

Электромагные колебания

Электромагнитные колебания — это периодические изменения заряда, силы тока и напряжения, происходящие в электрической цепи. Простейшей системой для наблюдения электромагнитных колебаний служит колебательный контур.

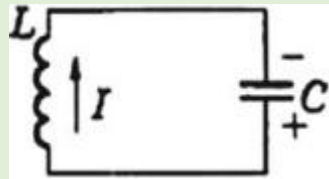
Колебательный контур — это замкнутый контур, образованный последовательно соединенными конденсатором и катушкой.

- Сопротивление катушки R равно нулю. Если зарядить конденсатор до напряжения U_m , то в начальный момент времени $t_1=0$, напряжение на конденсаторе будет равно U_m . Заряд конденсатора в этот момент времени будет равен $q_m = CU_m$. Сила тока равна нулю. Конденсатор начинает разряжаться, по катушке начинает течь ток. Вследствие самоиндукции в катушке конденсатор разряжается постепенно.
- Полная энергия системы будет равна энергии электрического поля:

$$W = W_э = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C}.$$

- Ток достигает своего максимального значения I_m в момент времени $t_2 = T/4$. Заряд конденсатора в этот момент равен нулю, напряжение на конденсаторе равно нулю.
- Полная энергия системы в этот момент времени равна энергии магнитного поля: $W = W_M = \frac{LI_m^2}{2}$.
- В следующий момент времени ток течет в том же направлении, постепенно (вследствие явления самоиндукции) уменьшаясь до нуля. Конденсатор перезаряжается. Заряды обкладок имеют заряды, по знаку противоположные первоначальным.

- В момент времени $t_3 = T/2$ заряд конденсатора равен q_m , напряжение равно U_m , сила тока равна нулю.
- Полная энергия системы равна энергии электрического поля конденсатора.



- Затем конденсатор снова разряжается, но ток через катушку течет в обратном направлении.

- Затем конденсатор снова разряжается, но ток через катушку течет в обратном направлении.
- В момент времени $t_4 = 3T/4$ сила тока в катушке достигает максимального значения, напряжение на конденсаторе и его заряд равны нулю. С этого момента ток в катушке начинает убывать, но не сразу (явление самоиндукции). Энергия магнитного поля переходит в энергию электрического поля. Конденсатор начинает заряжаться, и через некоторое время его заряд равен первоначальному, а сила тока станет равной нулю.

- Колебания, происходящие в колебательном контуре, — свободные. Они совершаются без какого-либо внешнего воздействия — только за счет энергии, запасенной в контуре.
- В контуре происходят превращения энергии электрического поля конденсатора в энергию магнитного поля катушки и обратно.

В любой произвольный момент времени полная энергия в контуре равна:

$$W = W_э + W_м = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2},$$

где i, u, q – мгновенные значения силы тока, напряжения, заряда в любой момент времени.

Эти колебания являются затухающими. Амплитуда колебаний постепенно уменьшается из-за электрического сопротивления проводников.

Вынужденными электромагнитными колебаниями называют периодические изменения заряда, силы тока и напряжения в колебательном контуре, происходящие под действием периодически изменяющейся синусоидальной (переменной) ЭДС от внешнего источника: $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$,

где ε – мгновенное значение ЭДС, ε_m – амплитудное значение ЭДС.

При этом к контуру подводится энергия, необходимая для компенсации потерь энергии в контуре из-за наличия сопротивления.

Резонанс в электрической цепи – явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний силы тока в колебательном контуре с малым активным сопротивлением при совпадении частоты вынужденных колебаний внешней ЭДС с частотой собственных колебаний в контуре.

Емкостное и индуктивное сопротивления по-разному изменяются в зависимости от частоты. С увеличением частоты растет индуктивное сопротивление, а емкостное уменьшается. С уменьшением частоты растет емкостное сопротивление и уменьшается индуктивное сопротивление.

Резонансная частота вычисляется по формуле:

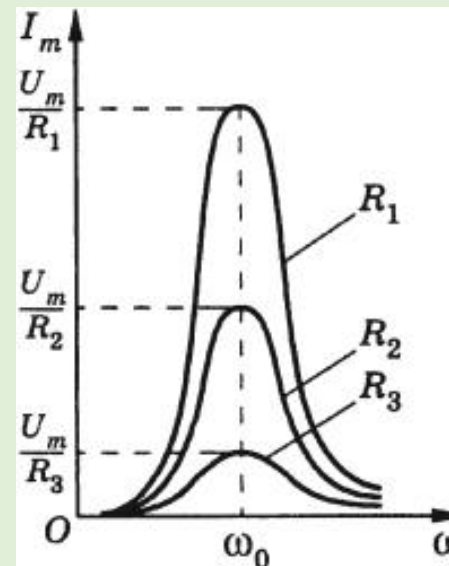
$$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Резонансная частота не зависит от активного сопротивления R . Но чем меньше активное сопротивление цепи, тем ярче выражен резонанс.

Чем меньше потери энергии в цепи, тем сильнее выражен резонанс. Если активное сопротивление очень мало ($R \rightarrow 0$), то резонансное значение силы тока неограниченно возрастает. С увеличением сопротивления максимальное значение силы тока уменьшается, и при больших значениях сопротивления резонанс не наблюдается.

График зависимости амплитуды силы тока от частоты называется резонансной кривой. Резонансная кривая имеет больший максимум в цепи с меньшим активным сопротивлением.

Одновременно с ростом силы тока при резонансе резко возрастают напряжения на конденсаторе и катушке.



При резонансе возникают наилучшие условия для поступления энергии от источника напряжения в цепь: при резонансе колебания напряжения в цепи совпадают по фазе с колебаниями силы тока.

Явление резонанса используется в радиосвязи. Каждая передающая станция работает на определенной частоте.

Резонанс может привести к перегреву проводов и аварии, если цепь не рассчитана на работу в условиях резонанса.

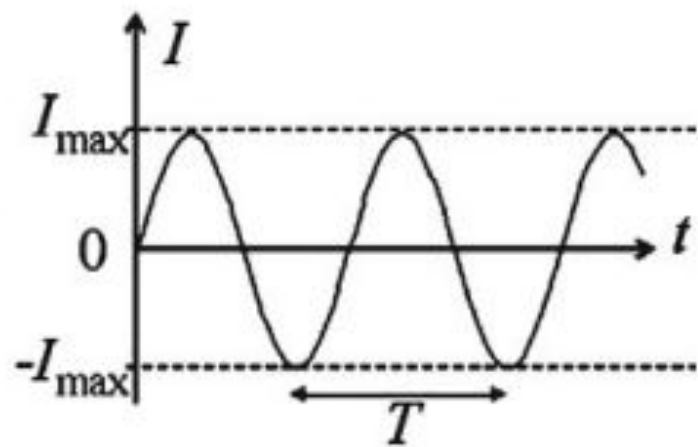
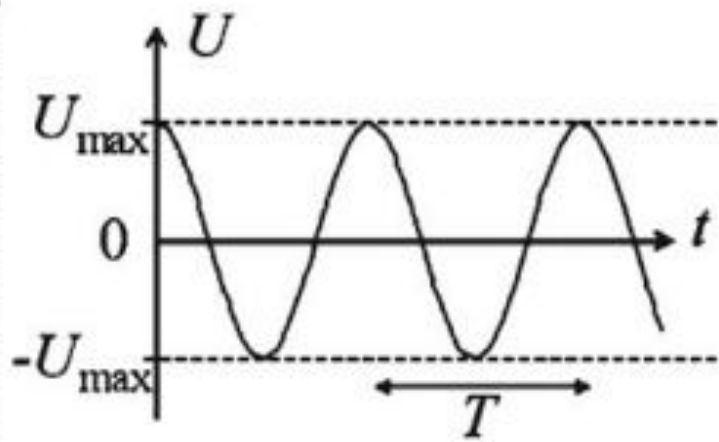
Гармоническими электромагнитными колебаниями называются периодические изменения заряда, силы тока и напряжения, происходящие по гармоническому – синусоидальному или косинусоидальному – закону.

В электрических цепях это могут быть колебания:

- \square силы тока – $i=I_m \cos(\omega t + \varphi + \pi/2)$;
- \square напряжения – $u=U_m \cos(\omega t + \varphi)$;
- \square заряда – $q=q_m \cos(\omega t + \varphi)$;
- \square ЭДС – $\varepsilon=\varepsilon_m \sin \omega t$.

В этих уравнениях ω – циклическая частота, φ – начальная фаза колебаний, амплитудные значения: силы тока – I_m , напряжения – U_m и заряда – q_m .

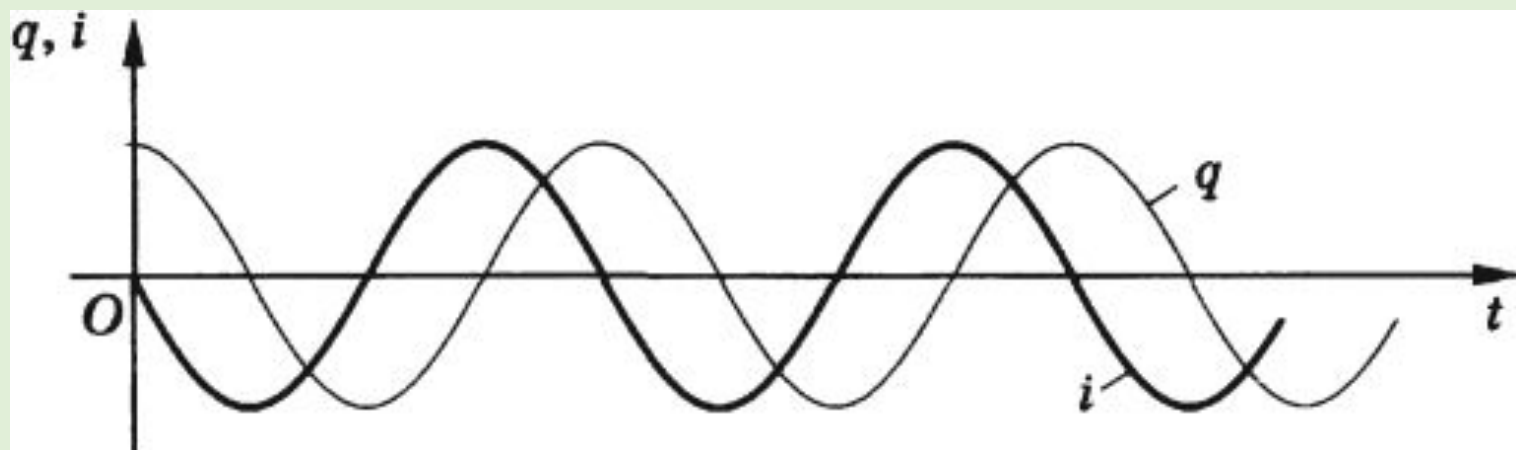
ток в катушке напряжение на конденсаторе



Если в начальный момент времени заряд имеет максимальное значение, а сила тока равна нулю, то колебания заряда совершаются по закону косинуса с начальной фазой, равной нулю. Если в начальный момент времени заряд равен нулю, а сила тока максимальна, то колебания заряда совершаются по закону синуса.

Сила тока равна первой производной заряда от времени: $i = q'(t)$.

Амплитуда колебаний силы тока равна: $I_m = \omega \cdot q_m$.



Колебания заряда и напряжения в колебательном контуре происходят в одинаковых фазах. Амплитуда напряжения равна:

$$U_m = \frac{q_m}{C}.$$

Колебания силы тока смещены по фазе относительно колебаний заряда на $\pi/2$.

Период $T = 2\pi\sqrt{LC}$ электромагнитных колебаний находится по формуле Томсона:

где L – индуктивность катушки, C – емкость конденсатора.

- Период и циклическая частота не зависят от начальных условий, а определяются только индуктивностью катушки и емкостью конденсатора. Амплитуда колебаний заряда и силы тока определяются начальным запасом энергии в контуре.
- При свободных гармонических колебаниях происходит периодическое преобразование энергии. Период колебаний энергии в два раза меньше, чем период колебаний заряда, силы тока и напряжения. Частота колебаний энергии в два раза больше частоты колебаний заряда, силы тока и напряжения.