

ТОЭ – часть 2

практическое занятие 9

Расчет нелинейных цепей с
периодическими переменными токами
в установившемся режиме

Расчет нелинейных цепей с периодическими переменными токами, содержащих линейные и нелинейные элементы, ведется с использованием законов Кирхгофа и нелинейных вольтамперных $u(i)$, веберамперных $\Psi(i)$ и кулонвольтных $q(u)$ характеристик резистивных, индуктивных и емкостных нелинейных элементов.

Периодические напряжения и токи представляются в виде суммы определенных гармоник, учитывая, например, что:

$$\sin^2(\omega t + \beta) = 0,5 - 0,5 \cos(2\omega t + 2\beta);$$

$$\sin^3(\omega t + \beta) = 0,75 \sin(\omega t + \beta) - 0,25 \sin(3\omega t + 3\beta);$$

$$\sin^4(\omega t + \beta) = 0,375 - 0,5 \cos(2\omega t + 2\beta) + 0,125 \cos(4\omega t + 4\beta).$$

Задача 1

Дано:

$$e(t) = 400 \cos(100t), \text{ (В);}$$

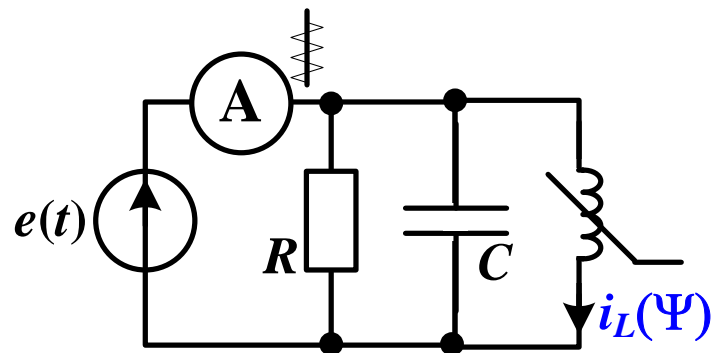
$$i_L(\Psi) = \Psi^3 / 64, \text{ (А) – } \Psi \text{ потокосцепление (Вб);}$$

$$R = 100 \text{ (Ом); } C = 100 \text{ (мкФ).}$$

Определить:

показание амперметра $I_A = ?$ (А)

Нелинейная цепь переменного тока с одним нелинейным индуктивным элементом и с амперметром электромагнитной системы.



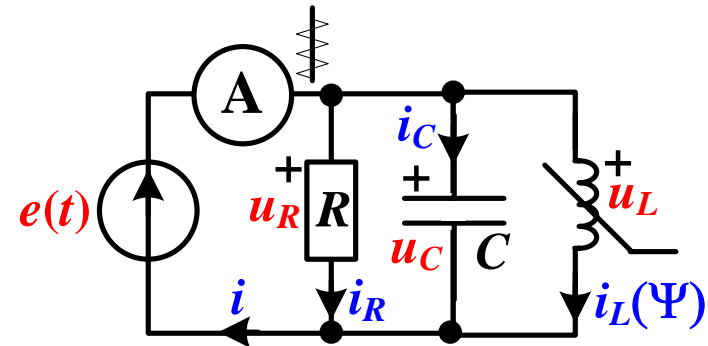
Решение

Все элементы параллельны ЭДС $e(t)$, поэтому:

$$u_R = u_C = u_L = e(t) = 400 \cos(100t), \text{ (В)}$$

1. Ток резистивного элемента:

$$i_R = u_R / R = 4 \cos(100t) = 4 \sin(100t + 90^\circ), \text{ (А)}.$$



2. Ток емкостного элемента ($C = 100 \text{ мкФ} = 10^{-4} \text{ Ф}$):

$$i_C = C du_C / dt = -4 \sin(100t) = 4 \sin(100t + 180^\circ), \text{ (А)}.$$

3. Ток нелинейного индуктивного элемента:

$$u_L = d\Psi / dt, \text{ тогда } \Psi = \int u_L dt = 4 \sin(100t), \text{ (Вб)}.$$

$$i_L = \Psi^3 / 64 = \sin^3(100t) = 0,75 \sin(100t) - 0,25 \sin(300t), \text{ (А)}.$$

4. Ток ЭДС (1-й закон Кирхгофа):

$$\begin{aligned}i &= i_R + i_C + i_L = 4\sin(100t + 90^\circ) + 4\sin(100t + 180^\circ) + \\ &+ 0,75\sin(100t) - 0,25\sin(300t) \rightarrow \\ &\rightarrow \left(4e^{j90^\circ} + 4e^{j180^\circ} + 0,75e^{j0^\circ}\right) - 0,25\sin(300t) = \\ &= \left(5,154e^{j129,1^\circ}\right) - 0,25\sin(300t) \rightarrow \\ &\rightarrow 5,154\sin(100t + 129,1^\circ) + 0,25\sin(300t + 180^\circ), (\text{A}).\end{aligned}$$

5. Показание амперметра электромагнитной системы (действующее значение):

$$I_A = \sqrt{\frac{I_{m1}^2}{2} + \frac{I_{m3}^2}{2}} = \sqrt{\frac{5,154^2}{2} + \frac{0,25^2}{2}} \approx 3,65 (\text{A}).$$

Задача 2

Дано:

$$J(t) = 1 \cos(100t), \text{ (A)};$$

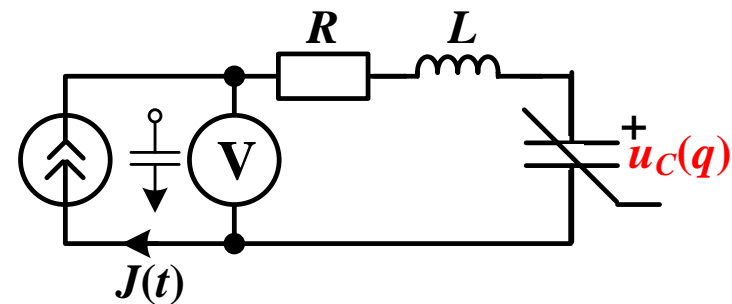
$$u_C(q) = 10^8 q^3, \text{ (В)} - q \text{ заряд (Кл)};$$

$$R = 100 \text{ (Ом)}; L = 1 \text{ (Гн)}.$$

Определить:

показание вольтметра $U_V = ?$ (В)

Нелинейная цепь переменного тока с одним нелинейным емкостным элементом и с вольтметром электростатической системы.



Решение

Все элементы последовательны $J(t)$, поэтому:

$$i=J(t)=1\cos(100t), \text{ (A).}$$

1. Напряжение резистивного элемента:

$$u_R= Ri=100\cos(100t)= \\ =100\sin(100t+90^\circ), \text{ (В).}$$

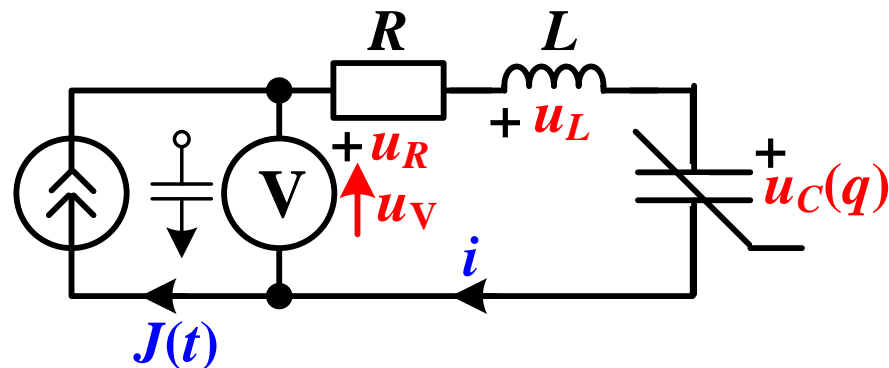
2. Напряжение индуктивного элемента:

$$u_L= Ldi/dt = -100\sin(100t)=100\sin(100t+180^\circ), \text{ (В).}$$

3. Напряжение нелинейного емкостного элемента:

$$i=J(t)=dq/dt, \text{ тогда } q=\int J(t)dt=10^{-2}\sin(100t), \text{ (Кл).}$$

$$u_C=10^8q^3 = 100\sin^3(100t)=75\sin(100t)-25\sin(300t), \text{ (В).}$$



4. Напряжение вольтметра (2-й закон Кирхгофа):

$$\begin{aligned} u_V &= u_R + u_L + u_C = 100 \sin(100t + 90^\circ) + \\ &+ 100 \sin(100t + 180^\circ) + 75 \sin(100t) - 25 \sin(300t) \rightarrow \\ &\rightarrow \left(100e^{j90^\circ} + 100e^{j180^\circ} + 75e^{j0^\circ} \right) - 25 \sin(300t) = \\ &= \left(103,1e^{j104^\circ} \right) - 25 \sin(300t) \rightarrow \\ &\rightarrow 103,1 \sin(100t + 104^\circ) + 25 \sin(300t + 180^\circ), (\text{В}). \end{aligned}$$

5. Показание вольтметра электростатической системы (действующее значение):

$$U_V = \sqrt{\frac{U_{m1}^2}{2} + \frac{U_{m3}^2}{2}} = \sqrt{\frac{103,1^2}{2} + \frac{25^2}{2}} \approx 75 (\text{В}).$$