**Уважаемые студенты! Выполненные работы присылайте на электронный адрес: natalyaevdokova@mail.ru**

*Задания для студентов:*

*1. Составьте в тетради план-конспект лекции по данной теме.*

*2. Выполните задание: подготовьте мультимедийную презентацию на тему «Механические колебания».*

**Лекция: Свободные и вынужденные электромагнитные колебания**

**1. Свободные и вынужденные электромагнитные колебания**

Электромагнитные колебания открыты довольно случайно. Используя открытия Отто фон Герике в области электричества, и другие исследователи смогли заметить новые, ранее никогда не наблюдавшиеся свойства электричества.

Один из ярких случаев произошел в 1745 году в Лейдене. Богач Кюнеус, ученик Питера ванн Мушенбрека, использовал машину Герике для того, чтобы «зарядить электричеством» воду в стеклянной колбе, которую держал в ладонях. Зарядка осуществлялась при помощи цепочки, подсоединенной к машине. Цепочка спускалась через горлышко колбы в воду. Когда, по мнению Кюнеуса, зарядка была окончена, он решил убрать цепочку — вынуть ее рукой из сосуда. И тут он получил такой страшный электрический удар, что чуть не скончался.

В письме Реомюру в Париж (в 1746 г.) он писал, что этот «*новый и страшный опыт советую самим никак не повторять*» и что «*даже ради короны Франции он не согласится подвергнуться столь ужасному сотрясению*».

Так была изобретена **лейденская банка** (по названию города Лейден), а вскоре и **первый простейший конденсатор**, одно из распространеннейших электротехнических устройств в настоящее время.

Опыт Мусхенбрука и его ученика произвел подлинную сенсацию не только среди физиков, но и многих любителей, интересовавшихся электрическими опытами. В последствии данный опыт был повторен в присутствии французского короля аббатом Нолле. Он образовал цепь из 180 гвардейцев взявшихся за руки, причем первый держал банку в руке, а последний прикасался к проволоке, извлекая искру. «*Удар почувствовался всеми в один момент; было курьезно видеть разнообразие жестов и слышать мгновенный вскрик десятков людей*». От этой **цепи солдат** и произошел термин «**электрическая цепь**».

После изобретения лейденской банки и после того, как ей научились сообщать большой заряд с помощью электростатической машины, началось непосредственное **изучение электрического разряда банки**.

Замыкая обкладки лейденской банки с помощью проволочной катушки, обнаружили, что стальные спицы внутри катушки намагничиваются. Электрический ток порождает вихревое магнитное поле, которое, собственно, и намагничивает стальной сердечник. Однако нельзя было предсказать точно, какой конец сердечника катушки окажется северным полюсом, а какой южным. Повторяя опыт большое количество раз примерно в одинаковых условиях, каждый раз получали разные результаты.



Ученые не сразу поняли, что происходит. Все дело в том, что при разрядке конденсатора через катушку в электрической цепи возникают колебания. **За время разрядки конденсатор успевает многократно перезарядиться, вследствие чего ток меняет свое направление много раз. Поэтому-то сердечник и намагничивался каждый раз по-разному.**А вот возникающие в цепи колебания были названы **электромагнитными**.

В настоящее время под **электромагнитными колебаниями** понимают **периодические изменения со временем электрических и магнитных величин** (таких как напряжение, напряженность, заряд, магнитная индукция и др.) **в электрической цепи.**

Так как эти колебания чаще всего происходят с очень большой частотой, то обнаружить их достаточно сложно. Однако современная физика изобрела прибор, помогающий наблюдать и исследовать электромагнитные колебания. Этот прибор называется электронный **осциллограф** или просто — осциллограф (от латинского «*Осцило*» — *качаюсь*, и греческого «*графа*» — *пишу*) — **прибор, предназначенный для исследования** (наблюдения, записи измерения)**амплитудных и временных параметров электрического сигнала, подаваемого на его вход, либо непосредственно на экране, либо записываемого на фотоленте**.

Осциллограф с дисплеем на базе ЭЛТ состоит из **электронно-лучевой трубки, блока горизонтальной развертки, и входного усилителя** (для усиления слабых входных сигналов). Также содержится ряд **вспомогательных блоков**, таких как блок управления яркости, блок вертикальной развертки, калибратор длительности, калибратор амплитуды.

Осциллограф имеет экран, на котором отображаются графики входных сигналов. Помимо этого, на экран обычно нанесена разметка, в виде **координатной сетки**.

В электронно-лучевой трубке осциллографа узкий пучок электронов попадает на экран, способный светиться при его бомбардировке электронами. На горизонтально отклоняющие пластины трубки подается переменное напряжение развертки пилообразной формы. Сравнительно медленное напряжение повышается, а потом очень резко понижается.

Электрическое поле, находящееся между пластинами, заставляет электронный луч пробегать экран в горизонтальном направлении с постоянной скоростью и затем, почти мгновенно, возвращаться назад. После этого весь процесс повторяется заново.

Если же присоединить вертикально отклоняющие пластины трубки к конденсатору, то колебания напряжения при его разрядке, вызовут колебания луча в вертикальном направлении. В результате чего на экране образуется временная развертка колебаний, подобная той, которую вычерчивает песочный маятник над движущимся листом бумаги. Не трудно догадаться, что данные колебания затухают с течением времени. Эти колебания называют **свободными**.

Таким образом, **свободные электромагнитные колебания** — это колебания, возникающие в системе за счет расходования сообщенной этой системе энергии, которая в дальнейшем не пополняется. В представленном варианте **колебательная система — конденсатор и катушка** — выводятся из равновесия при сообщении  конденсатору заряда.

Нетрудно в цепи получить и, так называемые, **вынужденные электромагнитные колебания**, т.е. периодические изменения силы тока и других электрических величин в цепи под действием переменной электродвижущей силы от внешнего источника.

**Основные выводы:**

– **Электромагнитными колебаниями** называют периодические изменения со временем электрических и магнитных величин в электрической цепи.

– Электромагнитные колебания бывают **свободными** и **вынужденными**.

– **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.

**2. Колебательный контур. Превращение энергии при электромагнитных колебаниях**

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

Под **свободными колебаниями** понимают 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.

Рассмотрим более подробно процесс становления свободных электромагнитных колебаний в системе.

Простейшая система, в которой могут происходить свободные электромагнитные колебания, состоит из конденсатора и катушки, присоединенной к его обкладкам. Такая система называется **колебательным контуром**. Но мало иметь только катушку и конденсатор, для того, чтобы в колебательном контуре возникли свободные электромагнитные колебания, необходимо этому контуру сообщить энергию — зарядить конденсатор.



Из представленной схемы видно, *как можно зарядить конденсатор?* Когда переводится ключ в положение 1, то конденсатор начинает заряжаться от источника тока.



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



Для того чтобы выяснить почему это возникает, 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* = 3*T*/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

*t* = 0

*q* = *q*max

*u* = *U*max

*i* = 0

*W*м = 0

*W*эл = *q*2/*2*C

Маленькими буквами *q*, *u* и *i* обозначены мгновенные значения заряда, напряжения и силы тока.

Так как еще отсутствует ток в цепи, то отсутствует и магнитное поле. Поэтому вся энергия колебательного контура будет заключена в электрическом поле конденсатора. Эта **ситуация эквивалентна ситуации с механическими колебаниями груза на нити** и соответствует тому положения, 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. При этом, разряжаясь**, конденсатор создает в контуре ток, идущий по часовой стрелке**. Однако, благодаря тому, что в контуре есть катушка, обладающая индуктивностью, в контуре возникает переменное магнитное поле. А это **поле создает ток самоиндукции**, который будет направлен против тока в контуре и не позволяет току в контуре мгновенно достичь максимального значения. Поэтому конденсатор разряжается не мгновенно, а через некоторый промежуток времени. При этом будет увеличиваться и индукция магнитного поля, т.е. будет возрастать энергия магнитного поля в катушке индуктивности. Следовательно, 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**. Значит, вся энергия контура в этот момент заключена в его магнитном поле.

*t* = *T*/4

*q* = 0

*u* = 0

*i* = *I*max

*W*м = *LI*2/2

*W*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. Значит, **происходит превращение энергии магнитного поля катушки в энергию электрического поля конденсатора**.

К моменту времени, равным полупериоду *t* = *T*/2, ток в контуре полностью прекращается. При этом полностью исчезает и магнитное поле. А напряженность электрического поля и напряжение между обкладками конденсатора достигают своего максимального значения. Таким образом, **вся энергия колебательного контура теперь заключена в его электрическом поле.**

**Эта ситуация эквивалентна ситуации с механическими колебаниями груза на нити, в момент отклонения груза от положения равновесия в противоположную сторону**, когда его кинетическая энергия полностью переходит в потенциальную.

В промежуток времени от полупериода до трех четвертых периода конденсатор вновь разряжается и, тем самым, вновь создает ток в контуре. Однако теперь положительно заряжена нижняя обкладка конденсатора, поэтому направление тока в контуре меняется на противоположное. Значит, меняется и направление индукции создаваемого им магнитного поля.

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* = 3*T*/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**. А значит, 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. Теперь опять **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 переходит в потенциальную.

Таким образом, завершилось полное колебание и в дальнейшем процесс повторяется в уже рассмотренном нами порядке.

Если бы не было потерь энергии, то этот бы процесс продолжался бы сколь угодно долго и колебания были бы незатухающими. Через промежутки времени, равные периоду колебаний, состояние системы в точности повторялось бы. При этом **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, как его еще называют, **контур Томсона**, но **в действительности потери энергии неизбежны**. Так, в частности, катушка, как и соединительные провода, обладает сопротивлением, а это непосредственно ведет к тому, что энергия электромагнитного поля постепенно превращается во внутреннюю энергию проводника. Вследствие чего колебания в цепи со временем прекращаются.

Входе 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 величинами.



**Основные выводы:**

– **Идеальный колебательный контур** — это цепь, состоящая из последовательно соединенных катушки индуктивностью *L* и конденсатора емкостью *C*.

– 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.