

Колебательный контур. Превращение энергии при электромагнитных колебаниях

*«Радость видеть и понимать —
есть самый прекрасный дар
природы»*

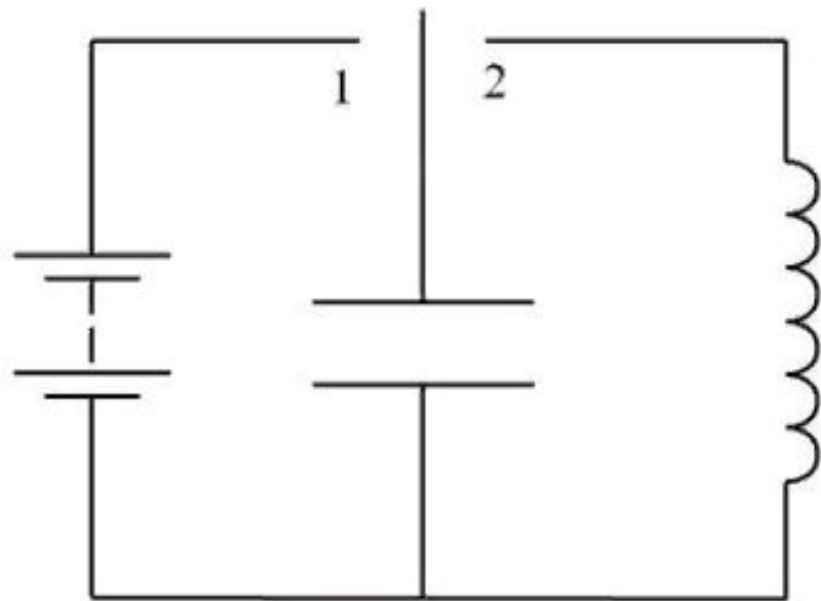
Альберт

Эйнштейн

Электромагнитными колебаниями называют периодические изменения со временем электрических и магнитных величин в электрической цепи. Они бывают **свободные** и **вынужденные**.

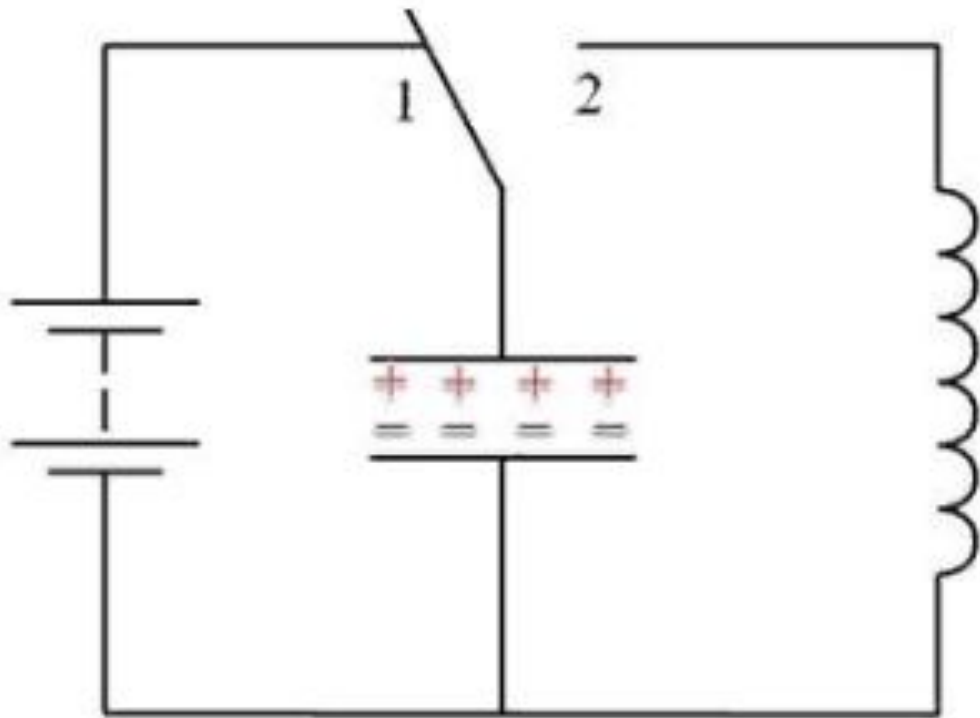
Свободными колебаниями называют колебания, возникающие в системе за счет расходования сообщенной этой системе энергии, которая в дальнейшем не пополняется.

Вынужденные электромагнитные колебания — это периодические изменения силы тока и других электрических величин в цепи под действием переменной электродвижущей силы от внешнего источника.

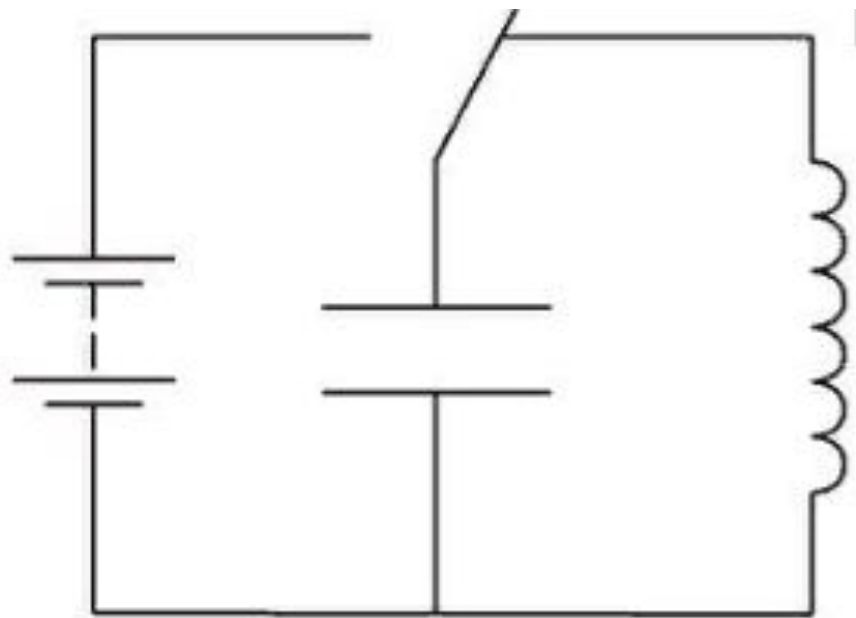


Простейшая система, в которой могут происходить свободные электромагнитные колебания, состоит из конденсатора и катушки, присоединенной к его обкладкам, называется **колебательным контуром.**

Для того, чтобы в колебательном контуре возникли свободные электромагнитные колебания, необходимо этому контуру сообщить энергию — зарядить конденсатор.



Из представленной схемы видно, когда переводится ключ в положение 1, то конденсатор начинает заряжаться от источника тока.



Когда ключ переводится в состояние 2, то конденсатор начинает разряжаться, и при этом в контуре начинают возникать колебания силы тока, заряда, напряжения.

$$t = 0$$

$$q = q_{\max}$$

$$u = U_{\max}$$

$$i = 0$$

$$W_M = 0$$

$$W_{эл} = q^2 / 2C$$

Рассмотрим процессы, происходящие в колебательном контуре в различные моменты времени: в момент времени $t = 0$, через четверть периода $t = T/4$, через половину периода $t = T/2$, через три четвертых периода $t = 3T/4$ и, момент времени, равный периоду $t = T$. В момент времени $t = 0$, конденсатор заряжен от источника тока. При этом верхняя его пластина заряжена положительно, а нижняя отрицательно.

Получается, что заряд верхней пластины равен $+q_{\max}$, напряжение между обкладками конденсатора — U_{\max} и, так как еще не началась разрядка конденсатора, сила тока в цепи равна нулю. Маленькими буквами q, u и i обозначены

Так как отсутствует ток в цепи, то отсутствует и магнитное поле. Вся энергия колебательного контура будет заключена в электрическом поле конденсатора. Эта ситуация эквивалентна ситуации с механическими колебаниями груза на нити и соответствует тому положению, когда груз вывели из положения равновесия, тем самым сообщив ему потенциальную энергию.

В промежутке от начала отсчета времени до момента времени, равного четверти периода $t = T/4$, происходит разрядка конденсатора. Разряжаясь, конденсатор создает в контуре ток, идущий по часовой стрелке. Благодаря тому, что в контуре есть катушка, обладающая индуктивностью, в контуре возникает переменное магнитное поле. Это поле создает ток самоиндукции, который будет направлен

Поэтому конденсатор разряжается не мгновенно, а через некоторый промежуток времени. Будет увеличиваться и индукция магнитного поля, т.е. будет возрастать энергия магнитного поля в катушке индуктивности. Энергия электростатического поля конденсатора будет превращаться в энергию магнитного поля катушки.

К моменту времени, равным четверти периода $t = T/4$, конденсатор полностью разрядится, напряжение между его обкладками станет равным нулю, и электрическое поле в нем будет отсутствовать. К этому времени ток в контуре, и индукция магнитного поля этого тока достигают максимальных значений. Вся энергия контура в этот момент заключена в его магнитном поле.

$$t = T/4$$

$$q = 0$$

$$u = 0$$

$$i = I_{\max}$$

$$W_{\text{м}} = LI^2/2$$

$$W_{\text{эл}} = 0$$

Эта ситуация эквивалентна ситуации с механическими колебаниями груза на нити, в момент прохождения груза положения равновесия, когда его потенциальная энергия полностью переходит в кинетическую.

В следующий промежуток времени, от одной четвертой периода до полупериода, происходит уменьшение тока в катушке. При этом в ней возникает ЭДС самоиндукции и индукционный ток такого направления, что он препятствует уменьшению разрядного тока, т.е. совпадает с его направлением.

Конденсатор начинает перезаряжаться — его нижняя обкладка получает избыточный положительный заряд, а верхняя — отрицательный, и между обкладками конденсатора появляется электрическое поле. В указанном интервале времени сила тока и индукция магнитного поля начинают уменьшаться, а напряженность электрического поля и напряжение между обкладками конденсатора возрастают. Происходит превращение энергии магнитного поля катушки в энергию электрического поля конденсатора.

К моменту времени, равным полупериоду $t = T/2$, ток в контуре полностью прекращается, полностью исчезает и магнитное поле. А напряженность электрического поля и напряжение между обкладками конденсатора достигают

Этот ток не может достигнуть своего максимального значения сразу, так как в катушке опять возникает ЭДС самоиндукции, которая и препятствует быстрому нарастанию тока. В указанном промежутке времени сила тока и индукция магнитного поля этого тока увеличиваются, а напряженность электрического поля и напряжение между обкладками конденсатора уменьшаются. Опять **происходит переход электрической энергии в магнитную.**

К моменту времени, равным три четвертых периода **$t = 3T/4$, конденсатор полностью разрядится.**

Напряжение между его обкладками падает до нуля, а электрическое поле полностью исчезает. В это время **ток в контуре и индукция магнитного поля достигают своего максимального значения.**

Вся электрическая энергия превратилась в энергию магнитного поля, аналогично тому, как груз на нити, возвращаясь, вновь проходит положение своего равновесия и его потенциальная энергия полностью переходит в кинетическую.

К моменту времени, равному полному периоду $t = T$, ток в контуре полностью прекращается и исчезает магнитное поле. А напряженность электрического поля конденсатора и напряжение на его обкладках вновь становятся максимальными. **Вся энергия колебательного контура заключена в его электрическом поле**, вторая перезарядка возвращает контур в исходное состояние. Эта ситуация аналогично тому, как груз на нити возвращается в свое исходное положение, а его кинетическая энергия полностью

Завершилось полное колебание и в дальнейшем процесс повторяется.

Если бы не было потерь энергии, то этот процесс продолжался бы сколь угодно долго и колебания были бы незатухающими. Через промежутки времени, равные периоду колебаний, состояние системы в точности повторялось бы. **Полная энергия такой системы сохранялась бы неизменной**, а ее значение в любой момент времени было бы равно максимальной энергии электрического поля или максимальной энергии магнитного поля.

На данном примере был рассмотрен **идеальный колебательный контур** или **контур Томсона** — это цепь, **состоящая из последовательно соединенных катушки**

В таком колебательном контуре энергия электрического поля заряженного конденсатора периодически переходит в энергию магнитного поля тока. И, если отсутствует сопротивление в контуре, полная энергия электромагнитного поля остается неизменной.

В действительности потери энергии неизбежны. Катушка, как и соединительные провода, обладает сопротивлением, а это непосредственно ведет к тому, что энергия электромагнитного поля постепенно превращается во внутреннюю энергию проводника, колебания в цепи со временем



В ходе рассмотрения процессов, происходящих в колебательном контуре, постоянно сравнивались эти процессы с колебаниями математического или нитяного маятника. Как оказывается, эти процессы описываются одинаковыми уравнениями, что позволяет переносить закономерности, полученные при изучении одного вида колебаний, на колебания другой природы.

Для наглядности, в одной таблице, представлены соответствия между электромагнитными и механическими

| Механические величины | | Электромагнитные величины | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|---------------------|
| Координата (смещение) | x | Заряд | q |
| Скорость | $v_x = x'$ | Сила тока | I |
| Жесткость/уск. св. падения | k/g | Вел-на, обратная емкости | $1/C$ |
| Масса/длина | m/l | Индуктивность | L |
| Коэффициент трения | μ | Сопротивление | R |
| Ускорение | $a_x = v_x'$ | Скорость изм. силы тока | $\Delta I/\Delta t$ |
| Потенциальная энергия | $W_{\text{п}}$ | Эл. энергия конденсатора | $W_{\text{э}}$ |
| Кинетическая энергия | $W_{\text{к}}$ | Энергия магн-го поля катушки | $W_{\text{м}}$ |
| Сила | F | ЭДС самоиндукции | $\xi_{\text{си}}$ |