

Электромагнитные
колебания и волны

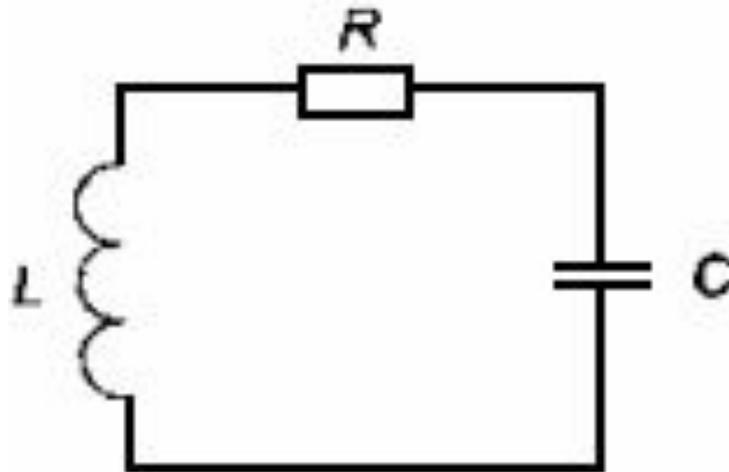
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ. СВОБОДНЫЕ И ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ.

- Электромагнитные колебания - взаимосвязанные колебания электрического и магнитного полей.
- Электромагнитные колебания появляются в различных электрических цепях. При этом колеблются величина заряда, напряжение, сила тока, напряженность электрического поля, индукция магнитного поля и другие электродинамические величины.
- Свободные электромагнитные колебания возникают в электромагнитной системе после выведения ее из состояния равновесия, например, сообщением конденсатору заряда или изменением тока в участке цепи.

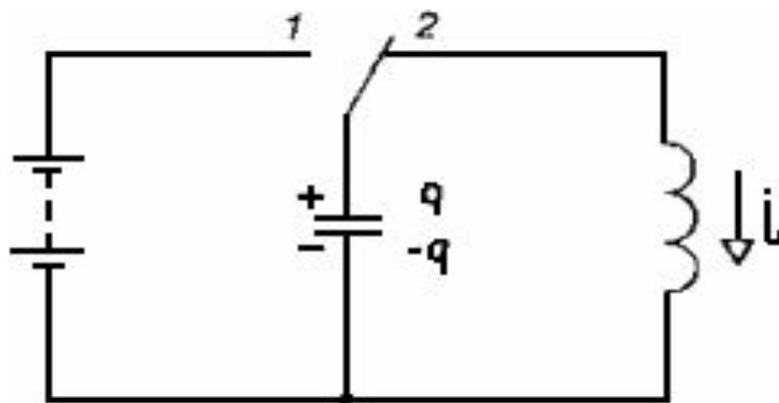
- Это затухающие колебания, так как сообщенная системе энергия расходуется на нагревание и другие процессы.
- Вынужденные электромагнитные колебания - незатухающие колебания в цепи, вызванные внешней периодически изменяющейся синусоидальной ЭДС.
- Электромагнитные колебания описываются теми же законами, что и механические, хотя физическая природа этих колебаний совершенно различна.
- Электрические колебания - частный случай электромагнитных, когда рассматривают колебания только электрических величин. В этом случае говорят о переменных токе, напряжении, мощности и т.д.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

- Колебательный контур - электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных конденсатора емкостью C , катушки индуктивностью L и резистора сопротивлением R .



- Состояние устойчивого равновесия колебательного контура характеризуется минимальной энергией электрического поля (конденсатор не заряжен) и магнитного поля (ток через катушку отсутствует).



- Величины, выражающие свойства самой системы (параметры системы): L и m , $1/C$ и k
- величины, характеризующие состояние системы:

$$E_p = \frac{q^2}{2C} \quad \text{и} \quad E_p = \frac{kx^2}{2}$$
$$E_k = \frac{Li^2}{2} \quad \text{и} \quad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

величины, выражающие скорость изменения состояния системы: $u = x'(t)$ и $i = q'(t)$.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

- Можно показать, что уравнение свободных колебаний для заряда $q = q(t)$ конденсатора в контуре имеет вид

$$q'' = -\frac{1}{LC} \cdot q \text{ или } q'' = -\omega_0^2 \cdot q \quad (1)$$

где q'' - вторая производная заряда по времени. Величина

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

является циклической частотой. Такими же уравнениями описываются колебания тока, напряжения и других электрических и магнитных величин.

- Одним из решений уравнения (1) является гармоническая функция

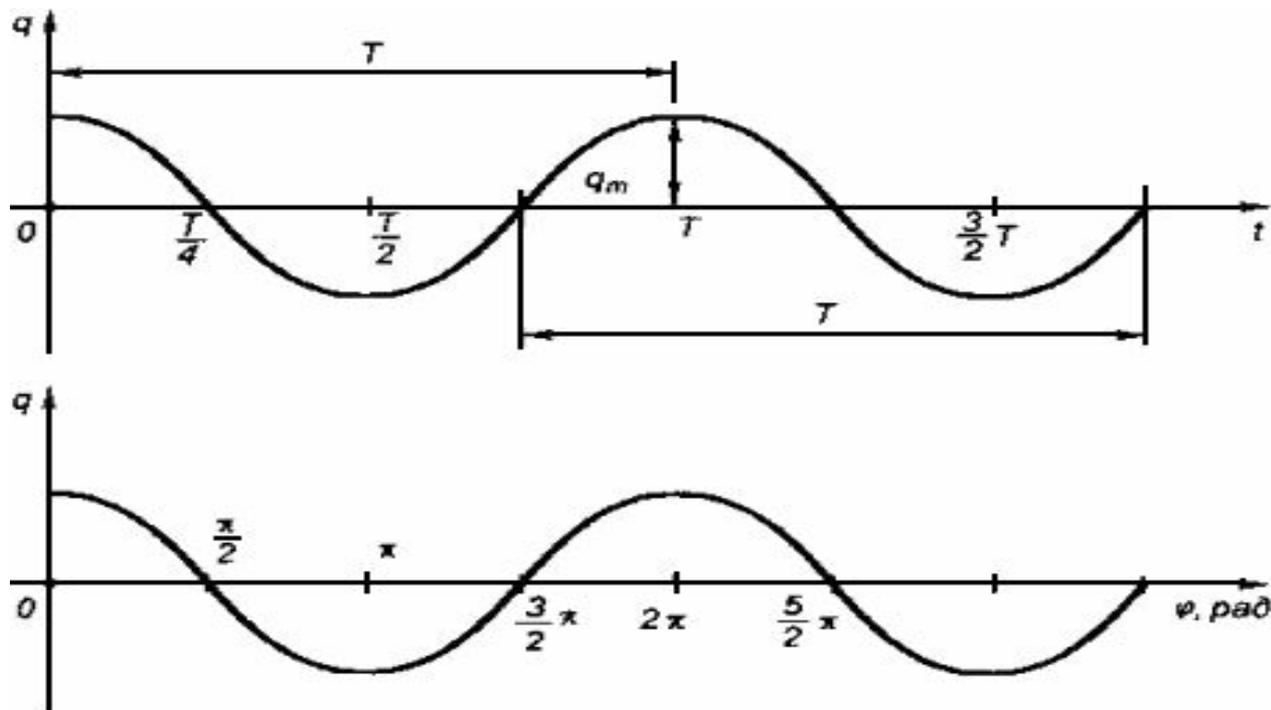
$$q = q_m \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2)$$

Период колебаний в контуре дается формулой (Томсона):

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{LC} \quad (3)$$

Величина $\varphi = \omega t + \varphi_0$, стоящая под знаком синуса или косинуса, является фазой колебания.

- Фаза определяет состояние колеблющейся системы в любой момент времени t .

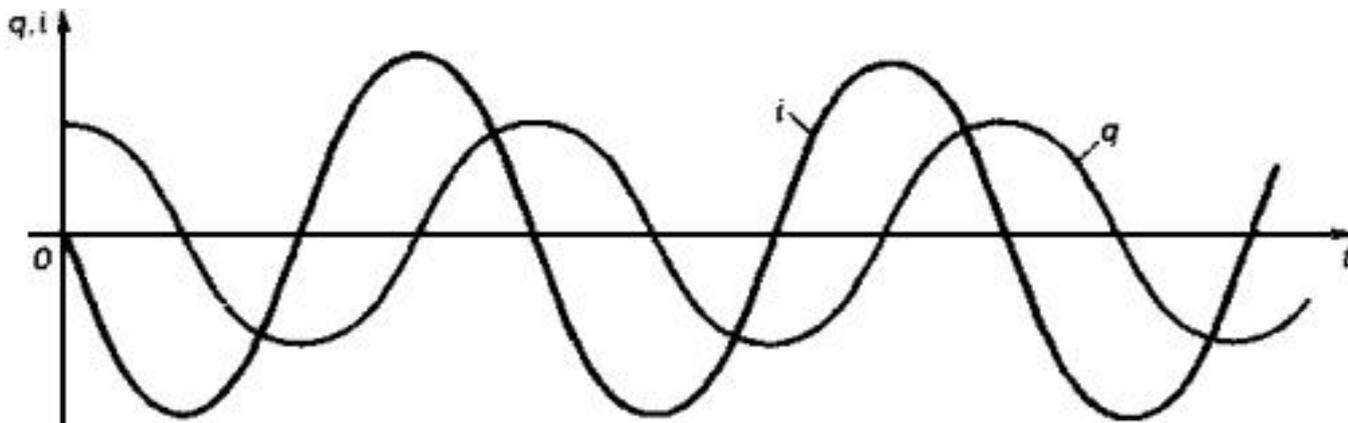


- Ток в цепи равен производной заряда по времени, его можно выразить

$$i = q' = -q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (4)$$

Чтобы нагляднее выразить сдвиг фаз, перейдем от косинуса к синусу

$$i = a i_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi/2) \quad (5)$$

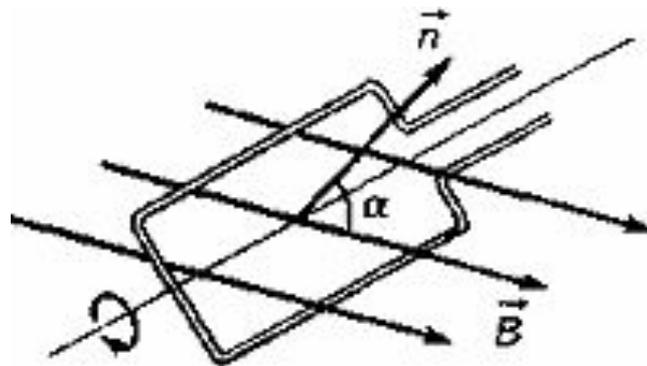


ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

- 1. Гармоническая ЭДС возникает, например, в рамке, которая вращается с постоянной угловой скоростью в однородном магнитном поле с индукцией B . Магнитный поток Φ , пронизывающий рамку с площадью S ,

$$\Phi = BS \cos \alpha = BS \cos \omega t$$

Где - $\alpha = \omega t$ угол между нормалью к рамке и вектором магнитной индукции .



- По закону электромагнитной индукции Фарадея ЭДС индукции равна

$$\varepsilon_i = - \Delta\Phi / \Delta t$$

где - $\Delta\Phi / \Delta t$ скорость изменения потока магнитной индукции.

Гармонически изменяющийся магнитный поток вызывает синусоидальную ЭДС индукции

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = BS\omega \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t$$

где - $\varepsilon_m = BS\omega$ амплитудное значение ЭДС индукции.

- 2. Если к контуру подключить источник внешней гармонической ЭДС

$$e = \varepsilon_m \sin \omega t$$

то в нем возникнут вынужденные колебания, происходящие с циклической частотой ω , совпадающей с частотой источника.

При этом вынужденные колебания совершают заряд q , разность потенциалов u , сила тока i и другие физические величины. Это незатухающие колебания, так как к контуру подводится энергия от источника, которая компенсирует потери. Гармонически изменяющиеся в цепи ток, напряжение и другие величины называют переменными. Они, очевидно, изменяются по величине и направлению. Токи и напряжения, изменяющиеся только по величине, называют пульсирующими.

В промышленных цепях переменного тока России принята частота 50 Гц.

- Для подсчета количества теплоты Q , выделяющейся при прохождении переменного тока по проводнику с активным сопротивлением R , нельзя использовать максимальное значение мощности, так как оно достигается только в отдельные моменты времени. Необходимо использовать среднюю за период мощность - отношение суммарной энергии W , поступающей в цепь за период, к величине периода:

$$P_{\text{ср}} = \frac{W}{T} = \frac{1}{2} I_m U_m = \frac{1}{2} I_m^2 R$$

Поэтому количество теплоты, выделится за время T :

$$Q = \frac{1}{2} I_m U_m T$$

- Действующее значение I силы переменного тока равно силе такого постоянного тока, который за время, равное периоду T , выделяет такое же количество теплоты, что и переменный ток:

$$I^2 RT = \frac{1}{2} I_m^2 RT$$

Отсюда действующее значение тока

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Аналогично действующее значение напряжения

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$