

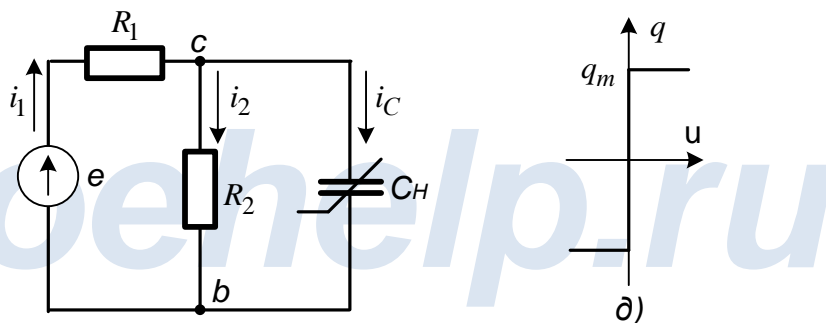
Рассчитаем периодический процесс в нелинейной электрической цепи по характеристикам для мгновенных значений и построим графики изменения требуемых величин во времени.

Схема, представленная на рис., состоит из источника синусоидальной ЭДС  $e(t) = E_m \sin(500t)$ ; двух резисторов сопротивлениями  $R_1 = R_2 = 1000 \text{ Ом}$  и конденсатора  $C_H$  с нелинейной кулон-вольтной характеристикой, которая изображена на рис. ( $q_m = 10^{-4} \text{ Кл}$ )

Построим зависимости заряда  $q$ , напряжения на конденсаторе  $u_{cb}$  и токов  $i_1$  и  $i_C$  в функции  $\omega t$ .

**Дано:**

$$E_m = 130 \text{ В}$$

**Решение:**

Напишем систему уравнений по Законам Кирхгофа для мгновенных значений величин:

$$\begin{cases} i_1 - i_2 - i_C = 0 \\ i_2 R_2 - u_C = 0 \\ i_1 R_1 + u_C = e \end{cases}$$

Примем, что на первом временном интервале  $0 \leq \omega t \leq \omega t_1$ , происходит изменение заряда на емкостном элементе от  $-q_m$  и  $q_m$ , при этом  $u_C = 0$ .

поэтому

$$i_2 = \frac{u_C}{R_2} = \frac{0}{1000} = 0$$

$$i_1 = \frac{e - u_C}{R_1} = \frac{130 \sin(500t) - 0}{1000} = 0,13 \sin(500t), \text{ А}$$

$$i_C = i_1 - i_2 = 0,13 \sin(500 \cdot t) - 0 = 0,13 \sin(500 \cdot t), \text{ А}$$

Напряжение  $u_{cb} = u_C = 0$

Заряд на емкостном элементе  $q = \int i_C dt = \int i dt = \int 0,13 \sin(500t) dt = -\frac{0,13}{500} \cos(\omega t) + A,$

, где  $A$  – постоянная интегрирования.

Из принятого вначале условия, при  $t=0$ ,  $q = -q_m$

$$\Rightarrow q = -q_m = -\frac{0,13}{500} \cos(\omega t) + A = -\frac{0,13}{500} \cos(0) + A = -\frac{0,13}{500} + A$$

$$\Rightarrow A = \frac{0,13}{500} - q_m$$

Тогда закон изменения заряда будет таким:

$$q = -\frac{0,13}{500} \cos(\omega t) + A = -\frac{0,13}{500} \cos(\omega t) + \frac{0,13}{500} - q_m$$

Т.к. при  $\omega t = \omega t_1$ ,  $q = q_m$ , то

$$q_m = -\frac{0,13}{500} \cos(\omega t_1) + \frac{0,13}{500} - q_m$$

$$\Rightarrow \cos(\omega t_1) = 1 - \frac{500}{0,13} \cdot 2 \cdot q_m = 1 - \frac{500}{0,13} \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 0,23077$$

$$\Rightarrow \omega t_1 = \arccos(0,23077) \approx 76,66^\circ \approx 0,426\pi$$

На втором интервале  $\omega t_1 \leq \omega t \leq \pi$  изменение заряда прекратилось, т.е.  $q = q_m = const$

$$\Rightarrow i_C = 0$$

Значит:

$$i_1 = i_2 = \frac{e}{R_1 + R_2} = \frac{130 \sin(500t)}{1000 + 1000} = 0,065 \sin(500t), A$$

$$\text{Тогда, напряжение } u_{cb} = R_2 i_2 = 1000 \cdot 0,065 \sin(500t) = 65 \sin(500t), B$$

Примем, что на 3-м временном интервале  $\pi \leq \omega t \leq \omega t_2$ , происходит изменение заряда на емкостном элементе от  $q_m$  и  $-q_m$ , при этом  $u_C = 0$ .

поэтому

$$i_2 = \frac{u_C}{R_2} = \frac{0}{1000} = 0$$

$$i_1 = \frac{e - u_C}{R_1} = \frac{130 \sin(500t) - 0}{1000} = 0,13 \sin(500t), A$$

$$i_C = i_1 - i_2 = 0,13 \sin(500 \cdot t) - 0 = 0,13 \sin(500 \cdot t), A$$

Напряжение  $u_{cb} = u_C = 0$

$$\text{Заряд на емкостном элементе } q = \int i_C dt = \int idt = \int 0,13 \sin(\omega t) dt = -\frac{0,13}{500} \cos(\omega t) + A,$$

, где  $A$  – постоянная интегрирования.

Из принятого вначале условия, при  $\omega t = \pi$ ,  $q = q_m$

$$\Rightarrow q = q_m = -\frac{0,13}{500} \cos(\omega t) + A = -\frac{0,13}{500} \cos(\pi) + A = \frac{0,13}{500} + A$$

$$\Rightarrow A = q_m - \frac{0,13}{500}$$

Тогда закон изменения заряда будет таким:

$$q = -\frac{0,13}{500} \cos(\omega t) + A = -\frac{0,13}{500} \cos(\omega t) - \frac{0,13}{500} + q_m$$

Т.к. при  $\omega t = \omega t_2$ ,  $q = -q_m$ , то:

$$-q_m = -\frac{0,13}{500} \cos(\omega t_2) - \frac{0,13}{500} + q_m$$

$$\Rightarrow \cos(\omega t_2) = -1 + \frac{500}{0,13} \cdot 2q_m = -1 + \frac{500}{0,13} \cdot 2 \cdot 10^{-4} = -0,23077$$

$$\Rightarrow \omega t_2 = \arccos(-0,23077) \approx 256,66^\circ \approx 1,426\pi$$

На 4-м интервале  $\omega t_2 \leq \omega t \leq 2\pi$  изменение заряда прекратилось, т.е.  $q = -q_m = \text{const}$

$$\Rightarrow i_C = 0$$

Значит:

$$i_1 = i_2 = \frac{e}{R_1 + R_2} = \frac{130 \sin(500t)}{1000 + 1000} = 0,065 \sin(500t), A$$

$$\text{Тогда, напряжение } u_{cb} = R_2 i_2 = 1000 \cdot 0,065 \sin(500t) = 65 \sin(500t), B$$

