

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

Методические указания
и контрольные задания по выполнению контрольной работы
№ 2 по дисциплине:
«Теория электрических цепей»
по теме:
«Расчет частотных и временных характеристик четырехполюсников»

направление подготовки 11.03.02 –
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
(все профили)

Ростов-на-Дону
2019

Методические указания и контрольные задания
по выполнению контрольной работы № 2 по дисциплине
«Теория электрических цепей»
по теме «Расчет частотных и временных
характеристик четырехполюсников»

Составители: Ю.В.Жабинский, доцент кафедры ОНП,
А.В. Бородин, доцент кафедры ОНП,
Я.Б. Константинова, доцент кафедры ОНП
Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры ОНП
Протокол от «26» августа 2019г. № 1

АННОТАЦИЯ

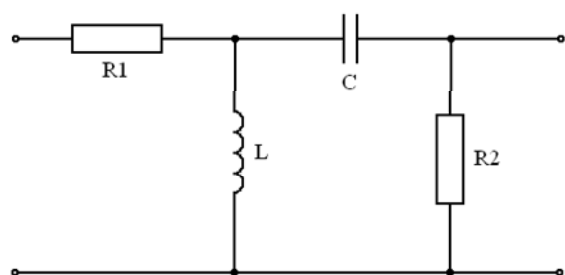
Задания и методические указания на контрольную работу № 2 по дисциплине «Теория электрических цепей» (ТЭЦ) предназначены для студентов 2 курса заочного факультета различных программ обучения по направлению подготовки 11.03.02 - «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» всех профилей.

Основная цель контрольной работы - систематизация, закрепление и углубление теоретических знаний, а также приобретение практических навыков аналитического расчета основных характеристик четырехполюсников (ЧП).

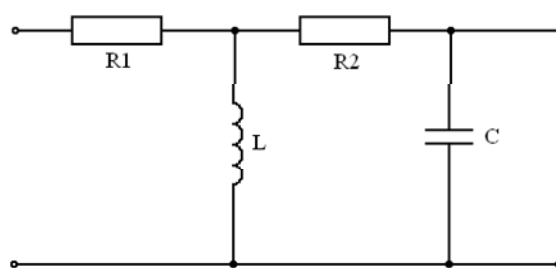
В методических указаниях рассмотрены этапы выполнения контрольной работы, изложено содержание пояснительной записки и графической части.

1. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

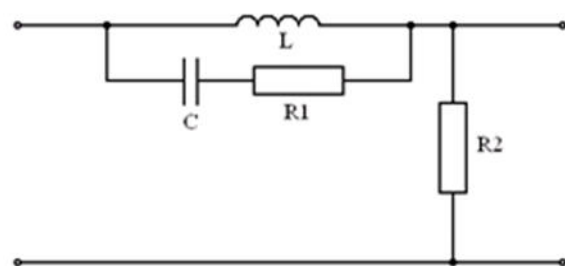
Задания на контрольную работу составлены в 50 вариантах. Выбор варианта задания для каждого студента рассмотрен выше и предусматривает выбор схемы цепи из схем, приведенных на рисунках 1 – 7, и численных значений ее параметров, приведенных в таблице 1.



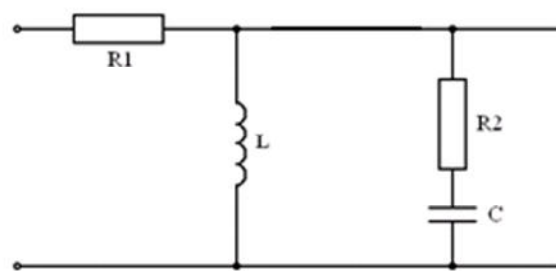
1



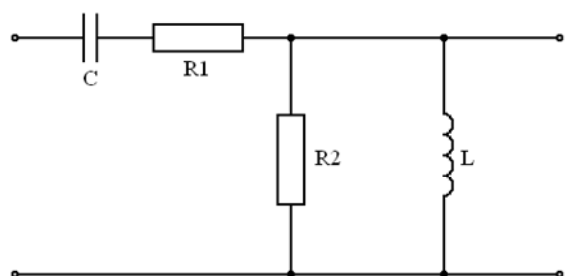
2



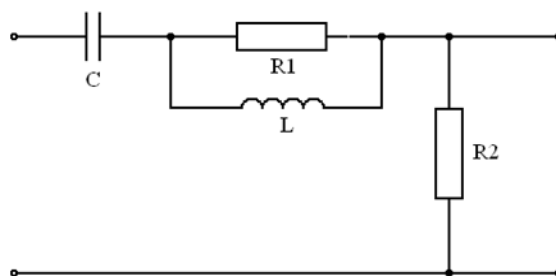
3



4



5



6

Рисунок 1- Варианты схем исследования

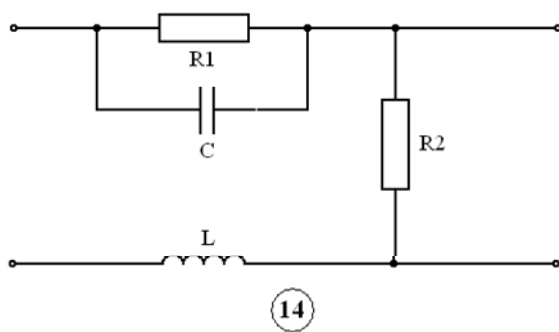
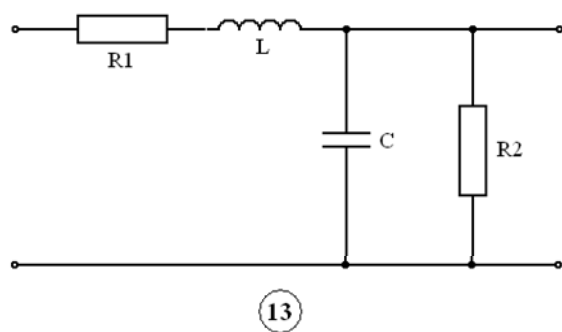
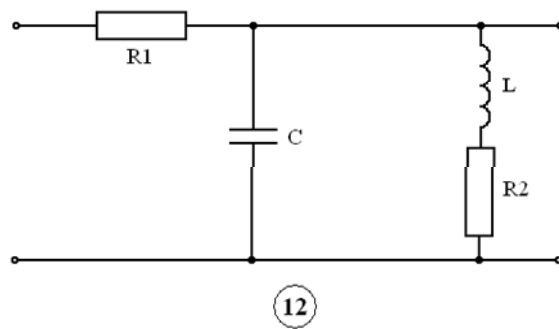
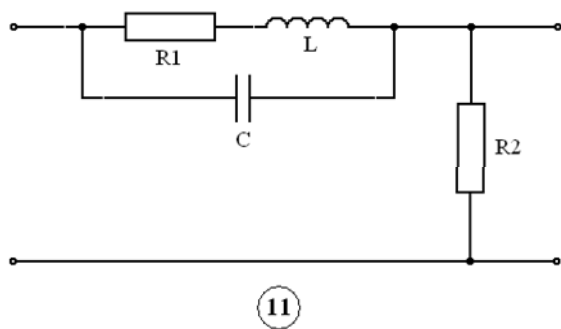
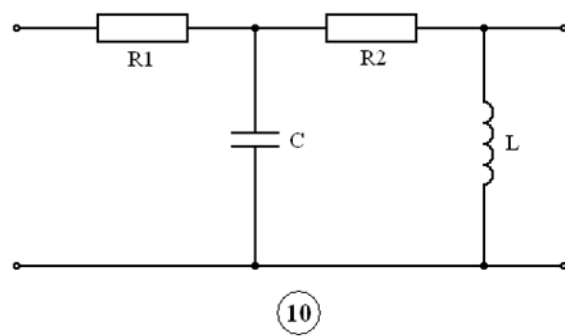
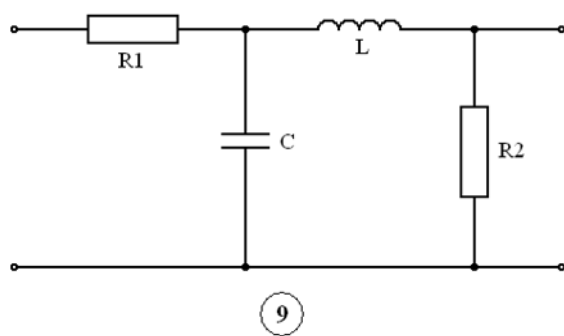
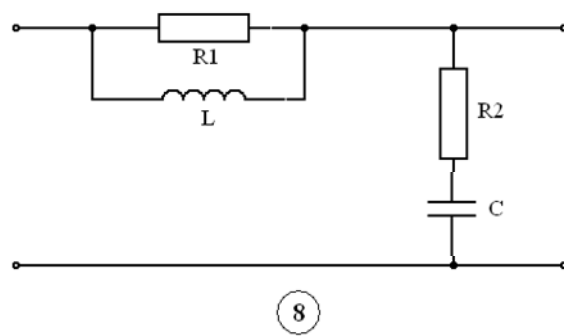
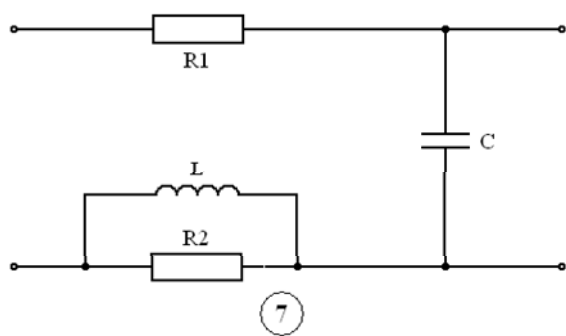


Рисунок 2- Варианты схем исследования

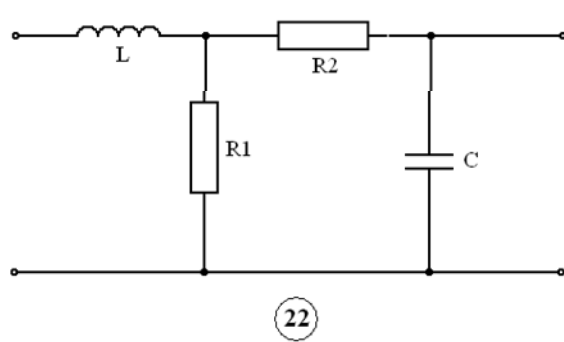
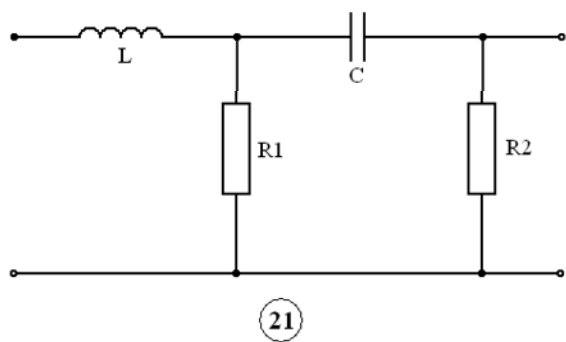
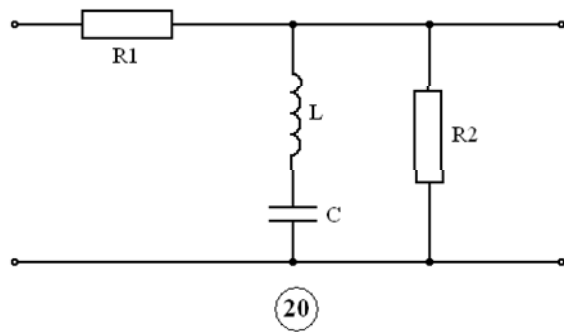
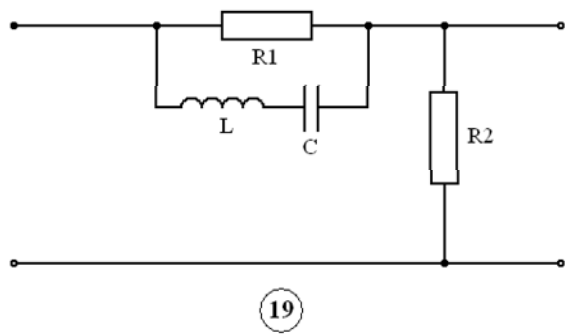
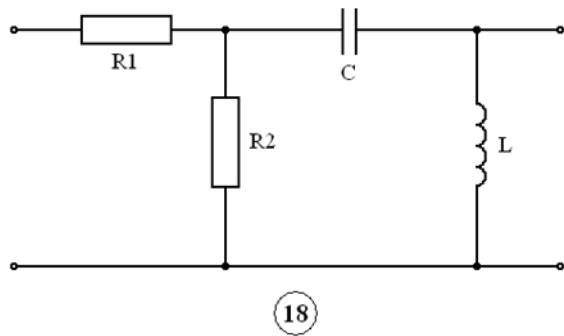
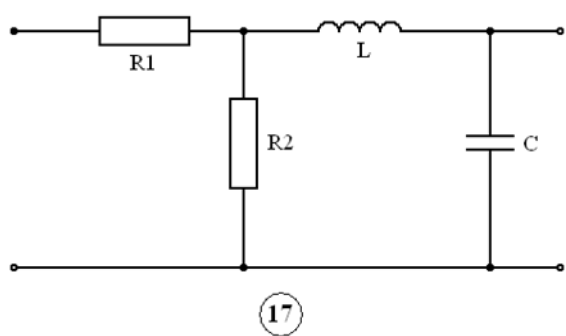
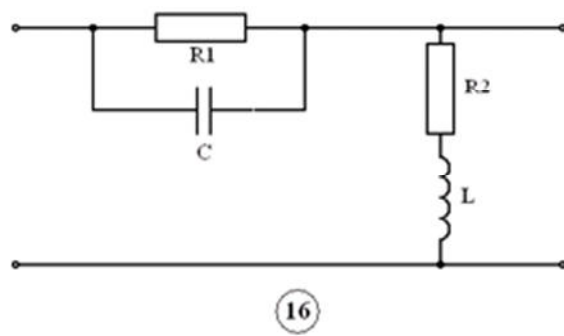
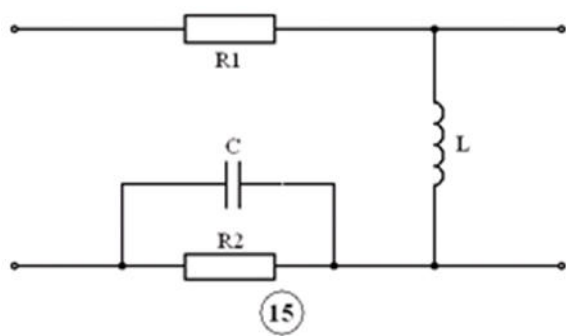
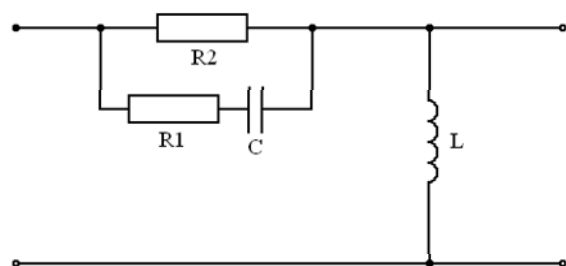
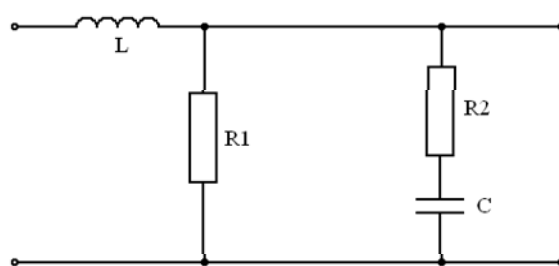


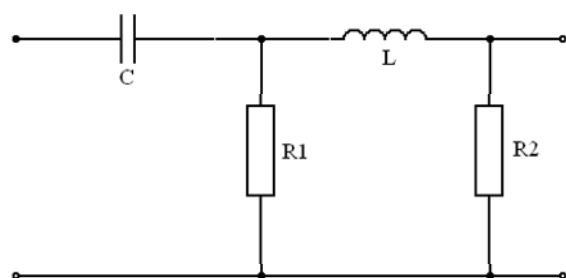
Рисунок 3- Варианты схем исследования



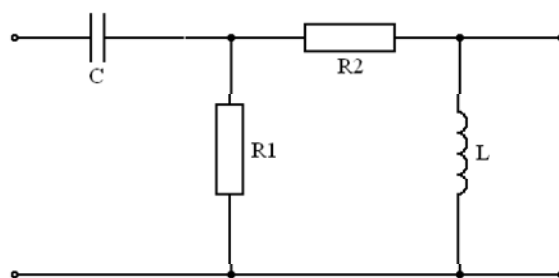
23



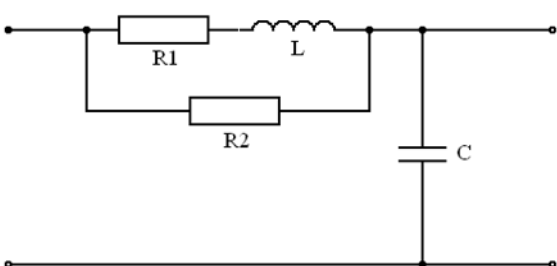
24



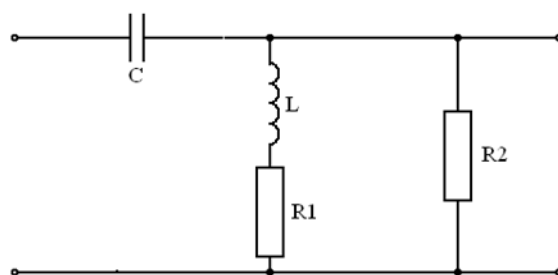
25



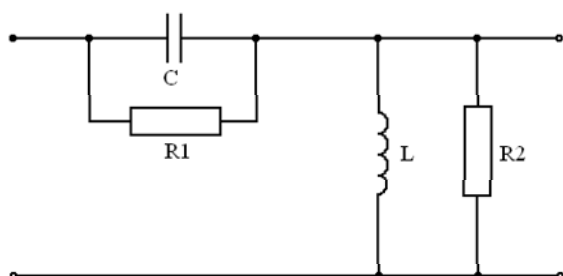
26



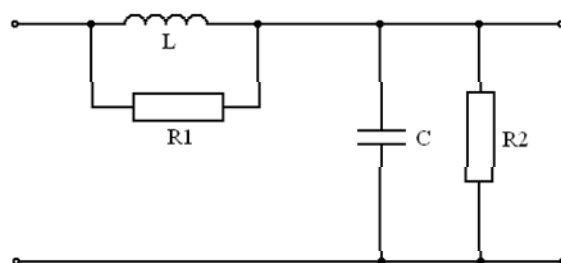
27



28



29



30

Рисунок 4- Варианты схем исследования

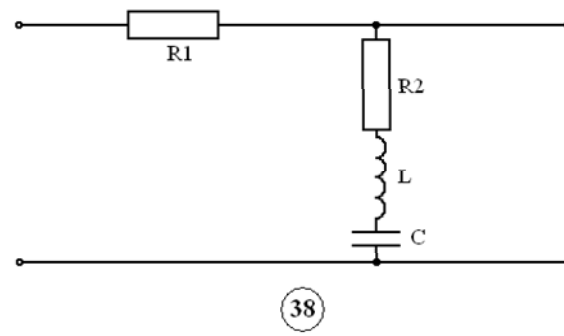
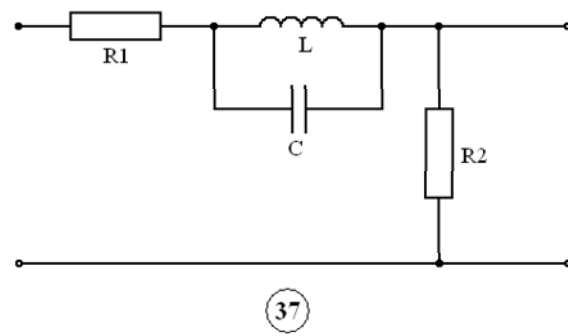
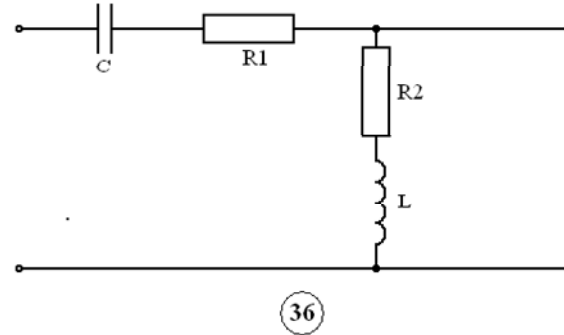
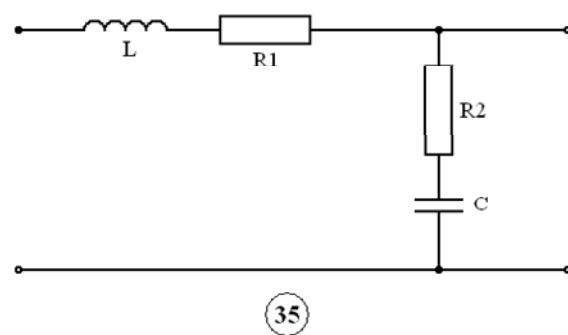
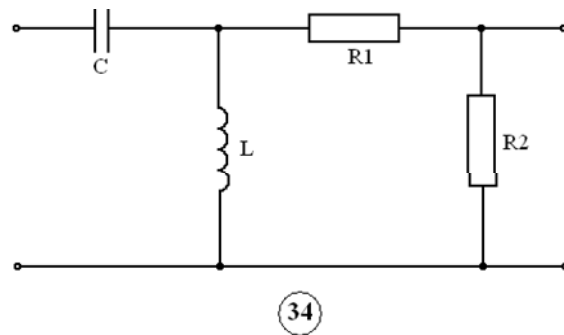
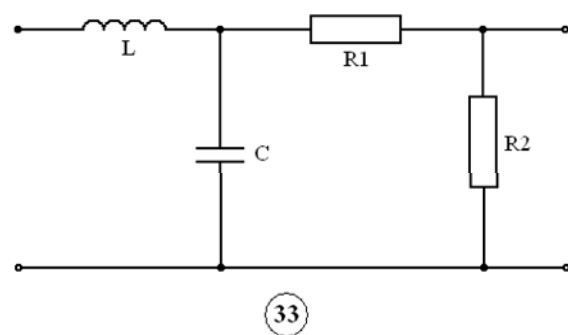
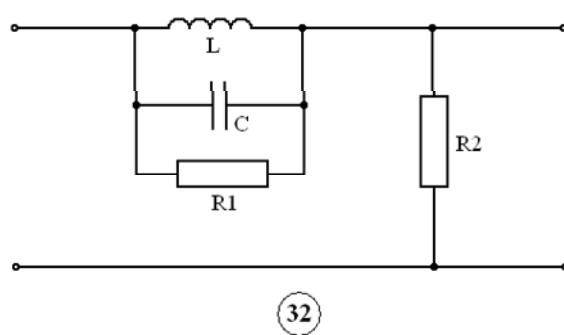
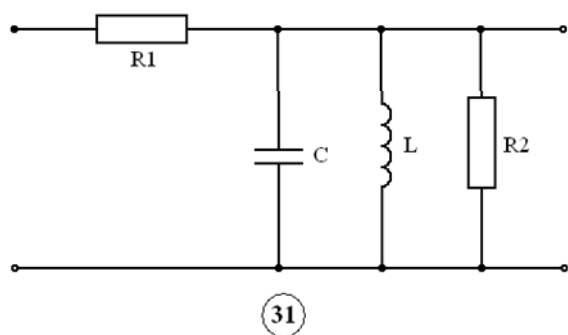


Рисунок 5- Варианты схем исследования

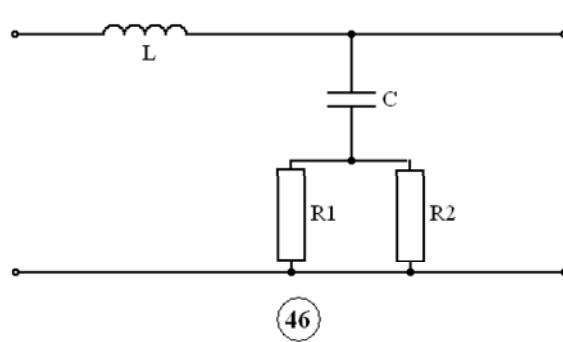
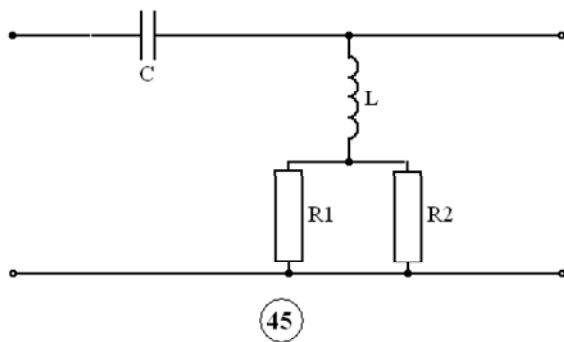
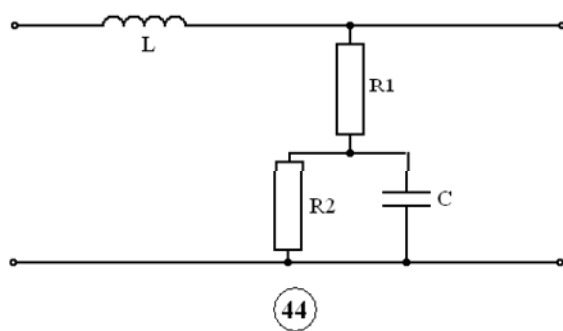
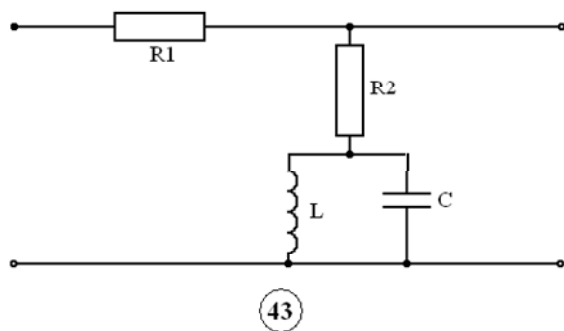
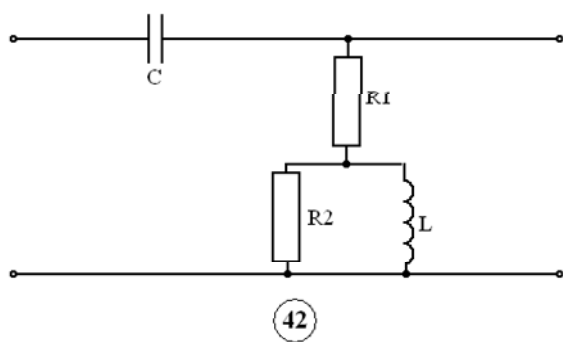
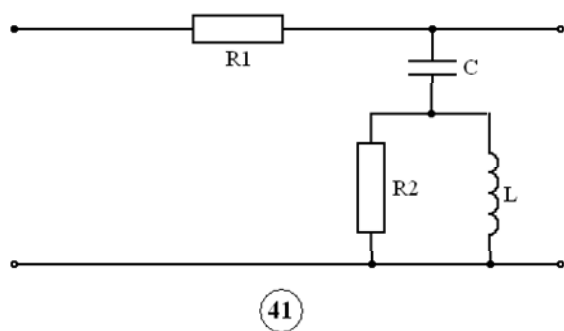
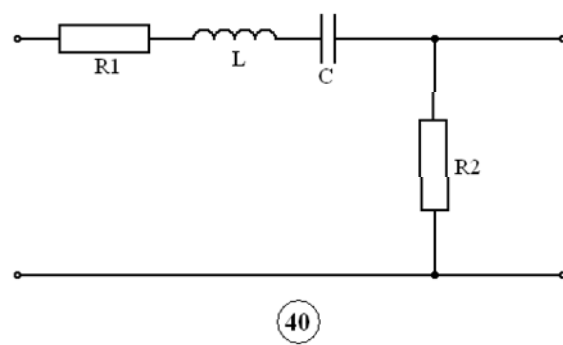
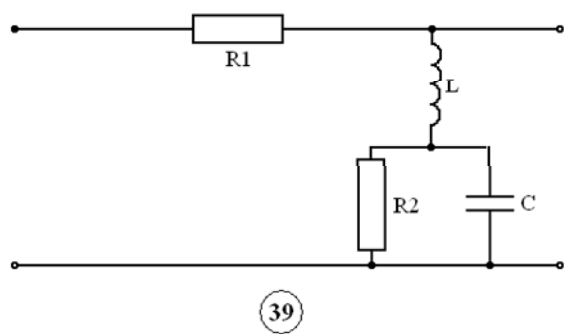


Рисунок 6- Варианты схем исследования

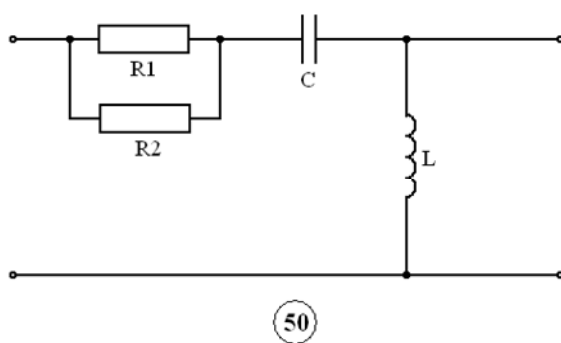
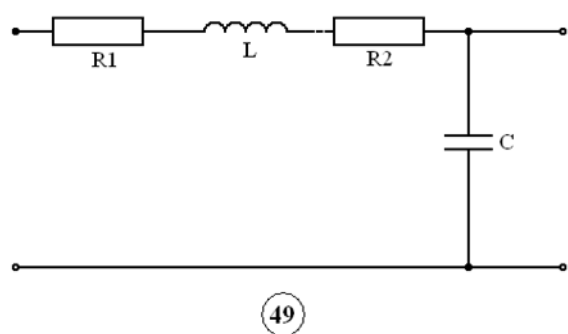
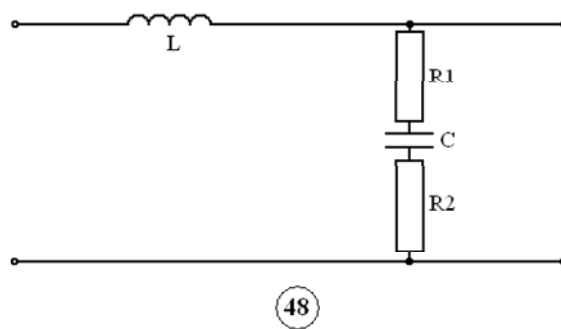
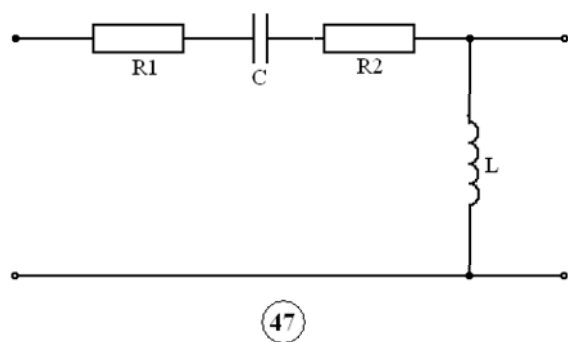


Рисунок 7- Варианты схем исследования

Таблица 1 - Варианты численных значений параметров четырехполусников

Номер варианта	L, Гн	C, Ф	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	T, с
1	3,0	2,3	1	2	10,0
2	2,8	2,1	2	1	8,0
3	2,5	1,9	1	3	6,0
4	2,1	1,5	3	1	4,0
5	1,8	1,2	1	2	2,0
6	1,4	1,0	2	1	1,9
7	1,0	0,8	1	2	1,5
8	0,8	0,5	1	1	1,3
9	0,5	0,3	2	1	1,2
10	0,25	0,1	1	1	1,0
11	0,21	0,1	1	2	0,9
12	0,18	0,09	2	1	0,7
13	0,13	0,06	1	1	0,5
14	0,08	0,03	2	1	0,3
15	0,05	0,001	1	2	0,1
16	0,03	0,001	2	2	0,09
17	0,018	0,009	1	1	0,07
18	0,013	0,006	1	2	0,05

19	0,008	0,003	2	1	0,03
20	0,005	0,001	1	1	0,01
21	0,0021	0,001	2	2	0,009
22	0,0018	0,0009	1	2	0,007
23	0,0013	0,0006	2	1	0,005
24	0,0008	0,0003	1	1	0,003
25	0,0005	0,0001	2	2	0,001
26	3,0	2,5	1	2	10,0
27	2,8	2,3	2	1	9,0
28	2,6	2,1	1	2	8,0
29	2,4	1,9	3	1	7,0
30	2,2	1,7	1	2	6,0
31	2,0	1,5	2	1	5,0
32	1,8	1,3	1	2	4,0
33	1,6	1,1	1	1	3,0
34	1,4	0,9	2	1	2,0
35	1,2	0,7	1	1	1,0
36	1,0	0,5	1	2	0,9
37	0,8	0,4	2	1	0,8
38	0,6	0,3	1	1	0,7
39	0,4	0,2	2	1	0,6
40	0,2	0,18	1	2	0,5
41	0,1	0,16	2	2	0,4
42	0,08	0,12	1	1	0,3
43	0,06	0,1	1	1	0,2
44	0,04	0,08	1	2	0,1
45	0,02	0,04	2	1	0,08
46	0,01	0,02	1	2	0,06
47	0,008	0,01	2	1	0,04
48	0,004	0,008	1	1	0,02
49	0,002	0,006	1	2	0,01
50	0,001	0,004	2	2	0,005

В контрольной работе требуется:

1. Вывести в операторной форме выражение передаточной функции цепи по напряжению, применяя законы Ома и Кирхгофа.
2. Вывести в операторной форме выражение той же передаточной функции цепи по напряжению, используя параметры-коэффициенты четырехполюсника в

форме [А] и представив исходную схему в виде эквивалентного каскадного соединения двух или более элементарных ЧП.

3. Рассчитать и построить графики следующих частотных характеристик ЧП по напряжению:

- амплитудно-частотной (АЧХ);
- фазочастотной (ФЧХ);
- характеристического ослабления;
- характеристической фазовой постоянной;
- времени задерживания.

4. Рассчитать и построить графики временных характеристик ЧП по напряжению:

- переходной;
- импульсной.

5. Рассчитать и построить графики временных и частотных характеристик входного и выходного сигналов, если на вход исследуемого ЧП подается периодический сигнал $U_{вх}(t) = e^{-\alpha t}$ с периодом следования T , где $\alpha = \frac{50+n}{20}$, n – номер варианта. Графики временных характеристик строить для двух и более периодов. Спектры частотных характеристик входного и выходного сигналов строить для первых семи гармоник.

2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

2.1 Задание на контрольную работу

1. Вывести в операторной форме выражение передаточной функции ЧП по напряжению, применяя законы Ома и Кирхгофа.

2. Вывести в операторной форме выражение передаточной функции ЧП по напряжению, используя параметры-коэффициенты в форме [A] и представив исходную схему в виде эквивалентного каскадного соединения двух или более элементарных ЧП.

3. Рассчитать и построить графики частотных характеристик ЧП по напряжению:

- амплитудно-частотной (АЧХ);
- фазочастотной (ФЧХ);
- характеристического ослабления;
- характеристической фазовой постоянной;
- времени задерживания.

4. Рассчитать и построить графики временных характеристик ЧП по напряжению:

- переходной;
- импульсной.

5. Рассчитать и построить графики временных и частотных характеристик входного и выходного сигналов, если на вход ЧП подается периодический сигнал $U_{ex}(t) = e^{-\alpha t}$ с периодом следования T , где $\alpha = \frac{50+n}{20}$, где n – предпоследняя цифра номера студенческих документов. Графики временных характеристик построить для двух периодов.

Для выполнения курсовой работы выберем 00 вариант задания. Схема исследуемого ЧП представлена на рисунке 8, параметры цепи приведены в таблице 2.

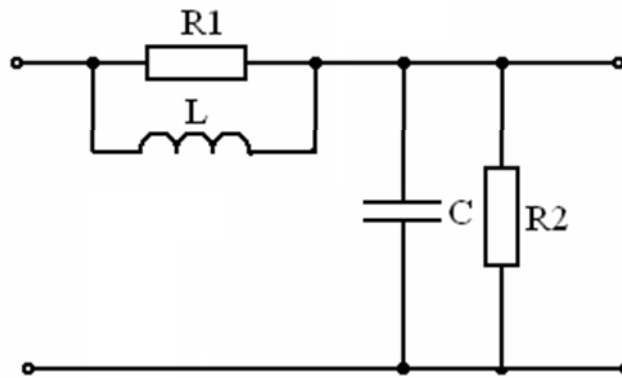


Рисунок 8 - Схема исследуемого ЧП

Таблица 2 - Численные значения параметров исследуемого ЧП

Номер варианта	L, Гн	C, Ф	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	T, с
00	1,5	0,5	1	2	0,5

2.2 Определение передаточной функции ЧП с помощью законов Ома и Кирхгофа

Составим схему замещения исследуемого ЧП в операторной форме (рисунок 9):

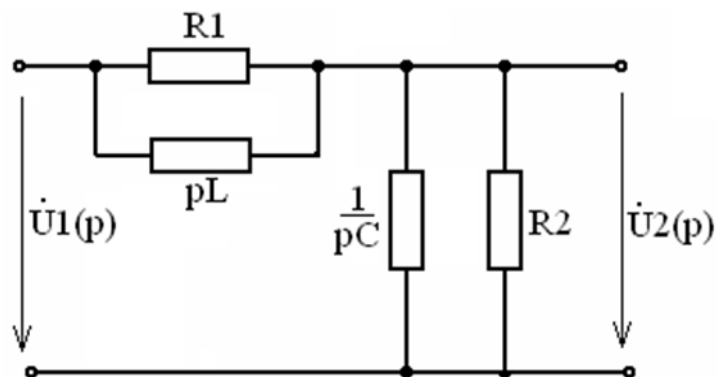


Рисунок 9 - Схема замещения исследуемого ЧП в операторной форме

Передаточная функция ЧП в операторной форме записывается в виде:

$$H(p) = \frac{\dot{U}_2(p)}{\dot{U}_1(p)} \quad (1)$$

Упростим схему ЧП, заменив сопротивления параллельно соединенных ветвей схемы эквивалентными сопротивлениями (рисунок 10):

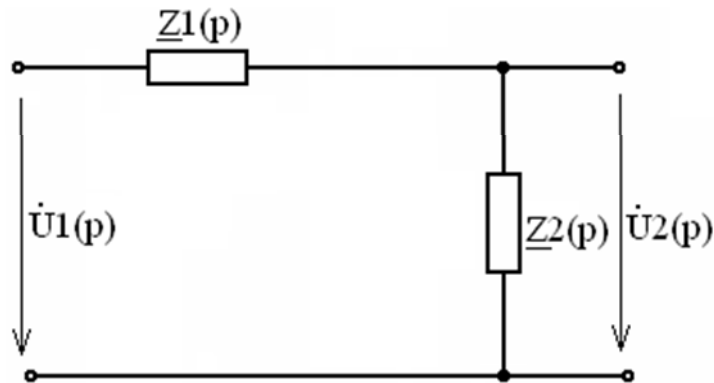


Рисунок 10 – Упрощенная эквивалентная схема замещения ЧП

Запишем выражения эквивалентных сопротивлений:

$$\underline{Z}_1(p) = \frac{R_1 \cdot pL}{R_1 + pL}, \quad \underline{Z}_2(p) = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{pC}}{R_2 + \frac{1}{pC}} = \frac{R_2}{R_2 pC + 1}.$$

Тогда входное сопротивление цепи запишется в виде:

$$\underline{Z}(p) = \underline{Z}_1(p) + \underline{Z}_2(p) = \frac{R_1 \cdot pL}{R_1 + pL} + \frac{R_2}{R_2 pC + 1} = \frac{R_1 R_2 p^2 LC + R_1 pL + R_2 pL + R_1 R_2}{(R_1 + pL) \cdot (R_2 pC + 1)} \quad (2)$$

По закону Ома определим входной ток в цепи:

$$i(p) = \frac{\dot{U}_1(p)}{\underline{Z}(p)} = \frac{\dot{U}_1(p) \cdot (R_1 + pL) \cdot (R_2 pC + 1)}{R_1 R_2 p^2 LC + R_1 pL + R_2 pL + R_1 R_2} \quad (3)$$

а затем запишем выражение выходного напряжения в операторной форме:

$$\begin{aligned} \dot{U}_2(p) &= i(p) \cdot \underline{Z}_2(p) = \frac{\dot{U}_1(p) \cdot (R_1 + pL) \cdot (R_2 pC + 1)}{R_1 R_2 p^2 LC + R_1 pL + R_2 pL + R_1 R_2} \cdot \frac{R_2}{R_2 pC + 1} = \\ &= \frac{\dot{U}_1(p) \cdot (R_1 + pL) \cdot R_2}{R_1 R_2 p^2 LC + (R_1 + R_2) pL + R_1 R_2} \end{aligned} \quad (4)$$

Тогда выражение передаточной функции ЧП в операторной форме (1) запишется в виде:

$$H(p) = \frac{\dot{U}_1(p) \cdot (R_1 + pL) \cdot R_2}{(R_1 R_2 p^2 LC + (R_1 + R_2)pL + R_1 R_2) \cdot \dot{U}_1(p)} = \frac{(R_1 + pL) \cdot R_2}{(R_1 R_2 p^2 LC + (R_1 + R_2)pL + R_1 R_2)} \quad (5)$$

Подставим в (5) численные значения исходных данных и получим выражение передаточной функции цепи в численном виде:

$$H(p) = \frac{(1+1,5p) \cdot 2}{1 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 0,5 p^2 + (1+2) \cdot 1,5 p + 1 \cdot 2} = \frac{3p+2}{1,5p^2+4,5p+2}.$$

Таким образом, передаточная функция цепи по напряжению имеет вид:

$$H(p) = \frac{3p+2}{1,5p^2+4,5p+2} \quad (6)$$

2.3 Определение передаточной функции ЧП с помощью параметров-коэффициентов в форме $[\underline{A}]$

Для определения выражения передаточной функции ЧП по напряжению через параметры-коэффициенты в форме $[\underline{A}]$, представим исходную схему в виде эквивалентного каскадного соединения двух элементарных четырехполюсников (рисунок 11):

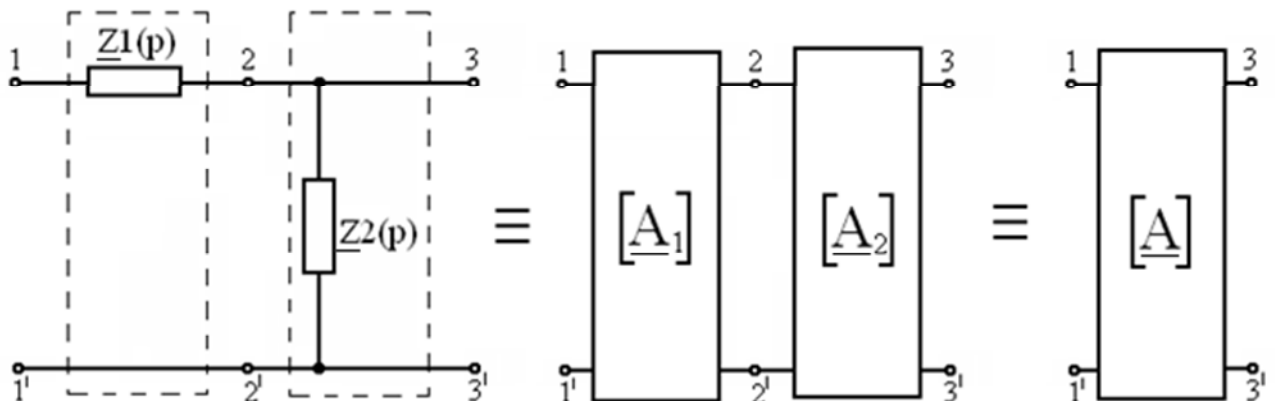


Рисунок 11 - Эквивалентная схема замещения цепи в виде каскадного соединения двух элементарных ЧП

Запишем в общем виде уравнения передачи ЧП в форме $[\underline{A}]$:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \underline{A}_{11} \cdot \dot{U}_2 + \underline{A}_{12} \cdot \dot{I}_2; \\ \dot{I}_1 = \underline{A}_{21} \cdot \dot{U}_2 + \underline{A}_{22} \cdot \dot{I}_2 \end{cases} \quad (7)$$

Матрицу $[\underline{A}]$ параметров ЧП можно определить, используя метод холостого хода и короткого замыкания на выходе четырехполюсника.

Рассмотрим первый элементарный четырехполюсник ЧП1, приведенный на рисунке 12:

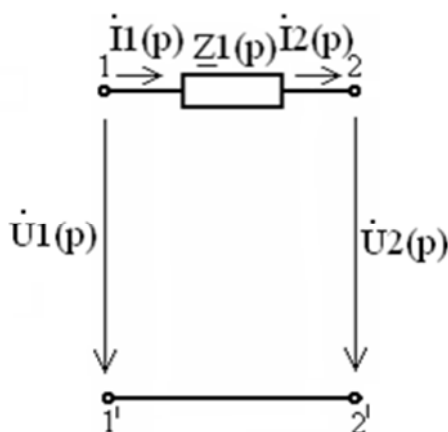


Рисунок 12 - Схема первого элементарного четырехполюсника ЧП1.

При холостом ходе на выходе ЧП1 (рис. 12) токи и напряжения на входе и выходе цепи будут иметь следующие значения: $\dot{I}_2 = 0$, $\dot{I}_1 = 0$, $\dot{U}_1 = \dot{U}_2$, а уравнения

передачи ЧП1 (7) будут иметь вид:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \underline{A}_{11} \cdot \dot{U}_2; \\ \dot{I}_1 = \underline{A}_{21} \cdot \dot{U}_2 \end{cases} \quad (8)$$

Из уравнений (8) получаем: $\underline{A}_{11} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = 1$; $\underline{A}_{21} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} = 0$ (9)

При коротком замыкании зажимов на выходе ЧП1 схема приобретает вид (рисунок 13):

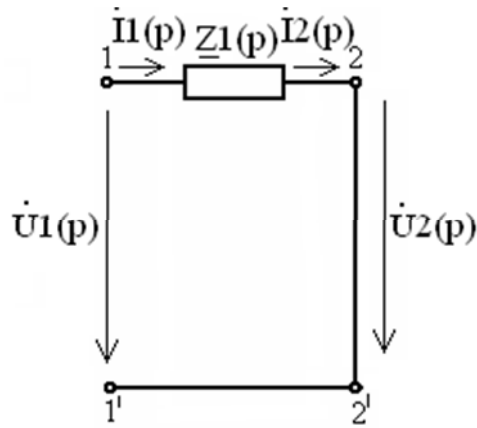


Рисунок 13 - Схема ЧП1 в режиме короткого замыкания на выходе

В этом режиме напряжение $\dot{U}_2 = 0$, токи $\dot{I}_1 = \dot{I}_2$ и уравнения передачи ЧП1 приобретают вид:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \underline{A}_{12} \cdot \dot{I}_2, \\ \dot{I}_1 = \underline{A}_{22} \cdot \dot{I}_2 \end{cases}, \quad (10)$$

Из уравнений (10) получаем: $\underline{A}_{12} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} = \frac{\dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1}{\dot{I}_1} = \underline{Z}_1$; $\underline{A}_{22} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_1} = 1$ (11)

Подставим значение \underline{Z}_1 в (9) и (11), получаем матрицу $[\underline{A}_1]$ параметров ЧП1:

$$\begin{aligned} \underline{A}_{11} &= 1; & \underline{A}_{12} &= \underline{Z}_1 = \frac{R_1 \cdot pL}{R_1 + pL}; \\ \underline{A}_{21} &= 0; & \underline{A}_{22} &= 1, \end{aligned} \quad (12)$$

а затем запишем выражение обобщенной матрицы $[\underline{A}_1]$ ЧП1:

$$[\underline{A}_1] = \begin{vmatrix} 1 & \frac{R_1 \cdot pL}{R_1 + pL} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (13)$$

Рассмотрим второй элементарный четырехполюсник ЧП2, представленный на рисунке 14:

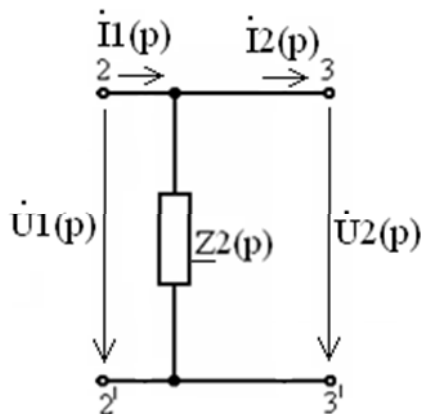


Рисунок 14 - Схема второго элементарного четырехполюсника

При холостом ходе на выходе (рис. 14) $I_2 = 0$, $U_1 = U_2$, и уравнения передачи ЧП2 приобретают вид:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \underline{A}_{11} \cdot \dot{U}_2; \\ \dot{I}_1 = \underline{A}_{21} \cdot \dot{U}_2 \end{cases} \quad (14)$$

Из (14) получаем: $\underline{A}_{11} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = 1$; $\underline{A}_{21} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} = \frac{1}{\underline{Z}_2}$ (15)

При коротком замыкании зажимов на выходе схема ЧП2 имеет вид (рисунок 15):

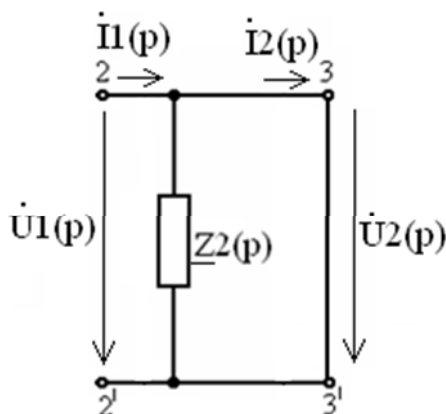


Рисунок 15 - Схема ЧП2 в режиме короткого замыкания на выходе

В этом режиме $U_2 = 0$, $U_1 = 0$, $I_1 = I_2$ и уравнения передачи приобретают вид:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \underline{A}_{12} \cdot \dot{I}_2; \\ \dot{I}_1 = \underline{A}_{22} \cdot \dot{I}_2 \end{cases} \quad (16)$$

Из (16) получаем: $\underline{A}_{12} = \frac{\dot{U}_1}{i_2} = 0;$ $\underline{A}_{22} = \frac{i_1}{i_2} = \frac{i_1}{i_1} = 1.$

Подставив значение \underline{Z}_2 в (15), определим матрицу $[\underline{A}_2]$ параметров ЧП2 и запишем выражение обобщенной матрицы $[\underline{A}_2]$ ЧП2:

$$\begin{aligned} \underline{A}_{11} &= 1; & \underline{A}_{12} &= 0; \\ \underline{A}_{21} &= \frac{1}{\underline{Z}_2} = \frac{R_2 p C + 1}{R_2}; & \underline{A}_{22} &= 1; \end{aligned}$$

$$[\underline{A}_2] = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{R_2 p C + 1}{R_2} & 1 \end{vmatrix} \quad (17)$$

Матрица $[\underline{A}]$ параметров исходного четырехполюсника находится как произведение матриц $[\underline{A}_1]$ и $[\underline{A}_2]$ элементарных каскадно-соединенных четырехполюсников:

$$\begin{aligned} [\underline{A}] &= [\underline{A}_1] \cdot [\underline{A}_2] = \begin{vmatrix} 1 & \frac{R_1 \cdot pL}{R_1 + pL} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{R_2 p C + 1}{R_2} & 1 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} 1 + \frac{R_1 \cdot pL}{R_1 + pL} \cdot \frac{R_2 p C + 1}{R_2} & \frac{R_1 \cdot pL}{R_1 + pL} \\ \frac{R_2 p C + 1}{R_2} & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{R_1 R_2 + R_2 pL + R_1 R_2 p^2 LC + R_1 pL}{R_2 \cdot (R_1 + pL)} & \frac{R_1 \cdot pL}{R_1 + pL} \\ \frac{R_2 p C + 1}{R_2} & 1 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

При разомкнутых выходных зажимах исходного четырехполюсника его передаточная функция имеет вид:

$$H(p) = \frac{1}{\underline{A}_{11}} = \frac{R_2 \cdot (R_1 + pL)}{(R_1 R_2 p^2 LC + (R_1 + R_2) pL + R_1 R_2)} \quad (18)$$

Подставим численные значения исходных данных, получим выражение передаточной функции ЧП в численном виде:

$$H(p) = \frac{(1+1,5p) \cdot 2}{1 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 0,5 p^2 + (1+2) \cdot 1,5 p + 1 \cdot 2} = \frac{3p+2}{1,5 p^2 + 4,5 p + 2} \quad (19)$$

Найденное выражение передаточной функции ЧП (19) имеет такой же вид, как и выражение его операторной передаточной функции (6), полученное в п. 1:

$$H(p) = \frac{3p+2}{1,5p^2+4,5p+2}.$$

Для получения комплексной передаточной функции четырехполюсника в выражении (19) заменим p на $j\omega$:

$$H(j\omega) = \frac{3j\omega+2}{1,5(j\omega)^2+4,5j\omega+2} = \frac{2+j3\omega}{(2-1,5\omega^2)+j4,5\omega} \quad (20)$$

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) ЧП определяется как модуль выражения (20):

$$H(\omega) = \sqrt{\frac{2^2+(3\omega)^2}{(2-1,5\omega^2)^2+(4,5\omega)^2}} \quad (21)$$

Для расчета значений и построения графика АЧХ используем программу Excel (можно использовать и другую программу). Значения частоты ω задаем в пределах от 0 до 36 рад/с с шагом изменения 4 рад/с. Значения АЧХ рассчитаем с помощью выражения:

$$=\text{корень}((2^2+3^2*A2^2)/((2-1,5*A2^2)^2+4,5^2*A2^2)) \quad (22)$$

После открытия программы Excel в ячейку A1, записывается обозначение частоты ω и единица ее измерения, а в ячейку, расположенную под ней, записывается обозначение передаточной функции $H(\omega)$.

Далее в ячейку с номером A2 записывается начальное значение ω , равное 0, а в следующую от нее по строке ячейку A3 записывается формула расчета в ней значения ω , равного значению ω в предыдущей ячейке (A2) плюс шаг изменения частоты ω , равный 4. Далее содержимое этой ячейки копируется с помощью курсора по строке до ячейки, в которой значение ω , будет равным 36. Содержимое всех ячеек, содержащих значения ω , сразу же выводится на экран.

Далее в ячейку, расположенную под ячейкой A3, записывается выражение (22) и содержимое этой ячейки с помощью курсора копируется по строке до

ячейки, расположенной под ячейкой со значением ω , будет равное 36. Во всех ячейках, в которые копировалось выражение (22), будут содержаться рассчитанные значения $H(\omega)$, и они сразу же выводятся на экран в виде строки таблицы. Далее выбираем количество значащих цифр после запятой и распечатываем полученную таблицу, приведенную ниже (таблица 3). Распечатанная таблица 3 вкладывается в курсовую работу.

Таблица 3 - Данные для построения АЧХ

ω , рад/с	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
$H(\omega)$	1	0,4279	0,2392	0,1633	0,1235	0,0992	0,0829	0,0711	0,0623	0,055

Далее в программе Excel производится выбор вида графика, который может быть построен по данным таблицы 3, и производится его распечатка. График АЧХ ЧП, построенный по данным таблицы 3, представлен на рисунке 16:

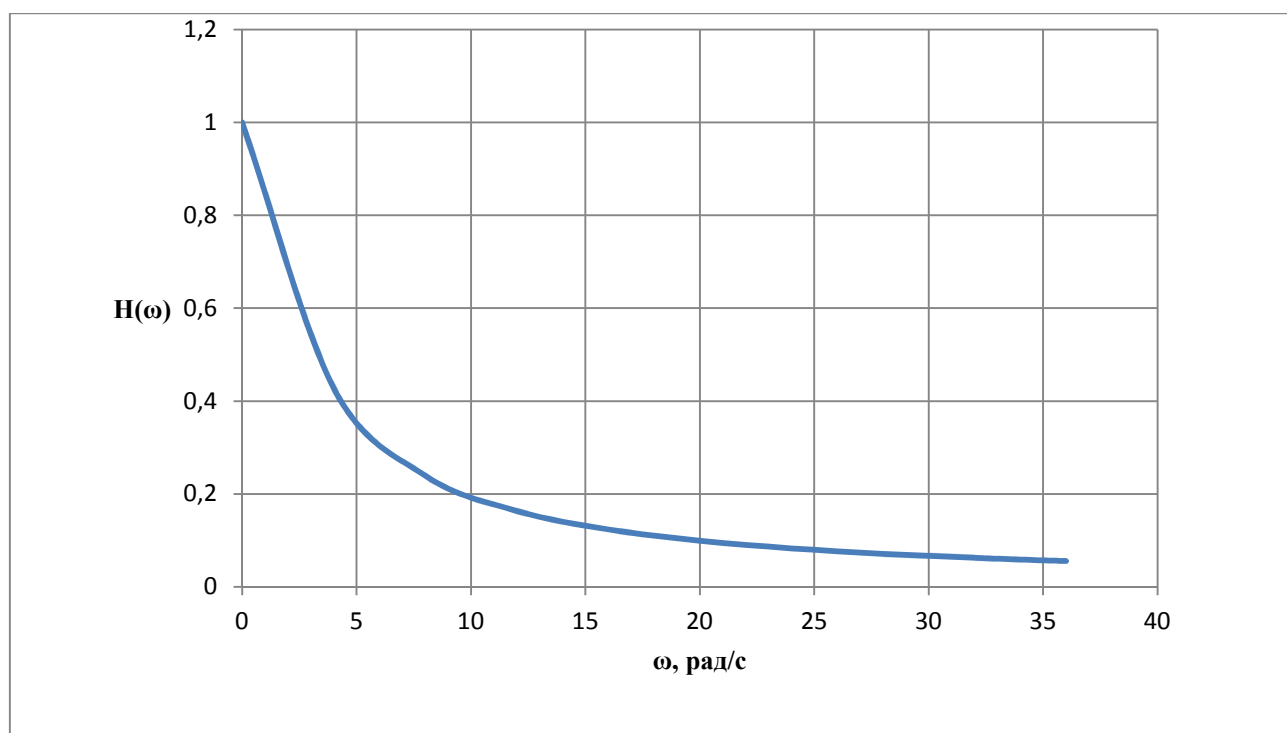


Рисунок 16 - График АЧХ ЧП

Фазо-частотная характеристика (ФЧХ) исследуемой цепи (рисунок 8) определяется выражением:

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{3\omega}{2} - \arctg \frac{4,5\omega}{2-1,5\omega^2} \quad (23)$$

Для расчета и построения графика ФЧХ также используем программу Excel. Все действия аналогичны тем, которые выполнялись при расчете и построении графика АЧХ. Отличие заключается только в том, что программа Excel может рассчитывать формулу только с одной функцией, и поэтому при вычислении ФЧХ по (23) необходимо дважды вычислять функцию **atan**. Результаты расчетов ФЧХ представлены в таблице 4, а график ФЧХ изображен на рисунке 17:

Таблица 4 - Данные для построения ФЧХ

ω , рад/с	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
$\text{atan}(3\omega/2)$	0	1,405	1,487	1,515	1,529	1,537	1,543	1,546	1,549	1,552
$\text{atan}(4,5\omega/(2-1,5\omega^2))$	0	-0,685	-0,365	-0,247	-0,186	-0,149	-0,124	-0,106	-0,093	-0,083
$\varphi(\omega)$, рад	0	2,091	1,853	1,762	1,715	1,686	1,667	1,653	1,643	1,635

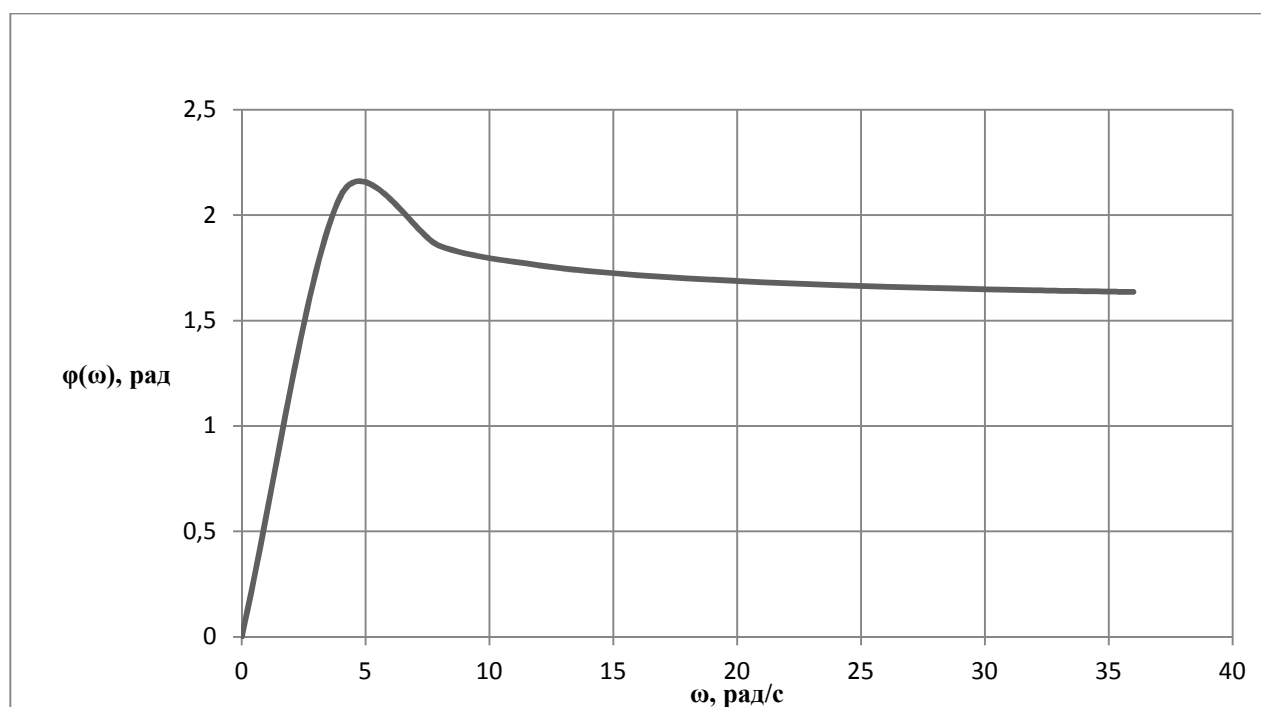


Рисунок 17 - График ФЧХ ЧП

Расчет характеристической постоянной передачи ЧП \underline{L} производится при согласованном включении в местах соединения "генератор-четыреполюсник" и "четыреполюсник-нагрузка" и потери электрической энергии в этом случае будут происходить только в самом четырехполюснике.

Характеристическая (собственная) постоянная передачи ЧП $\underline{\Gamma}$ представляет собой меру передачи энергии через ЧП в условиях его согласованного включения и определяется с помощью $[\underline{A}]$ параметров по выражению:

$$\underline{\Gamma} = \ln(\sqrt{\underline{A}_{11} \cdot \underline{A}_{22}} + \sqrt{\underline{A}_{12} \cdot \underline{A}_{21}}) = A + jB, \quad (24)$$

где:

- A - характеристическое (собственное) ослабление ЧП, измеряемое в неперах (или децибелах), показывает, насколько уменьшилась мощность на выходе четырехполюсника по сравнению с мощностью на его входе при передаче энергии через ЧП при конкретной частоте;

- B - характеристическая (собственная) фазовая постоянная ЧП, измеряемая в радианах (градусах), показывает изменение начальных фаз напряжений и токов при передаче энергии через ЧП при конкретной частоте.

Буквенные выражения $[\underline{A}]$ – параметров были получены ранее

$$[\underline{A}] = \begin{vmatrix} \frac{R_1 R_2 + R_2 pL + R_1 R_2 p^2 LC + R_1 pL}{R_2 \cdot (R_1 + pL)} & \frac{R_1 \cdot pL}{R_1 + pL} \\ \frac{R_2 pC + 1}{R_2} & 1 \end{vmatrix} \quad (25)$$

Подставим в (25) численные значения и получим численное выражение обобщенной матрицы рассматриваемого ЧП:

$$\begin{aligned} [\underline{A}] &= \begin{vmatrix} \frac{1 \cdot 2 + 2 \cdot 1,5p + 1 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 0,5p^2 + 1 \cdot 1,5p}{2 \cdot (1 + 1,5p)} & \frac{1 \cdot 1,5p}{1 + 1,5p} \\ \frac{2 \cdot 0,5p + 1}{2} & 1 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} \frac{1,5p^2 + 4,5p + 2}{3p + 2} & \frac{1,5p}{1,5p + 1} \\ \frac{p + 1}{2} & 1 \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (26)$$

Подставим численные значения элементов матрицы $[\underline{A}]$ (26) в (24) и преобразуем это выражение:

$$\begin{aligned} \underline{\Gamma} &= \ln \left(\sqrt{\frac{1,5p^2 + 4,5p + 2}{3p + 2} \cdot 1} + \sqrt{\frac{1,5p}{1,5p + 1} \cdot \frac{p + 1}{2}} \right) = \\ &= \ln \left(\sqrt{\frac{1,5p^2 + 4,5p + 2}{3p + 2}} + \sqrt{\frac{1,5p^2 + 1,5p}{3p + 2}} \right) \end{aligned} \quad (27)$$

Для получения комплексного выражения (27) заменим оператор p на $j\omega$:

$$\underline{\Gamma} = \ln \left(\sqrt{\frac{2 - 1,5\omega^2 + 4,5j\omega}{2 + 3j\omega}} + \sqrt{\frac{-1,5\omega^2 + 1,5j\omega}{2 + 3j\omega}} \right) \quad (28)$$

График характеристического (собственного) ослабления четырехполосника $A(\omega)$ построим с помощью программы MathCAD (можно строить график с помощью программы Excel, либо вручную по точкам). Для этого надо открыть программу и на рабочем поле набрать формулу:

$$A(\omega) := \left| \ln \left(\sqrt{\frac{2 - 1,5 \cdot \omega^2 + 4,5 \cdot \omega 1i}{2 + 3 \cdot \omega 1i}} + \sqrt{\frac{-1,5 \cdot \omega^2 + 1,5 \cdot \omega 1i}{2 + 3 \cdot \omega 1i}} \right) \right|$$

После этого на панели управления выбрать «Добавить – Графики – X–Y график». На рабочем поле появится шаблон графика (рисунок 18)

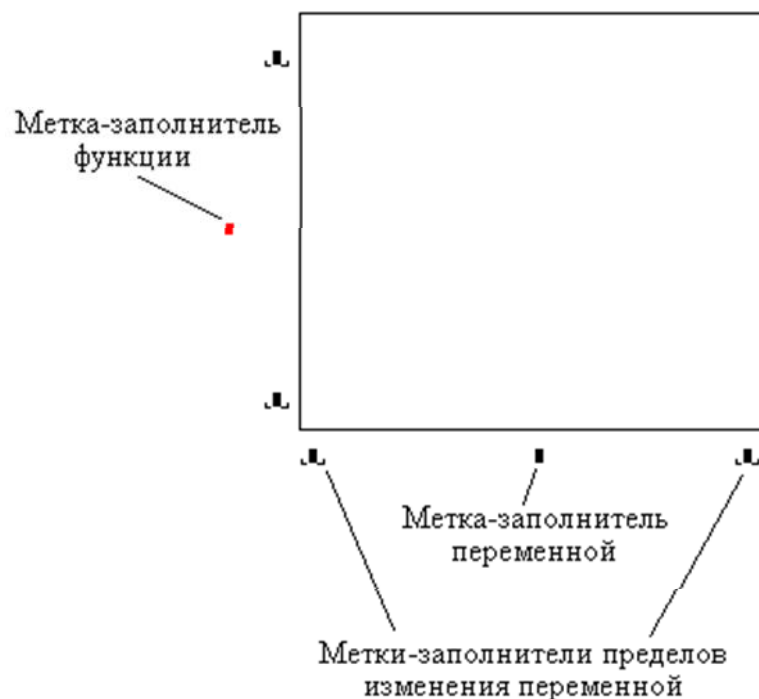


Рисунок 18 - Шаблон графика

Шаблон графика должен размещаться ниже формулы. Записываем в метку-заполнитель переменной – ω , в метки заполнители пределов - 0 и 40 (эти же

пределы использовались при построении графиков АЧХ и ФЧХ), в метку заполнитель функции – $A(\omega)$. Программа автоматически в рамках шаблона изобразит график $A(\omega)$. Этот график необходимо скопировать и вставить в курсовую работу. Для более наглядного оформления графика его сначала можно вставить в Paint, где на осях дорисовать стрелки, переместить аргумент и функцию к стрелкам, указать размерности. После этого график распечатывается и переносится в работу. В данном примере график $A(\omega)$ после оформления в Paint представлен на рисунке 19.

Для построения графика характеристической (собственной) фазовой постоянной ЧП на рабочем поле наберем формулу:

$$B(\omega) := \arg \left(\ln \left(\sqrt{\frac{2 - 1.5 \cdot \omega^2 + 4.5 \cdot \omega 1i}{2 + 3 \cdot \omega 1i}} + \sqrt{\frac{-1.5 \cdot \omega^2 + 1.5 \cdot \omega 1i}{2 + 3 \cdot \omega 1i}} \right) \right)$$

Затем строим график $B(\omega)$. Порядок построения графика тот же, что и для $A(\omega)$. В данном примере график $B(\omega)$ после оформления в Paint представлен на рисунке 20:

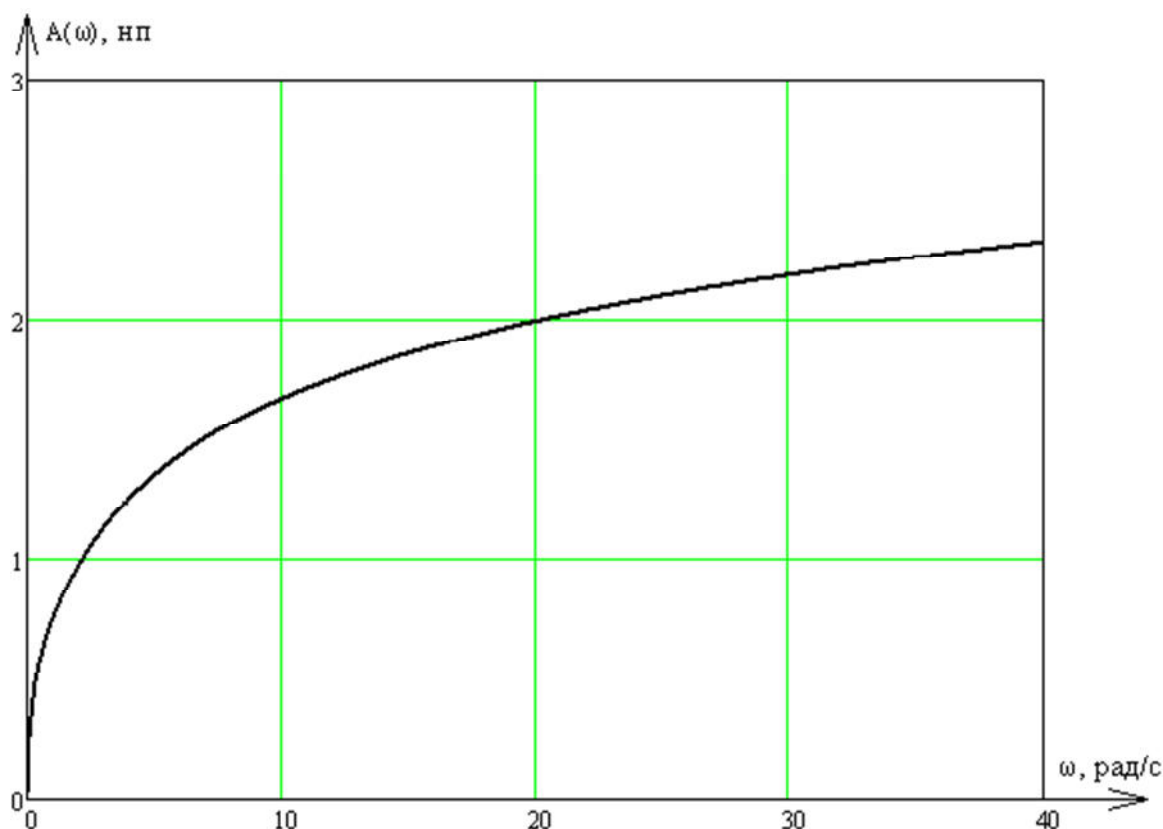


Рисунок 19 - График характеристического (собственного) ослабления ЧП

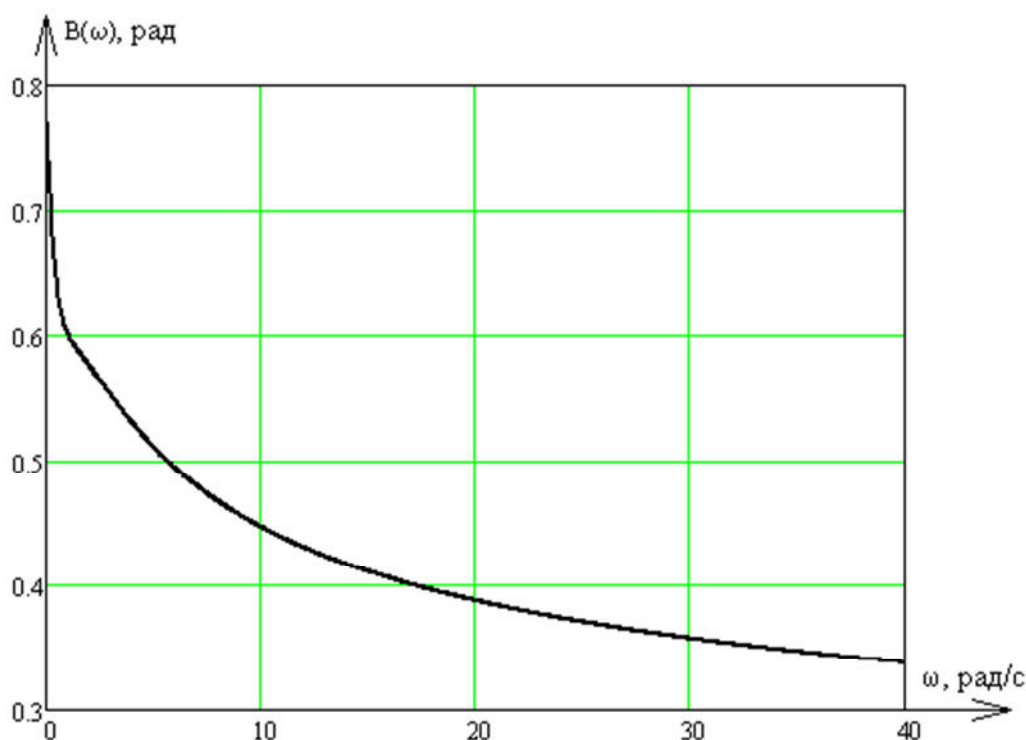


Рисунок 20 - График характеристической (собственной) постоянной фазы ЧП.

Время задерживания четырехполюсника связано с его ФЧХ следующим соотношением:

$$\tau(\omega) = \left| \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} \right|.$$

В данном примере ФЧХ ЧП уже была определена раньше и имеет вид:

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{3\omega}{2} - \arctg \frac{4,5\omega}{2-1,5\omega^2}.$$

Возьмём производную от $\varphi(\omega)$:

$$\begin{aligned} \tau(\omega) &= \left| \frac{1}{1+(\frac{3\omega}{2})^2} \cdot \frac{3}{2} - \frac{1}{1+(\frac{4,5\omega}{2-1,5\omega^2})^2} \cdot \frac{4,5 \cdot (2-1,5\omega^2) - 4,5\omega \cdot (-3\omega)}{(2-1,5\omega^2)^2} \right| = \left| \frac{4 \cdot 3}{(4+9\omega^2) \cdot 2} - \right. \\ &\quad \left. \frac{(2-1,5\omega^2)^2}{(2-1,5\omega^2)^2 + (4,5\omega)^2} \cdot \frac{9+6,75\omega^2}{(2-1,5\omega^2)^2} \right| = \left| \frac{6}{4+9\omega^2} - \frac{9+6,75\omega^2}{2,25\omega^4 + 14,25\omega^2 + 4} \right|. \end{aligned}$$

Таким образом,
$$\tau(\omega) = \left| \frac{6}{4+9\omega^2} - \frac{9+6,75\omega^2}{2,25\omega^4 + 14,25\omega^2 + 4} \right|.$$

Для построения графика $\tau(\omega)$ воспользуемся программой MathCAD. Для этого надо открыть программу и на рабочем поле набрать формулу:

$$\tau(\omega) := \left| \frac{6}{4 + 9 \cdot \omega^2} - \frac{6.75 \cdot \omega^2 + 9}{2.25 \cdot \omega^4 + 14.25 \cdot \omega^2 + 4} \right|$$

Затем таким же, как и раньше способом, строим график $\tau(\omega)$ (рисунок 21):

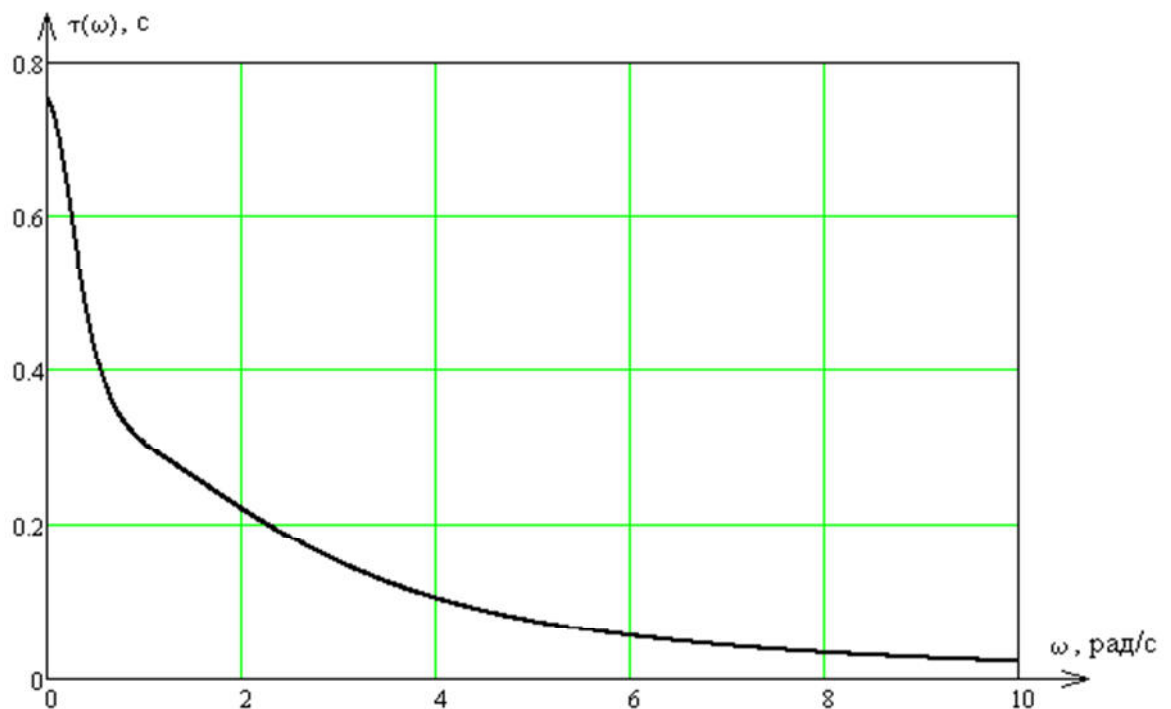


Рисунок 21- График времени задерживания гармоник в ЧП

2.4 Расчет и построение графиков временных характеристик ЧП

К временным характеристикам четырехполюсника относятся переходная и импульсная характеристики.

Переходная характеристика $h(t)$ – это реакция четырехполюсника на подачу на его вход сигнала в виде единичной ступенчатой функции $1(t)$. График единичной ступенчатой функции $1(t)$ представлен на рисунке 22 (верхний график), а ее изображение имеет вид - $1/p$. Следовательно, изображение переходной характеристики будет иметь вид:

$$h(p) = H(p) \cdot \frac{1}{p};$$

$$H(p) \cdot \frac{1}{p} = \frac{3p+2}{1,5p^2+4,5p+2} \cdot \frac{1}{p} = \frac{3p+2}{p \cdot (1,5p^2+4,5p+2)}.$$

Для нахождения оригинала переходной характеристики $h(t)$ применим теорему разложения:

$$h(t) = \sum_{k=1}^n \frac{F_1(p_k)}{F_2'(p_k)} \cdot e^{p_k t},$$

где p_k - корень характеристического уравнения, n – число корней,

$$\frac{F_1(p)}{F_2(p)} = \frac{3p+2}{p \cdot (1,5p^2+4,5p+2)}$$

Найдем корни характеристического уравнения:

$$p \cdot (1,5p^2 + 4,5p + 2) = 0;$$

$$p_1 = 0, \quad p_{2,3} = \frac{-4,5 \pm \sqrt{20,25 - 12}}{3} = \frac{-4,5 \pm 2,87}{3}, \quad p_2 = -2,457, \quad p_3 = -0,543.$$

Затем определим производную знаменателя:

$$F_2'(p) = 4,5p^2 + 9p + 2,$$

и найдем оригинал переходной характеристики $h(t)$:

$$h(t) = \frac{3 \cdot 0 + 2}{4,5 \cdot 0^2 + 9 \cdot 0 + 2} e^{0t} + \frac{3 \cdot (-2,457) + 2}{4,5 \cdot (-2,457)^2 + 9 \cdot (-2,457) + 2} e^{-2,457t} + \frac{3 \cdot (-0,543) + 2}{4,5 \cdot (-0,543)^2 + 9 \cdot (-0,543) + 2} e^{-0,543t} = 1 - 0,7615 \cdot e^{-2,457t} - 0,2385 \cdot e^{-0,543t}.$$

Окончательное выражение $h(t)$ имеет вид:

$$h(t) = 1 - 0,7615 \cdot e^{-2,457t} - 0,2385 \cdot e^{-0,543t}.$$

Для построения графика $h(t)$ воспользуемся программой MathCAD. Для этого надо открыть программу и на рабочем поле набрать формулу:

$$h(t) := 1 - 0.7615 \cdot e^{-2.457 \cdot t} - 0.2385 \cdot e^{-0.543 \cdot t}$$

Затем строим график переходной характеристики $h(t)$. Порядок построения графика в MathCAD был описан раньше. На рисунке 22 представлен график переходной характеристики для рассматриваемого ЧП (нижний график).

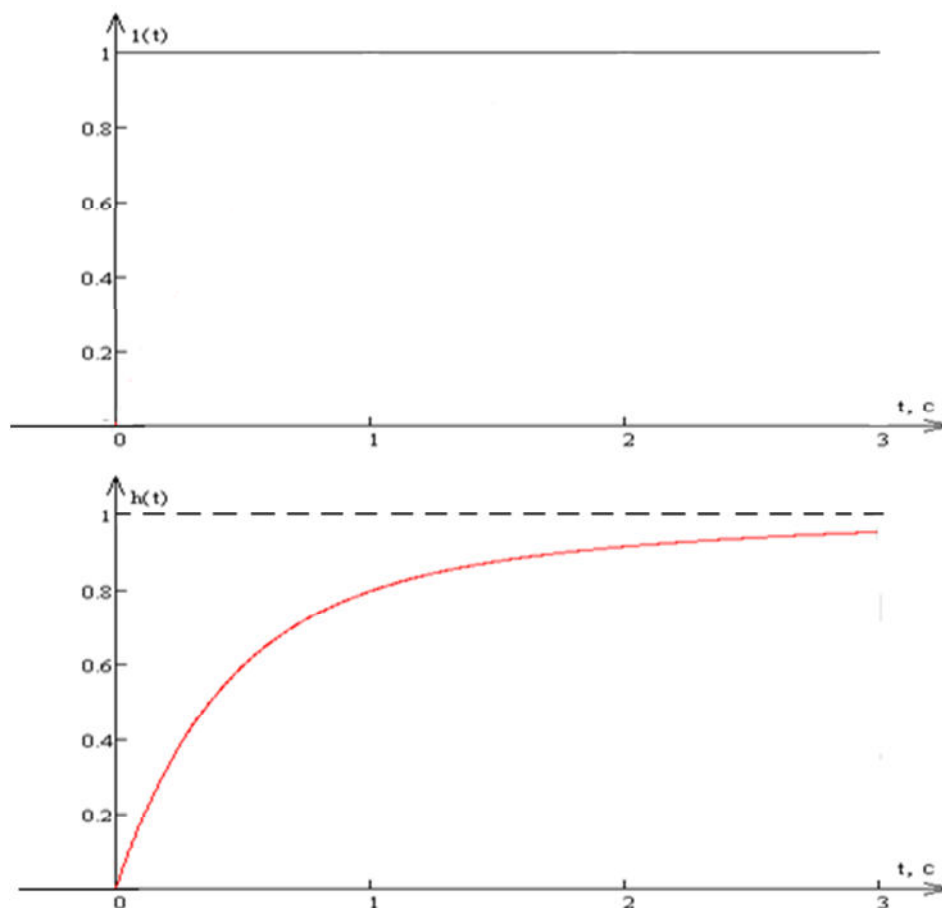


Рисунок 22 - Графики единичной ступенчатой функции и переходной характеристики.

Импульсная характеристика $h_{\delta}(t)$ - это реакция четырехполосника на подачу на его вход сигнала в виде дельта - функции (функции Дирака) $\delta(t)$. График дельта - функции $\delta(t)$ представлен на рисунке 23 (верхний график), а ее изображение имеет вид: $\delta(p)=1$. Следовательно, изображение импульсной характеристики будет иметь вид:

$$h_{\delta}(p) = H(p) \cdot 1 = H(p).$$

Для рассматриваемого ЧП изображение импульсной характеристики записывается в виде:

$$H(p) = \frac{3p+2}{1,5p^2+4,5p+2}.$$

Для нахождения оригинала импульсной характеристики применим теорему разложения:

$$h_{\delta}(t) = \sum_{k=1}^n \frac{F_1(p_k)}{F_2'(p_k)} \cdot e^{p_k t},$$

где p_k - корень характеристического уравнения, n – число корней,

$$\frac{F_1(p)}{F_2(p)} = \frac{3p+2}{(1,5p^2+4,5p+2)}.$$

Найдем корни характеристического уравнения:

$$1,5p^2 + 4,5p + 2 = 0;$$

$$p_{1,2} = \frac{-4,5 \pm \sqrt{20,25 - 12}}{3} = \frac{-4,5 \pm 2,87}{3}, \quad p_1 = -2,457, \quad p_2 = -0,543.$$

Вычислим производную знаменателя:

$$F_2'(p) = 3p + 4,5.$$

Определим выражение импульсной характеристики исследуемого ЧП $h_{\delta}(t)$:

$$\begin{aligned} h_{\delta}(t) &= \frac{3 \cdot (-2,457) + 2}{3 \cdot (-2,457) + 4,5} e^{-2,457t} + \frac{3 \cdot (-0,543) + 2}{3 \cdot (-0,543) + 4,5} e^{-0,543t} = \\ &= 1,87 \cdot e^{-2,457t} + 0,13 \cdot e^{-0,543t}. \end{aligned}$$

Окончательное выражение импульсной характеристики имеет вид:

$$h_{\delta}(t) = 1,87 \cdot e^{-2,457t} + 0,13 \cdot e^{-0,543t}.$$

График $h_{\delta}(t)$ строим с помощью программы MathCAD. После открытия программы и на рабочем поле нужно набрать формулу $h_{\delta}(t)$. В MathCAD импульсную характеристику обозначим $g(t)$, т.к. в ней нельзя применять обозначение функции с индексом:

$$g(t) := 1.87 \cdot e^{-2.457 \cdot t} + 0.13 \cdot e^{-0.543 \cdot t}$$

График $h_{\delta}(t)$ строим по аналогии с предыдущими графиками и для исследуемого ЧП он приведен на рисунке 23 (нижний график).

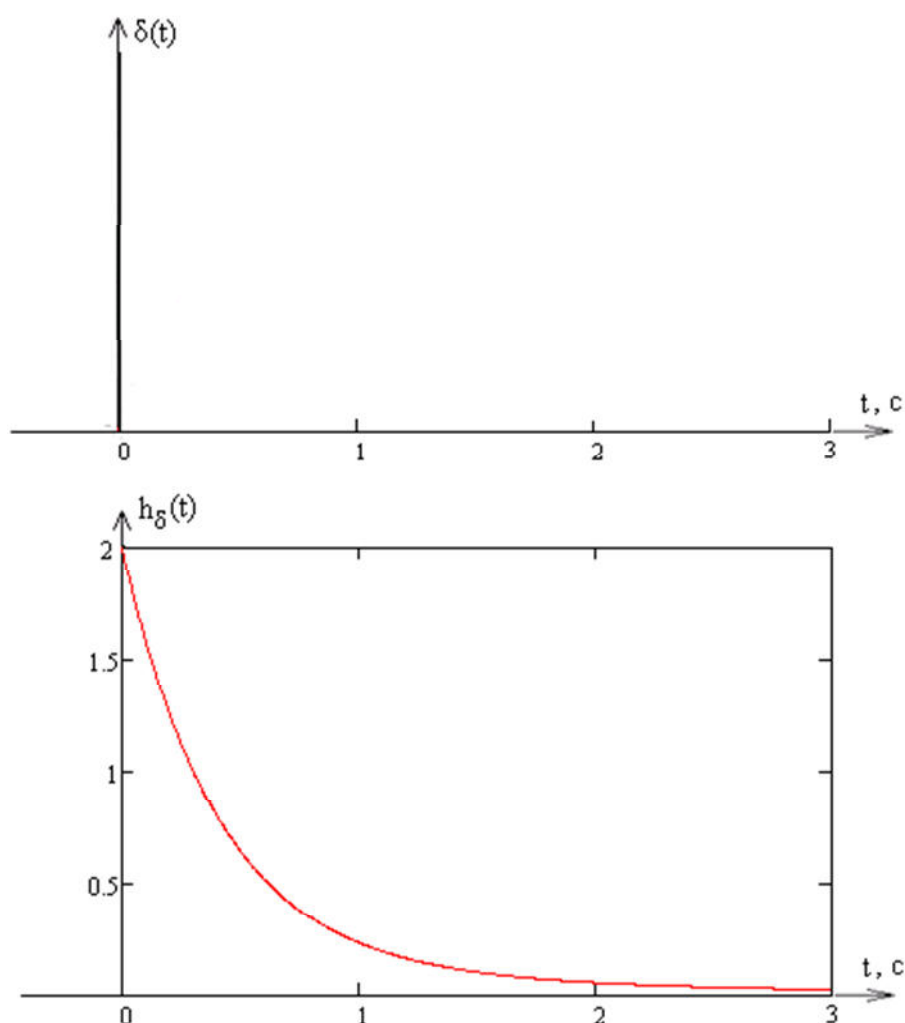


Рисунок 23 - Графики дельта - функции и импульсной характеристики исследуемого ЧП

2.5 Расчет и построение графиков временных и частотных характеристик сигналов на входе и выходе ЧП

По условиям задания на вход четырехполюсника подается напряжение $U_{\text{вх}}(t) = e^{-\alpha t}$ с периодом следования $T = 0,5$ с. Вычислим значение $\alpha = \frac{50+0}{20} = 2,5$ и тогда входное напряжение будет иметь вид: $U_{\text{вх}}(t) = e^{-2,5 t}$, В. Построим график зависимости входного напряжения от времени для двух периодов с

использованием программы MathCAD. Для этого запишем на рабочем поле следующее выражение:

$$U(t) := \begin{cases} e^{-2.5 \cdot t} & \text{if } 0 < t < 0.5 \\ e^{-2.5 \cdot (t-0.5)} & \text{if } 0.5 < t < 1 \end{cases}$$

Для записи этого выражения используются функции «Add Line» и «if» из окна «Программирование». После этого строим график зависимости входного напряжения от времени (рисунок 24) по алгоритму, приведенному выше:

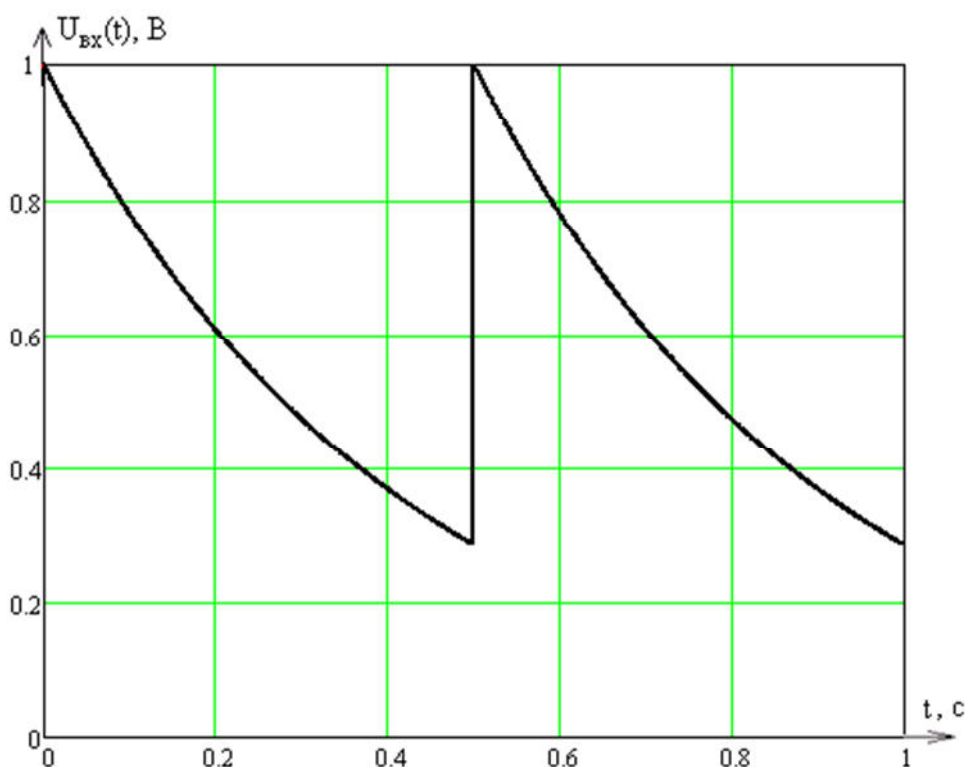


Рисунок 24 - График зависимости напряжения на входе ЧП от времени.

Амплитудный и фазовый спектры входного сигнала $U_{\text{вх}}(t) = e^{-2.5 \cdot t}$ с периодом следования $T = 0.5$ с будут дискретными. Составляющие этих спектров определим с помощью одной из тригонометрических формул разложения периодической функции в ряд Фурье:

$$U_{\text{вх}}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cdot \sin(k \cdot \omega_1 \cdot t + \psi_k),$$

где: $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ - частота первой гармоники,

$\frac{a_0}{2}$ - амплитуда постоянной составляющей,

k - номер гармоники,

c_k - амплитуда k – ой гармоники,

ψ_k - начальная фаза k – ой гармоники.

Для используемой формулы разложения амплитуды и фазы спектральных составляющих определяются по следующим выражениям:

$$\frac{a_0}{2} = \frac{T}{2\alpha} \cdot (1 - e^{-\alpha T});$$

$$c_k = \frac{2 \cdot (1 - e^{-\alpha T})}{T \cdot \sqrt{\alpha^2 + k^2 \omega_1^2}};$$

$$\psi_k = \arctg \frac{k \cdot \omega_1}{\alpha}.$$

С помощью программы Excel произведем расчет значений спектральных составляющих амплитудного АЧС (таблица 5) и фазового ФЧС (таблица 6) спектров. По заданию для каждого спектра должно быть рассчитано не менее 7 значений.

Таблица 5 - Значения составляющих АЧС входного сигнала

ω , рад/с	0	12,56	25,12	37,68	50,24	62,8	75,36	87,92
S	0,07135	0,225448	0,113389	0,075676	0,056779	0,045431	0,037863	0,032456

Таблица 6 – Значения составляющих ФЧС входного сигнала

ω , рад/с	0	12,56	25,12	37,68	50,24	62,8	75,36	87,92
Θ , рад	0	1,37432	1,471601	1,504545	1,521076	1,531008	1,537634	1,542369

С помощью программ Excel и Paint строим графики спектров входного напряжения. В программе Excel вначале строим точечную диаграмму, затем переносим ее в Paint и до точек дорисовываем вертикальные линии (спектральные составляющие). На рисунке 25 показан АЧС, на рисунке 26 показан ФЧС входного сигнала.

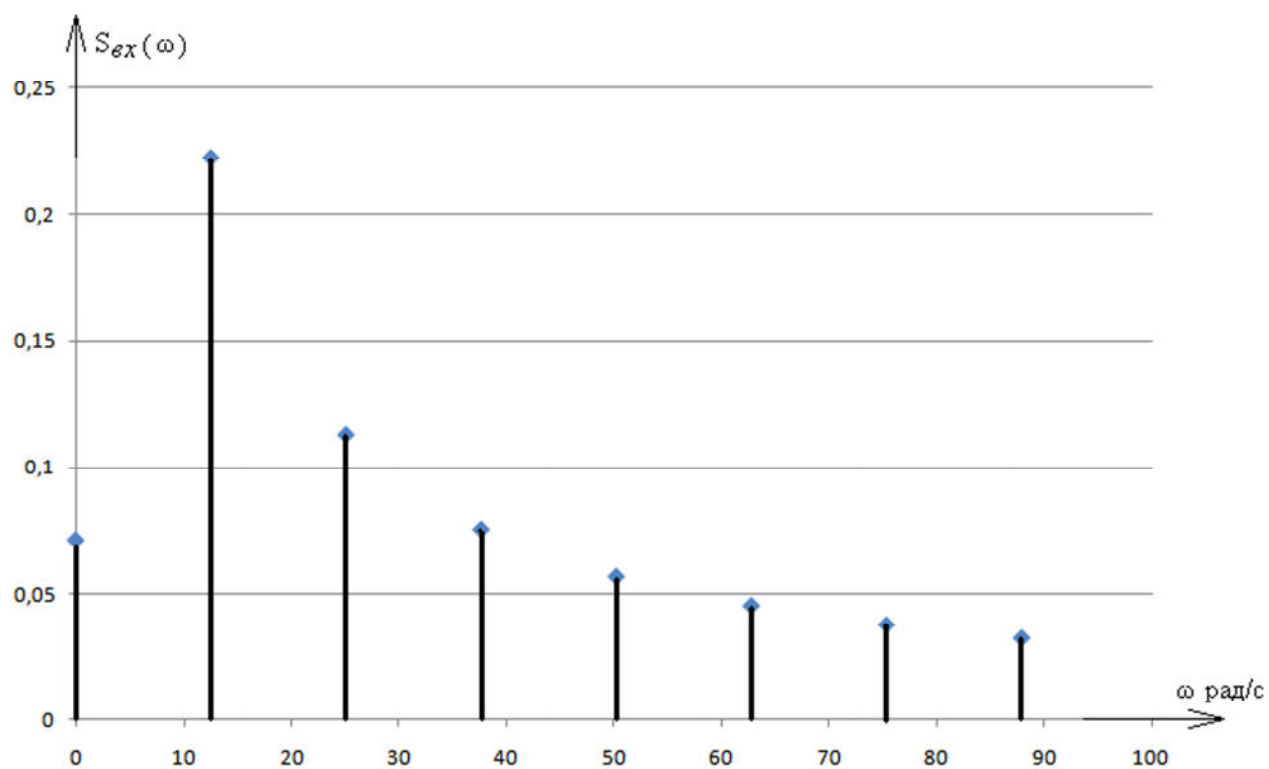


Рисунок 25 – Амплитудно-частотный спектр входного сигнала

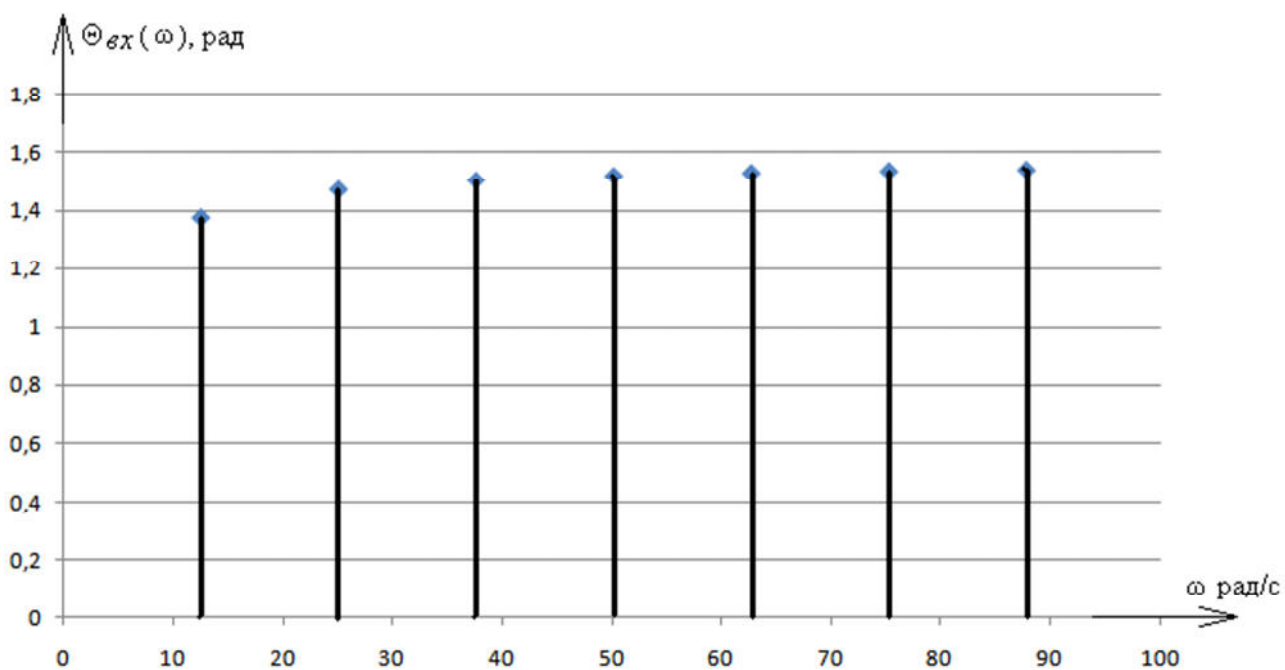


Рисунок 26 - Фазочастотный спектр входного сигнала

Для определения спектров выходного сигнала используем формулы:

$$S_{\text{вых}}(\omega) = S_{\text{вх}}(\omega) \cdot H(\omega);$$

$$\theta_{\text{вых}}(\omega) = \theta_{\text{вх}}(\omega) + \varphi(\omega).$$

Для определения АЧС выходного сигнала необходимо амплитуду каждой составляющей АЧС входного сигнала умножить на значение АЧХ ЧП на этой же частоте. Для расчета и построения АЧС выходного напряжения используем программу Excel. Данные таблицы 5 переносим в таблицу 7. В третью строку записываем формулы для расчета АЧХ ЧП, а в четвертую – формулы для определения составляющих АЧС выходного сигнала. По данным таблицы 7 строим график АЧС выходного сигнала (рисунок 27).

Таблица 7 – Результаты расчета АЧС выходного сигнала

ω	0	12,56	25,12	37,68	50,24	62,8	75,36	87,92
S	0,07135	0,225448	0,113389	0,075676	0,056779	0,045431	0,037863	0,032456
H	1	0,156347	0,079249	0,052969	0,039763	0,031823	0,026526	0,022739
S*H	0,07135	0,035248	0,008986	0,004008	0,002258	0,001446	0,001004	0,000738

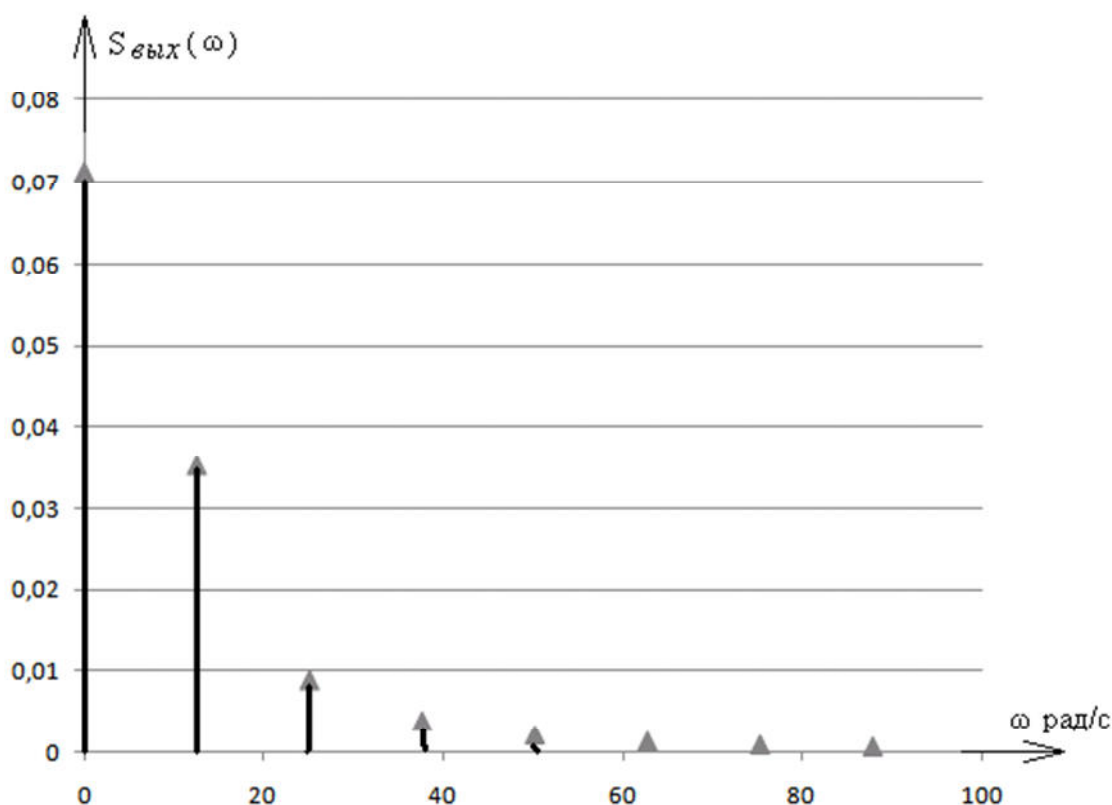


Рисунок 27 – Амплитудно-частотный спектр выходного сигнала.

Фазочастотный спектр выходного сигнала строим аналогично. Данные таблицы 6 переносим в таблицу 8, вычисляем значения ФЧХ ЧП на частотах рассматриваемых гармоник (третья строка таблицы), затем складываем значения ФЧС входного сигнала с соответствующими значениями ФЧХ ЧП (четвертая строка таблицы 8). По этим данным таблицы 8 строим график ФЧС выходного сигнала (рисунок 28).

Таблица 8 – Результаты расчета ФЧС выходного сигнала

ω , рад/с	0	12,56	25,12	37,68	50,24	62,8	75,36	87,92
Θ , рад	0	1,37432	1,471601	1,504545	1,521076	1,531008	1,537634	1,542369
$\varphi(\omega)$	0	1,799164	1,686904	1,648447	1,629099	1,617463	1,609696	1,604144
$\Theta + \varphi$	0	3,173484	3,158505	3,152992	3,150175	3,148471	3,14733	3,146513

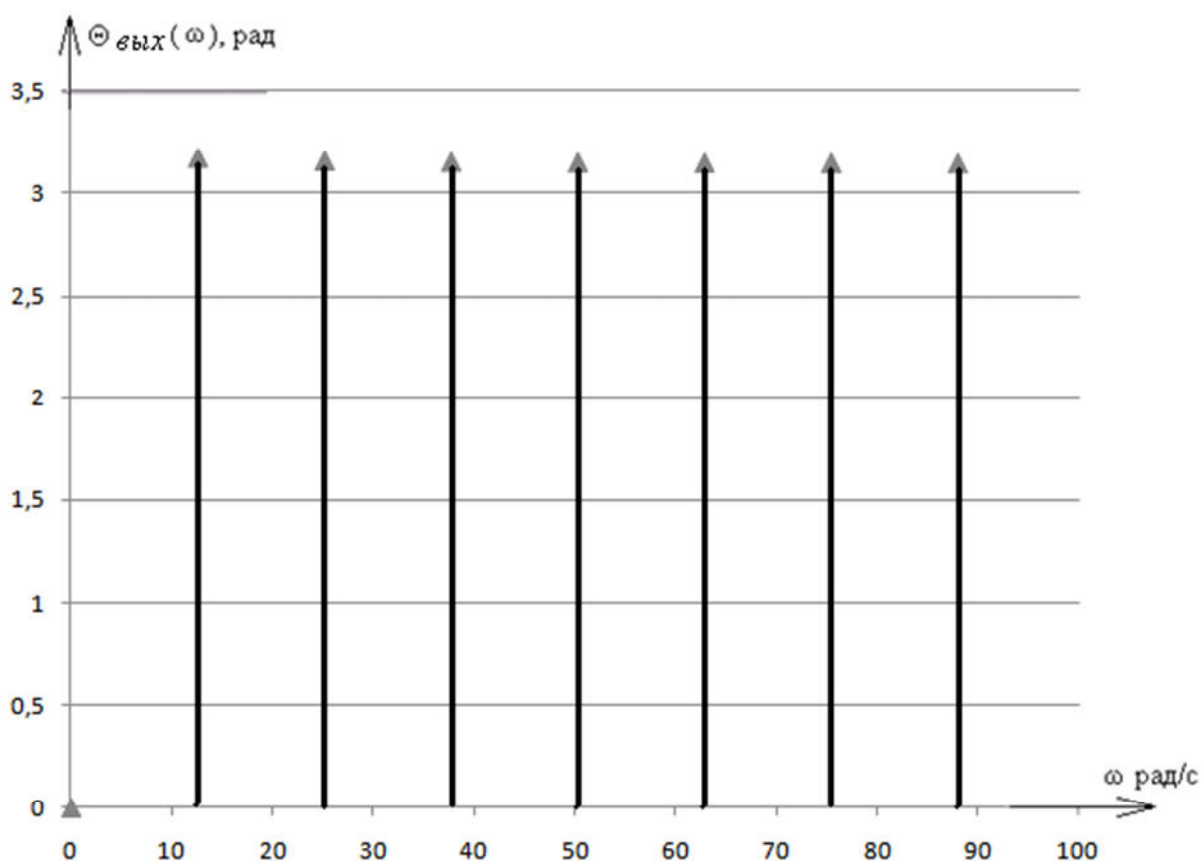


Рисунок 28 - Фазочастотный спектр выходного сигнала.

Реакцию ЧП на входное напряжение $U_{\text{вх}}(t) = e^{-\alpha t}$ наиболее удобно определять операторным методом. Изображение входного напряжения $U_{\text{вх}}(t) = e^{-\alpha t}$ по Лапласу имеет вид - $\frac{1}{p+\alpha}$. В этом случае изображение выходного напряжения запишется следующим образом:

$$U_{\text{вых}}(p) = U_{\text{вх}}(p) \cdot H(p) = \frac{1}{p+2,5} \cdot \frac{3p+2}{1,5p^2+4,5p+2}.$$

Для нахождения оригинала выходного напряжения используем теорему разложения:

$$U_{\text{вых}}(t) = \sum_{k=1}^n \frac{F_1(p_k)}{F_2'(p_k)} \cdot e^{p_k t},$$

где p_k - корень характеристического уравнения, n – число корней,

$$\frac{F_1(p)}{F_2(p)} = \frac{3p+2}{(p+2,5) \cdot (1,5p^2+4,5p+2)}$$

Найдем корни характеристического уравнения:

$$(p + 2,5) \cdot (1,5p^2 + 4,5p + 2) = 0;$$

$$1,5p^2 + 4,5p + 2 = 0$$

$$p_{1,2} = \frac{-4,5 \pm \sqrt{20,25 - 12}}{3} = \frac{-4,5 \pm 2,87}{3}, \quad p_1 = -2,457, \quad p_2 = -0,543.$$

$$p + 2,5 = 0;$$

$$p_3 = -2,5.$$

Определим производную от знаменателя:

$$(p + 2,5) \cdot (1,5p^2 + 4,5p + 2) = 1,5p^3 + 8,25p^2 + 13,25p + 5 = 0;$$

$$F_2'(p) = 4,5p^2 + 16,5p + 13,25.$$

По изображению выходного напряжения найдём оригинал $U_{\text{вых}}(t)$:

$$U_{\text{вых}}(t) = \frac{3 \cdot (-2,457) + 2}{4,5(-2,457)^2 + 16,5(-2,457) + 13,25} e^{-2,457t} + \frac{3 \cdot (-0,543) + 2}{4,5(-0,543)^2 + 16,5(-0,543) + 13,25} e^{-0,543t} + \frac{3 \cdot (-2,5) + 2}{4,5(-2,5)^2 + 16,5(-2,5) + 13,25} e^{-2,5t} = 43,94 \cdot e^{-2,457t} + 0,06 \cdot e^{-0,543t} - 44 \cdot e^{-2,5t}.$$

Окончательно выражение $U_{\text{вых}}(t)$ имеет вид:

$$U_{\text{вых}}(t) = 43,94 \cdot e^{-2,457t} + 0,06 \cdot e^{-0,543t} - 44 \cdot e^{-2,5t}.$$

Для построения графика $U_{\text{вых}}(t)$ воспользуемся программой MathCAD. Для этого запишем на рабочем поле следующее выражение:

$$U(t) := \begin{cases} 43,94 \cdot e^{-2,457 \cdot t} + 0,06 \cdot e^{-0,543 \cdot t} - 44 \cdot e^{-2,5 \cdot t} & \text{if } 0 < t < 0,5 \\ 43,94 \cdot e^{-2,457 \cdot (t-0,5)} + 0,06 \cdot e^{-0,543 \cdot (t-0,5)} - 44 \cdot e^{-2,5 \cdot (t-0,5)} & \text{if } 0,5 < t < 1 \end{cases}$$

Для записи этого выражения используются функции «Add Line» и «if» из окна «Программирование». График выходного напряжения рассчитан по алгоритму, приведенному выше, и представлен на рисунке 29.

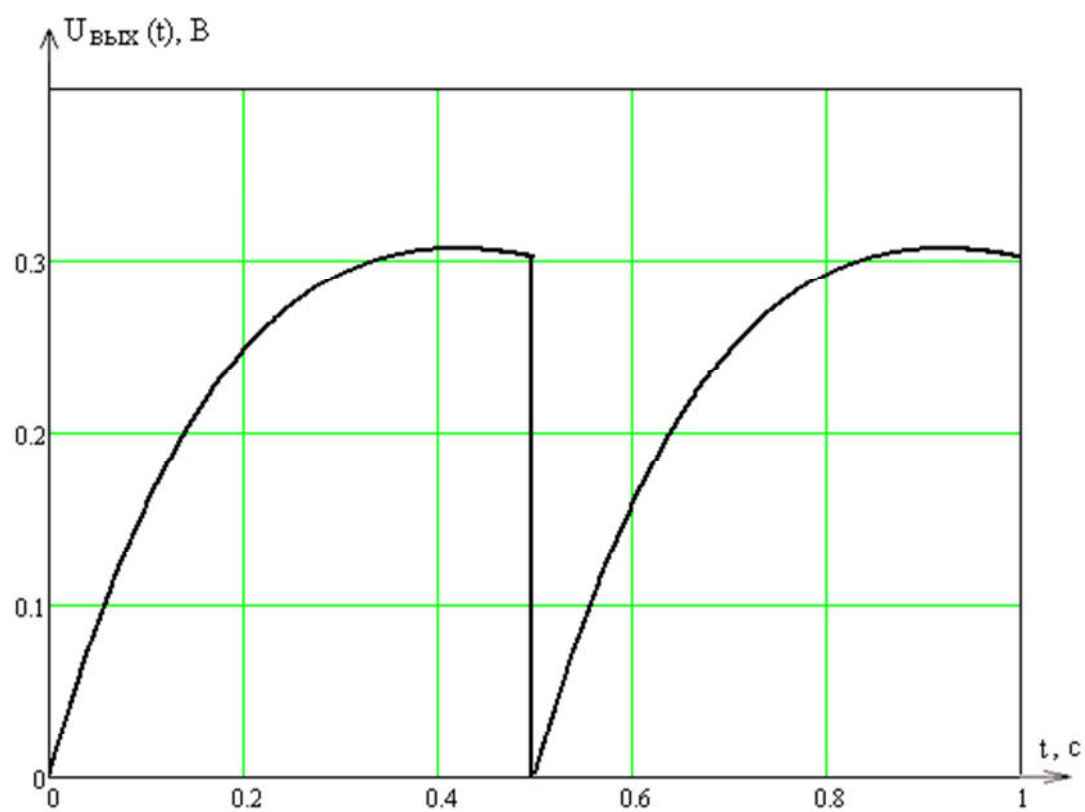


Рисунок 29 - График зависимости напряжения на выходе ЧП от времени

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какая электрическая цепь называется ЧП?
2. Какой ЧП называется симметричным?
3. Какой ЧП называется обратимым?
4. Дайте определение уравнения передачи ЧП
5. Сколько видов уравнений передачи существует?
6. Запишите уравнения передачи ЧП в А-параметрах, Z-параметрах, Y-параметрах, H-параметрах.
7. Запишите уравнения передачи ЧП в матричной форме.
8. Какие виды соединения ЧП существуют?
9. Способы определения параметров-коэффициентов ЧП
10. Как перейти от уравнений передачи ЧП, записанных для одних параметров-коэффициентов, к уравнениям передачи, записанным для других параметров-коэффициентов?
11. Какое соединений ЧП называется каскадным и где оно наиболее широко используется?
12. Что такое параметры холостого хода и короткого замыкания?
13. Какие ЧП называются эквивалентными?
14. Какие параметры ЧП называются характеристическими и сколько их?
15. Запишите уравнение передачи симметричного ЧП, составленное с использованием характеристических параметров
16. Дайте определение входного сопротивления ЧП
17. Дайте определение характеристической постоянной передачи ЧП
18. При каком режиме работы ЧП определяется его характеристическая постоянная передачи?
19. Дайте определение рабочей постоянной передачи ЧП
20. Чем отличается рабочая постоянная передачи ЧП от характеристической постоянной передачи?
21. Условия неискаженной передачи сигналов через ЧП

22. Чем отличаются временные характеристики периодического и непериодического сигналов?
23. Какие частотные характеристики сигналов существуют?
24. Чем отличаются частотные характеристики периодического и непериодического сигналов?
25. Как определяются частотные характеристики сигналов?
26. Что такое спектр сигнала?
27. Какие спектры сигнала существуют?
28. Как рассчитываются и как изображаются спектры?
29. Какие временные характеристики ЧП существуют?
30. Какие частотные характеристики ЧП существуют?
31. Дайте определение переходной характеристики ЧП
32. Дайте определение импульсной характеристики ЧП
33. Какие методы используются для определения временных характеристик ЧП?
34. Дайте определение постоянной времени электрической цепи
35. Как определить длительность переходного процесса в электрической цепи?
36. Дайте определение законов коммутации
37. Что такое начальные условия?
38. Чем отличаются независимые начальные условия от зависимых?
39. Сущность классического метода анализа переходных процессов в электрических цепях.
40. Основные положения операторного метода анализа переходных процессов в электрических цепях.
41. Что такое оригинал и изображение функции?
42. Как определяется изображение по известному оригиналу?
43. Как определяется оригинал по известному изображению?
44. Что такое операторная схема замещения?
45. Как составляется операторная схема замещения электрической цепи?
46. Особенности составления операторной схемы замещения цепи, содержащей реактивные элементы при ненулевых начальных условиях

47. Для чего используется теорема разложения и условия ее применения?
48. Что такое воздействие на электрическую цепь?
49. Что такое реакция цепи и как она определяется?
50. Какие частотные характеристики ЧП существуют?
51. Что такое передаточная функция ЧП и сколько ее видов?
52. Как перевести комплексную передаточную функцию в операторную форму?
53. Дайте определение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики передаточной функции ЧП
54. Спектральный метод анализа линейных электрических цепей
55. Какая связь между частотными и временными характеристиками ЧП?
56. Что понимается под анализом электрической цепи?
57. Что понимается под синтезом электрической цепи?
58. Дайте определение устойчивости электрической цепи

4. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И. Основы теории цепей: Учебник для вузов. Под ред. В.П. Бакалова. – 4-е изд., – М.: Горячая линия - Телеком, 2013. – 596с.: ил.
2. Новгородцев А.Б. Теоретические основы электротехники. 30 лекций по теории электрических цепей: Учебное пособие. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 576с.: ил.
3. Бакалов В.П., Крук Б.И., Журавлева О.Б. Основы анализа цепей: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007, – 591с.: ил.
4. Шебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей, - М.: Высшая школа, 1990, – 544с.: ил.
5. Теоретические основы электротехники. Справочник по теории электрических цепей / Под ред. Ю.А. Бычкова, В.М. Золотницкого, Э.П. Чернышева. – СПб.: Питер, 2008. – 349с.: ил.