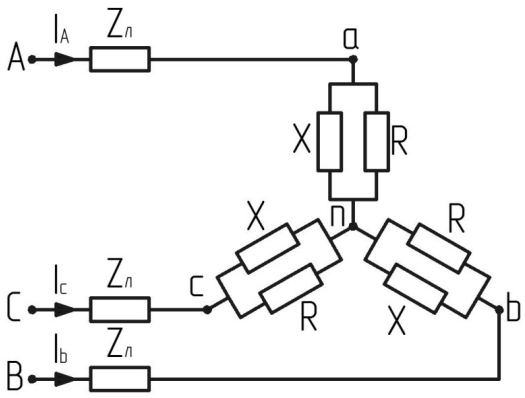
Вариант 3

РГР3

Задача 1



$R = 10$		Ом
$X = -10j$		Ом
$Z_л = 0.1 + 0.1j$		Ом
$U_ф = 380$		В

Нормальный режим

Решение

Напряжения источника

$U_A = U_ф = 380$ В

$U_B = U_A \cdot e^{-j \cdot 120deg} = -190 - 329.09j$ В

$U_C = U_A \cdot e^{j \cdot 120deg} = -190 + 329.09j$ В

$U_{AB} = U_A - U_B = 380 - (-190 - 329.09j) = 570 + 329.09j$ В

$|U_{AB}| = 658.18$ В $\quad \angle(U_{AB}) = 30$

$U_{BC} = U_B - U_C = -190 - 329.09j - (-190 + 329.09j) = -658.18j$ В

$|U_{BC}| = 658.18$ В $\quad \angle(U_{BC}) = -90$

$U_{CA} = U_C - U_A = -190 + 329.09j - 380 = -570 + 329.09j$ В

$|U_{CA}| = 658.18$ В $\quad \angle(U_{CA}) = 150$

Токи цепи

$$I_a = \frac{U_A}{\frac{R \cdot X}{R + X} + Z_л} = \frac{380}{\frac{10 \cdot -10j}{10 + -10j} + 0.1 + 0.1j} = 38.74 + 37.23j \text{ A}$$

$|I_a| = 53.73$ A $\quad \angle(I_a) = 43.85$

$$I_b = \frac{U_B}{\frac{R \cdot X}{R + X} + Z_л} = \frac{-190 - 329.09j}{\frac{10 \cdot -10j}{10 + -10j} + 0.1 + 0.1j} = 12.87 - 52.17j \text{ A}$$

$|I_b| = 53.73$ A $\quad \angle(I_b) = -76.15$

$$I_c = \frac{U_C}{\frac{R \cdot X}{R + X} + Z_л} = \frac{-190 + 329.09j}{\frac{10 \cdot -10j}{10 + -10j} + 0.1 + 0.1j} = -51.61 + 14.94j \text{ A}$$

$|I_c| = 53.73$ A $\quad \angle(I_c) = 163.85$

Напряжения линейных проводов

$U_{Aa} = I_a \cdot Z_л = (0.1 + 0.1j) \cdot (38.74 + 37.23j) = 0.15 + 7.6j$ В

$|U_{Aa}| = 7.6$ В $\angle(U_{Aa}) = 88.85$

$U_{Bb} = I_b \cdot Z_л = (0.1 + 0.1j) \cdot (12.87 - 52.17j) = 6.5 - 3.93j$ В

$|U_{Bb}| = 7.6$ В $\angle(U_{Bb}) = -31.15$

$U_{Cc} = I_c \cdot Z_л = (0.1 + 0.1j) \cdot (-51.61 + 14.94j) = -6.66 - 3.67j$ В

$|U_{Cc}| = 7.6$ В $\angle(U_{Cc}) = -151.15$

Напряжения нагрузки

$$U_a = I_a \cdot \frac{R \cdot X}{R + X} = (38.74 + 37.23j) \cdot \frac{10 \cdot -10j}{10 + -10j} = 379.85 - 7.6j \quad В$$

$|U_a| = 379.92$ В $\angle(U_a) = -1.15$

$$U_b = I_b \cdot \frac{R \cdot X}{R + X} = (12.87 - 52.17j) \cdot \frac{10 \cdot -10j}{10 + -10j} = -196.5 - 325.16j \quad В$$

$|U_b| = 379.92$ В $\angle(U_b) = -121.15$

$$U_c = I_c \cdot \frac{R \cdot X}{R + X} = (-51.61 + 14.94j) \cdot \frac{10 \cdot -10j}{10 + -10j} = -183.34 + 332.76j \quad В$$

$|U_c| = 379.92$ В $\angle(U_c) = 118.85$

$U_{ab} = U_a - U_b = 379.85 - 7.6j - (-196.5 - 325.16j) = 576.35 + 317.56j$ В

$|U_{ab}| = 658.05$ В $\angle(U_{ab}) = 28.85$

$U_{bc} = U_b - U_c = -196.5 - 325.16j - (-183.34 + 332.76j) = -13.16 - 657.92j$ В

$|U_{bc}| = 658.05$ В $\angle(U_{bc}) = -91.15$

$U_{ca} = U_c - U_a = -183.34 + 332.76j - (379.85 - 7.6j) = -563.19 + 340.35j$ В

$|U_{ca}| = 658.05$ В $\angle(U_{ca}) = 148.85$

Напряжение Bc в комплексной форме

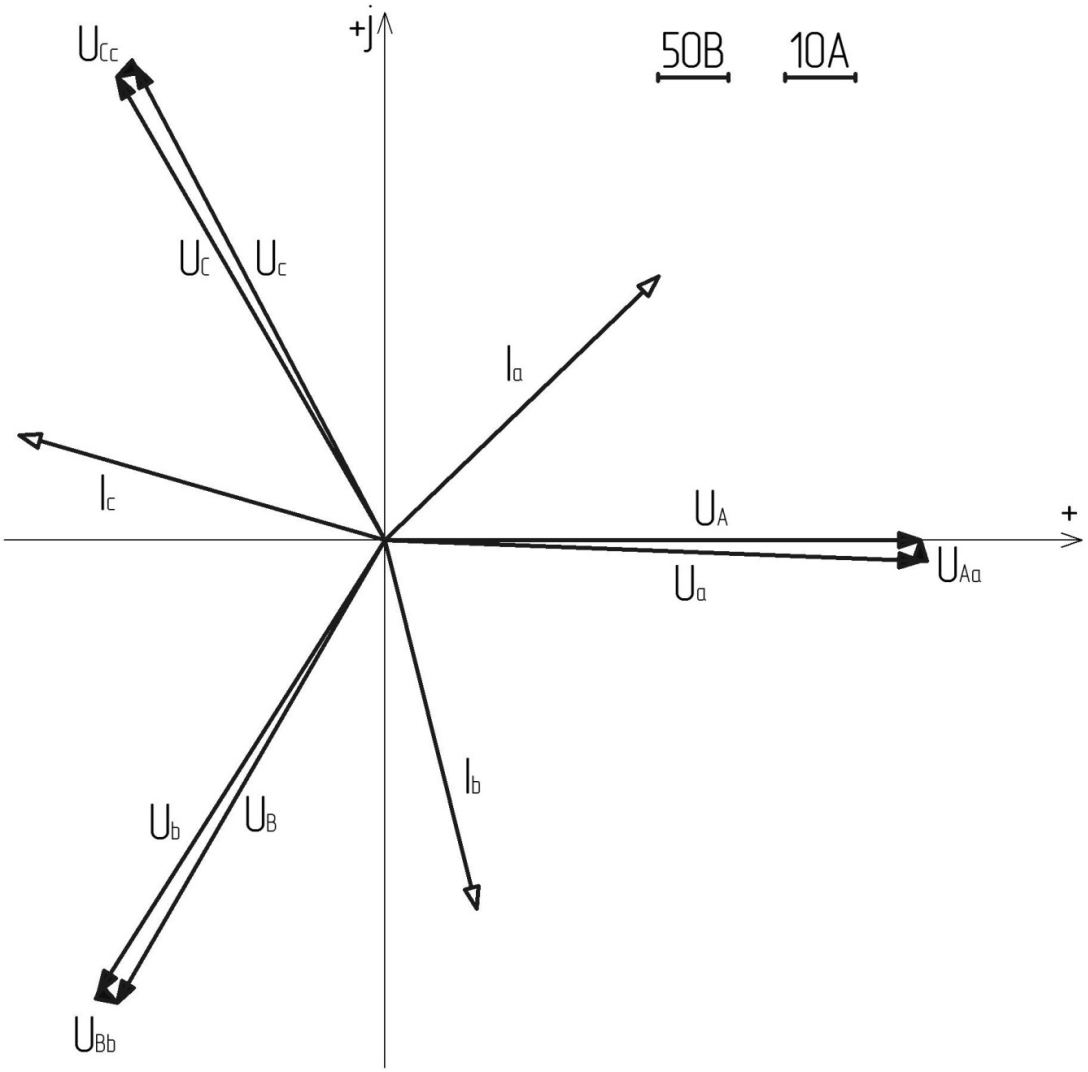
$U_{Bc} = U_{Bb} + U_{bc} = 6.5 - 3.93j + -13.16 - 657.92j = -6.66 - 661.85j$ В

$|U_{Bc}| = 661.88$ В $\angle(U_{Bc}) = -90.58$

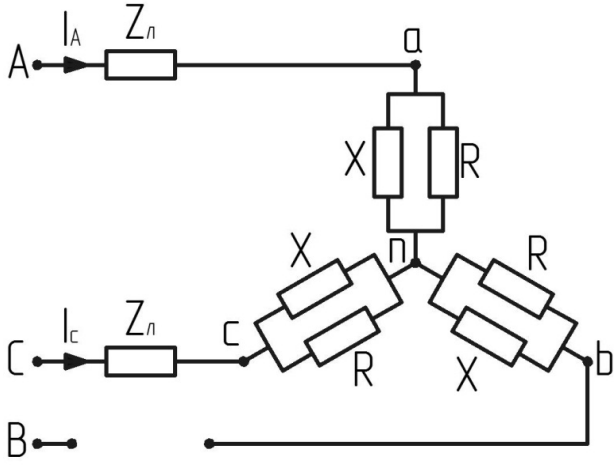
Мгновенное значение искомого напряжения

$u_{Bc}(t) = \sqrt{2} \cdot |U_{Bc}| \cdot \sin(314t + \arg(U_{Bc})) = 936.04 \cdot \sin(314 \cdot t - 1.58)$ В

Векторная диаграмма



Аварийный режим



Токи ветвей

$$I_a = \frac{-U_{CA}}{2Z_л + 2\cdot\frac{R\cdot X}{R + X}} = \frac{-(-570 + 329.09j)}{2\cdot(0.1 + 0.1j) + 2\cdot\frac{10\cdot -10j}{10 + -10j}} = 45.18 + 11.14j \quad A$$

$$\left|I_a\right| = 46.53 \quad A \quad \angle\left(I_a\right) = 13.85$$

$$I_c = -I_a = -(45.18 + 11.14j) = -45.18 - 11.14j \quad A$$

$$\left|I_c\right| = 46.53 \quad A \quad \angle\left(I_c\right) = -166.15$$

Напряжения цепи

$$U_{Aa} = I_a\cdot Z_л = (0.1 + 0.1j)\cdot(45.18 + 11.14j) = 3.4 + 5.63j \quad B$$

$$\left|U_{Aa}\right| = 6.58 \quad B \quad \angle\left(U_{Aa}\right) = 58.85$$

$$U_{Cc} = I_c\cdot Z_л = (0.1 + 0.1j)\cdot(-45.18 - 11.14j) = -3.4 - 5.63j \quad B$$

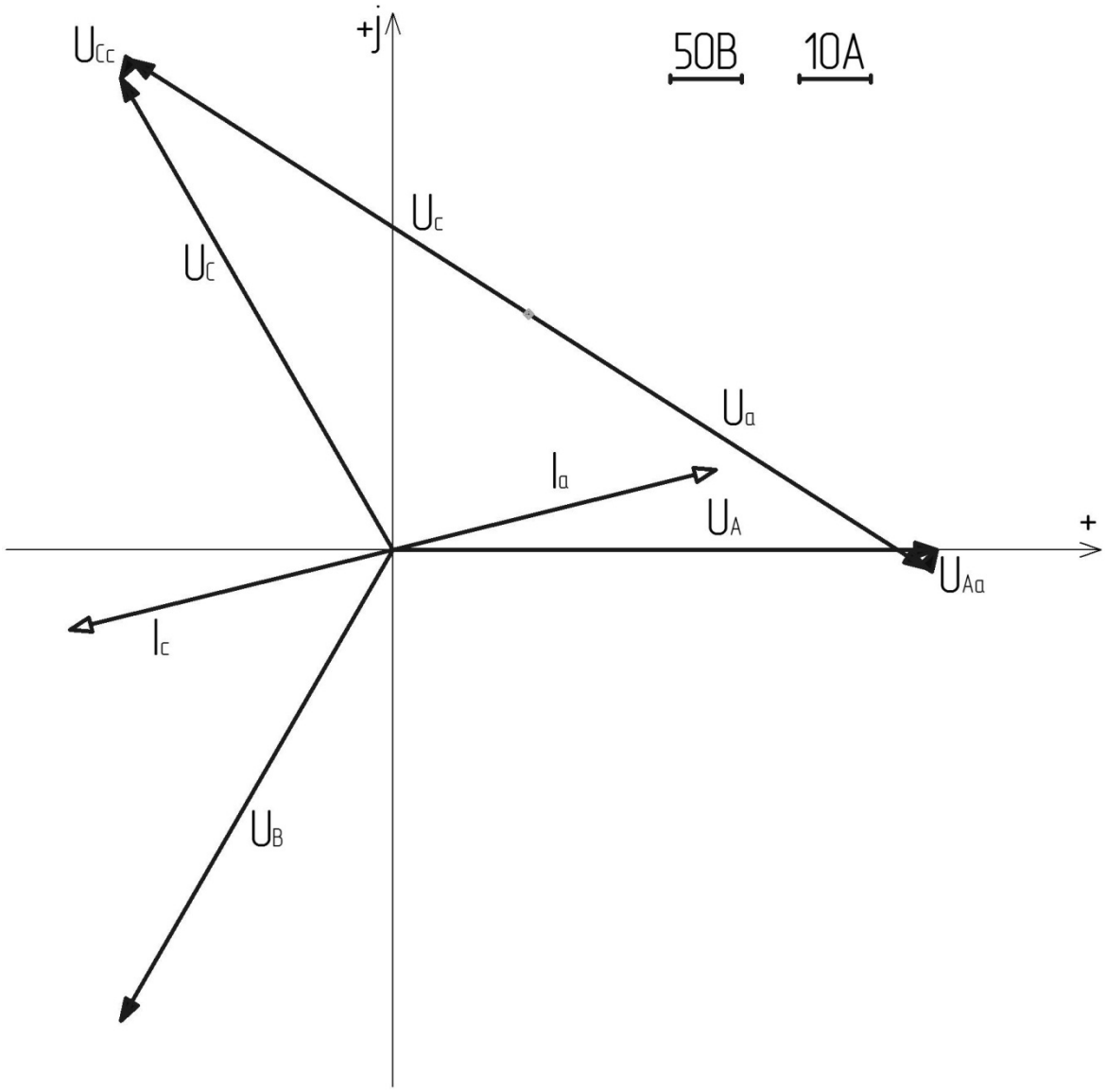
$$\left|U_{Cc}\right| = 6.58 \quad B \quad \angle\left(U_{Cc}\right) = -121.15$$

$$U_a = I_a\cdot\frac{R\cdot X}{R + X} = (45.18 + 11.14j)\cdot\frac{10\cdot -10j}{10 + -10j} = 281.6 - 170.18j \quad B$$

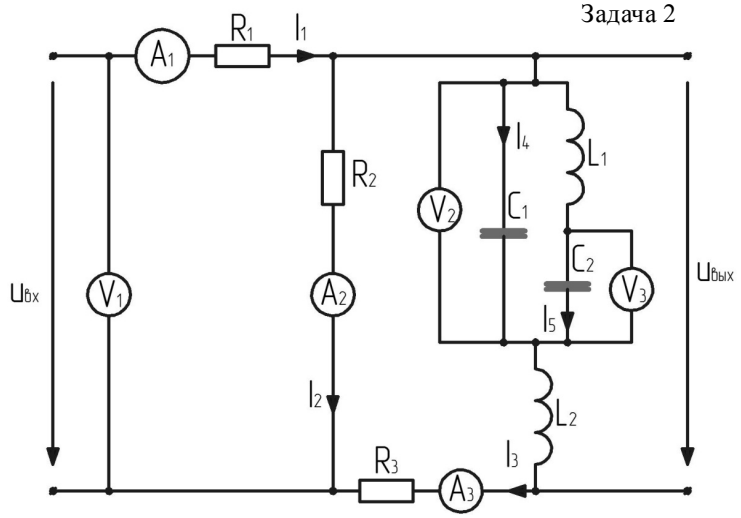
$$\left|U_a\right| = 329.02 \quad B \quad \angle\left(U_a\right) = -31.15$$

$$U_c = I_c\cdot\frac{R\cdot X}{R + X} = (-45.18 - 11.14j)\cdot\frac{10\cdot -10j}{10 + -10j} = -281.6 + 170.18j \quad B$$

$$\left|U_c\right| = 329.02 \quad B \quad \angle\left(U_c\right) = 148.85$$


+j
50В
10А
U_{Cc}
U_c
U_C
U_a
I_a
U_A
+
U_{Aa}
I_c
U_B

Задача 2



$L_1 = 0.01$		Гн
$L_2 = 0.01875$		Гн
$C_1 = 16.67 \cdot 10^{-6}$		Ф
$C_2 = 33.33 \cdot 10^{-6}$		Ф
$R_1 = 60$		Ом
$R_2 = 60$		Ом
$R_3 = 40$		Ом
$\omega = 1000$		c^{-1}

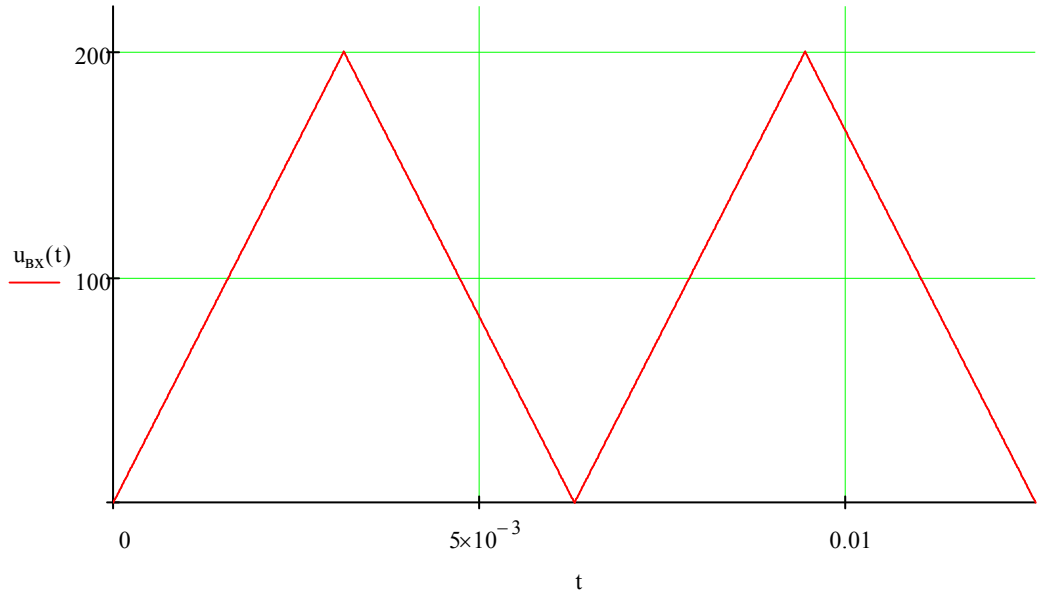
Решение

Входное напряжение

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \cdot \pi}{1 \times 10^{3}} = 6.28 \times 10^{-3} \quad c$$

$U_{вх} = 200$ В

$$u_{вх}(t) = \begin{cases} \frac{2U_{вх}}{T} \cdot t & \text{if } 0 \le t \le \frac{T}{2} \\ -\frac{2 \cdot U_{вх}}{T} \cdot (t - T) & \text{if } \frac{T}{2} \le t \le T \\ \frac{2U_{вх}}{T} \cdot (t - T) & \text{if } T \le t \le \frac{3T}{2} \\ -\frac{2 \cdot U_{вх}}{T} \cdot (t - 2T) & \text{if } \frac{3T}{2} \le t \le 2T \end{cases}$$



Разложим входное напряжение в ряд фурье

Постоянная составляющая

$$A_0 = \frac{1}{T}\cdot\int_0^T u_{вх}(t)\,dt = 100 \quad \text{В}$$

Амплитуды гармоник

$$A_1 = \frac{2}{T}\cdot\int_0^T u_{вх}(t)\cdot\cos(\omega\cdot t)\,dt = -81.06 \quad \text{В}$$

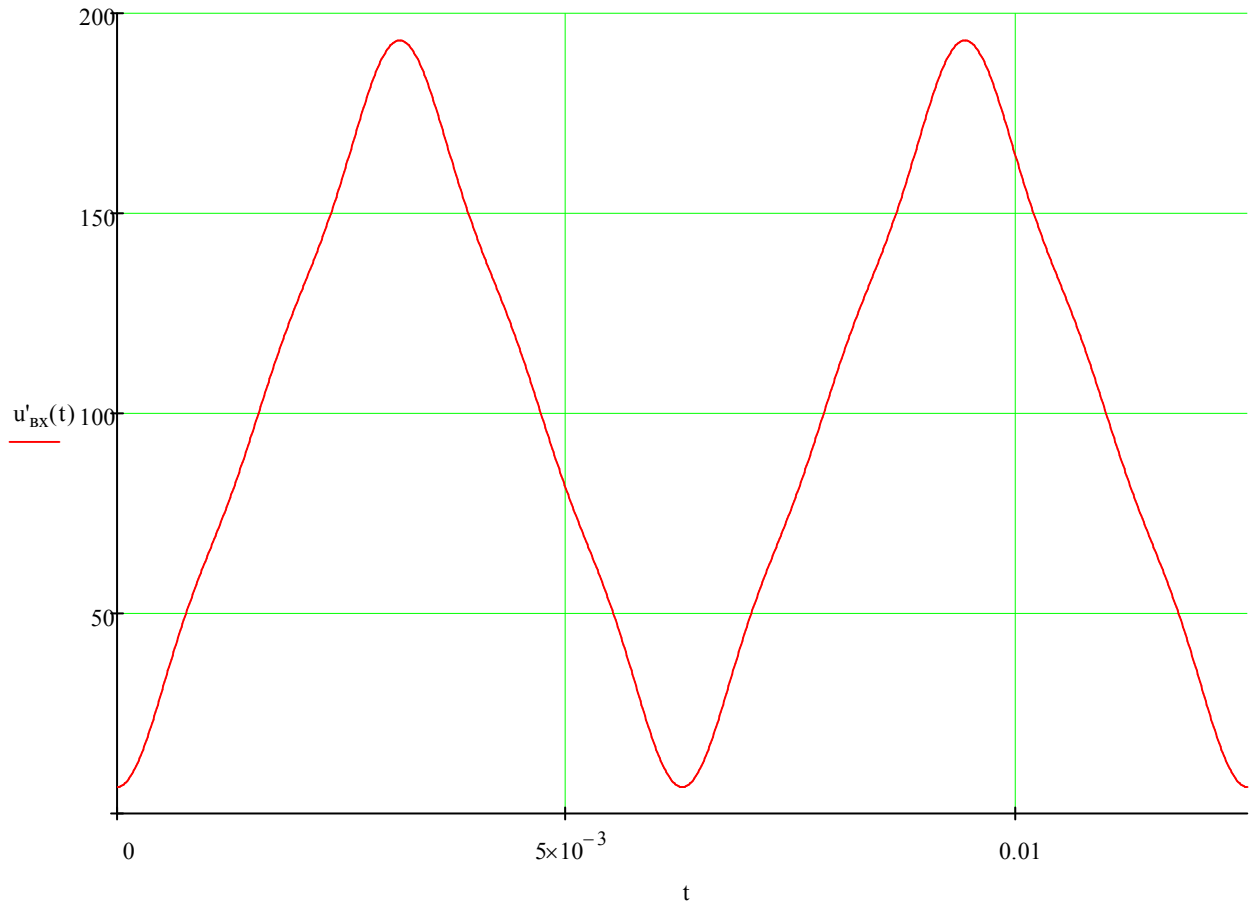
$$A_3 = \frac{2}{T}\cdot\int_0^T u_{вх}(t)\cdot\cos(3\omega\cdot t)\,dt = -9.01 \quad \text{В}$$

$$A_5 = \frac{2}{T}\cdot\int_0^T u_{вх}(t)\cdot\cos(5\omega\cdot t)\,dt = -3.24 \quad \text{В}$$

Входное напряжение в разложенном виде

$$u'_{вх}(t) = A_0 + A_1\cdot\cos(\omega\cdot t) + A_3\cdot\cos(3\omega\cdot t) + A_5\cdot\cos(5\omega\cdot t)$$

$$u'_{вх}(t) = 100 - 81.06\cdot\cos\left(1\times10^3\cdot t\right) - 3.24\cdot\cos\left(5\times10^3\cdot t\right) - 9.01\cdot\cos\left(3\times10^3\cdot t\right)$$



Рассчитаем токи цепи для постоянной составляющей

$U_{вх0} = A_0 = 100$ В

$I_{10} = \frac{U_{вх0}}{R_1 + R_2} = \frac{100}{60 + 60} = 0.83$ А

$I_{20} = I_{10} = 0.83$ А

Рассчитаем токи цепи для первой гармоники

$U_{вх1} = \frac{A_1}{\sqrt{2}} \cdot e^{j \cdot \frac{\pi}{2}} = -57.32j$ В

$X_{L11} = j \cdot \omega \cdot L_1 = j \cdot 1 \times 10^3 \cdot 0.01 = 10j$ Ом

$X_{L21} = j \cdot \omega \cdot L_2 = j \cdot 1 \times 10^3 \cdot 0.02 = 18.75j$ Ом

$X_{C11} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_1} = \frac{1}{j \cdot 1 \times 10^3 \cdot 16.67 \cdot 10^{-6}} = -59.99j$ Ом

$X_{C21} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_2} = \frac{1}{j \cdot 1 \times 10^3 \cdot 33.33 \cdot 10^{-6}} = -30j$ Ом

$$I_{11} = \frac{U_{вх1}}{R_1 + \dfrac{R_2\cdot\left[R_3 + X_{L21} + \dfrac{X_{C11}\cdot(X_{L11} + X_{C21})}{X_{C11} + X_{L11} + X_{C21}}\right]}{R_2 + R_3 + X_{L21} + \dfrac{X_{C11}\cdot(X_{L11} + X_{C21})}{X_{C11} + X_{L11} + X_{C21}}}} = \frac{-57.32j}{60 + \dfrac{60\cdot\left[40 + 18.75j + \dfrac{-59.99j\cdot(10j + -30j)}{-59.99j + 10j + -30j}\right]}{60 + 40 + 18.75j + \dfrac{-59.99j\cdot(10j + -30j)}{-59.99j + 10j + -30j}}} = -0.01 - 0.6$$

$|I_{11}| = 0.68$ A $\angle(I_{11}) = -90.92$

$$I_{31} = I_{11}\cdot\frac{R_2}{R_2 + R_3 + X_{L21} + \dfrac{X_{C11}\cdot(X_{L11} + X_{C21})}{X_{C11} + X_{L11} + X_{C21}}} = (-0.01 - 0.68j)\cdot\frac{60}{60 + 40 + 18.75j + \dfrac{-59.99j\cdot(10j + -30j)}{-59.99j + 10j + -30j}} = -0.0$$

$I_{31} = -0.02 - 0.41j$ A $|I_{31}| = 0.41$ A $\angle(I_{31}) = -93.07$

$I_{21} = I_{11} - I_{31} = -0.01 - 0.68j - (-0.02 - 0.41j) = 0.01 - 0.27j$ A

$|I_{21}| = 0.27$ A $\angle(I_{21}) = -87.71$

$$I_{41} = I_{31}\cdot\frac{X_{L11} + X_{C21}}{X_{C11} + X_{L11} + X_{C21}} = (-0.02 - 0.41j)\cdot\frac{10j + -30j}{-59.99j + 10j + -30j} = -5.47\times 10^{-3} - 0.1j$$ A

$|I_{41}| = 0.1$ A $\angle(I_{41}) = -93.07$

$I_{51} = I_{31} - I_{41} = -0.02 - 0.41j - \left(-5.47\times 10^{-3} - 0.1j\right) = -0.02 - 0.31j$ A

$|I_{51}| = 0.31$ A $\angle(I_{51}) = -93.07$

Напряжения цепи для первой гармоники соответствующие вольтметрам

$U_{21} = I_{41}\cdot X_{C11} = \left(-5.47\times 10^{-3} - 0.1j\right)\cdot -59.99j = -6.12 + 0.33j$ B

$U_{31} = I_{51}\cdot X_{C21} = (-0.02 - 0.31j)\cdot -30j = -9.19 + 0.49j$ B

$U_{11} = U_{вх1} = -57.32j$ B

Рассчитаем токи цепи для третьей гармоники

$$U_{вх3} = \frac{A_3}{\sqrt{2}}\cdot e^{j\cdot\frac{\pi}{2}} = -6.37j$$ B

$X_{L13} = j\cdot 3\omega\cdot L_1 = j\cdot 3\cdot 1\times 10^{3}\cdot 0.01 = 30j$ Ом

$X_{L23} = j\cdot 3\omega\cdot L_2 = j\cdot 3\cdot 1\times 10^{3}\cdot 0.02 = 56.25j$ Ом

$$X_{C13} = \frac{1}{j\cdot 3\omega\cdot C_1} = \frac{1}{j\cdot 3\cdot 1\times 10^{3}\cdot 16.67\cdot 10^{-6}} = -20j$$ Ом

$$X_{C23} = \frac{1}{j\cdot 3\omega\cdot C_2} = \frac{1}{j\cdot 3\cdot 1\times 10^{3}\cdot 33.33\cdot 10^{-6}} = -10j$$ Ом

$$I_{13} = \frac{U_{вх3}}{R_1 + \frac{R_2 \cdot \left[R_3 + X_{L23} + \frac{X_{C13} \cdot (X_{L13} + X_{C23})}{X_{C13} + X_{L13} + X_{C23}} \right]}{R_2 + R_3 + X_{L23} + \frac{X_{C13} \cdot (X_{L13} + X_{C23})}{X_{C13} + X_{L13} + X_{C23}}}} = \frac{-6.37j}{60 + \frac{60 \cdot \left[40 + 56.25j + \frac{-20j \cdot (30j + -10j)}{-20j + 30j + -10j} \right]}{60 + 40 + 56.25j + \frac{-20j \cdot (30j + -10j)}{-20j + 30j + -10j}}} = 1.19 \times 10^{-5} -$$

$$I_{13} = 1.19 \times 10^{-5} - 0.05j \quad A$$

$$|I_{13}| = 0.05 \quad A \qquad \angle(I_{13}) = -89.99$$

$$I_{33} = I_{13} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3 + X_{L23} + \frac{X_{C13} \cdot (X_{L13} + X_{C23})}{X_{C13} + X_{L13} + X_{C23}}} = \left(1.19 \times 10^{-5} - 0.05j\right) \cdot \frac{60}{60 + 40 + 56.25j + \frac{-20j \cdot (30j + -10j)}{-20j + 30j + -10j}} = 2$$

$$|I_{33}| = 2.39 \times 10^{-5} \quad A \qquad \angle(I_{33}) = -0.03$$

$$I_{23} = I_{13} - I_{33} = 1.19 \times 10^{-5} - 0.05j - \left(2.39 \times 10^{-5} - 1.25j \times 10^{-8}\right) = -1.19 \times 10^{-5} - 0.05j \quad A$$

$$|I_{23}| = 0.05 \quad A \qquad \angle(I_{23}) = -90.01$$

$$I_{43} = I_{33} \cdot \frac{X_{L13} + X_{C23}}{X_{C13} + X_{L13} + X_{C23}} = \left(2.39 \times 10^{-5} - 1.25j \times 10^{-8}\right) \cdot \frac{30j + -10j}{-20j + 30j + -10j} = 0.16 - 8.37j \times 10^{-5} \quad A$$

$$|I_{43}| = 0.16 \quad A \qquad \angle(I_{43}) = -0.03$$

$$I_{53} = I_{33} - I_{43} = 2.39 \times 10^{-5} - 1.25j \times 10^{-8} - \left(0.16 - 8.37j \times 10^{-5}\right) = -0.16 + 8.37j \times 10^{-5} \quad A$$

$$|I_{53}| = 0.16 \quad A \qquad \angle(I_{53}) = 179.97$$

Напряжения цепи для первой гармоники соответствующие вольтметрам

$$U_{23} = I_{43} \cdot X_{C13} = \left(0.16 - 8.37j \times 10^{-5}\right) \cdot -20j = -1.67 \times 10^{-3} - 3.19j \quad B$$

$$U_{33} = I_{53} \cdot X_{C23} = \left(-0.16 + 8.37j \times 10^{-5}\right) \cdot -10j = 8.37 \times 10^{-4} + 1.59j \quad B$$

$$U_{13} = U_{вх3} = -6.37j \quad B$$

Определим показания приборов электродинамической системы

$$I_{A1} = \sqrt{I_{10}{}^2 + I_{11.}{}^2 + I_{13.}{}^2} = \sqrt{0.83^2 + 0.68^2 + 0.05^2} = 1.08 \quad A$$

$$I_{A2} = \sqrt{I_{20}{}^2 + I_{21.}{}^2 + I_{23.}{}^2} = \sqrt{0.83^2 + 0.27^2 + 0.05^2} = 0.88 \quad A$$

$$I_{A3} = \sqrt{I_{31.}{}^2 + I_{33.}{}^2} = \sqrt{0.41^2 + \left(2.39 \times 10^{-5}\right)^2} = 0.41 \quad A$$

$$U_{V1} = \sqrt{U_{вх0}{}^2 + U_{вх1.}{}^2 + U_{вх3.}{}^2} = \sqrt{100^2 + 57.32^2 + 6.37^2} = 115.44 \quad B$$

$$U_{V2} = \sqrt{U_{21.}{}^2 + U_{23.}{}^2} = \sqrt{6.13^2 + 3.19^2} = 6.91 \quad B$$

$$U_{V3} = \sqrt{U_{31.}{}^2 + U_{33.}{}^2} = \sqrt{9.2^2 + 1.59^2} = 9.34 \quad \text{В}$$

Запишем мгновенное значение входного напряжения

$$u'_{вх}(t) = A_0 + A_1 \cdot \cos(\omega \cdot t) + A_3 \cdot \cos(3\omega \cdot t) = -9.01 \cdot \cos\left(3 \times 10^3 \cdot t\right) + -81.06 \cdot \cos\left(1 \times 10^3 \cdot t\right) + 100 \quad \text{В}$$

Активная мощность цепи

$$P_0 = I_{10} \cdot U_{вх0} = 0.83 \cdot 100 = 83.33 \quad \text{Вт}$$

$$P_1 = \mathrm{Re}\left(I^*_{11} \cdot U_{вх1}\right) = \mathrm{Re}[(-57.32\mathrm{j}) \cdot (-0.01 + 0.68\mathrm{j})] = 39.07 \quad \text{Вт}$$

$$P_3 = \mathrm{Re}\left(I^*_{13} \cdot U_{вх3}\right) = \mathrm{Re}\left[(-6.37\mathrm{j}) \cdot \left(1.19 \times 10^{-5} + 0.05\mathrm{j}\right)\right] = 0.34 \quad \text{Вт}$$

$$P = P_0 + P_1 + P_3 = 83.33 + 39.07 + 0.34 = 122.75 \quad \text{Вт}$$

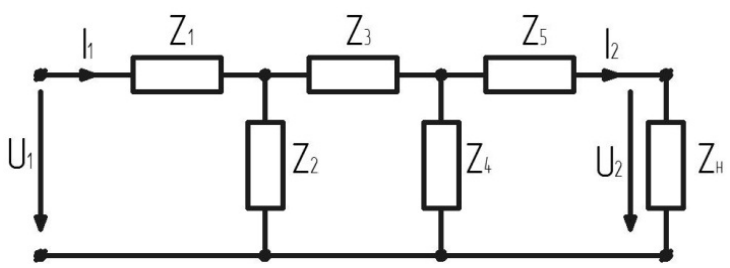
Полная мощность цепи

$$S = I_{A1} \cdot U_{V1} = 1.08 \cdot 115.44 = 124.44 \quad \text{ВА}$$

Коэффициент мощности цепи

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{122.75}{124.44} = 0.99$$

Задача 3



$Z_1 = 2\mathrm{j}$ Ом

$Z_2 = 1$ Ом

$Z_3 = 2\mathrm{j}$ Ом

$Z_4 = 1$ Ом

$Z_5 = 2\mathrm{j}$ Ом

$U_1 = 20 \cdot e^{90\mathrm{j} \cdot \mathrm{deg}} = 20\mathrm{j}$ В

Сопротивления холостого хода и короткого замыкания четырехполюсника

$$Z_{1x} = Z_1 + \frac{Z_2 \cdot (Z_3 + Z_4)}{Z_2 + Z_3 + Z_4} = 2\mathrm{j} + \frac{(1 + 2\mathrm{j})}{1 + 2\mathrm{j} + 1} = 0.75 + 2.25\mathrm{j} \quad \text{Ом}$$

$$Z_{1k} = Z_1 + \frac{Z_2 \cdot \left(Z_3 + \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} \right)}{Z_2 + Z_3 + \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5}} = 2j + \frac{\left(2j + \frac{2j}{1 + 2j} \right)}{1 + 2j + \frac{2j}{1 + 2j}} = 0.8 + 2.27j \quad \text{Ом}$$

$$Z_{2k} = Z_5 + \frac{Z_4 \cdot \left(Z_3 + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)}{Z_4 + Z_3 + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}} = 2j + \frac{\left(2j + \frac{2j}{1 + 2j} \right)}{1 + 2j + \frac{2j}{1 + 2j}} = 0.8 + 2.27j \quad \text{Ом}$$

Коэффициенты четырехполюсника

$$A = \sqrt{\frac{Z_{1x} \cdot Z_{1k}}{Z_{2k} \cdot \left(Z_{1x} - Z_{1k} \right)}} = \sqrt{\frac{(0.8 + 2.27j) \cdot (0.75 + 2.25j)}{(0.8 + 2.27j) \cdot [0.75 + 2.25j - (0.8 + 2.27j)]}} = 3 - 6j$$

$$B = Z_{2k} \cdot A = (3 - 6j) \cdot (0.8 + 2.27j) = 16 + 2j \quad \text{Ом}$$

$$C = \frac{A}{Z_{1x}} = \frac{3 - 6j}{0.75 + 2.25j} = -2 - 2j \quad \text{См}$$

$$D = A \cdot \frac{Z_{2k}}{Z_{1k}} = (3 - 6j) \cdot \frac{0.8 + 2.27j}{0.8 + 2.27j} = 3 - 6j$$

Проверим соотношение

$$A \cdot D - B \cdot C = (3 - 6j) \cdot (3 - 6j) - (-2 - 2j) \cdot (16 + 2j) = 1$$

Соотношение выполняется

Характеристическое сопротивление четырехполюсника

$$Z_c = \sqrt{\frac{B}{C}} = \sqrt{\frac{16 + 2j}{-2 - 2j}} = 0.77 + 2.26 \, \text{Ом}$$

Постоянная передачи

$$g = \ln\left(A + \sqrt{B \cdot C} \right) = \ln\left[3 - 6j + \sqrt{(-2 - 2j) \cdot (16 + 2j)} \right] = 2.6 - 1.11j$$

При холостом ходе на втоичных зажимах вторичных ток равен нулю следовательно уравнение четырехполюсника перейдет к следующему виду

$$U_1 = A \cdot U_2$$

Откуда коэффициент передачи

$$K(\omega) = \frac{U_2(\omega)}{U_1(\omega)} = \frac{1}{A(\omega)} = \sqrt{\frac{Z_{2k}(\omega) \cdot \left(Z_{1x}(\omega) - Z_{1k}(\omega) \right)}{Z_{1x}(\omega) \cdot Z_{1k}(\omega)}}$$

$$C_1 = \frac{1}{Z_1 \cdot j \cdot 314} = -1.59 \times 10^{-3} \quad \Phi$$

$$C_3 = \frac{1}{Z_3 \cdot j \cdot 314} = -1.59 \times 10^{-3} \quad \Phi$$

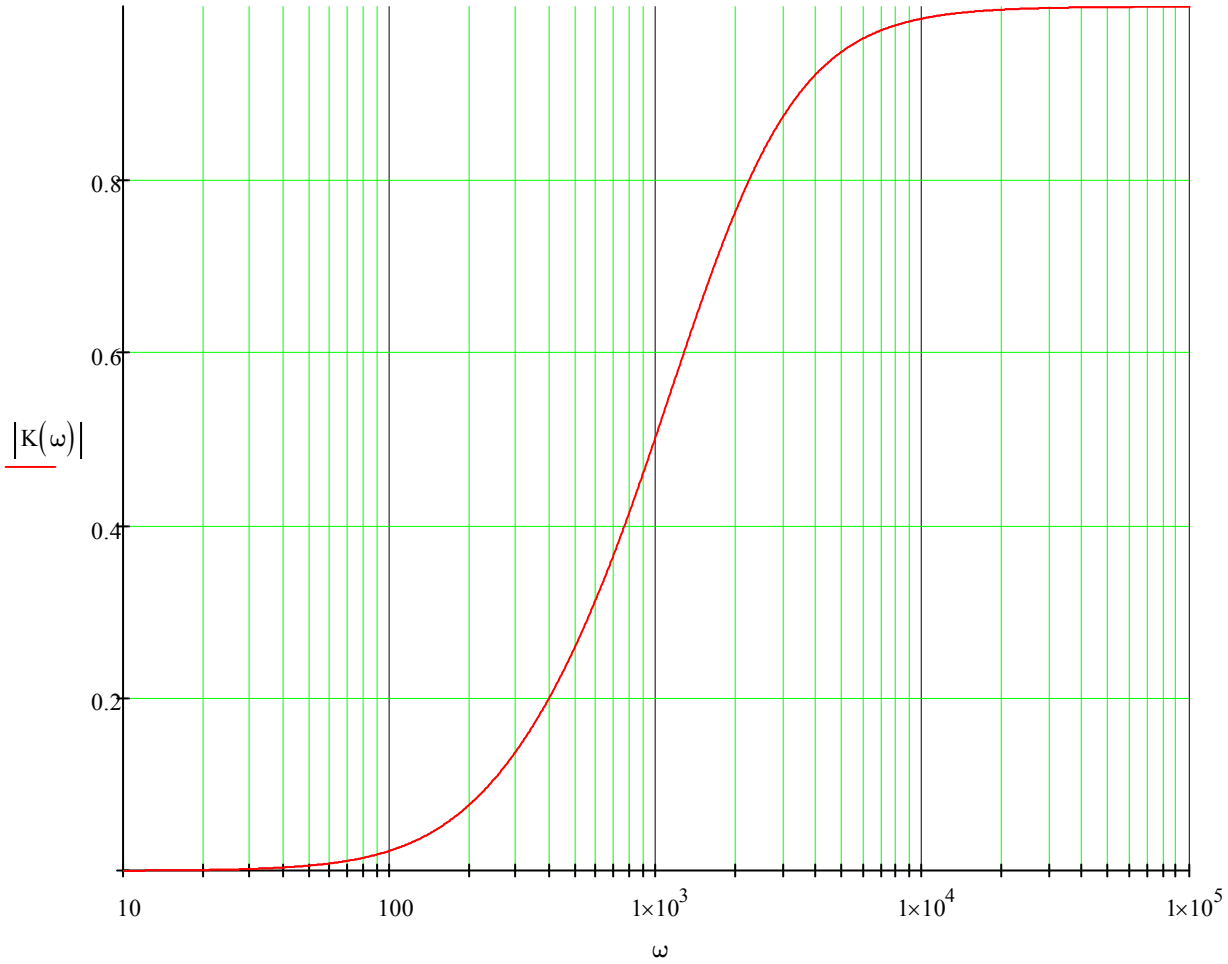
$$Z_{1x}(\omega) = \frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_1} + \frac{Z_2\cdot\left(\frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_3} + Z_4\right)}{Z_2 + \frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_3} + Z_4}$$

$$Z_{1k}(\omega) = \frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_1} + \frac{Z_2\cdot\left(\frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_3} + \frac{Z_4\cdot Z_5}{Z_4 + Z_5}\right)}{Z_2 + \frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_3} + \frac{Z_4\cdot Z_5}{Z_4 + Z_5}}$$

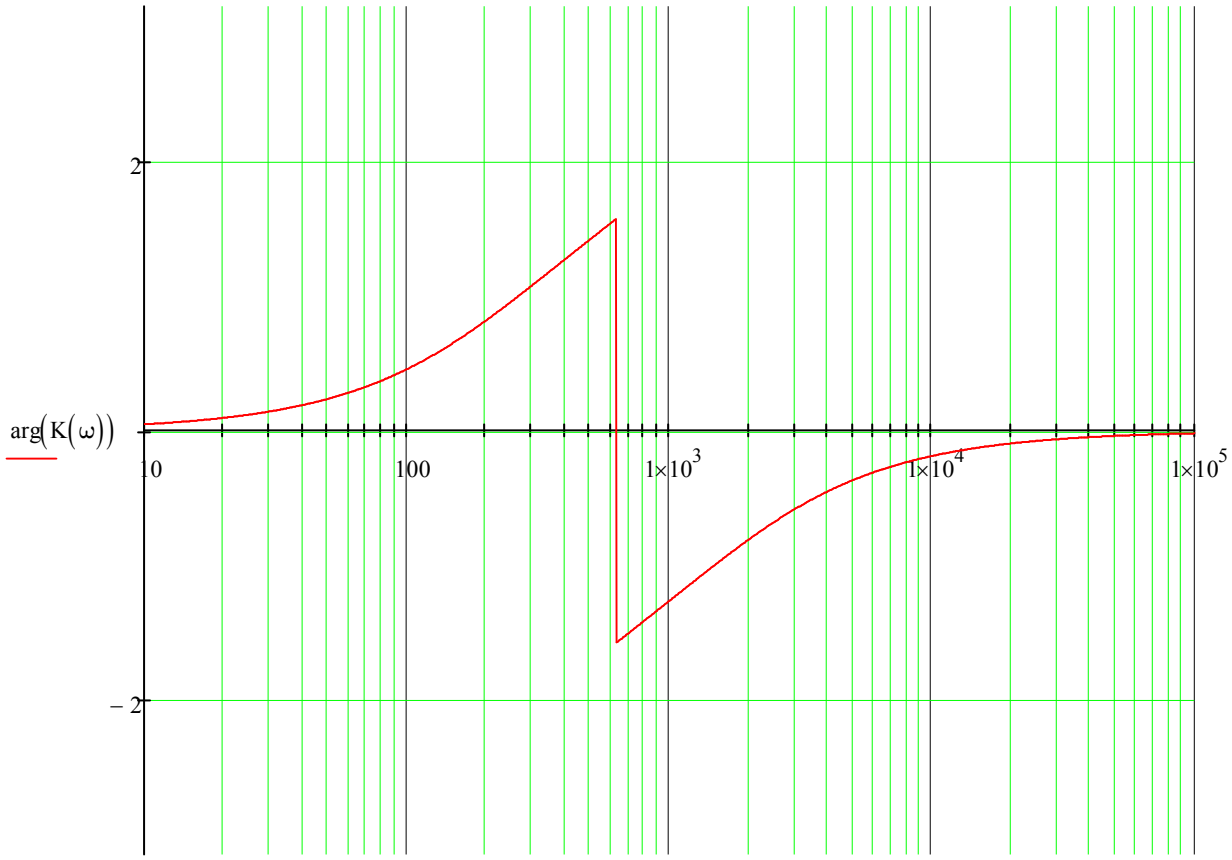
$$Z_{2k}(\omega) = Z_5 + \frac{Z_4\cdot\left(\frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_3} + \frac{\frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_1}\cdot Z_2}{\frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_1} + Z_2}\right)}{Z_4 + \frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_3} + \frac{\frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_1}\cdot Z_2}{\frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_1} + Z_2}}$$

$$K(\omega) = \sqrt{\frac{Z_{2k}(\omega)\cdot\left(Z_{1x}(\omega) - Z_{1k}(\omega)\right)}{Z_{1x}(\omega)\cdot Z_{1k}(\omega)}}$$

Амплитудно-частотная характеристика



Фазо-частотная характеристика (размерность радианы)



Для заданных параметров цепи и заданного входного напряжения определим входной ток и выходные ток и напряжени

$Z_н = Z_c$ При этом $Z_{вх} = Z_c = 0.77 + 2.26j$ Ом

Откуда

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_{вх}} = \frac{20j}{0.77 + 2.26j} = 7.92 + 2.72j \quad A$$

$$U_1 = A \cdot U_2 + B \cdot I_2$$

$$I_1 = C \cdot U_2 + D \cdot I_2$$

$$\frac{U_1}{B} = \frac{A}{B} \cdot U_2 + I_2$$

$$\frac{I_1}{D} = \frac{C}{D} \cdot U_2 + I_2$$

$$\frac{U_1}{B} - \frac{I_1}{D} = \left(\frac{A}{B} - \frac{C}{D}\right) \cdot U_2$$

$$U_2 = \frac{\frac{U_1}{B} - \frac{I_1}{D}}{\frac{A}{B} - \frac{C}{D}} = \frac{\frac{20j}{16 + 2j} - \frac{7.92 + 2.72j}{3 - 6j}}{\frac{3 - 6j}{16 + 2j} - \frac{-2 - 2j}{3 - 6j}} = -1.33 + 0.66j \quad \text{B}$$

$$|U_2| = 1.49 \quad \text{B} \qquad \angle(U_2) = 153.69$$

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_c} = \frac{-1.33 + 0.66j}{0.77 + 2.26j} = 0.08 + 0.62j \quad \text{A}$$

Рассчитаем напряжения для построения топографической диаграммы

$U_{Z1} = I_1 \cdot Z_1 = (7.92 + 2.72j) \cdot 2j = -5.44 + 15.85j$ B $|U_{Z1}| = 16.75$ B $\angle(U_{Z1}) = 108.94$

$U_{Z2} = U_1 - U_{Z1} = 20j - (-5.44 + 15.85j) = 5.44 + 4.15j$ B $|U_{Z2}| = 6.84$ B $\angle(U_{Z2}) = 37.38$

$$I_{Z2} = \frac{U_{Z2}}{Z_2} = \frac{5.44 + 4.15j}{1} = 5.44 + 4.15j \quad \text{A}$$

$I_{Z3} = I_1 - I_{Z2} = 7.92 + 2.72j - (5.44 + 4.15j) = 2.49 - 1.44j$ A

$U_{Z3} = I_{Z3} \cdot Z_3 = (2.49 - 1.44j) \cdot 2j = 2.87 + 4.97j$ B $|U_{Z3}| = 5.74$ B $\angle(U_{Z3}) = 60$

$U_{Z4} = U_{Z2} - U_{Z3} = 5.44 + 4.15j - (2.87 + 4.97j) = 2.57 - 0.82j$ B $|U_{Z4}| = 2.69$ B $\angle(U_{Z4}) = -17.69$

$U_{Z5} = U_{Z4} - U_2 = 2.57 - 0.82j - (-1.33 + 0.66j) = 3.9 - 1.48j$ B $|U_{Z5}| = 4.17$ B $\angle(U_{Z5}) = -20.75$

Топографическая диаграмма