



Виртуальный курс физики

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

**Лекция 13. Электромагнитные колебания
и волны**

ТЕОРИЯ, ЗАДАЧИ, ПОДГОТОВКА К ЕГЭ

Уважаемые друзья!

Вы выбрали Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I и поступили, несомненно, правильно!

Наш университет основан в 1809 году. Это старейший инженерный транспортный вуз России. Это "особенный институт" - так в манифесте назвал его Император Александр I.

Для того, чтобы успешно пройти вступительные испытания и стать студентом одного из лучших технических вузов России, необходимо иметь высокую подготовку по физике.

Как правило, уровень подготовки выпускников школ не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к поступающим в высшие учебные заведения. Повысить этот уровень и качественно подготовиться к вступительным испытаниям по физике в технический университет помогут преподаватели факультета довузовской подготовки.

Факультет довузовской подготовки организует и проводит курсы по подготовке к поступлению в вуз по программам, соответствующим требованиям ЕГЭ.

Занятия проводятся по очной и заочной формам обучения. Занятия по очной форме обучения проводятся в дневное время - с 16.25 (тел. [457-84-04](tel:457-84-04)), и в вечернее время - с 18.00 (тел. [457-87-83](tel:457-87-83)). Мы с удовольствием ответим на все Ваши вопросы.

Факультет довузовской подготовки

***Курс дистанционного обучения по физике
изложен в авторской редакции доцента
Петербургского государственного университе-
та путей сообщения Императора Александра I
Кытина Юрия Александровича***

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Электромагнитные колебания и волны

Лекция 13.

Тема: Свободные электромагнитные колебания в колебательном контуре. Превращение энергии в колебательном контуре. Вынужденные электрические колебания. Переменный электрический ток. Цепь переменного тока. Активное, индуктивное и емкостное сопротивления. Действующее значение силы тока и напряжения. Электромагнитные волны.

13.1. Свободные электромагнитные колебания в колебательном контуре

Колебательный контур представляет собой электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных конденсатора с емкостью C , катушки с индуктивностью L и резистора с сопротивлением R . Наиболее простой случай колебательного контура представляет собою цепь, в которой электрическое сопротивление R бесконечно мало и его можно не учитывать (рис. 13.1).

Если конденсатор такого контура однократно зарядить и предоставить контур самому себе, то в нем будут происходить периодические изменения заряда q на обкладках конденсатора, силы тока I в цепи контура,

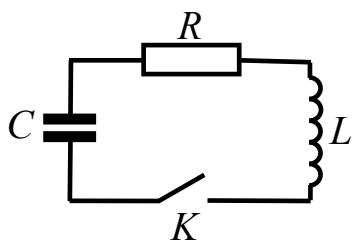


Рис. 13.1

разности потенциалов U в конденсаторе и т. д. Изменения этих величин представляют собой свободные незатухающие гармонические колебания, которые протекают следующим образом.

Пусть в начальный момент времени $t_0 = 0$ заряд конденсатора равен q_0 , разность потенциалов на обкладках конденсатора U_0 , а энергия

электрического поля, сосредоточенного между обкладками, $W_3 = \frac{q_0^2}{2C}$. При

замыкании цепи ключом K конденсатор начнет разряжаться, и в контуре возникнет электрический ток, который вследствие самоиндукции будет увеличиваться постепенно, и в момент времени, когда заряд q и разность потенциалов U станут равными нулю, достигнет максимального значения I_0 .

Далее ток в контуре будет постепенно уменьшаться до полного исчезновения. В момент времени, когда это произойдет, заряд и разность потенциалов на обкладках конденсатора вновь достигнут своих максимальных значений q_0 и U_0 . При этом знаки зарядов обкладок поменяются на противоположные. Затем процесс изменения q , I и U повторится, и контур вернется в исходное состояние.

Промежуток времени T , в течение которого совершается этот процесс, называется *периодом колебаний контура*.

Собственная циклическая частота ω_0 и период T свободных электромагнитных колебаний в контуре зависят от значений емкости C конденсатора и индуктивности L катушки:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}.$$

13.2. Превращение энергии в колебательном контуре

Электромагнитные колебания в контуре характеризуются периодическим переходом энергии W_e электрического поля, запасенной в пространстве между обкладками конденсатора, в энергию W_m магнитного поля электрического тока. В моменты времени $t = 0$, $t = \frac{T}{2}$, $t = T$ энергия электрического поля достигает своего максимального значения

$$W_{e0} = \frac{q_0^2}{2C} = \frac{q_0 U_0}{2} = \frac{C U_0^2}{2},$$

в то время как энергия магнитного поля равна нулю. В моменты времени $t = \frac{T}{4}$ и $t = \frac{3}{4}T$ максимальной является энергия магнитного поля

$$W_{m0} = \frac{L I^2}{2}, \text{ а энергия электрического поля равна нулю.}$$

В соответствии с законом сохранения энергии полная энергия контура, представляющая собой сумму электрической и магнитной энергии, в любой момент времени остается постоянной. Возникающие в контуре переменные электрическое и магнитное поля сосредоточены в той области пространства, в которой находится контур, и практически не распространяется за его пределы, поэтому такой контур называется *закрытым*.

13.3. Вынужденные электрические колебания. Переменный электрический ток

В реальных электрических контурах свободные электромагнитные колебания являются затухающими из-за потерь энергии, которые обусловлены электрическим сопротивлением R . Для того чтобы колебания не затухали, к контуру периодически должна подводиться энергия, создаваемая работой внешних сил. *Вынужденные электромагнитные колебания* заряда q , разности потенциалов U , силы тока I и других физических величин в колебательном контуре вызываются периодически изменяющейся ЭДС:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t,$$

где ε_0 – максимальное (*амплитудное*) значение ЭДС; ω – циклическая частота.

Электродвижущая сила, изменяющаяся по синусоидальному закону, может быть получена в проводящей рамке, которая вращается с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле с индукцией \mathbf{B} (рис. 13.2).

В результате электромагнитной индукции в рамке возникнет индукционный ток с ЭДС, определяемой законом Фарадея:

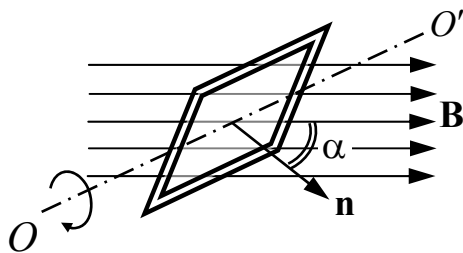


Рис. 13.2

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где $\Delta\Phi$ – изменение магнитного потока, пронизывающего площадку S , охватываемую контуром рамки, за момент времени Δt .

Магнитный поток

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где B – модуль вектора магнитной индукции; α – угол между вектором \mathbf{B} и нормалью \mathbf{n} к плоскости рамки. При угловой скорости ω угол $\alpha = \omega t$, и, следовательно, $\Phi = BS \cos \omega t$. Изменяющийся магнитный поток инициирует индукционный ток с ЭДС

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = BS\omega \sin \omega t, \text{ или } \varepsilon_i = \varepsilon_0 \sin \omega t,$$

где $\varepsilon_0 = BS\omega$ – амплитудное значение ЭДС.

Соответствующий этой ЭДС ток также является переменным током и изменяется по гармоническому закону:

$$I = I_0 \sin \omega t.$$

13.4. Цепь переменного тока. Активное, индуктивное и емкостное сопротивления

Цепь переменного тока в общем случае включает в себя сопротивление R , индуктивность L и емкость C . Если такая цепь подключена к генератору переменного тока, то в ней помимо внешней синусоидальной ЭДС ε возникает ЭДС самоиндукции ε_s , а на обкладках емкости возникнет разность потенциалов $\Delta\varphi$. Внешняя ЭДС будет равна сумме напряжений:

$$\varepsilon = U_R + U_C + U_L,$$

где $U_R = IR$ – напряжение на сопротивлении R , которое называется *активным сопротивлением*; $U_C = \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{q}{C}$ – напряжение на емкостном участке цепи, который характеризуется *емкостным сопротивлением* X_C ; $U_L = \varepsilon_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ – напряжение на индуктивном участке цепи, который характеризуется индуктивным сопротивлением X_L .

Емкостное и индуктивное сопротивления зависят от циклической частоты ω переменного тока, емкости C и индуктивности L соответственно:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}, \quad X_L = \omega L.$$

Так как $\omega = 2\pi\nu$, где ν – частота, имеем

$$X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}, \quad X_L = 2\pi\nu L.$$

13.5. Действующее значение силы тока и напряжения

При прохождении по цепи переменного электрического тока происходит необратимое преобразование энергии тока во внутреннюю энергию проводника. Эта энергия расходуется на его нагревание. Количественно данные преобразования энергии характеризуются *действующими* (или *эффективными*) значениями силы тока и напряжения.

Действующими значениями силы тока I_d и напряжения U_d называются значения этих величин для такого постоянного тока, который

на том же сопротивлении выделяет тепловую мощность, одинаковую со средней тепловой мощностью переменного тока:

$$I_{\text{д}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}, \quad U_{\text{д}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}},$$

где I_0 и U_0 – амплитудные значения силы тока и напряжения.

13.6. Электромагнитные волны

Электромагнитной волной называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле. В такой волне изменяются напряженность \mathbf{E} электрического поля и индукция \mathbf{B} магнитного поля. Существование электромагнитных волн обусловлено связью между переменными электрическим и магнитным полями: переменное магнитное поле создает вихревое электрическое поле, а переменное электрическое поле порождает вихревое магнитное поле.

Скорость c электромагнитных волн в вакууме является максимальной скоростью в природе и составляет $3 \cdot 10^8$ м/с. Скорость v электромагнитных волн в оптической среде зависит от абсолютного показателя n преломления этой среды:

$$v = \frac{c}{n}.$$

Электромагнитные волны являются поперечными, так как колебания векторов напряженности \mathbf{E} электрического поля и индукции \mathbf{B} магнитного

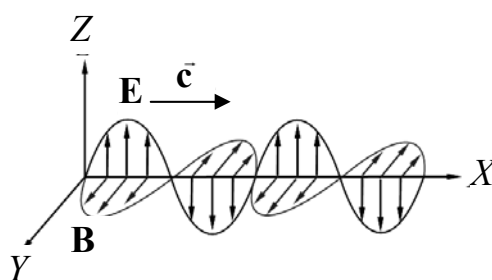


Рис. 13.3

поля совершаются в плоскостях, перпендикулярных вектору \mathbf{v} скорости распространения волны (рис. 13.3), при этом векторы \mathbf{E} и \mathbf{B} взаимно перпендикулярны и совершают колебания в одной фазе, обращаясь в нуль и одновременно принимая максимальное значение.

Существующие в природе электромагнитные волны занимают широкий диапазон длин волн – от самых длинных с длиной волны 10^6 м до

самых коротких с длиной волны 10^{-14} м. В таблице приведена шкала электромагнитных волн, на которой выделены участки длин волн по способу их получения и области применения.

Шкала электромагнитных волн

Название диапазона	Интервал длин волн, м
Сверхдлинные	$10^6 - 10^4$
Радиоволны: длинные средние короткие	$10^4 - 10^3$ $10^3 - 10^2$ $10^2 - 1$
СВЧ-волны: ультракороткие (телевидение) радиолокация	$1 - 10^{-2}$ $10^{-2} - 10^{-3}$
Инфракрасное излучение	$5 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-7}$
Видимое	$(8-4) \cdot 10^{-7}$
Ультрафиолетовое	$4 \cdot 10^{-7} - 10^{-9}$
Рентгеновское излучение	$2 \cdot 10^{-10} - 6 \cdot 10^{-12}$
γ -излучение	$6 \cdot 10^{-12} - 10^{-14}$

От авторов

Возникли трудности в усвоении теоретического курса или в его применении при решении конкретных задач, тестов – записывайтесь на наши курсы и мы поможем Вам подойти к экзамену во всеоружии.

Наш адрес:

190031, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 9, ПГУПС, факультет довузовской подготовки.

Наши телефоны отдела заочной формы обучения:

8 (931) 214-51-45;

8 (812) 457-88-07 .

