

ТОЭ – часть 2

практическое занятие 10

Расчет нелинейных цепей с
периодическими переменными токами
методом эквивалентных синусоид

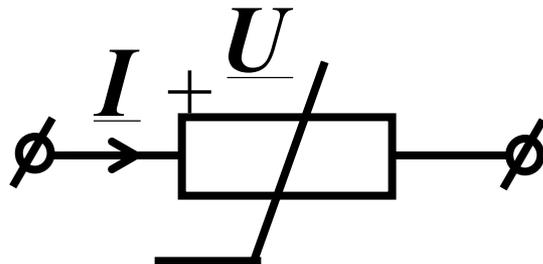
Метод эквивалентных синусоид применяется для приближенного расчета установившегося режима в нелинейных цепях с периодическими переменными напряжениями и токами, которые содержат нелинейные элементы и периодические источники с одинаковым периодом T .

При этом несинусоидальные напряжения и токи не имеют постоянных составляющих ($U_0=0$; $I_0=0$).

Несинусоидальные периодические напряжения $u(t)$ и токи $i(t)$ заменяются эквивалентными синусоидами с теми же действующими значениями U и I , с угловой частотой первой гармоники ω и таким углом сдвига фаз φ , чтобы активная мощность P осталась неизменной:

$$u(t) \approx \sqrt{2}U \sin(\omega t + \beta + \varphi); i(t) \approx \sqrt{2}I \sin(\omega t + \beta); P = UI \cos \varphi.$$

Нелинейные элементы задаются вольтамперными ВАХ $U(I)$ и фазоамперными ФАХ $\varphi(I)$ характеристиками для действующих значений. Далее применяется символический метод:



Задача 1

Дано:

$$\underline{E}=100e^{j60^\circ}, \text{ (В)}; \underline{Z}=100e^{j0^\circ} \text{ (Ом)};$$

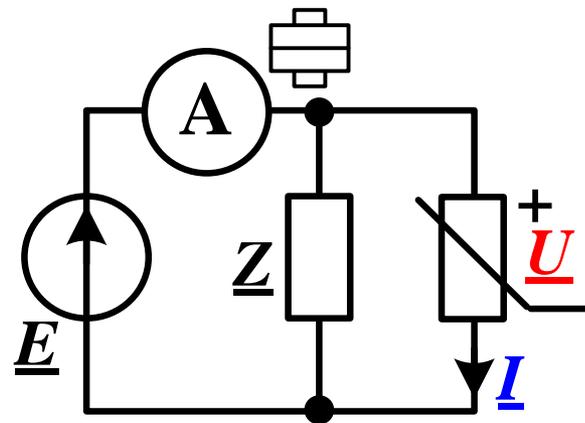
$$I=10^{-4}U^2, \text{ (А)} - \text{ВАХ (} U \text{ в вольтах)};$$

$$\varphi = -90^\circ + 30^\circ I, \text{ (Гр)} - \text{ФАХ (} I \text{ в амперах)}.$$

Определить:

показание амперметра $I_A = ?$ (А)

Комплексная схема с одним
нелинейным элементом и
с амперметром
электродинамической системы.



Решение

Все элементы параллельны ЭДС \underline{E} , поэтому:

$$\underline{U}_Z = \underline{U} = U e^{j\alpha} = \underline{E} = 100 e^{j60^\circ}, \text{ (В)}$$

тогда $U = E = 100$ (В), $\alpha = 60^\circ$.

1. Ток в комплексном сопротивлении $\underline{Z} = 100 e^{j0^\circ}$ (Ом):

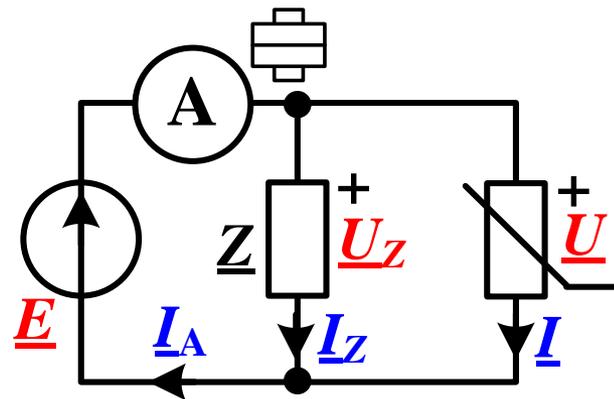
$$\underline{I}_Z = \underline{U}_Z / \underline{Z} = 1 e^{j60^\circ}, \text{ (А)}.$$

2. Ток нелинейного элемента:

$$U = 100 \text{ (В)}, I = 10^{-4} U^2 = 1 \text{ (А)}, \varphi = -90^\circ + 30^\circ I = -60^\circ,$$

$$\beta = \alpha - \varphi = 60^\circ - (-60^\circ) = 120^\circ.$$

В результате: $\underline{I} = I e^{j\beta} = 1 e^{j120^\circ}$ (А).



3. Ток амперметра (1-й закон Кирхгофа):

$$\underline{I}_A = \underline{I}_Z + \underline{I} = 1e^{j60^\circ} + 1e^{j120^\circ} = 1,732e^{j90^\circ} \text{ (A)}.$$

4. Показание амперметра электродинамической системы (действующее значение):

$$I_A = |\underline{I}_A| = 1,732 \text{ (A)}.$$

Задача 2

Дано:

$$\underline{I} = 1e^{j45^\circ}, \text{ (A)}; \underline{Z} = 100e^{-j45^\circ} \text{ (Ом)};$$

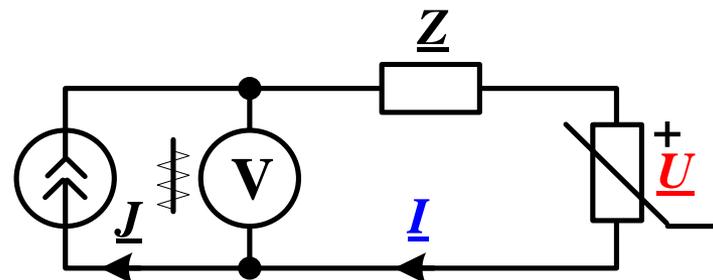
$$U = 100I^2, \text{ (В)} - \text{ВАХ (} I \text{ в амперах)};$$

$$\varphi = 22,5^\circ + 22,5^\circ I, \text{ (Гр)} - \text{ФАХ (} I \text{ в амперах)}.$$

Определить:

показание вольтметра $U_V = ?$ (В)

Комплексная схема с одним
нелинейным элементом и
с вольтметром
электромагнитной системы.

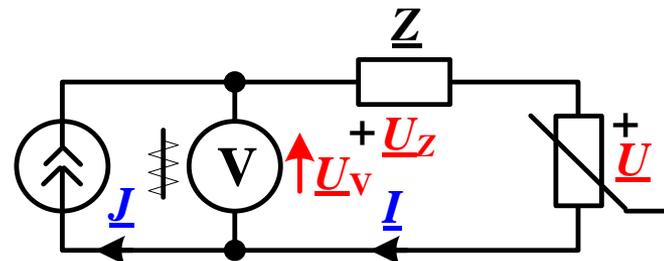


Решение

Все элементы последовательны \underline{J} , поэтому:

$$\underline{I} = I e^{j\beta} = \underline{J} = 1 e^{j45^\circ}, \text{ (A)}$$

тогда $I = J = 1 \text{ (A)}$, $\beta = 45^\circ$.



1. Напряжение на комплексном сопротивлении $\underline{Z} = 100 e^{-j45^\circ}$ (Ом):

$$\underline{U}_Z = \underline{Z} \cdot \underline{I} = 100 e^{j0^\circ}, \text{ (В)}.$$

2. Напряжение нелинейного элемента:

$$I = 1 \text{ (A)}, \quad U = 100 I^2 = 100 \text{ (В)}, \quad \varphi = 22,5^\circ + 22,5^\circ I = 45^\circ,$$

$$\alpha = \beta + \varphi = 45^\circ + 45^\circ = 90^\circ.$$

В результате: $\underline{U} = U e^{j\alpha} = 100 e^{j90^\circ} \text{ (В)}.$

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

$$\underline{U}_V = \underline{U}_Z + \underline{U} = 100e^{j0^\circ} + 100e^{j90^\circ} = 141,4e^{j45^\circ} \text{ (В)}.$$

4. Показание вольтметра электромагнитной системы (действующее значение):

$$U_V = |\underline{U}_V| = 141,4 \text{ (В)}.$$