

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ЛЭТИ» ИМ. В. И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Теоретические основы электротехники»

Тема: «исследование прохождения сигналов через линейную активную  
электрическую цепь»

Студент гр. 3114

\_\_\_\_\_

Злобин М. А.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Завьялов А. Е.

Санкт-Петербург

2024

## **АННОТАЦИЯ**

Линейные электрические цепи играют ключевую роль в усилении и обработке сигналов, проходящих через них. Для анализа таких цепей применяются методы преобразования Лапласа, разложения в ряды Фурье и спектрального анализа. Изучение линейных цепей и сигналов, которые через них проходят, позволяет предсказывать поведение схем при воздействии на них периодических сигналов.

## **SUMMARY**

Linear electrical circuits are essential for amplifying and processing the signals passing through them. Methods such as Laplace transform, Fourier series decomposition, and spectrum analysis are used to analyze these circuits. Studying linear circuits and the signals that pass through them allows for predicting the behavior of the circuit when subjected to certain periodic signals.

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>Нормирование параметров и переменных цепи</b>	<b>4</b>
Записать передаточную функцию активной RC-цепи с заданными коэффициентами. Рассчитать нули и полюсы заданной передаточной функции активной цепи. Изобразить координаты вычисленных нулей и полюсов на комплексной плоскости; найти приблизительную длительность свободного процесса в активной цепи по значению вещественной части полюсов	4
Найти изображение входного одиночного импульса воздействия и вычислить реакцию активной RC-цепи операторным методом; построить график реакции; приближенно оценить время затухания переходных процессов в цепи.	5
Вычислить переходную и импульсную характеристики активной цепи по заданной передаточной функции; построить их графики.	7
Определить амплитудный и фазовый спектры входного одиночного импульса и построить их графики.	9

## ВВЕДЕНИЕ

Цель курсовой работы – практическое освоение методов анализа искажений электрических сигналов, проходящих через линейные активные RC – цепи, а также рассмотрение вопросов проектирования активных RC – цепей по заданным передаточным функциям. В курсовой работе требуется выполнить следующие пункты:

1. Найти по заданной передаточной функции реакцию активной RC-цепи при воздействии одиночного импульса;
2. Рассчитать переходную и импульсную характеристики активной цепи;
3. Найти спектральные характеристики аналогового входного сигнала и частотные характеристики цепи;
4. Вычислить установившуюся реакцию цепи при воздействии периодической последовательности импульсов;
5. Рассчитать параметры элементов активной цепи по заданной передаточной функции.

## Нормирование параметров и переменных цепи

Произведем нормировку переменных и параметров электрической цепи:

$t_{\text{и}} = 2 \text{ мс}$	$U_{\text{м}} = 3 \text{ В}$	$T = 2t_{\text{и}} = 4 \text{ мс}$
$t_{\text{с}} = 1 \text{ мс}$	$U_{\text{с}} = 1 \text{ В}$	$T_{\text{с}} = 1 \text{ мс}$
$t_{\text{и}}^* = \frac{t_{\text{и}}}{t_{\text{с}}}$	$U_{\text{с}}^* = \frac{U_{\text{м}}}{U_{\text{с}}}$	$T^* = \frac{T}{T_{\text{с}}}$
$R_{\text{с}} = 10^{-5} \text{ Ом}$	$C_{\text{с}} = \frac{t_{\text{с}}}{R_{\text{с}}}$	$C^* = \frac{C}{C_{\text{с}}}$

Таблица 1: Нормирование параметров цепи

*Замечание:* все дальнейшие расчеты в курсовой работе выполняются с нормированными параметрами, поэтому для упрощения всех дальнейших записей знак (\*) будет опускаться.

**Записать передаточную функцию активной RC-цепи с заданными коэффициентами. Рассчитать нули и полюсы заданной передаточной функции активной цепи. Изобразить координаты вычисленных нулей и полюсов на комплексной плоскости; найти приблизительную длительность свободного процесса в активной цепи по значению вещественной части полюсов**

Передаточная функция  $H_U(S) = \frac{U_1(S)}{U_2(S)} = \frac{a_2 S^2 + a_1 S + a_0}{S^2 + b_1 S + b_0}$   
 $a_1 = 0; a_2 = 0; a_0 = 5.52; b_1 = 2.2; b_0 = 4.4; H_U(S) = \frac{5.52}{S^2 + 2.2S + 4.4};$

Найдем полюсы передаточной функции:  $S_1 = -1.1 + 1.77j; S_2 = -1.1 - 1.77j$ .

Нулей у передаточной функции нет.

Изобразим полюсы на комплексной плоскости (рис. 1):

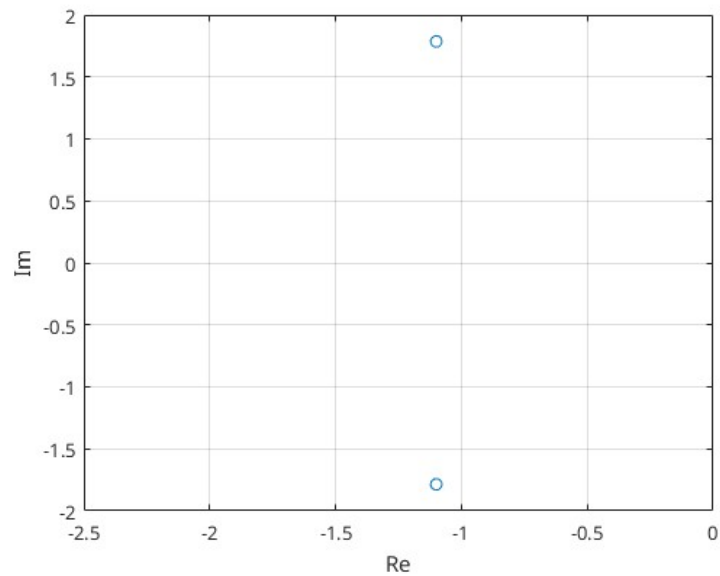


Рис. 1: Полюсы передаточной функции

**Найти изображение входного одиночного импульса воздействия и вычислить реакцию активной RC-цепи операторным методом; построить график реакции; приблизительно оценить время затухания переходных процессов в цепи.**

Найдем изображение импульса типа меандр (Рис. 2 )

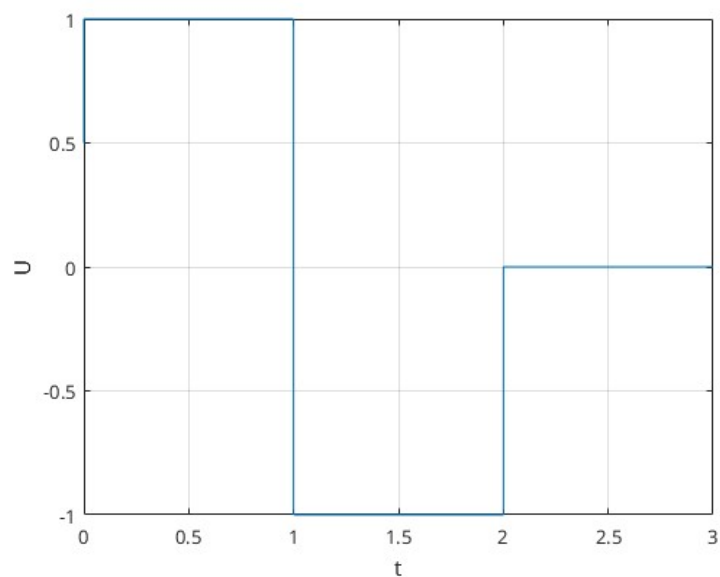


Рис. 2: Импульс меандр

С учетом данных таблицы ??, временная функция этого импульса

будет выглядеть так:

$$u_1(t) = 3\delta(t) - 6\delta(t - 1) + 3\delta(t - 2), \quad (1)$$

тогда изображение этого импульса:

$$U_1(S) = \frac{1}{S} (3e^{-2S} - 6e^{-S} + 3). \quad (2)$$

Расчитаем реакцию цепи операторным методом:

$$\begin{aligned} U_2(S) = H(S) \cdot U_1(S) &= \frac{5.52}{S^2 + 2.2S + 4.4} \cdot \frac{1}{S} (3e^{-2S} - 6e^{-S} + 3) = \\ &= \frac{5.52 \cdot 3}{S(S^2 + 2.2S + 4.4)} \cdot e^{-2S} - \frac{5.52 \cdot 6}{S(S^2 + 2.2S + 4.4)} \cdot e^{-S} + \\ &\quad + \frac{5.52 \cdot 3}{S(S^2 + 2.2S + 4.4)} \end{aligned} \quad (3)$$

После разложения на простейшие и перехода  $t$ -область:

$$\begin{aligned} u_2(t) &= 33.12\delta_1(1.0t - 1.0)(0.23e^{1.1-1.1t}(\cos(1.79t - 1.79) + \\ &\quad + 0.62 \sin(1.79t - 1.79)) - 0.23) - 3.76e^{-1.1t}(\cos(1.79t) + \\ &\quad + 0.62 \sin(1.79t)) - 16.56\delta_1(t - 2)(0.23e^{2.2-1.1t}(\cos(1.79t - 3.57) + \\ &\quad + 0.62 \sin(1.79t - 3.57)) - 0.23) + 3.76 \end{aligned} \quad (4)$$

Построим график реакции:

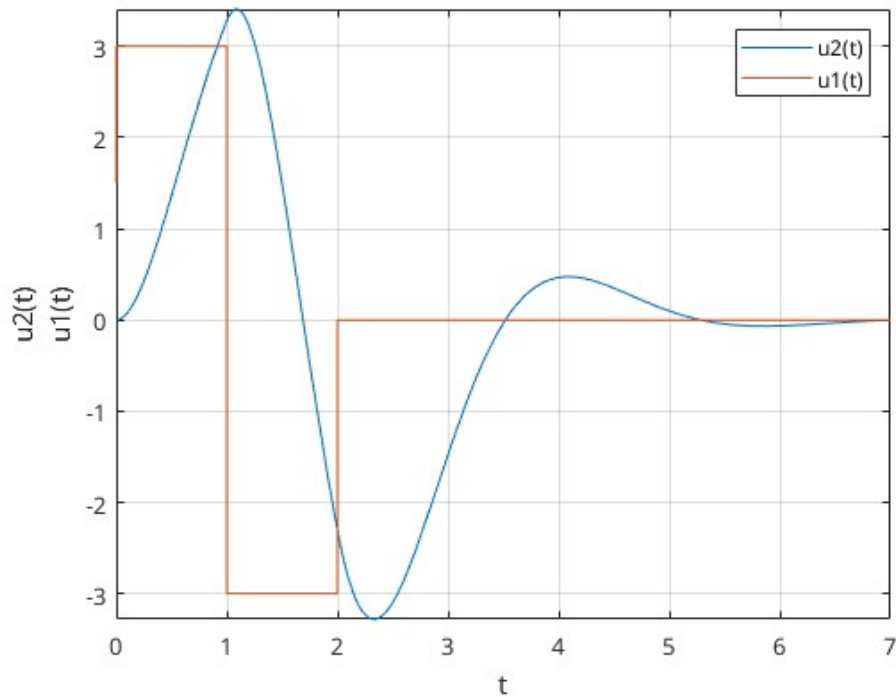


Рис. 3: график реакции вместе с графиком воздействия

**Вычислить переходную и импульсную характеристики активной цепи по заданной передаточной функции; построить их графики.**

Вычислим переходную характеристику активной цепи:

$$H_1(S) = \frac{H(S)}{S} = \frac{5.52}{S(S^2 + 2.2S + 4.4)} = -\frac{0.63 + j0.39}{S + 1.1 + j1.79} - \frac{0.63 - j0.39}{S + 1.1 - j1.79} + \frac{1.26}{S} \quad (5)$$

$$h_1(t) = 1.26 - 1.26e^{-1.1t}(\cos(1.79t) + 0.62 \sin(1.79t)) \quad (6)$$

Построим график переходной характеристики:



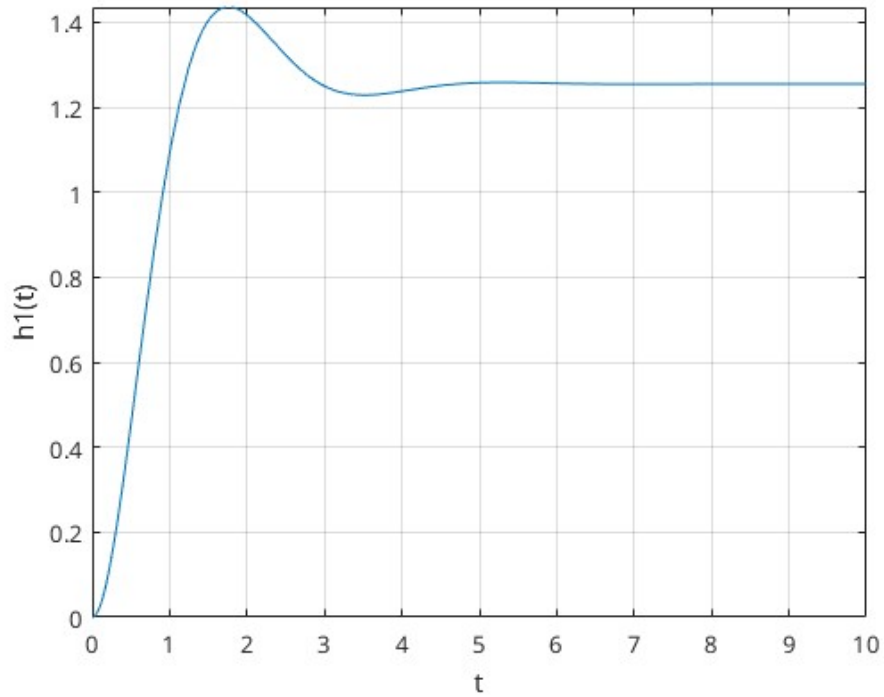


Рис. 4: Переходная характеристика

Вычислим импульсную характеристику активной цепи:

$$H(S) = \frac{5.52}{(S^2 + 2.2S + 4.4)} = \frac{-1.54j}{S + 1.1 - j1.79} + \frac{1.54j}{S - 1.1 + j1.79} \quad (7)$$

$$h(t) = 3.09e^{-1.1t} \sin(1.79t) \quad (8)$$

Построим график импульсной характеристики:

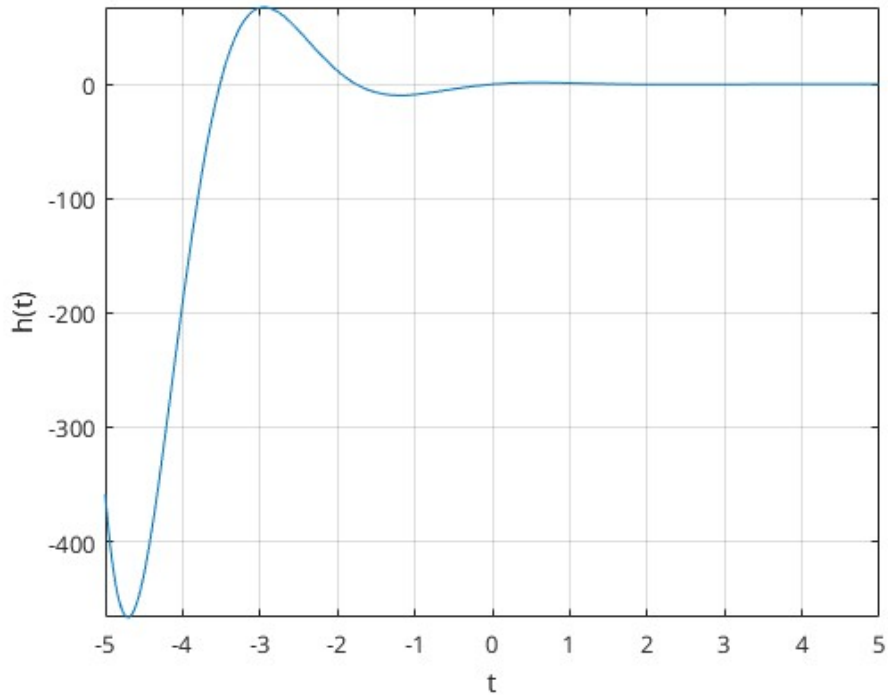


Рис. 5: Импульсная характеристика

**Определить амплитудный и фазовый спектры входного одиночного импульса и построить их графики.**

Входной одиночный импульс-меандр представлен на рисунке 1. Определим амплитудный и фазовый спектры:

$$\begin{aligned}
 U_1(jw) &= U_1(S)|_{jw} = \frac{1}{jw} (3e^{-2jw} - 6e^{-jw} + 3) = \\
 &= \frac{3}{jw} e^{-jw} (e^{-jw} - 2 + e^{jw}) = \frac{3}{jw} e^{-jw} \left( e^{-\frac{1}{2}jw} - e^{\frac{1}{2}jw} \right)^2 = \\
 &= -\frac{6}{w} e^{-jw} \sin^2 \left( \frac{1}{2}w \right) \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$A(w) = |U_1(jw)| = \frac{|6e^{jw} \sin^2(\frac{1}{2}w)|}{w} \quad (10)$$

$$A(w)|_{w=0} = 12$$