

УДК 378.147:51

**И. А. ДОРДЮК, Н. Н. СЕНДЕР**

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ. ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ**

Рассмотрим контур, в котором последовательно с индуктивностью включено сопротивление  $R$  (рисунок 1).

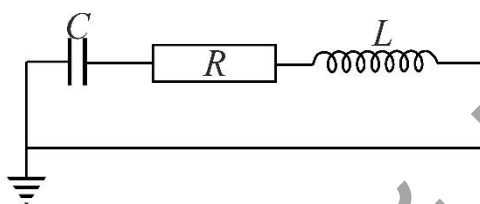


Рисунок 1

Будем считать, что  $R$  мало. Если  $R$  совсем не принимать во внимание, то мы получим схему без  $R$ . Если при  $t = 0$  было  $\varphi = \varphi_0$ ,  $I = 0$ , то из формул (1) получаем (2):

$$\varphi = \frac{I_0}{C\omega} \sin \omega t + \varphi_0 \cos \omega t, \quad I = I_0 \cos \omega t - C\varphi_0 \omega \sin \omega t, \quad (1)$$

$$\varphi = \varphi_0 \cos \omega t, \quad I = I_m \sin \omega(t + \pi), \quad (2)$$

где положено

$$I_m = C\varphi_0 \omega, \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (3)$$

При этом полная энергия  $W = \frac{C\varphi_0^2}{2}$ , или, пользуясь (3), можно записать также

$$W = \frac{LI_m^2}{2}. \quad (4)$$

При наличии сопротивления происходит превращение электрической энергии в тепловую. Тепловая мощность  $P$  равна

$$P = RI^2 = RI_m^2 \sin^2(\omega t + \pi) = RI_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{RI_m^2}{2}(1 - \cos 2\omega t). \quad (5)$$

Тепловая мощность при электрических колебаниях не остается постоянной. На протяжении каждого периода  $P$  дважды достигает максимума и дважды обращается в нуль (знак ее, конечно, не изменяется). Найдем среднее значение  $P$  за период.

Из формулы (5) находим  $\bar{P} = \frac{RI_m^2}{2}(1 - \overline{\cos 2\omega t})$ . Вспоминая, что среднее значение косинуса за период равно нулю, получаем  $\bar{P} = \frac{RI_m^2}{2}$ .

Выделение тепла на сопротивлении  $R$  может происходить только за счет уменьшения электрической энергии  $W$ . Поэтому

$$\frac{dW}{dt} = -P. \quad (6)$$

Мы предположили, что  $R$  мало, значит, и  $P$  мало. Энергия колебаний убывает медленно, значительное изменение энергии заметно лишь по истечении нескольких периодов. Рассматривая промежутки времени, большие по сравнению с периодом колебаний  $T$ , заменим в правой части (6)  $P$  на  $\bar{P}$ :

$$\frac{dW}{dt} = -\bar{P} = -\frac{RI_m^2}{2}. \quad (7)$$

Поскольку энергия  $W$  медленно меняется, то из (4) видим, что и  $I_m$  есть медленно меняющаяся величина. Выразив  $I_m$  из (4), получим:

$$I_m = \sqrt{\frac{2W}{L}}. \quad (8)$$

Пользуясь (8), получаем из (7)  $\frac{dW}{dt} = -\frac{R}{L}W$ .

Решение этого уравнения есть  $W = W_0 e^{-(R/L)t}$ , где  $W_0$  – это значение  $W$  при  $t = 0$ . Поэтому согласно (8)  $I_m = \sqrt{\frac{2W_0}{L}} e^{-Rt/(2L)}$ .

Тогда

$$I = \sqrt{\frac{2W_0}{L}} e^{-Rt/(2L)} \sin(\omega t + \pi). \quad (9)$$

Вспоминая, что  $\varphi = \varphi_0 \cos \omega t$ , а  $\varphi_0 = \frac{I_m}{C\omega}$ , получаем

$$\varphi_m = \frac{I_m}{C\omega} \cos \omega t = \frac{1}{C\omega} \sqrt{\frac{2W_0}{L}} e^{-Rt/(2L)} \cos \omega t. \quad (10)$$

Формулы (9) и (10) показывают, что при наличии небольшого сопротивления электрические колебания затухают по показательному закону.

УДК 530.10

**А. В. ЗАРЕЦКИЙ**

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

### **ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ В ИНТЕРВАЛЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ $x = 0-0,25$**

Твердые растворы между полуметаллами Bi и Sb известны как лучшие термоэлектрические (ТЭ) материалы n-типа и перспективные термомагнитные материалы для температур ниже  $\sim 150$ . Только в этих материалах достигаются самые высокие значения ТЭ добротности  $Z = (S^2 \sigma) / \lambda$ , где  $S$  – коэффициент Зеебека,  $\sigma$  – коэффициент электропроводности и  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности.

Во-первых, до  $x \sim 0,12$ , несмотря на немонотонный, осциллирующий характер этих кривых, имеет место тенденция к росту  $S$  и  $R_H$  при увеличении  $x$ . Во-вторых, в обоих случаях в концентрационных интервалах  $x = 0,01-0,015$ ,  $x = 0,025-0,035$  и  $x \sim 0,05-0,10$  на зависимостях  $S(x)$  и  $R_H(x)$  наблюдается аномальное уменьшение  $S$  и  $R_H$  при увеличении содержания сурьмы. В-третьих, положение максимумов и минимумов на зависимостях  $S(x)$  и  $R_H(x)$  практически совпадают для концентрационных интервалов  $x = 0,01-0,015$  и  $x = 0,025-0,035$  (хотя измерения  $S$  и  $R_H$  проводились независимо друг от друга), но отличаются для интервала  $x \sim 0,05-0,10$ : на зависимости  $R_H(x)$  в интервале составов  $x = 0,05-0,10$  наблюдаются два участка аномального снижения  $R_H$  в отличие от  $S$ , где наблюдается один минимум вблизи  $x \sim 0,07$ .

Из зависимости  $\sigma(x)$  видно, что во всем исследованном интервале составов ( $x = 0-0,25$ ) при общем немонотонном характере кривой наблюдается тенденция к падению электропроводности с ростом  $x$ . В области составов  $x = 0-0,1$ , как и в случае  $S$  и  $R_H$ , имеют место концентрационные аномалии (рост  $\sigma$  при увеличении  $x$ ), причем максимумам на кривых  $S$