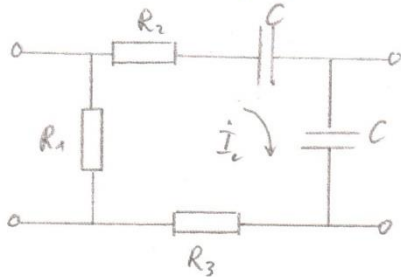


Домашняя работа №2

Медведев
Александр
ИУ6-32Б

- №1. Вывести в виде формулы зависимость комплексного коэффициента передачи напряжения от частоты.



$$\begin{aligned} R_1 &= 25 \Omega \\ R_2 &= 15 \Omega \\ R_3 &= 25 \Omega \\ C &= 200 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \end{aligned}$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_1}{R_2 + R_3 - j \frac{2}{\omega C}} \quad \dot{U}_2 = \dot{I}_C (-j \frac{1}{\omega C}) = \frac{\dot{U}_1 (-j \frac{1}{\omega C})}{R_2 + R_3 - j \frac{2}{\omega C}}$$

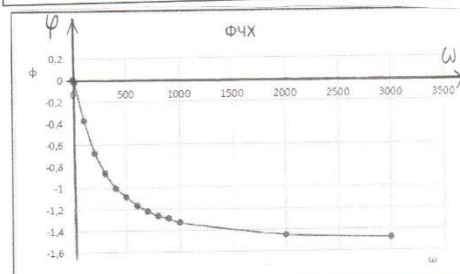
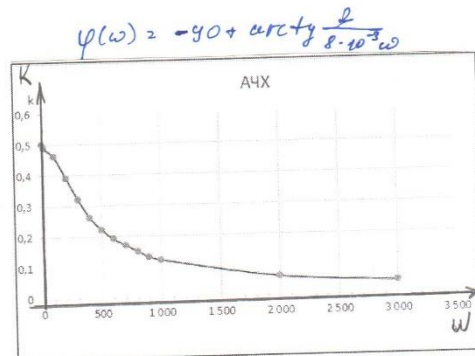
$$K(\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{U}_1 (-j \frac{1}{\omega C})}{R_2 + R_3 - j \frac{2}{\omega C}} \cdot \frac{1}{\dot{U}_1} = \frac{-j}{40 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \omega - j 2} = \frac{-j}{8 \cdot 10^{-3} \omega - j 2}$$

$$= \frac{1 e^{-j 90}}{\sqrt{64 \cdot 10^{-6} \omega^2 + 4} e^{-j \arctan \frac{2}{8 \cdot 10^{-3} \omega}}}$$

$$K_u(\omega) = \frac{1}{\sqrt{64 \cdot 10^{-6} \omega^2 + 4}} e^{j(-90 + \arctan \frac{2}{8 \cdot 10^{-3} \omega})}$$

- №2 Вывести формулы для АЧХ и ФЧХ и построить их в диапазоне частот от 0 до частоты, при которой значение $|K_u(\omega)|$ уменьшится не менее чем в 10 раз. $|K_u(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{64 \cdot 10^{-6} \omega^2 + 4}}$

$\omega \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$ K_u(\omega) $	$\varphi (\text{рад})$
0	0,50	0
10	0,49	-0,08
100	0,46	-0,38
200	0,39	-0,68
300	0,32	-0,87
400	0,26	-1,01
500	0,22	-1,09
600	0,19	-1,12
800	0,17	-1,22
1000	0,15	-1,25
2000	0,12	-1,33
3000	0,06	-1,45
4000	0,04	-1,48



н3 Построить годограф Найквиста передаточной функции при разных частотах в диапазоне частот от 0 до ∞ на комплексной плоскости.

На годографе отметить точки, соответствующие частотам 0, 10, 100, $10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ и ∞ значению частоты.

$$K = \frac{-j}{(8 \cdot 10^{-3} \omega - j2)} \cdot \frac{(8 \cdot 10^{-3} \omega + j2)}{(8 \cdot 10^{-3} \omega + j2)} = \frac{2 - j8 \cdot 10^{-3} \omega}{64 \cdot 10^{-6} \omega^2 + 4} = \frac{2}{64 \cdot 10^{-6} \omega^2 + 4} - j \frac{8 \cdot 10^{-3} \omega}{64 \cdot 10^{-6} \omega^2 + 4}$$

$\text{Re}(K) \qquad \qquad \qquad \text{Im}(K)$

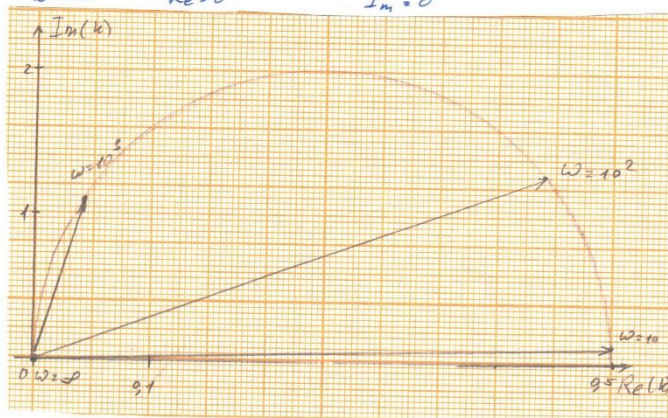
$$\omega = 0 \quad \text{Re} = \frac{1}{2} = 0,5 \quad \text{Im} = 0$$

$$\omega = 10 \quad \text{Re} = 0,49 \quad \text{Im} = 0,02$$

$$\omega = 10^2 \quad \text{Re} = 0,43 \quad \text{Im} = 0,12$$

$$\omega = 10^3 \quad \text{Re} = 0,03 \quad \text{Im} = 0,12$$

$$\omega = \infty \quad \text{Re} = 0 \quad \text{Im} = 0$$

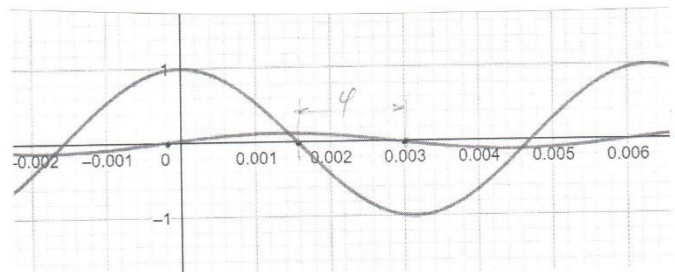


н4 Подключить ко входу схемы источник гармонического напряжения с амплитудой 1 В и с частотой $10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Рассчитать амплитуду и фазу напряжения на выходе. Построить временные диаграммы напряжений на входе и выходе четырёхполюсника в установившемся режиме в одной системе координат. Ответить и указать значение сдвига фазы выходного напряжения относительно входного.

$$U_2 = K_u U_1 = \frac{e^{j(-90^\circ + \arctg \frac{1}{4 \cdot 10^{-3} \omega})}}{\sqrt{64 \cdot 10^{-6} \omega^2 + 4}} \cdot 1 e^{j90^\circ} = 0,12 e^{-j46^\circ}$$

$$\varphi_2 = -46^\circ$$

$$U_{2m} = 0,12 \text{ В}$$



15. Подключить ко входу схемы источник напряжения в виде симметричного тригонального меандра с амплитудой 1В и $\omega = 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Рассчитать значение амплитуд и фаз гармоник выходного сигнала с номерами от 1 по 9, построить их на отдельных графиках. Построить временные диаграммы напряжения на входе и выходе четырёхполосника при подаче на вход меандра в установившемся режиме в одной системе координат. Для расчёта использовать гармоники с номерами с 1 по 9.

$$u_1 = \text{Sign}(\sin 10^3 t)$$

Разложить в ряд Фурье:

$$u_1 = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^9 \frac{\sin n\omega t}{n}, \quad n = 1, 3, 5, 7, 9$$

$$|K_n| = \frac{1}{\sqrt{64 \cdot 10^{-6} \omega^2 + 4}}$$

$$\varphi_{2n} = \varphi_K(n\omega) = (-90^\circ + \arctg \frac{1}{4 \cdot 10^{-3} \omega})$$

$$|U_{m2n}| = |U_{m1n}| |K_n(n\omega)|$$

$$\varphi_{21} = (-90^\circ + \arctg \frac{1}{4}) = -86^\circ$$

$$|U_{m21}| = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{64}} \approx 0,15$$

$$\varphi_{23} = (-90^\circ + \arctg \frac{1}{12}) = -85^\circ$$

$$|U_{m23}| = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{64 \cdot 9 + 4}} \approx 0,017$$

$$\varphi_{25} = (-90^\circ + \arctg \frac{1}{20}) = -87^\circ$$

$$|U_{m25}| = \frac{4}{5\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{64 \cdot 25 + 4}} \approx 0,006$$

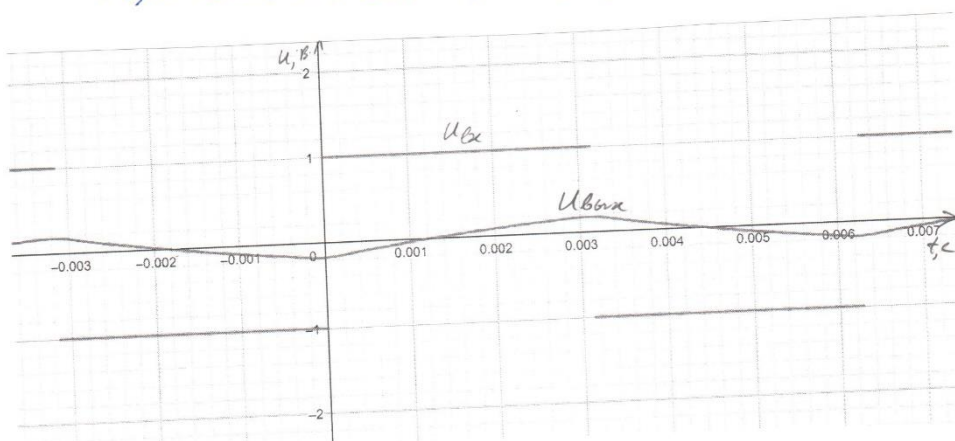
$$\varphi_{27} = (-90^\circ + \arctg \frac{1}{28}) = -88^\circ$$

$$\varphi_{29} = (-90^\circ + \arctg \frac{1}{36}) = -88,5^\circ \approx -89^\circ$$

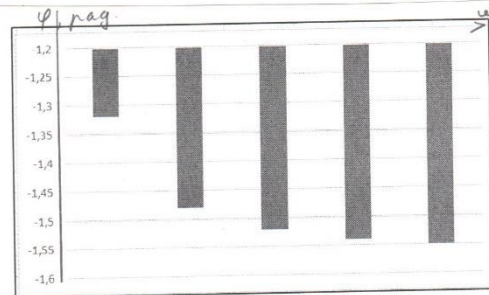
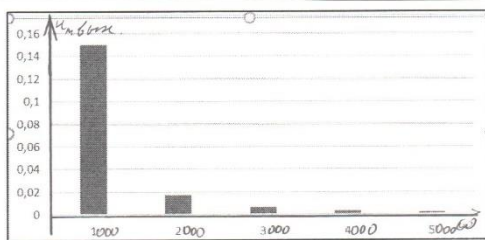
$$|U_{m29}| = \frac{4}{9\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{64 \cdot 81 + 4}} \approx 0,00325$$

$$|U_{m29}| = \frac{4}{9\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{64 \cdot 81 + 4}} \approx 0,00197$$

$$u_2 = 0,15 \sin(\omega t - 86^\circ) + 0,017 \sin(3\omega t - 85^\circ) + 0,006 \sin(5\omega t - 87^\circ) + 0,003 \sin(7\omega t - 88^\circ) + 0,002 \sin(9\omega t - 89^\circ)$$

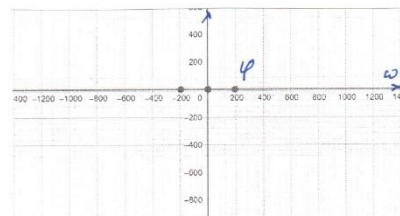
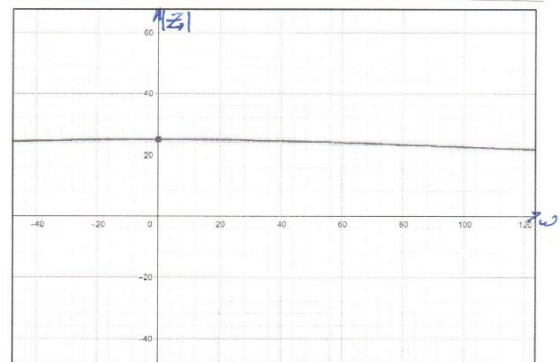
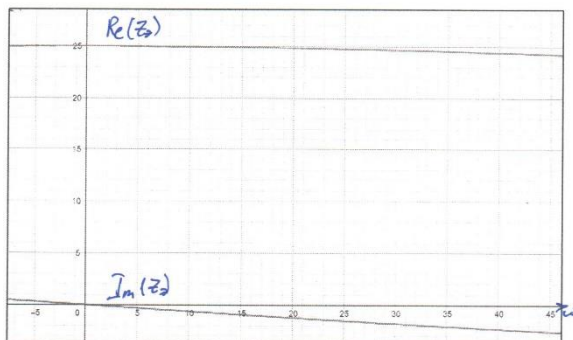


№ гарм.	Um1, В	Um2, В	φ2, рад
1	1,273	0,15	-1,32
3	0,425	0,017	-1,48
5	0,254	0,006	-1,52
7	0,182	0,003	-1,54
9	0,141	0,002	-1,55



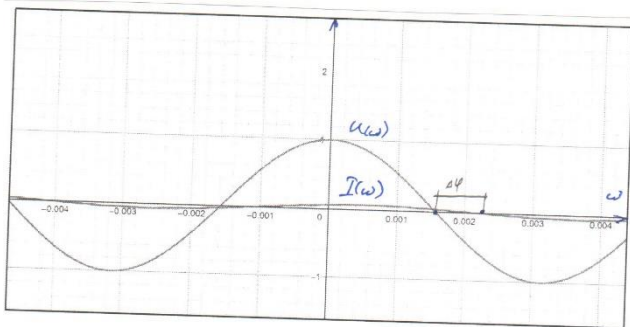
№6 Вывести формулы зависимости от частоты комплексного входного сопротивления, а также его модуля, фазы, действительной и мнимой частей и построить их в диапазоне частот, отв. п.2

$$\begin{aligned} \dot{Z}_+ &= \frac{25 \cdot (40 - j \frac{1}{10^{-4} \omega})}{65 - j \frac{1}{10^{-4} \omega}} = \frac{10^3 - j \frac{250^4}{\omega}}{65 - j \frac{10^4}{\omega}} = \frac{\omega - j 250}{0,065 \omega - j 10} \cdot \frac{(0,065 \omega + j 10)}{(0,065 \omega + j 10)} = \\ &= \frac{0,065 \omega^2 + j \omega 10 - j \omega 16,25 + 2500}{0,004225 \omega^2 + 100} = \underbrace{\frac{2500 + 0,065 \omega^2}{0,004225 \omega^2 + 100}}_{Re} - j \underbrace{\frac{6,25 \omega}{0,004225 \omega^2 + 100}}_{Im} \\ |\dot{Z}_0| &= \frac{\sqrt{(2500 + 0,065 \omega^2)^2 + (6,25 \omega)^2}}{0,004225 \omega^2 + 100} \quad \varphi = \arctg \left(- \frac{6,25 \omega}{2500 + 0,065 \omega^2} \right) \end{aligned}$$



н.з. Подумать по входу цепи источник гармонического напряжения с амплитудой 1В и с частотой 10^3 рад/с . Рассчитать амплитуду и фазу напряжения на входе цепи. Построить временные диаграммы напряжения и тока на входе четырёхполюсника в установившемся режиме, отнеся разность фаз.

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\dot{U}_1}{Z_D} = \frac{1}{R_1 \cdot (R_2 + R_3 - j \frac{2}{\omega C})} = \frac{65 - j10}{25(40 - j20)} = \frac{13 - j2}{100 - j100} \cdot \frac{(200 + j100)}{(200 + j100)} = \\ &= \frac{2600 - j400 + j1300 + 200}{5 \cdot 10^4} = \frac{28 - j1}{500} = 0,056 - j0,034 = 0,065 e^{-j31^\circ} \end{aligned}$$



н.з. Найти энергетический баланс цепи в соответствии с заданием п.з. Баланс выполнить только по активной мощности

$$P_{\text{ист}} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ \dot{U}_1 \dot{I}_1^* \} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ 1 \cdot (0,056 + j0,034) \} = 0,028 \text{ Вт}$$

$$P_{R_1} = \frac{1}{2} R_1 |\dot{I}_{R_1}|^2 = \left| \dot{I}_{R_1} = \frac{U_1}{R_1} = 0,04 \right| = 0,02 \text{ Вт}$$

$$P_{R_2} = \frac{1}{2} R_2 |\dot{I}_C|^2 = \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot (0,023)^2 = 0,005$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_1}{R_2 + R_3 - j \frac{2}{\omega C}} = 0,023 + j0,005 = 0,023 e^{j19^\circ}$$

$$P_{R_3} = \frac{1}{2} R_3 |\dot{I}_C|^2 = \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot (0,023)^2 = 0,005 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{ист}} \approx P_{R_1} + P_{R_2} + P_{R_3}$$

$$0,028 \approx 0,02 + 0,005 + 0,005$$