позволяют получить колебания высокой частоты.