

## Задание

Разработать преобразователь напряжения по схеме (рис. 1) с параметрами, приведенными в таблице.

В процессе разработки определить комплексную передаточную функцию, найти АЧХ и ФЧХ; определить переходную характеристику входного четырехполюсника  $z_1 \dots z_6$ .

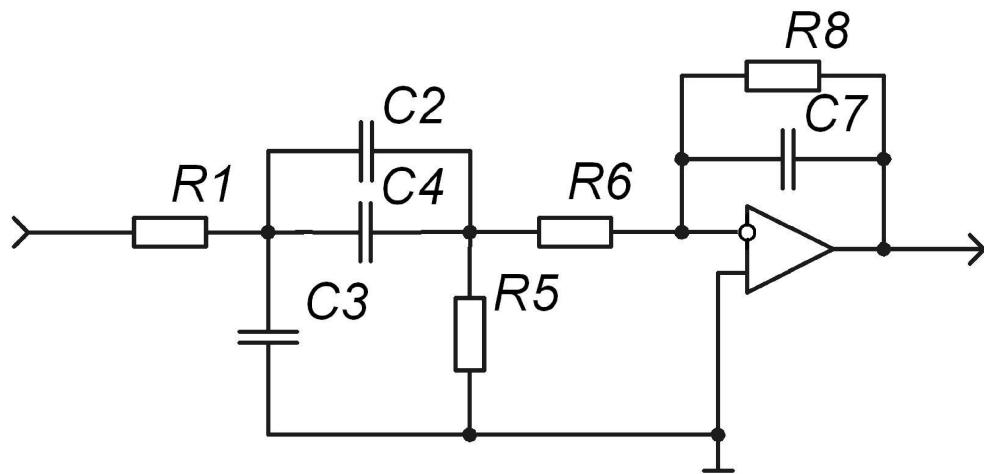


Рис. 1. Преобразователь напряжения.

z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9	z10	Em
10	-j20	-j20	-j20	100	200	-j200	200	0	$10^4$	0.08

# 1. Определение комплексной передаточной функции, АЧХ и ФЧХ

Для дальнейших расчетов упростим схему (рис. 2), рассчитав эквивалентные сопротивления параллельных участков:

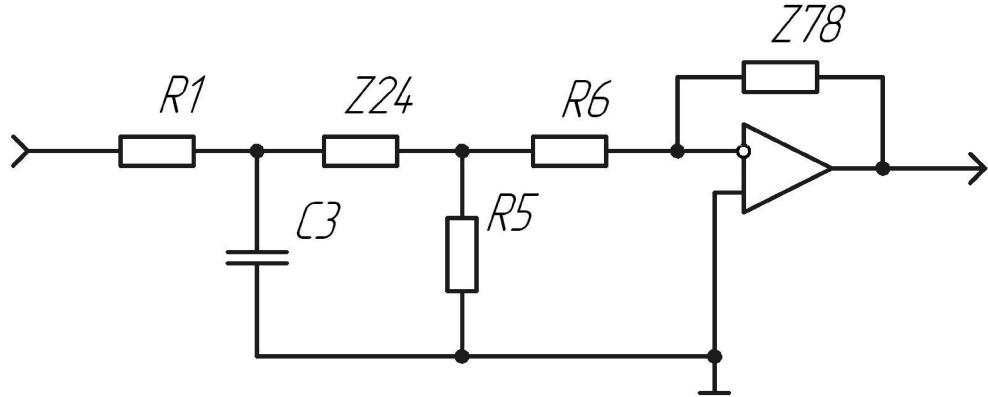


Рис 2. Упрощенная схема.

$$Z_{24} = \frac{\frac{1}{j\omega C_2} \cdot \frac{1}{j\omega C_4}}{\frac{1}{j\omega C_2} + \frac{1}{j\omega C_4}} = \frac{1}{j\omega(C_2 + C_4)}$$

$$Z_{78} = \frac{\frac{1}{j\omega C_7} \cdot R_8}{\frac{1}{j\omega C_7} + R_8} = \frac{R_8}{1 + j\omega C_7 R_8}$$

Для определения передаточной функции, АЧХ и ФЧХ выделим в схеме три четырехполюсника – ч1, ч2 и ч3 (рис.3).

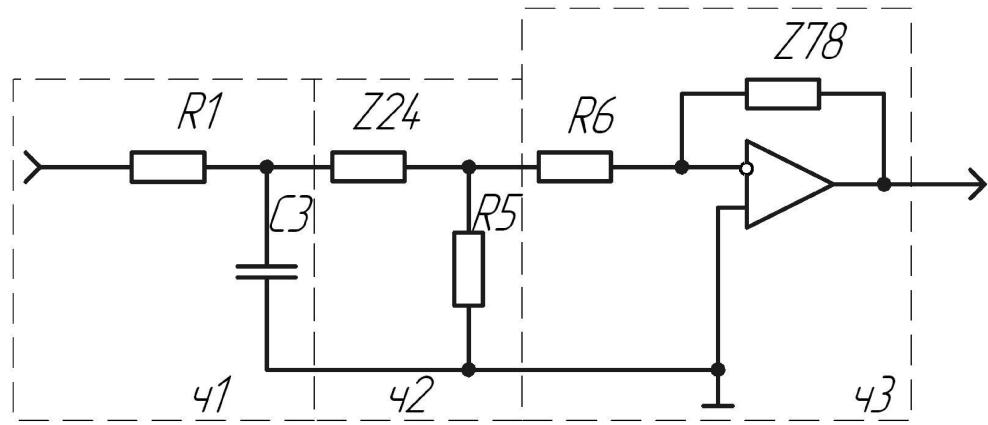


Рис.3. Упрощенная блок-схема.

## 1.1. Комплексная передаточная функция четырехполюсника ч1

Первый Г-образный четырехполюсник ч1 состоит из сопротивления

$R_1 = 10\Omega$  и сопротивления конденсатора  $X_{C3} = -j20$ . Полагаем, что все сопро-

тивления заданы для частоты 5кГц. Следовательно, емкость конденсатора будет равна:

$$C_3 = \frac{1}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 20} = 1.592 \cdot 10^{-6} \Phi$$

Тогда комплексная передаточная функция Г-образного четырехполюсника ч1 будет равна:

$$K_1(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega C_3 R_1}$$

### *1.2. Комплексная передаточная функция четырехполюсника ч2*

Второй Г-образный четырехполюсник ч2 состоит из сопротивления  $R_5 = 100\Omega$  и эквивалентного сопротивления  $Z_{24}$ , состоящего из двух параллельных конденсаторов по  $j20$  каждый. Следовательно, емкость каждого конденсатора будет равна:

$$C_2 = C_4 = \frac{1}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 20} = 1.592 \cdot 10^{-6} \Phi$$

Тогда комплексная передаточная функция Г-образного четырехполюсника ч2 будет равна:

$$K_2(j\omega) = \frac{R_5}{R_5 + Z_{24}} = \frac{R_5}{R_5 + \frac{1}{j\omega(C_2 + C_4)}} = \frac{j\omega(C_2 + C_4)R_5}{1 + j\omega(C_2 + C_4)R_5}$$

### *1.3. Комплексная передаточная функция эквивалентного четырехполюсника ч12*

Для нахождения комплексной передаточной функции эквивалентного четырехполюсника ч12 необходимо перемножить элементы A11 в A-матрицах четырехполюсников ч1 и ч2, в результате чего получим:

$$K_{12}(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega C_3 R_1} \cdot \frac{j\omega(C_2 + C_4)R_5}{1 + j\omega(C_2 + C_4)R_5}$$

Найдем реакцию цепи ч12 на функцию Хэвисайда. Используя преобразование Лапласа, переходим от функции к изображению и строим график:

$$h(t) = 0.08 \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{1 + p\tau_1} \cdot \frac{p\tau_2}{1 + p\tau_2},$$

где  $\tau_1 = R_1 C_3 = 1.592 \cdot 10^{-5}$  с,  $\tau_2 = R_5 (C_2 + C_4) = 3.183 \cdot 10^{-4}$  с

$$h(t) := \left( A \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{1 + p \cdot \tau_1} \cdot \frac{p \cdot \tau_2}{1 + p \cdot \tau_2} \right) \text{invlaplace}, p \rightarrow 0.084210526315789474102 - 3141.592653589793451 \cdot t - \\ - 0.084210526315789474102 \cdot 62831.853071795863099t$$

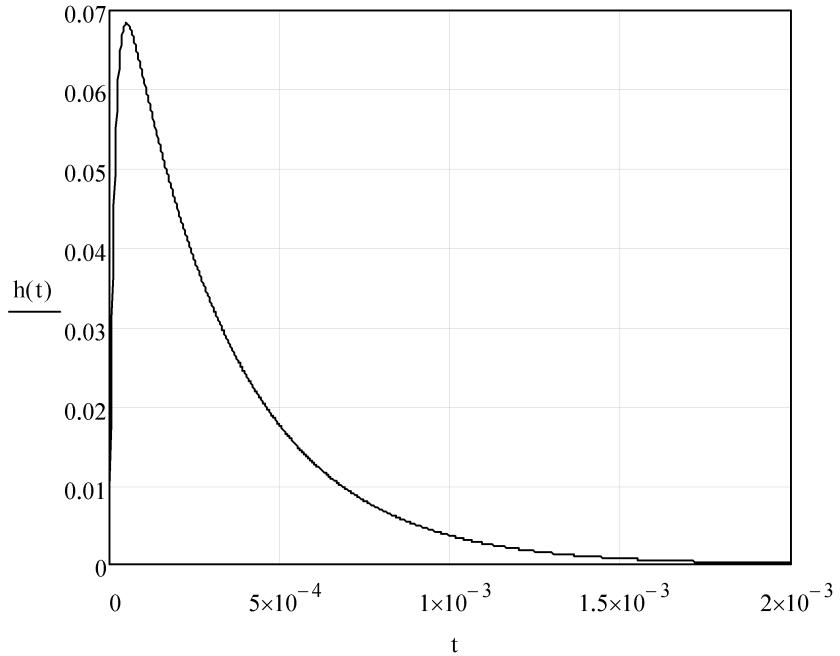


Рис. 4. Переходная характеристика.

#### 1.4. Комплексная передаточная функция усилителя с ОС

Т.к. операционный усилитель охвачен ООС, то комплексная передаточная функция всего усилителя равна:

$$K = \frac{K_{oy}}{1 + \beta K_{oy}},$$

$$\text{где } \beta = \frac{R_6}{R_6 + Z_{78}} = \frac{R_6}{R_6 + \frac{R_8}{1 + j\omega C_7 R_8}}$$

Применим ОУ типа К553УД2, для которого  $K_{oy} = 20 \cdot 10^3$ .

#### 1.5. Комплексная передаточная функция всей схемы

Для нахождения комплексной передаточной функции всей схемы пере-

множаем элементы A11 A-матриц всех блоков схемы, в результате чего получим:

$$K(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega C_3 R_1} \cdot \frac{j\omega(C_2 + C_4)R_5}{1 + j\omega(C_2 + C_4)R_5} \cdot \frac{K_{oy}}{1 + \beta K_{oy}}$$

По передаточной функции построим АЧХ (рис. 5) и ФЧХ (рис. 6) всей схемы:

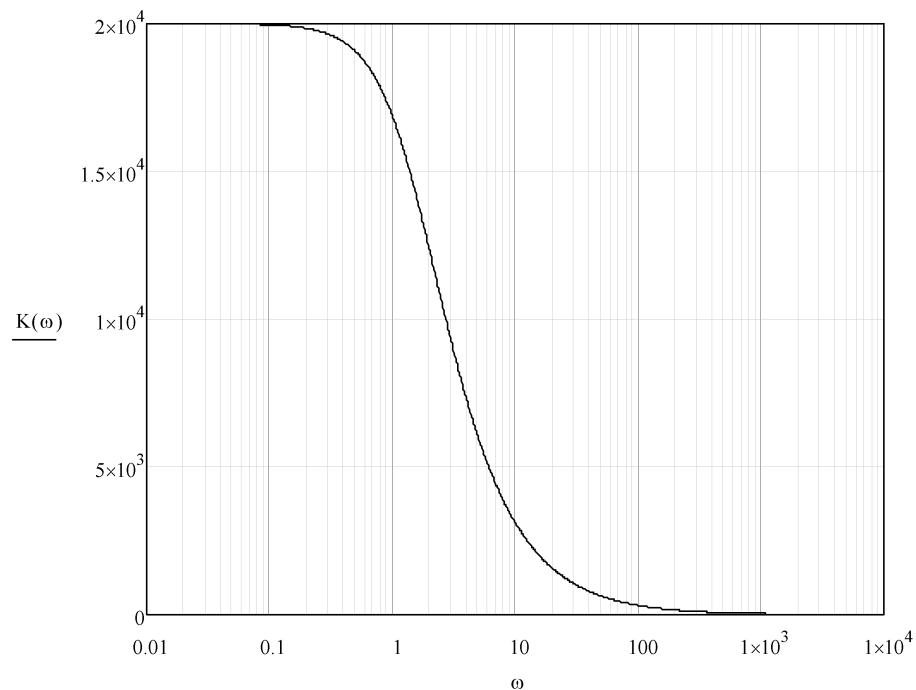


Рис. 5. АЧХ преобразователя напряжения.

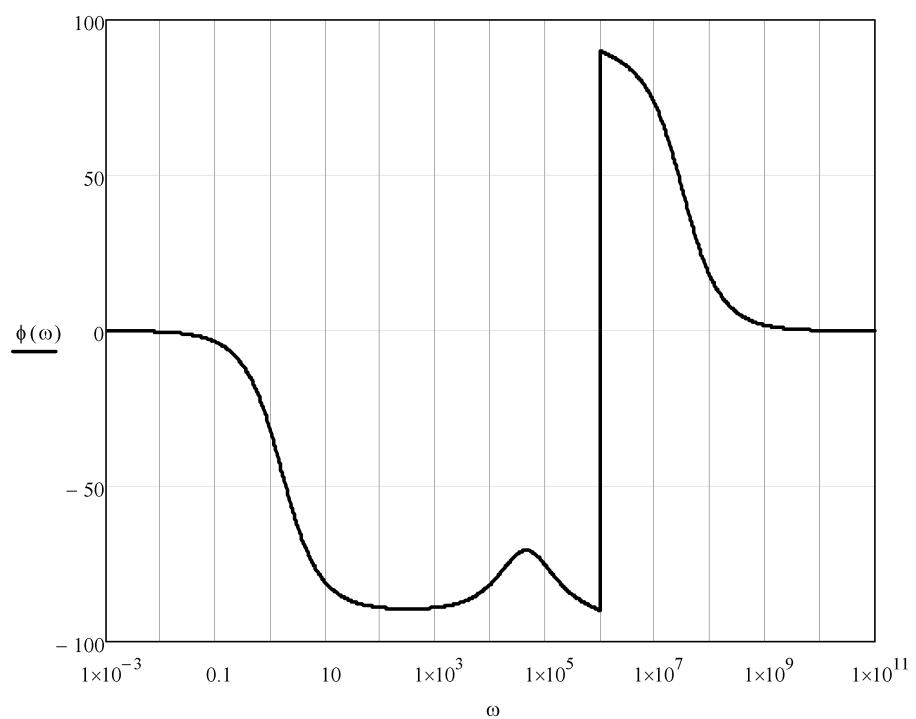


Рис. 6. ФЧХ преобразователя напряжения.

## **Заключение**

В ходе выполнения курсового проекта была разработана схема преобразователя напряжения. В процессе разработки определили комплексную передаточную функцию, нашли АЧХ и ФЧХ, определили переходную характеристику входного четырехполюсника  $z_1 \dots z_6$ .

## **Литература**

1. Подкин Ю.Г. Электротехника и электроника. Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 654300. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2003.
2. Новожилов О.П. Электротехника и электроника. Учебник для направления 230100. – М.: Гардарики, 2008.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Издание десятое переработанное и дополненное. – М.: Гардарики, 2001.