

Вариант N = 14

$$N_1 = 1 + \text{mod}(N, 20) = 15 \quad N_2 = 1 + \text{mod}(NN_1, 9) = 4 \quad N_3 = 1 + \text{mod}(N_1 + N_2, 10) = 10$$

2. Выполнить анализ установившегося режима схемы методом комплексных амплитуд.

Амплитуду A и начальную фазу ϕ гармонического сигнала $U_{вх}(t)$ взять в строке N_2 табл. 9.2. Период T гармонического сигнала выбрать в интервале (τ_{min}, τ_{max})

Исходные данные:

$$R_1 = 1(\text{Ом})$$

$$R_2 = 0.2(\text{Ом})$$

$$R_3 = 10(\text{кОм})$$

$$C_1 = 3(\text{мФ})$$

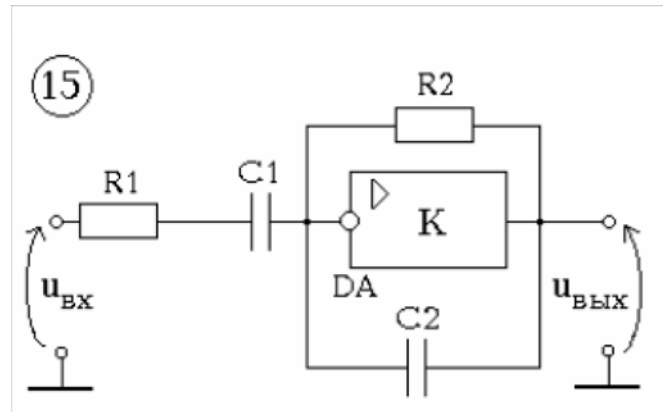
$$C_2 = 1(\text{мкФ})$$

$$A = 2(\text{В})$$

$$\phi = 60^\circ$$

$$T = 2\pi \cdot 10^{-5}(\text{с})$$

$$K = 10^2$$



2.1. Найти выходное напряжение $U_{вых}(t)$. Напряжение $U_{вых}(t)$ представить в форме комплексной амплитуды и во временной форме; изобразить комплексную амплитуду $U_{вых}$ и напряжение $U_{вых}(t)$ графически.

$$f = \frac{1}{T} = 15.91549(\text{кГц})$$

$$\omega = 2\pi f = 1 \times 10^5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = 1$$

$$G_2 = \frac{1}{R_2} = 5$$

$$G_3 = \frac{1}{R_3} = 1 \times 10^{-4}$$

$$\omega C_1 = 300$$

$$\omega C_2 = 0.1$$

Y-матрица цепи рис.2

$$Y(\omega) = \begin{bmatrix} \frac{C_1 \omega j}{C_1 R_1 \omega j + 1} & -\frac{C_1 \omega j}{C_1 R_1 \omega j + 1} & 0 \\ -\frac{C_1 \omega j}{C_1 R_1 \omega j + 1} & \frac{C_1 \omega j}{C_1 R_1 \omega j + 1} + G_2 + j \omega C_2 & -(G_2 + j \omega C_2) \\ 0 & -K & -1 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \frac{(1 + K)C_1 C_2 \omega^2 - (C_1 G_2 + C_1 G_2 K)j \omega}{C_1 R_1 \omega j + 1} = -504.96072 - 11.7832j$$

$$|\Delta| = 505.09818 \quad \angle(\Delta) = -178.66325^\circ$$

Алгебраические дополнения

$$\Delta_{13}(\omega) = (-1)^{1+3} \begin{pmatrix} \frac{C_1 \omega j}{C_1 R_1 \omega j + 1} & \frac{C_1 \omega j}{C_1 R_1 \omega j + 1} + G_2 + j \omega C_2 \\ 0 & -K \end{pmatrix}$$

$$\Delta_{13} = \frac{-C_1 K \omega j}{C_1 R_1 \omega j + 1} = -99.99889 - 0.33333j \quad |\Delta_{13}| = 99.99944 \quad \angle(\Delta_{13}) = -179.80901^\circ$$

$$\Delta_{11}(\omega) = \begin{bmatrix} \frac{C_1 \omega j}{C_1 R_1 \omega j + 1} + G_2 + j \omega C_2 & -(G_2 + j \omega C_2) \\ -K & -1 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_{11} = \frac{(1 + K)C_1 C_2 R_1 \omega^2 - (C_1 + C_2 + C_2 K + C_1 G_2 R_1 + C_1 G_2 K R_1)j \omega - G_2(1 + K)}{C_1 R_1 \omega j + 1}$$

$$\Delta_{11} = -505.99999 - 10.10333j \quad |\Delta_{11}| = 506.10085 \quad \angle(\Delta_{11}) = -178.85612^\circ$$

коэффициент передачи по напряжению

$$k_u = \frac{\Delta_{13}}{\Delta_{11}} = 0.19756 - 3.28595j \times 10^{-3} \quad |k_u| = 0.19759 \quad \angle(k_u) = -0.95289^\circ$$

входное сопротивление

$$Z_{\text{BX}} = \frac{\Delta_{11}}{\Delta} = 1.00198 - 3.37292j \times 10^{-3} \quad |Z_{\text{BX}}| = 1.00199 \quad \angle(Z_{\text{BX}}) = -0.19287^\circ$$

Входное и выходное напряжение в комплексной форме:

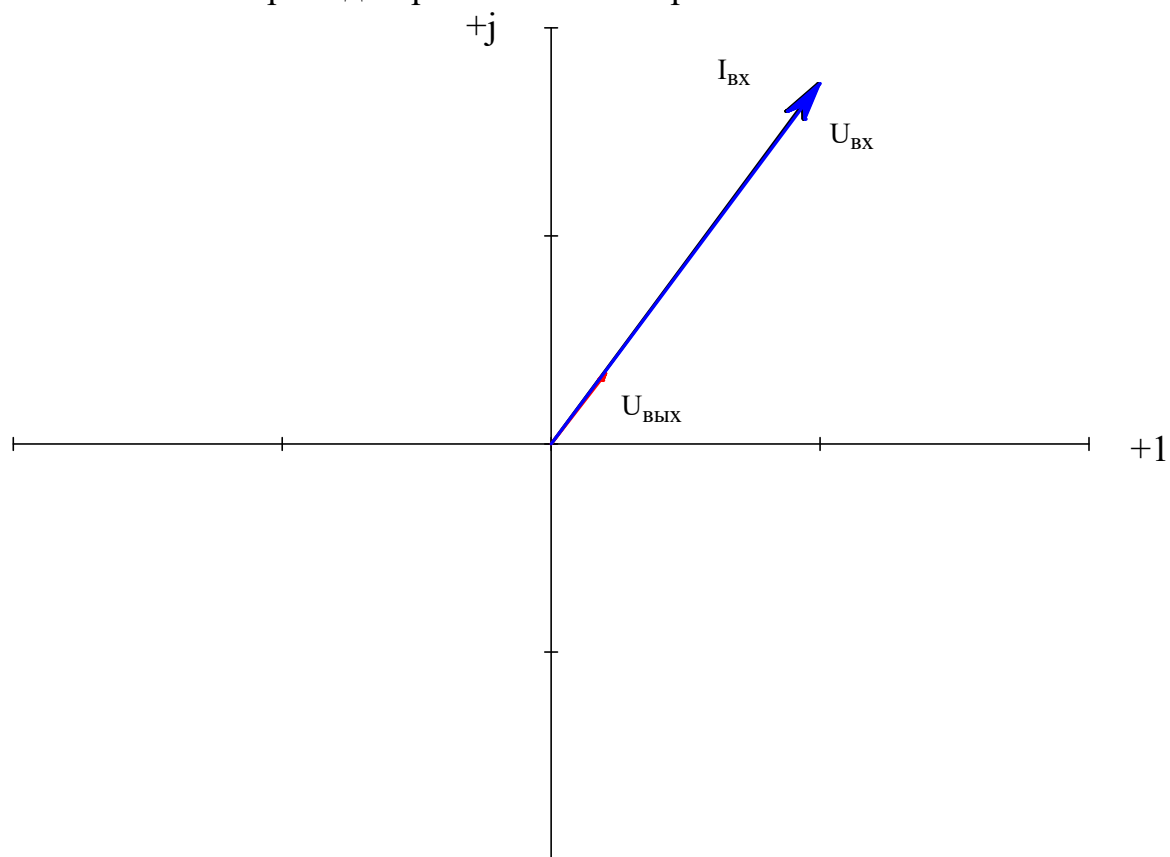
$$U_{\text{BX}} = A e^{j\phi} = 1 + 1.73205j \quad |U_{\text{BX}}| = 2 \quad \angle(U_{\text{BX}}) = 60^\circ$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{BX}} k_u = 0.20325 + 0.3389j \quad |U_{\text{ВЫХ}}| = 0.39518 \quad \angle(U_{\text{ВЫХ}}) = 59.04711^\circ$$

Входной ток в комплексной форме:

$$I_{\text{BX}} = \frac{U_{\text{BX}}}{Z_{\text{BX}}} = 0.99219 + 1.73197j \quad |I_{\text{BX}}| = 1.99604 \quad \angle(I_{\text{BX}}) = 60.19287^\circ$$

векторная диаграмма тока и напряжений

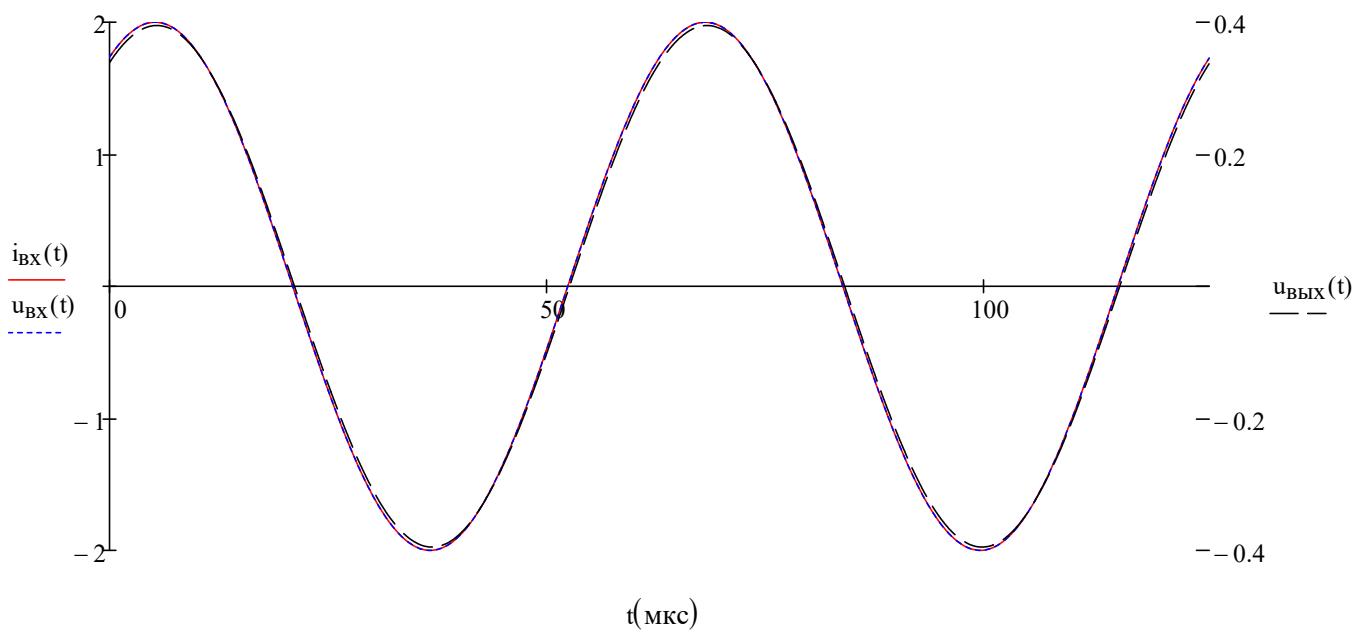


Мгновенные значения

$$u_{\text{BX}}(t) = |U_{\text{BX}}| \sin(\omega t + \angle(U_{\text{BX}})) = 2 \sin(9.9999 \times 10^4 t + 1.05)$$

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = |U_{\text{ВЫХ}}| \sin(\omega t + \angle(U_{\text{ВЫХ}})) = 0.395 \sin(9.9999 \times 10^4 t + 1.03)$$

$$i_{\text{BX}}(t) = |I_{\text{BX}}| \sin(\omega t + \angle(I_{\text{BX}})) = 2 \sin(9.9999 \times 10^4 t + 1.05)$$

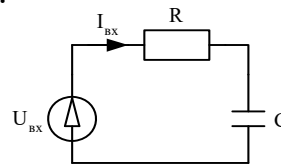


2.2. Представить схему, подключенную к источнику входного напряжения $U_{вх}(t)$, в виде реактивного двухполюсника и определить параметры его схемной модели на частоте входного сигнала. Определить мощность, потребляемую двухполюсником. Параметры входного напряжения те же, что и в пункте 2.1.

$$r = \operatorname{Re}(Z_{вх}) = 1.00198(\text{Ом})$$

$$x_c = \operatorname{Im}(Z_{вх}) = -3.37292 \times 10^{-3}(\text{Ом})$$

$$c = \frac{-1}{x_c \omega} = 2.96479 \text{ мФ}$$



Полная мощность источника:

$$S = \frac{1}{2} U_{вх} \overline{I_{вх}} = 1.99603 - 6.71914j \times 10^{-3}$$

активная мощность источника:

$$P = \operatorname{Re}(S) = 1.99603$$

реактивная мощность источника:

$$Q = \operatorname{Im}(S) = -6.71914 \times 10^{-3}$$

2.3. Определить аналитически и изобразить графически амплитудный и фазовый спектры периодического негармонического напряжения $U_{вх}(t)$ (см. табл 9.3, амплитуду напряжения A и период T взять такими же, как и в п.2.1).

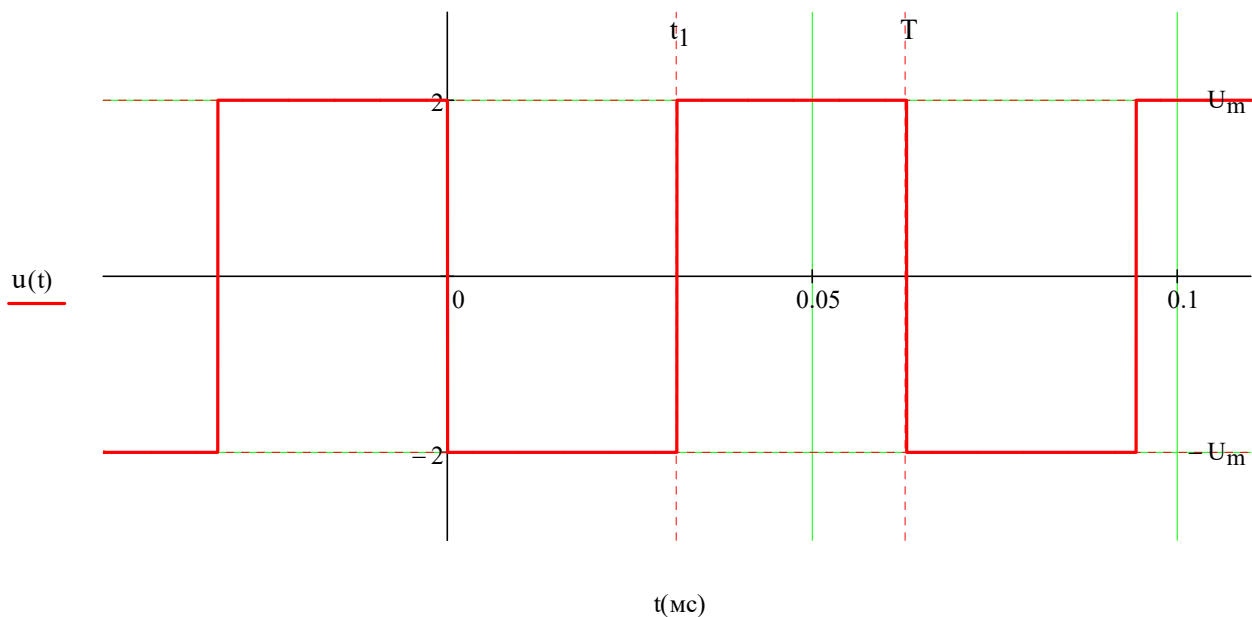
$$U_m = A = 2 \text{ В}$$

$$t_1 = \frac{T}{2} \quad t_1 = 0.03142(\text{мс})$$

$$t_2 = T \quad t_2 = 0.06283(\text{мс})$$

1. Аналитическое описание заданной функции на протяжении периода:

$$U(t) = \begin{cases} -U_m & \text{если } (0 \leq t \leq t_1) \\ U_m & \text{если } (t_1 \leq t \leq T) \end{cases}$$



угловая частота первой гармоники

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T} \quad \omega_1 = 0.1 \left(\frac{\text{рад}}{\text{мкс}} \right)$$

угловая частота k-ой гармоники

$$\omega_k = k\omega_1$$

Для разложения заданной функций на гармоники воспользуемся тригонометрической формой ряда Фурье и ограничимся его первыми 7 членами. Заданная функция симметрична относительно начала координат. Ряд Фурье такой функции не содержит четных гармоник косинусов и постоянной составляющей

Постоянная составляющая U_0 равна среднему значению функции $f(t)$ за ее период T

$$U_0 = \frac{U_m}{2\pi} \left(\int_0^\pi -1 \, d\omega t + \int_\pi^{2\pi} 1 \, d\omega t \right) = 0$$

Коэффициенты A_n и B_n могут быть вычислены при помощи следующих интегралов:

$$A_k = \frac{U_m}{\pi} \left(\int_0^\pi -\cos(k\omega t) \, d\omega t + \int_\pi^{2\pi} \cos(k\omega t) \, d\omega t \right) = \frac{-2U_m}{\pi k} (\sin(\pi k) - \sin(2\pi k)) = 0$$

$$B_k = \frac{U_m}{\pi} \left(\int_0^\pi -\sin(k\omega t) \, d\omega t + \int_\pi^{2\pi} \sin(k\omega t) \, d\omega t \right) = -2U_m \cos(\pi k) \frac{(-1 + \cos(\pi k))}{\pi k}$$

$$= \frac{-U_m}{\pi} \left[-2 \frac{\cos(\pi k)}{k} + \frac{1}{k} + 2 \frac{\cos(2\pi k)}{k} - \frac{(2 \cos(\pi k)^2 - 1)}{k} \right] = \frac{-2U_m}{\pi k} (\cos(2\pi k) - \cos(\pi k))$$

Амплитуда

$$u_k = \sqrt{(A_k)^2 + (B_k)^2}$$

Фаза

$$\psi_k = \text{arctg} \left(\frac{B_k}{A_k} \right)$$

Изменяя k от 1 до 7 рассчитаем угловую частоту, амплитуду, фазу первых 7 гармоник периодического сигнала, расчеты сведем в таблицу 1

k	$\omega_k \left(\frac{\text{рад}}{\text{мкс}} \right)$	$A_k(\text{В})$	$B_k(\text{В})$	$U_k(\text{В})$	ψ_k
1	0.1	0	-2.54648	2.54648	1.5708
2	0.2	0	0	0	0
3	0.3	0	-0.84883	0.84883	1.5708
4	0.4	0	0	0	0
5	0.5	0	-0.5093	0.5093	1.5708
6	0.6	0	0	0	0
7	0.7	0	-0.36378	0.36378	1.5708

таблица 1 =

график амплитудно - частотного спектра $|U_k|$ периодического сигнала

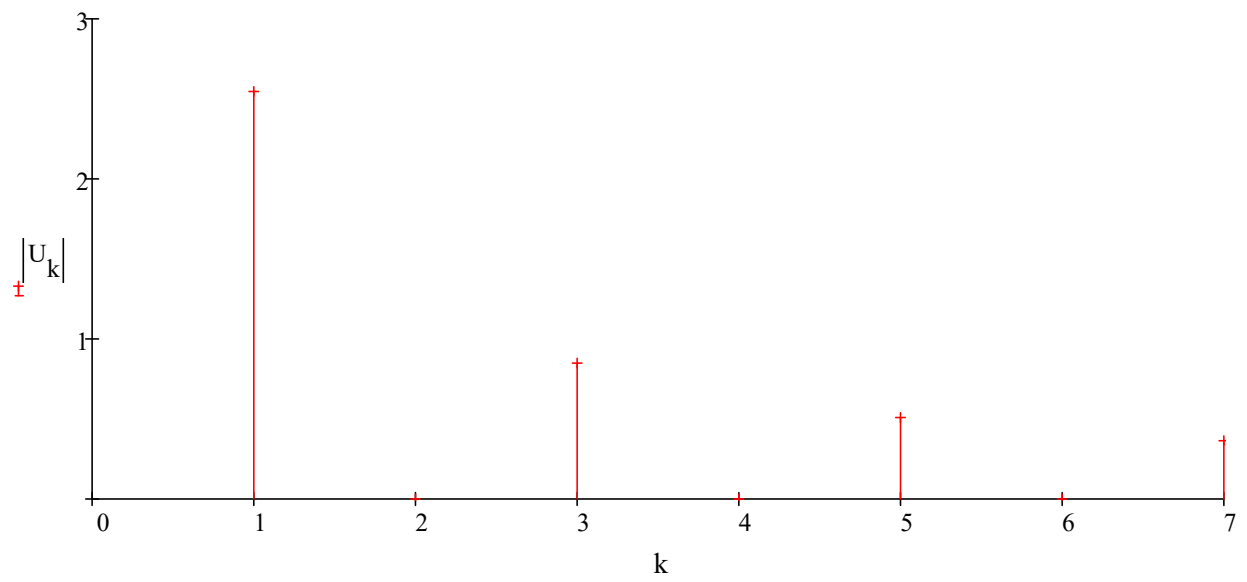


рис 2.1

график фазо - частотного спектра периодического сигнала

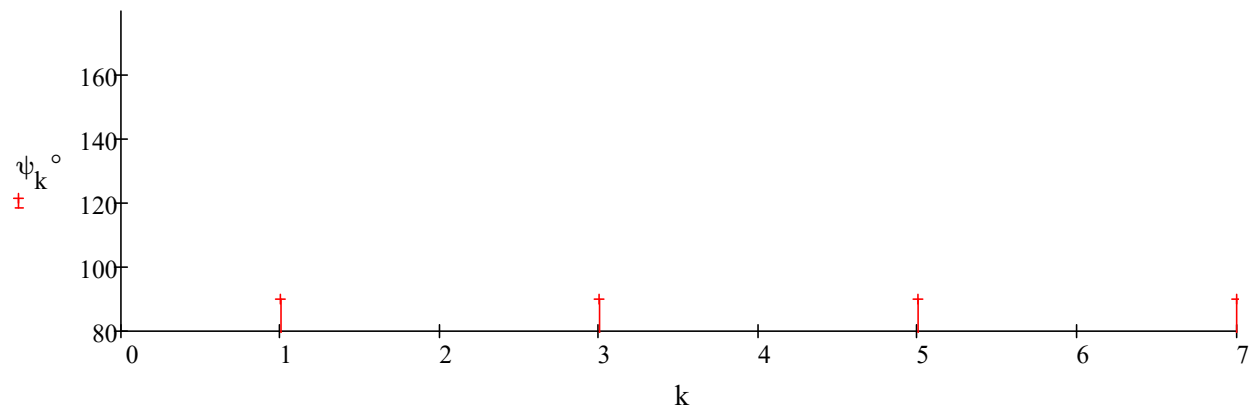
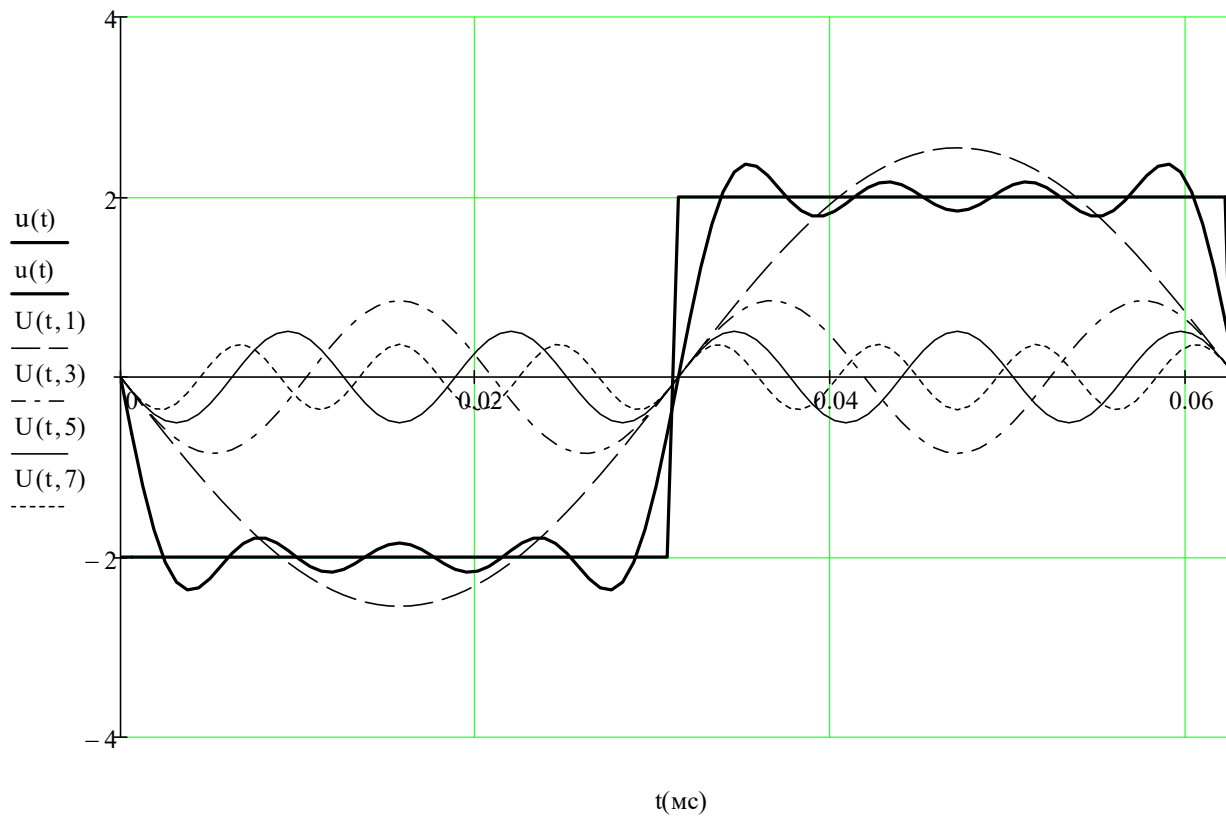


рис 2.2

2.4. По найденным четырем гармоникам построить график входного напряжения $U_{ax}(t)$.

$$u(t) = \sum_k (|U_k| \cos(\omega_k t + \psi_k))$$

$$U(t, k) = |U_k| \cos(\omega_k t + \psi_k)$$



3. Выполнить анализ схемы в частотной области.

3.1. Определить и изобразить графически амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики коэффициента передачи напряжения схемы.

3.2. Определить граничные частоты и полосу пропускания схемы.

3.3. Определить аналитически и изобразить графически амплитудный и фазовый спектры периодического негармонического напряжения $U_{\text{вых}}(t)$

3.4. По найденным четырем гармоникам построить график выходного напряжения $U_{\text{вых}}(t)$.

Коэффициент передачи по напряжению

$$k_u(\omega) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(\omega)}{U_{\text{ВХ}}(\omega)} = \frac{-j \omega C_1 K}{(1 + K)C_1 C_2 R_1 \omega^2 - (C_1 + C_2 + C_2 K + C_1 G_2 R_1 + C_1 G_2 K R_1)j \omega - G_2(1 + K)}$$

$$k_u(\omega) = \frac{(0.3j)\omega}{(1.518j)\omega + -3.03 \times 10^{-7} \omega^2 + 505}$$

Преобразуем передаточную функцию по напряжению к виду:

$$K_u(j \omega) = k \frac{j \omega}{\omega^2 - b_1 j \omega - b_0}$$

где:

$$k = \frac{-K}{(1 + K)C_2 R_1} = -9.90099 \times 10^5$$

$$b_1 = \frac{C_1 + C_2 + C_2 K + C_1 G_2 R_1 + C_1 G_2 K R_1}{(1 + K)C_1 C_2 R_1} = 5.01023 \times 10^6$$

$$b_0 = \frac{G_2}{C_1 C_2} = 1.66667 \times 10^9$$

Запишем АЧХ ФЧХ :

$$K_u(\omega) = k \frac{\omega}{\sqrt{(\omega^2 - b_0)^2 + (b_1 \omega)^2}}$$

$$\phi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{-b_1 \omega}{\omega^2 - b_0}\right)$$

3.1.4. графики модуля передаточной функции $|K(\omega)|$ и аргумента $\phi(\omega)$ (АЧХ и ФЧХ).

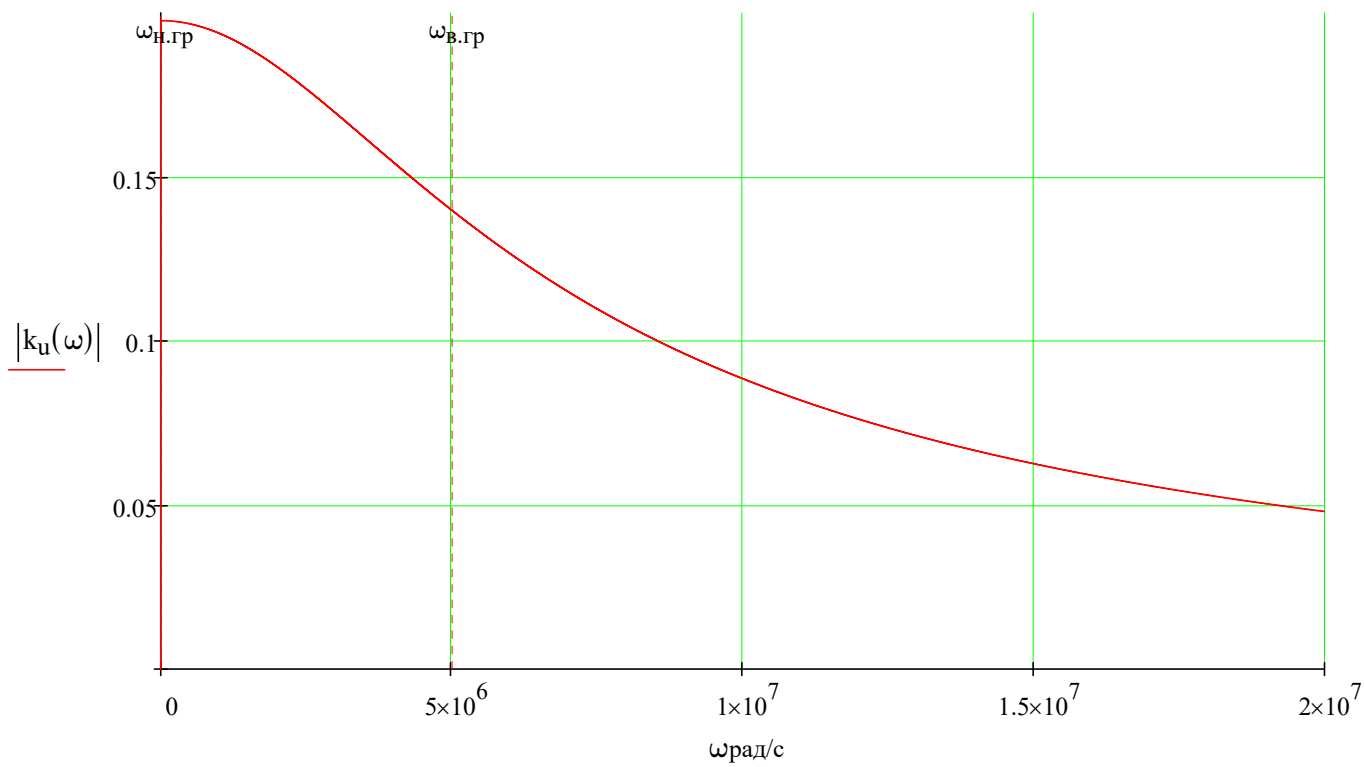


рис 3.1

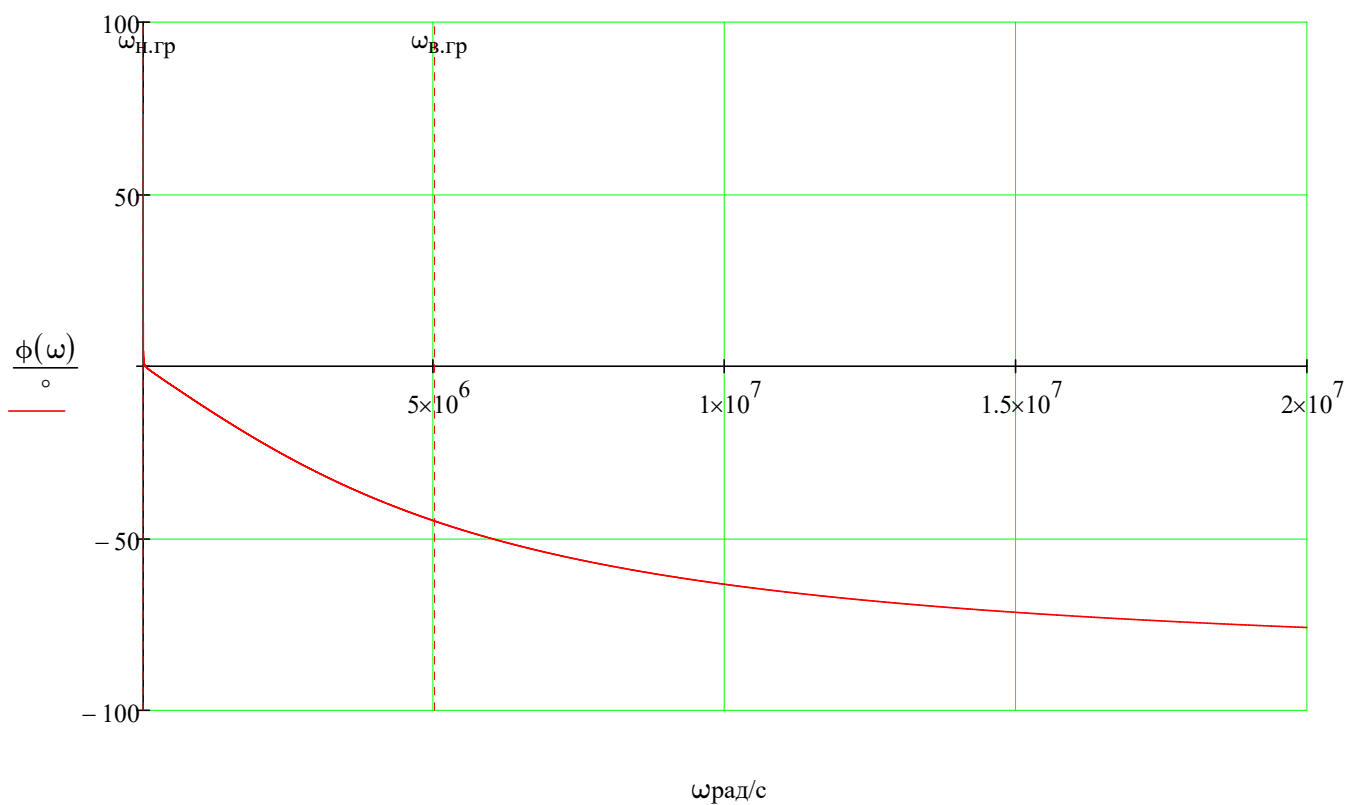


рис 3.2

3.2. Определить граничные частоты и полосу пропускания схемы.

Для того чтобы вычислить предельные частоты, нужно провести исследования уже полученных нами частотных характеристик, в частности АЧХ и ФЧХ.

Судя по выражению для АЧХ можно предположить, что перед нами - полосовой фильтр. Это означает, что цепь пропускает сигналы в диапазоне $[\omega_{в.гр}; \omega_{н.гр}]$.

АЧХ такой цепи принимает максимальное значение $K_u(\omega_p) = -0.19762$ на частоте $\omega_p = \sqrt{b_0} = \sqrt{1.66667 \times 10^9} = 4.08248 \times 10^4$ рад/с, что соответствует середине условной полосы пропускания с предельными частотами $\omega_{в.гр}$ и $\omega_{н.гр}$, которые являются решением уравнения

$$\frac{\omega^2}{(\omega^2 - b_0)^2 + (b_1 \omega)^2} = \frac{1}{2b_1^2}$$

$$\omega^4 - \omega^2(b_1^2 + 2b_0) + b_0^2 = 0$$

Решив это уравнение, получим:

$$\omega_{в.гр} = \frac{b_1 + \sqrt{b_1^2 + 4b_0}}{2} = \frac{5.01 \times 10^6 + \sqrt{(5.01 \times 10^6)^2 + 41.667 \times 10^9}}{2} = 5.011 \times 10^6 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{н.гр} = \frac{-b_1 + \sqrt{b_1^2 + 4b_0}}{2} = \frac{-5.01 \times 10^6 + \sqrt{(5.01 \times 10^6)^2 + 41.667 \times 10^9}}{2} = 332.63 \text{ рад/с}$$

Таким образом условной полосой пропускания является диапазон

$$[\omega_{в.гр} = 5.01057 \times 10^6 \text{ рад/с}; \omega_{н.гр} = 332.63036 \text{ рад/с}].$$

$$\Delta\omega = \omega_{в.гр} - \omega_{н.гр} = 5.01057 \times 10^6 - 332.63036 = 5.01023 \times 10^6 \text{ рад/с}$$

3.3. Расчет АЧС и ФЧС периодической последовательности импульсов на выходе цепи равна:

$$U_{\text{вых}_k} = U_k K(j\omega_k) = |U_k| |k_u(\omega_k)| e^{j(\psi_k + \phi_k)}$$

АЧС на выходе цепи:

$$U_{\text{вых}_k} = |U_k| |k_u(\omega_k)|$$

ФЧХ на выходе цепи

$$\psi_{\text{вых}_k} = \psi_k + \phi_k$$

график амплитудно - частотного спектра $|U_{\text{ВЫХ}_k}|$ периодической последовательности импульсов на выходе цепи

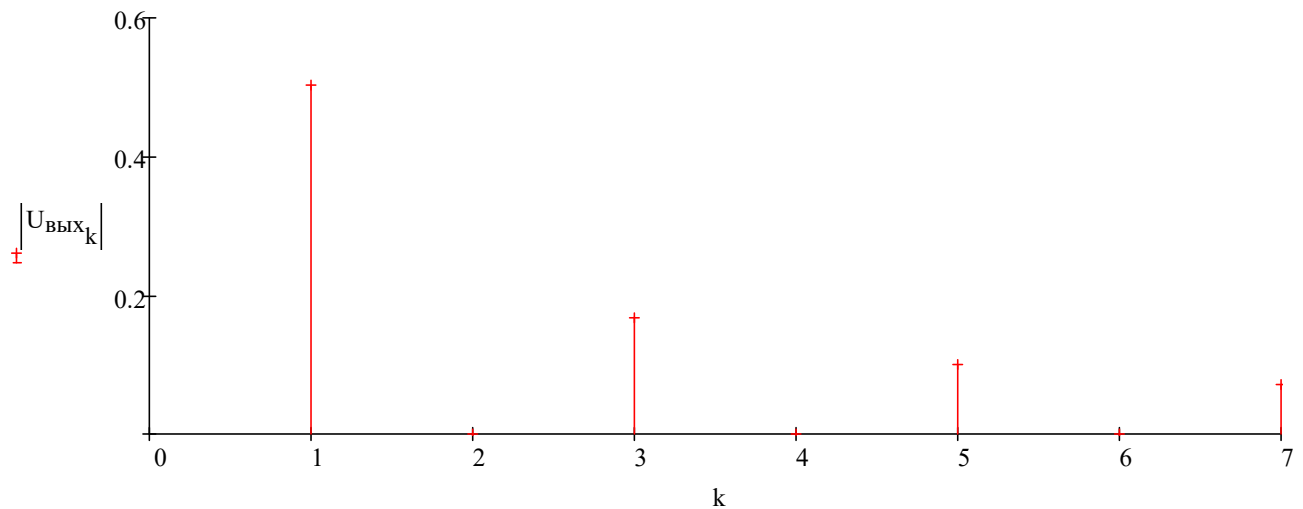


рис 3.3

график фазо - частотного спектра периодической последовательности импульсов на выходе цепи

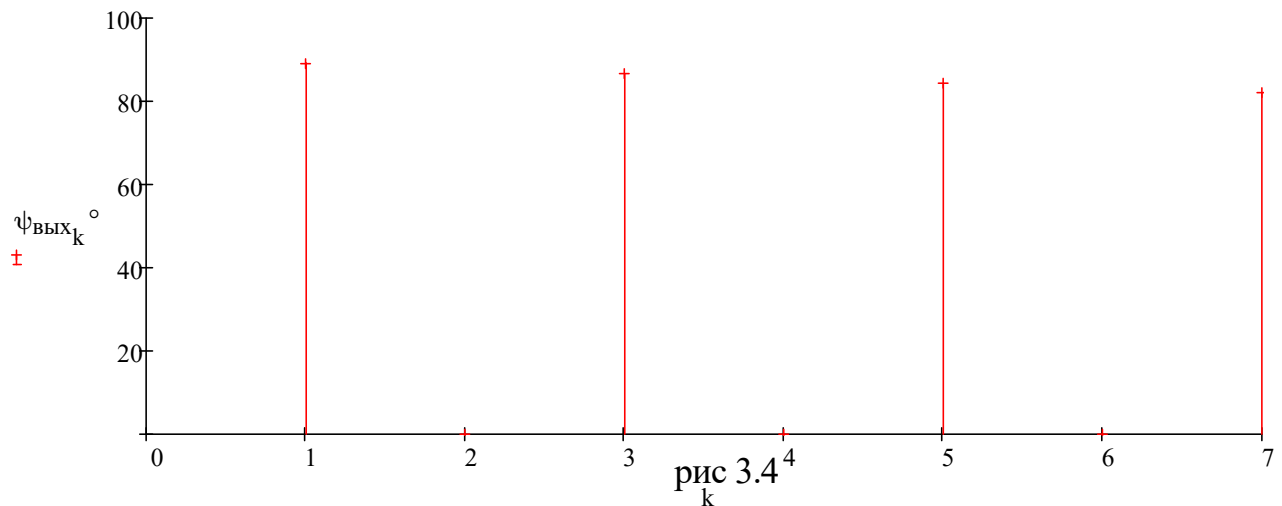


рис 3.4

Таблица расчета амплитудно и фазо - частотного спектра периодической последовательности импульсов на выходе цепи, АЧХ и ФЧХ цепи (для первых 4-х гармоник)

k	ω_k (кГц)	$ K(\omega_k) $	$\phi(\omega_k)$	$ U_{\text{ВЫХ}_k} $	$\psi_{\text{ВЫХ}_k}$
1	100	0.198	-0.953	0.503	89.047
2	200	0.197	-2.191	0	0
3	300	0.197	-3.363	0.167	86.637
4	400	0.197	-4.517	0	0
5	500	0.197	-5.661	0.1	84.339
6	600	0.196	-6.798	0	0
7	700	0.196	-7.927	0.071	82.073

таблица4 =

2.4. По найденным четырем гармоникам построить график входного напряжения $U_{ax}(t)$.

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = \sum_k \left(|U_{\text{ВЫХ}_k}| \cos(\omega_k t + \psi_{\text{ВЫХ}_k}) \right) \quad U_{\text{ВЫХ.}}(t,k) = |U_{\text{ВЫХ}_k}| \cos(\omega_k t + \psi_{\text{ВЫХ}_k})$$

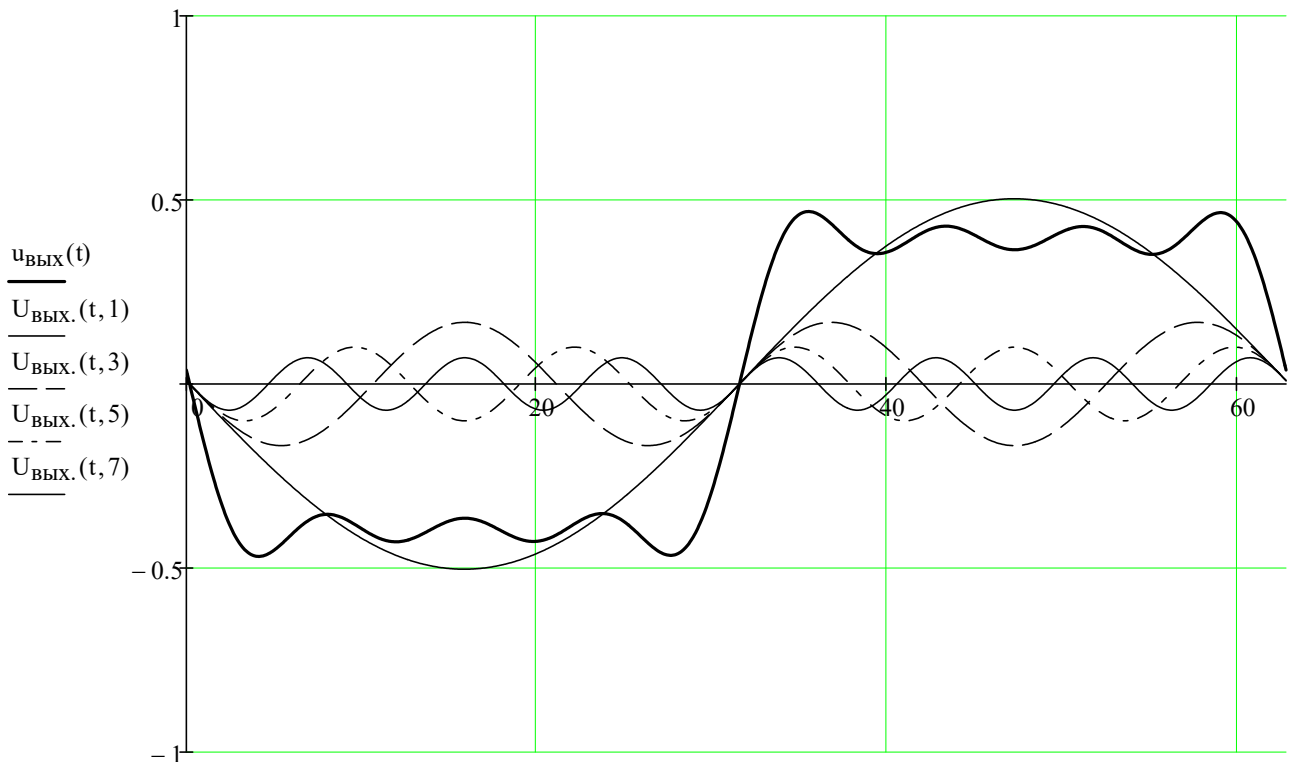


рис. 4.5

4.2.1. Таблица расчета четырех гармоник и их суммы на выходе цепи

$t(\text{мс})$	$U_{\text{ВЫХ}1}(\text{В})$	$U_{\text{ВЫХ}3}(\text{В})$	$U_{\text{ВЫХ}5}(\text{В})$	$U_{\text{ВЫХ}7}(\text{В})$	$u_{\text{ВЫХ}}(\text{В})$
3.14159	-0.1475	-0.12946	-0.09967	-0.06283	-0.43946
6.28319	-0.28894	-0.16202	$-9.87986 \cdot 10^{-3}$	0.06404	-0.3968
9.42478	-0.40209	-0.061	0.09967	-0.01245	-0.37587
12.56637	-0.47588	0.09031	$9.87986 \cdot 10^{-3}$	-0.0494	-0.42508
15.70796	-0.50308	0.16716	-0.09967	0.07052	-0.36506
18.84956	-0.48105	0.1062	$-9.87986 \cdot 10^{-3}$	-0.03351	-0.41823
21.99115	-0.41192	-0.04231	0.09967	-0.03113	-0.3857
25.13274	-0.30247	-0.15595	$9.87986 \cdot 10^{-3}$	0.0701	-0.37844
28.27433	-0.16342	-0.14101	-0.09967	-0.05128	-0.45538
31.41593	$-8.36761 \cdot 10^{-3}$	$-9.82398 \cdot 10^{-3}$	$-9.87986 \cdot 10^{-3}$	$-9.81937 \cdot 10^{-3}$	-0.03789
34.55752	0.1475	0.12946	0.09967	0.06283	0.43946
37.69911	0.28894	0.16202	$9.87986 \cdot 10^{-3}$	-0.06404	0.3968
40.8407	0.40209	0.061	-0.09967	0.01245	0.37587
43.9823	0.47588	-0.09031	$-9.87986 \cdot 10^{-3}$	0.0494	0.42508
47.12389	0.50308	-0.16716	0.09967	-0.07052	0.36506
50.26548	0.48105	-0.1062	$9.87986 \cdot 10^{-3}$	0.03351	0.41823
53.40708	0.41192	0.04231	-0.09967	0.03113	0.3857
56.54867	0.30247	0.15595	$-9.87986 \cdot 10^{-3}$	-0.0701	0.37844
59.69026	0.16342	0.14101	0.09967	0.05128	0.45538
62.83185	$8.36761 \cdot 10^{-3}$	$9.82398 \cdot 10^{-3}$	$9.87986 \cdot 10^{-3}$	$9.81937 \cdot 10^{-3}$	0.03789

таблица 5 =

4. Выполнить анализ схемы операторным методом.

4.1. Определить в общем и численном виде операторную функцию передачи напряжения схемы.

4.2. Определить переходную и импульсную характеристики схемы.

Сравнить с п.п. 1.3, 1.4.

4.3. Определить амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики схемы. Сравнить с п. 3,1.

4.4. Определить и построить реакцию схемы на напряжение в форме идеального прямоугольного импульса амплитудой 2 вольты и длительностью $5\tau_{\max}$, где τ_{\max} - максимальная постоянная времени схемы.

Y-матрица цепи в операторной форме

$$Y(s) = \begin{bmatrix} \frac{C_1 s}{C_1 R_1 s + 1} & -\frac{C_1 s}{C_1 R_1 s + 1} & 0 \\ \frac{C_1 s}{C_1 R_1 s + 1} & \frac{C_1 s}{C_1 R_1 s + 1} + G_2 + sC_2 & -(G_2 + sC_2) \\ 0 & -K & -1 \end{bmatrix}$$

$$Y(s) = \begin{pmatrix} \frac{0.003s}{0.003s + 1} & -\frac{0.003s}{0.003s + 1} & 0 \\ -\frac{0.003s}{0.003s + 1} & 1 \times 10^{-6}s + \frac{0.003s}{0.003s + 1} + 5 & -1 \times 10^{-6}s - 5 \\ 0 & -100 & -1 \end{pmatrix}$$

Алгебраические дополнения

$$\Delta_{13}(s) = (-1)^{1+3} \begin{pmatrix} \frac{C_1 s}{C_1 R_1 s + 1} & \frac{C_1 s}{C_1 R_1 s + 1} + G_2 + sC_2 \\ 0 & -K \end{pmatrix}$$

$$\Delta_{13} = \frac{C_1 K s}{C_1 R_1 s + 1} = \blacksquare$$

$$\Delta_{11}(s) = \begin{bmatrix} \frac{C_1 s}{C_1 R_1 s + 1} + G_2 + sC_2 & -(G_2 + sC_2) \\ -K & -1 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_{11}(s) = C_1 C_2 s^2 + s(C_1 G_1 + C_1 G_2 + C_1 G_3 + C_2 G_2 + C_1 G_3 K) + G_1 G_2 + G_2 G_3$$

$$\Delta_{11}(s) = 0.018s + 3 \times 10^{-9}s^2 + 5$$

операторный коэффициент передачи по напряжению

$$k_u(s) = \frac{\Delta_{14}(s)}{\Delta_{11}(s)} = k \frac{s}{s^2 + b_1 s + b_0} = -\frac{9.90099 \times 10^5 s}{5.01 \times 10^6 s + s^2 + 1.67 \times 10^9}$$

где:

$$k = \frac{-K}{(1 + K)C_2 R_1} = -9.90099 \times 10^5$$

$$b_1 = \frac{C_1 + C_2 + C_2 K + C_1 G_2 R_1 + C_1 G_2 K R_1}{(1 + K)C_1 C_2 R_1} = 5.01023 \times 10^6$$

$$b_0 = \frac{G_2}{C_1 C_2} = 1.66667 \times 10^9$$

Найдем изображение переходной характеристики цепи

$$h_u(s) = \frac{1}{s} k_u(s) = \frac{k}{(s^2 + b_1 s + b_0)} = \frac{H_1}{H_2}$$

Оригинал переходной характеристики найдем воспользовавшись теоремой разложения

приравняем H_2 к нулю и найдем корни

$$H_2 = (s^2 + b_1 s + b_0) = 0$$

$$s = \left(\frac{-b_1}{2} \right) \pm \left(\frac{\sqrt{b_1^2 - 4b_0}}{2} \right) \quad \begin{array}{l} s_1 = -332.67453 \\ s_2 = -5.0099 \times 10^6 \end{array}$$

максимальная постоянная времени схемы

$$\tau_{\max} = \frac{1}{|s_1|} \quad \tau_{\max} = 3.00594 \times 10^{-3}$$

подставим в числитель H_1 корни p

$$H_{1(1)} = k = -9.90099 \times 10^5$$

$$H_{1(2)} = k = -9.90099 \times 10^5$$

производная H'_2 по p

$$H'_{2(1)} = 2s_1 + b_1 = 5.00957 \times 10^6$$

$$H'_{2(2)} = 2s_2 + b_1 = -5.00957 \times 10^6$$

разделим H_1 на H'_2

$$C_1 = \frac{H_{1(1)}}{H'_{2(1)}} = -0.19764$$

$$C_2 = \frac{H_{1(2)}}{H'_{2(2)}} = 0.19764$$

Переходную характеристику цепи получим в виде:

$$h_u(t) = \sum_k \left[\frac{H_{1(k)}}{H'_{2(k)}} e^{s(k)t} \right] = C_1 e^{s_1 t} + C_2 e^{s_2 t} = 0.19764 e^{-5.0099 \times 10^6 t} + -0.19764 e^{-332.67 t}$$

Найдем изображение импульсной переходной характеристики цепи

$$g(s) = k_u(s) = k \frac{s}{s^2 + b_1 s + b_0} = \frac{F_1}{F_2}$$

Оригинал импульсной переходной характеристики найдем воспользовавшись теоремой разложения

приравняем F_2 к нулю и найдем корни

$$F_2 = (s^2 + b_1 s + b_0) = 0$$

$$s = \left(\frac{-b_1}{2} \right) \pm \left(\frac{\sqrt{b_1^2 - 4b_0}}{2} \right) \quad \begin{array}{l} s_1 = -332.67453 \\ s_2 = -5.0099 \times 10^6 \end{array}$$

подставим в числитель F_1 корни p

$$F_{1(1)} = k s_1 = 3.29381 \times 10^8$$

$$F_{1(2)} = k s_2 = 4.9603 \times 10^{12}$$

производная F'_2 , по p

$$F'_{2(1)} = 2s_1 + b_1 = 5.00957 \times 10^6$$

$$F'_{2(2)} = 2s_2 + b_1 = -5.00957 \times 10^6$$

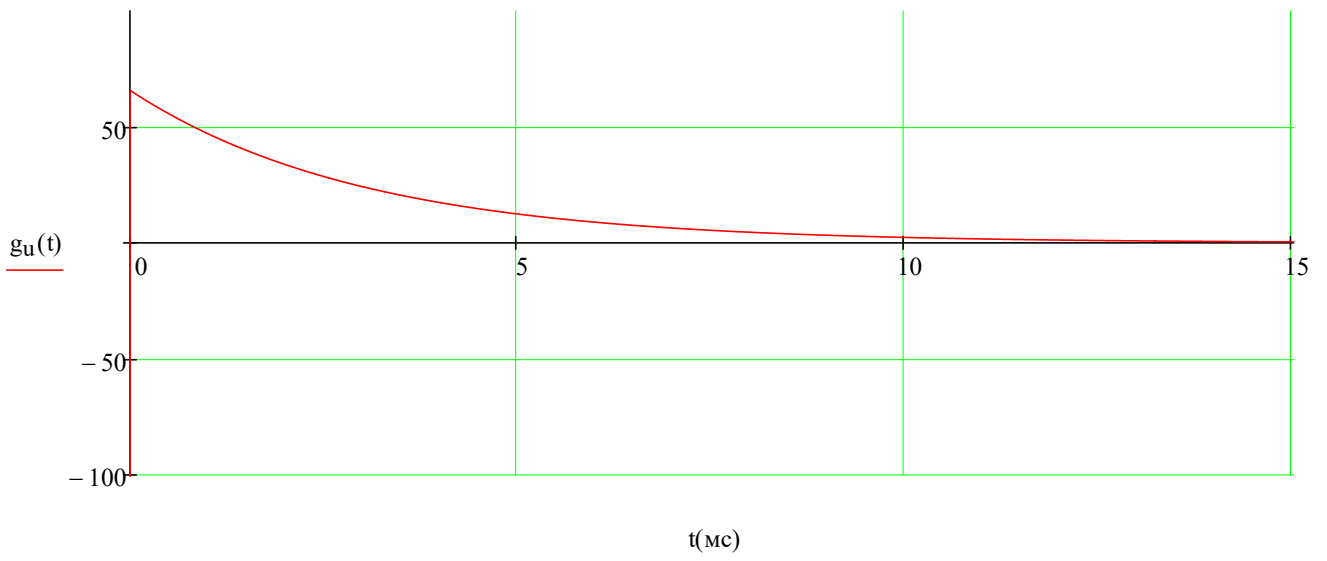
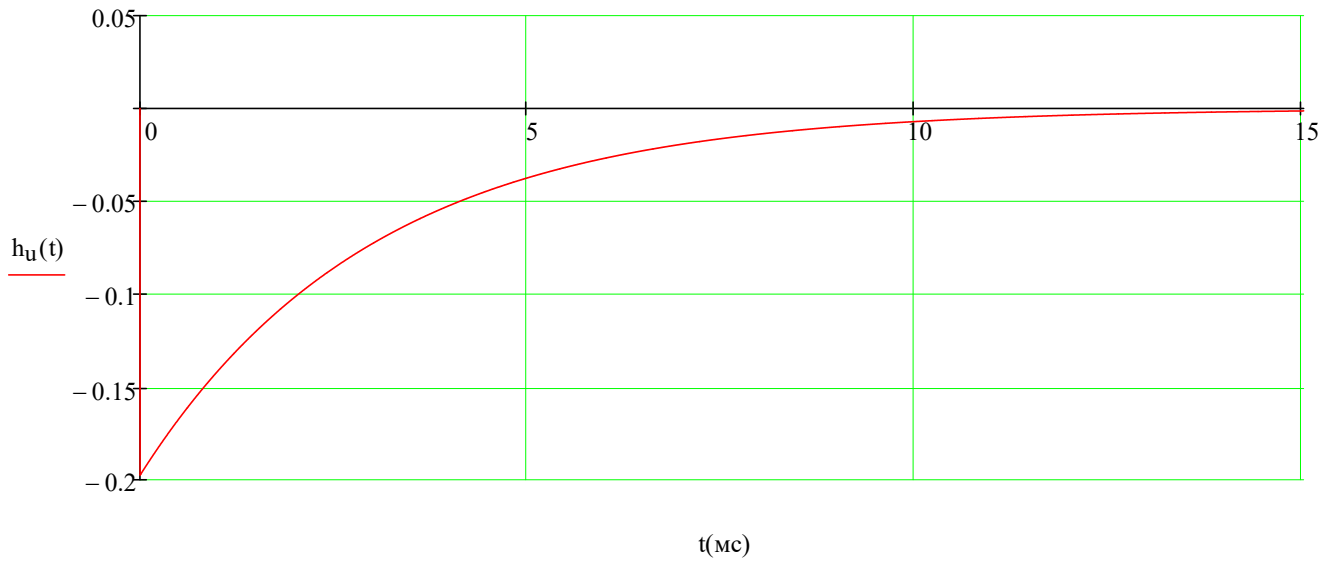
разделим H_1 на H'_2

$$A_1 = \frac{F_{1(1)}}{F'_{2(1)}} = 65.75031$$

$$A_2 = \frac{F_{1(2)}}{F'_{2(2)}} = -9.90165 \times 10^5$$

Импульсную переходную характеристику цепи получим в виде:

$$g_u(t) = \sum_k \left[\frac{H_{1(k)}}{H'_{2(k)}} e^{s(k)t} \right] = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t} = -9.90164 \times 10^5 e^{-5.0099 \times 10^6 t} + 65.75 e^{-332.67 t}$$



4.3. Для расчета АЧХ и ФЧХ цепи найдем комплексный коэффициент передачи по напряжению данной цепи. Для этого в выражении для найденного ранее операторного коэффициента передачи заменим оператор $\mathbf{s} \rightarrow j\omega$

$$K_u(j\omega) = k \frac{j\omega}{\omega^2 - b_1 j\omega - b_0}$$

Запишем АЧХ ФЧХ :

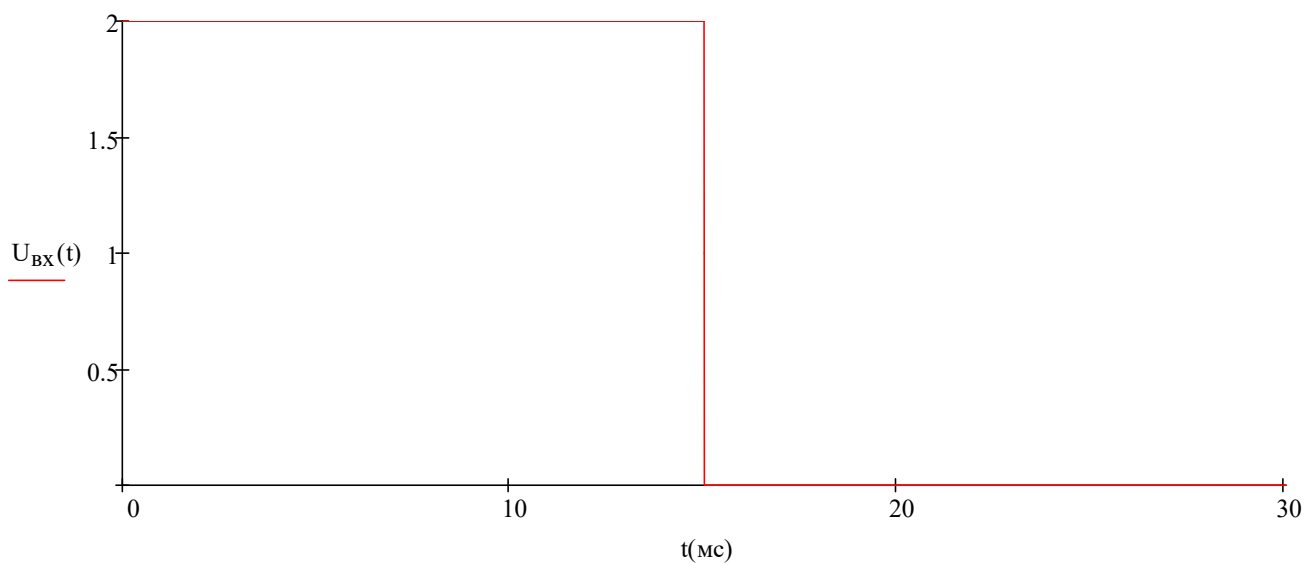
$$K_u(\omega) = k \frac{\omega}{\sqrt{(\omega^2 - b_0)^2 + (b_1 \omega)^2}}$$

$$\phi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg}\left(\frac{-b_1 \omega}{\omega^2 - b_0}\right)$$

4.4. Определить и построить реакцию схемы на напряжение в форме идеального прямоугольного импульса амплитудой 2 вольта и длительностью $5\tau_{\max}$, где τ_{\max} - максимальная постоянная времени схемы.

$$t_1 = 5\tau_{\max} = 0.01503 \quad U_m = 2$$

$$U_{\text{вх}}(t) = U_m(1 - \Phi(t - t_1))$$



Расчет выходного напряжения операторным методом изображение входного напряжения в операторной форме

$$U_1(s) = \frac{U_m}{s}$$

изображение выходного напряжения в операторной форме

$$U_{\text{ВЫХ}}(s) = U_{\text{ВХ}}(s) g_u(s) = \frac{U_m k}{s^2 + b_1 s + b_0} = \frac{H_1}{H_2}$$

Оригинал выходного напряжения найдем воспользовавшись теоремой разложения приравняем H_2 к нулю и найдем корни

$$H_2 = (s^2 + b_1 s + b_0) = 0$$

$$s = \left(\frac{-b_1}{2} \right) \pm \left(\frac{\sqrt{b_1^2 - 4b_0}}{2} \right) \quad \begin{aligned} s_1 &= -332.67453 \\ s_2 &= -5.0099 \times 10^6 \end{aligned}$$

подставим в числитель H_1 корни p

$$H_{1(1)} = U_m k = -1.9802 \times 10^6$$

$$H_{1(2)} = U_m k = -1.9802 \times 10^6$$

производная H'_2 по p

$$H'_{2(1)} = 2s_1 + b_1 = 5.00957 \times 10^6$$

$$H'_{2(2)} = 2s_2 + b_1 = -5.00957 \times 10^6$$

разделим H_1 на H'_2

$$B_1 = \frac{H_{1(1)}}{H'_{2(1)}} = -0.39528$$

$$B_2 = \frac{H_{1(2)}}{H'_{2(2)}} = 0.39528$$

напряжение $U_{\text{ВЫХ}}(t)$ получим в виде:

$$U_{\text{ВЫХ1}}(t) = \sum_k \left[\frac{H_{1(k)}}{H'_{2(k)}} e^{s(k)t} \right] = B_1 e^{s_1 t} + B_2 e^{s_2 t} = 0.39528 e^{-5.0099 \times 10^6 t} + -0.39528 e^{-332.67 t}$$

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = U_{\text{ВЫХ1}}(t) - U_{\text{ВЫХ1}}(t - t_1) \Phi(t - t_1)$$

