

Переменный ток

Генерация переменного тока.

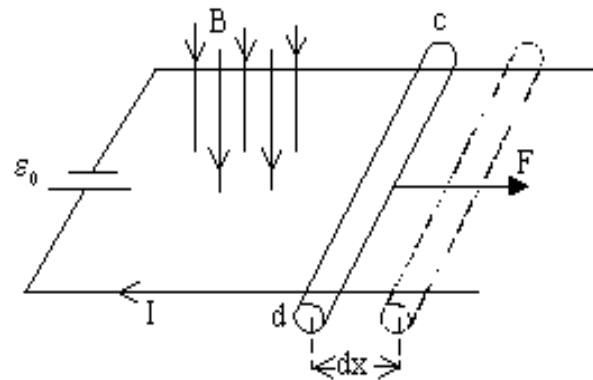
*Различные нагрузки в цепи переменного
тока.*

*Воздействие переменного тока на
живые ткани.*

Генерация переменного тока

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ В ПЛОСКОМ ПРЯМОУГОЛЬНОМ КОНТУРЕ:

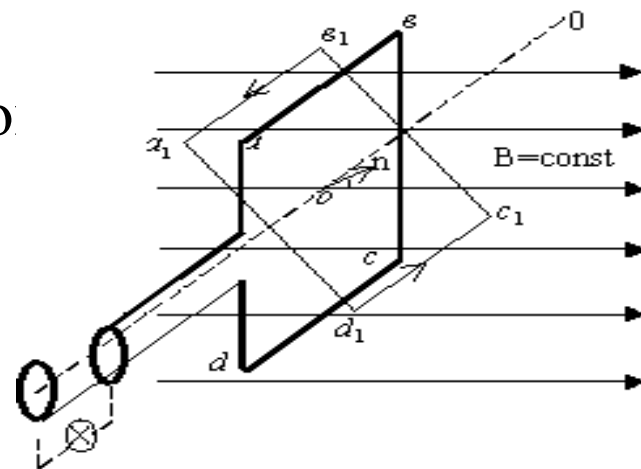
$$\begin{aligned}
 & dA_i = F \cdot dx = B \cdot I \cdot l \cdot dx = I \cdot d\Phi \\
 + & dA_{Ji} = I^2 \cdot R \cdot dt \\
 = & dA_\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot I \cdot dt \Rightarrow \varepsilon_0 = \frac{d\Phi}{dt} + I \cdot R \Rightarrow \\
 & I = \frac{\varepsilon_0 - \frac{d\Phi}{dt}}{R} \quad \varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}
 \end{aligned}$$



Вращающаяся рамка с током в магнитно поле

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \phi = B \cdot S \cdot \cos \omega t$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = B \cdot S \cdot \sin \omega t$$



Активное сопротивление в цепи переменного тока

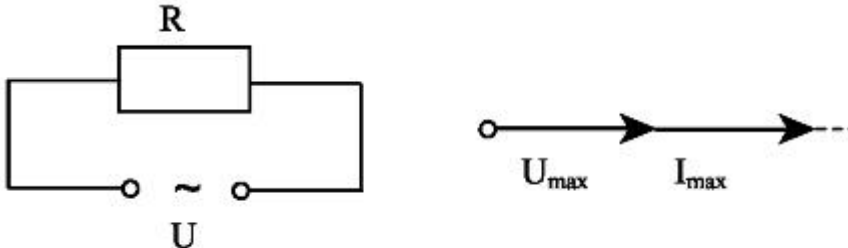
Амплитуда переменного тока зависит от времени по гармоническому закону:

$$I = I_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Причина появления тока всегда – приложенное напряжение:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U_0 \cos \omega t}{Z(\omega)}$$

Через активное сопротивление протекает ток, равный

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_0 \cos \omega t}{R} = I_0 \cos \omega t$$


The diagram consists of two parts. On the left, a rectangular circuit loop is shown. At the top, a resistor is represented by a rectangle with the letter 'R' above it. At the bottom, there is an AC voltage source represented by a circle with a tilde symbol inside and the letter 'U' below it. On the right, a horizontal vector diagram shows two arrows pointing to the right. The first arrow is labeled 'U_max' and the second arrow is labeled 'I_max'.

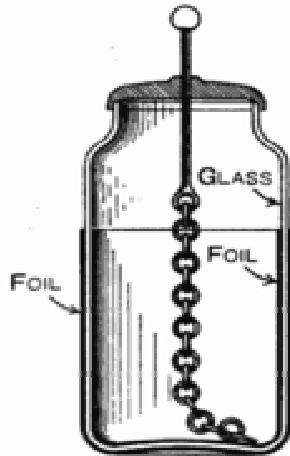
При этом выделяется тепло:

$$W = UI = \frac{1}{T} \int_0^T U_0 \cos \omega t \cdot I_0 \cos \omega t \cdot dt = \frac{U_0 I_0}{2} = \frac{I_0^2 R}{2} = U_{eff} I_{eff}$$

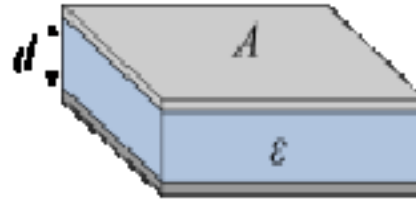
Емкость в цепи переменного тока

лейденская банка

(XVII век):



плоский конденсатор:

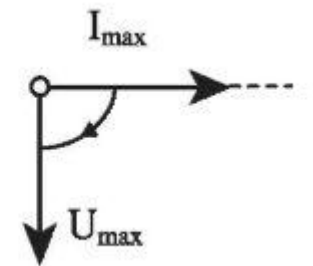
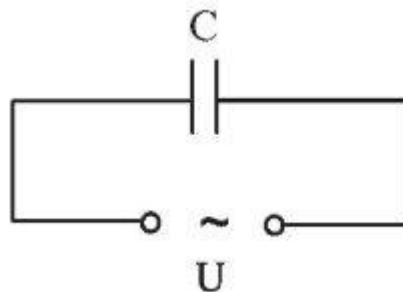


$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 A}{d}$$

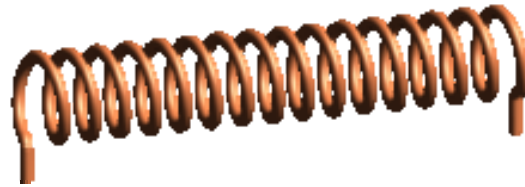
Приложенное напряжение равно: $U(t) = U_0 \cos \omega t = \frac{Q(t)}{C}$

$$I(t) = \frac{U_0 \cos(\omega t)}{Z_C} = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dU(t)}{dt} = -\omega C U_0 \sin(\omega t) = -\omega C U_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$Z_C = \frac{1}{\omega C}$$



Индуктивность в цепи переменного тока



Падение напряжения на катушке

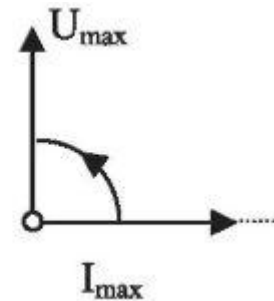
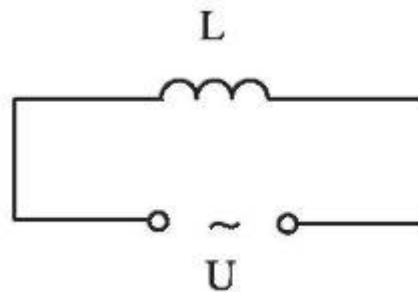
$$U(t) = U_0 \cos \omega t = -\frac{dI}{dt} L$$

$$I(t) = -\frac{1}{L} \cdot \int U_0 \cos(\omega t) dt = -\frac{1}{\omega L} \cdot U_0 \sin(\omega t) = \frac{U_0}{Z_L} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$Z_L = \omega L$$

Индуктивность катушки:

$$L = \frac{\mu\mu_0 N^2 S}{l}$$



RLC-цепь

Напряжение, приложенное к цепи, распределяется между всеми ее элементами (Ф.Кирхгоф):

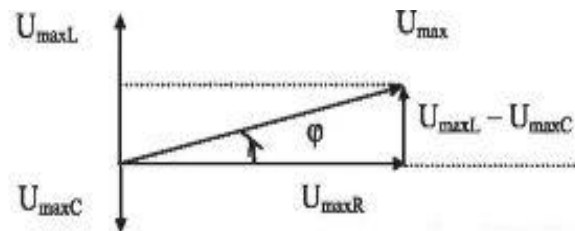
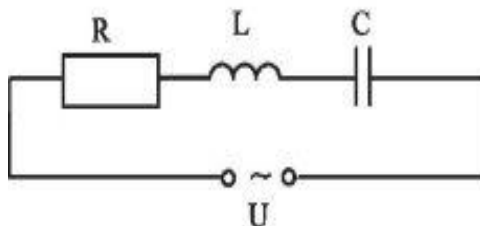
$$U(t) = U_0 \cos \omega t = I(t)R + \frac{Q(t)}{C} + L \frac{dI}{dt}$$

так что ток равен $I = I_0 \cos(\omega t + \varphi) = \frac{U_0}{Z}$, где

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

Условие резонанса:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$



Формула Уильяма Томсона

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$$

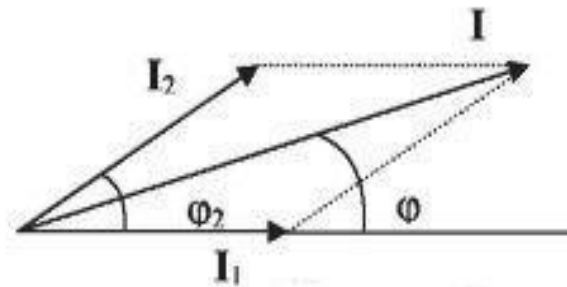
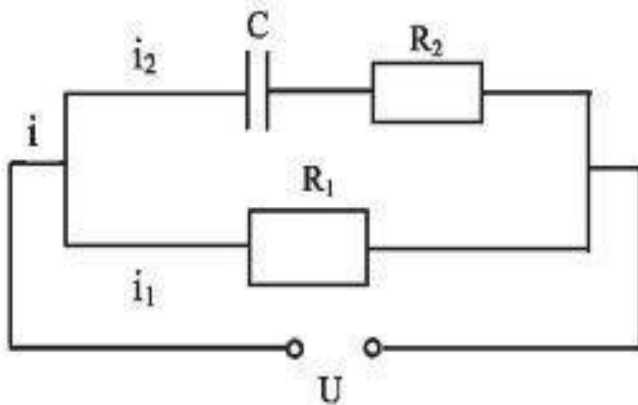
Эквивалентная электрическая схема живой ткани

Нет кольцевых токов – нет индуктивностей

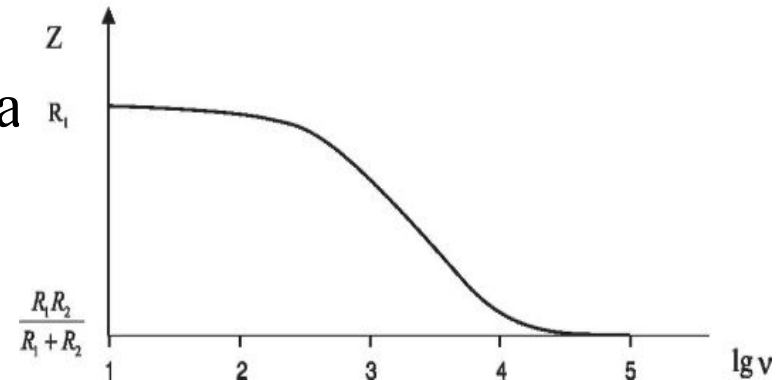
$$I = U_{\max} / Z,$$

$$Z = \sqrt{\frac{R_1^2 \cdot (R_2^2 + 1/\omega^2 C^2)}{(R_1 + R_2)^2 + 1/\omega^2 C^2}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R_1 \omega C}{1 + (R_1 + R_2) R_2 \omega C}$$



Частотная характеристика импеданса живой ткани



Живые ткани под воздействием напряжения

Ощутимый постоянный ток $\sim 1\text{mA}$, неотпускающий ток $\sim 15\text{-}20\text{mA}$.

Основной поражающий фактор – электрический заряд, проходящий через живые клетки в единицу времени, поэтому на высоких частотах опасность воздействия электрического тока снижается.

