

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

Кафедра радиотехнических систем (РТС)



**Якушевич Г.Н.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗВЕНЬЕВ СИСТЕМ  
РАДИОАВТОМАТИКИ**

Методические указания по лабораторной работе,  
практическим занятиям и самостоятельной работе  
для студентов радиотехнических специальностей

УДК 621.375  
ББК 32.846.2  
Я49

**Рецензент:**

**Мещеряков А.А.**, доцент кафедры радиотехнических систем ТУСУР, канд. техн. наук

**Якушевич Г.Н.**

**К Я49** Исследование характеристик типовых линейных звеньев систем радиоавтоматики: Методические указания по лабораторной работе, практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов радиотехнических специальностей / Якушевич Г.Н. - Томск: Томск .гос. унт-систем упр. и радиоэлектроники, 2024.-18 с.

Методические указания содержат описание компьютерной лабораторной работы, выполняемой в ходе изучения дисциплины «Радиоавтоматика» в среде Qucs. Методические указания содержат так же краткую вводную теоретическую часть, расчетные соотношения, расчетное задание, контрольные вопросы и требования по оформлению отчета.

Одобрены на заседании каф. РТС протокол №7 от 17.04.2024 г.

УДК 621.375  
ББК 32.846.2

© Якушевич Г.Н. 2024 г.  
© Томск гос. ун-т систем упр.  
и радиоэлектроники, 2024 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗВЕНЬЕВ СИСТЕМ РАДИОАВТОМАТИКИ</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Цель работы</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Краткие теоретические сведения</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Типовые звенья систем радиоавтоматик</b>	<b>9</b>
<b>1.5 Расчетное задание</b>	<b>15</b>
<b>1.6 Экспериментальное задание</b>	<b>15</b>
<b>1.7. Указания по выполнению работы</b>	<b>15</b>
<b>2 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ QUCS</b>	<b>15</b>
<b>3 ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ</b>	<b>18</b>
<b>4 УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ОТЧЕТА</b>	<b>18</b>
<b>5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</b>	<b>18</b>
<b>6 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	<b>18</b>

## Лабораторная работа №1

### 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗВЕНЬЕВ СИСТЕМ РАДИОАВТОМАТИКИ

#### 1.1. Цель работы

Исследование частотных и переходных характеристик типовых линейных звеньев систем радиоавтоматики.

#### 1.2. Краткие теоретические сведения

Динамические свойства линейных звеньев и систем могут быть описаны дифференциальными уравнениями. Наибольшее распространение в теории систем радиоавтоматики получила операторная форма записи дифференциальных уравнений, при которой оперируют не с оригиналами величин, а с их изображениями по Лапласу, что позволяет ввести понятие передаточной функции.

Передаточная функция в общем случае имеет вид

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0} = \frac{B(p)}{A(p)}, \quad (1.1)$$

где  $a_m, \dots, a_0, b_m, \dots, b_0$  - коэффициенты, определяемые параметрами звена,

$p$  – оператор Лапласа,

$n, m$  – числа, определяющие порядок уравнений ( $m \leq n$  для физически реализуемых звеньев),

$B(p), A(p)$  – полиномы числителя и знаменателя передаточной функции.

Для исследования характеристик типовых линейных звеньев систем радиоавтоматики используют типовые воздействия: в частотной области – гармоническое, во временной области – единичное ступенчатое или единичное импульсное.

#### Исследование частотных характеристик типовых линейных звеньев систем радиоавтоматики.

Если на вход линейной системы поступает синусоидальный сигнал определенной частоты, то выходной сигнал будет также синусоидальным, иметь ту же частоту, но другие амплитуду и фазу. Представляя входной и выходной сигнал амплитудами  $x(j\omega)$  и  $y(j\omega)$ , изменения амплитуды и фазы можно характеризовать комплексным коэффициентом передачи

$$W(j\omega) = \frac{y(j\omega)}{x(j\omega)}. \quad (1.2)$$

Комплексным коэффициентом передачи можно рассматривать как одну из форм записи передаточной функции для случая синусоидального воздействия. Для получения выражения для комплексного коэффициента передачи из передаточной функции заменим в выражении (1.2)  $p$  на  $j\omega$  и получим

$$W(j\omega) = \frac{b_m (j\omega)^m + b_{m-1} (j\omega)^{m-1} + \dots + b_0}{a_n (j\omega)^n + a_{n-1} (j\omega)^{n-1} + \dots + a_0}. \quad (1.3)$$

Комплексным коэффициентом передачи можно записать в виде суммы вещественной и мнимой части или в показательной форме

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega) = |W(j\omega)|e^{j\varphi(\omega)}, \quad (1.4)$$

где  $W(j\omega)$  — комплексный коэффициент передачи — называется амплитудно-фазовой характеристикой (АФХ),

$|W(j\omega)| = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$  — модуль комплексного коэффициента передачи — называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ),

$\varphi(\omega) = \arctg[V(\omega)/U(\omega)]$  — аргумент комплексного коэффициента передачи — называется фазо-частотной характеристикой (ФЧХ),

$U(\omega) = \operatorname{Re}[W(j\omega)]$  и  $V(\omega) = \operatorname{Im}[W(j\omega)]$  — вещественная и мнимая части комплексного коэффициента передачи.

При анализе систем радиоавтоматики чаще используют логарифмическую амплитудно-частотную характеристику (ЛАЧХ)

$$L(\omega), \text{дБ} = 20 \lg |W(j\omega)| \quad (1.5)$$

и логарифмическую фазо-частотную характеристику (ЛФЧХ)

$$\varphi(\omega) = \arctg[V(\omega)/U(\omega)]. \quad (1.6)$$

На рис. 1.1 приведены логарифмические амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики (ЛАЧХ и ЛФЧХ) и асимптотические логарифмические амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики (АЛАЧХ и АЛФЧХ) типового апериодического звена первого порядка.

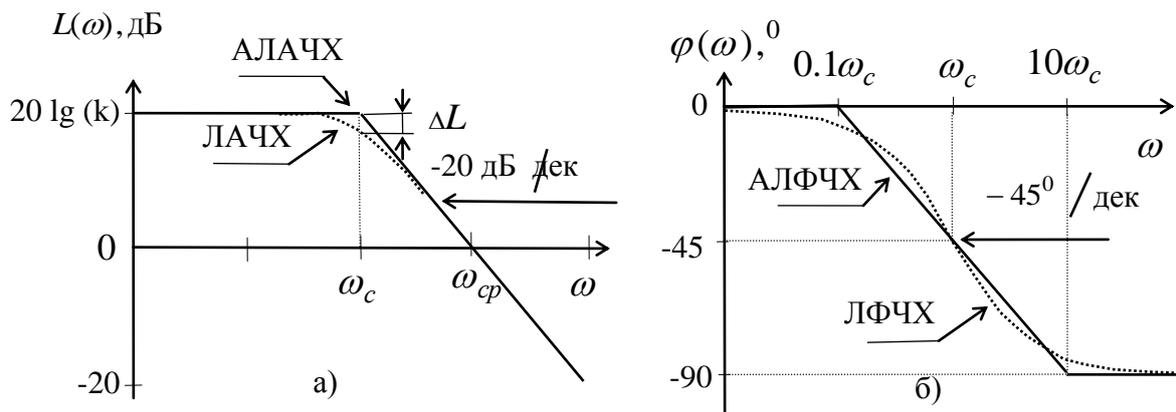


Рис. 1.1. Логарифмические и асимптотические логарифмические частотные характеристики: а) ЛАЧХ и АЛАЧХ; б) ЛФЧХ и АЛФЧХ.

По логарифмическим частотным характеристикам определяют следующие параметры типовых звеньев:

- 1) низкочастотный коэффициент передачи  $k$ ;
- 2) сопрягающие частоты  $\omega_c$  и постоянные времени  $T = 1/\omega_c$ ;
- 3) наклон ЛАЧХ и ЛФЧХ;
- 4) частоту среза  $\omega_{cp}$ , на которой  $L(\omega_{cp}) = 0$ .

По частотным характеристикам можно судить о точности работы звена (системы радиоавтоматики) в установившемся режиме и поведении звена в переходном режиме. Так, например, чем больше коэффициент передачи  $k$ , тем выше точность работы типового звена (системы радиоавтоматики) в установившемся режиме, чем меньше частота среза  $\omega_{cp}$ , тем больше длительность переходного процесса.

## Исследование переходных характеристик типовых линейных звеньев систем радиоавтоматики.

Если известны реакции линейной системы на элементарные ( типовые ) воздействия, то можно определить реакцию системы на любое произвольное воздействие. В качестве типовых воздействий при исследовании переходных характеристик используют единичное ступенчатое и единичное импульсное воздействия, приведенные на рис. 1.2.

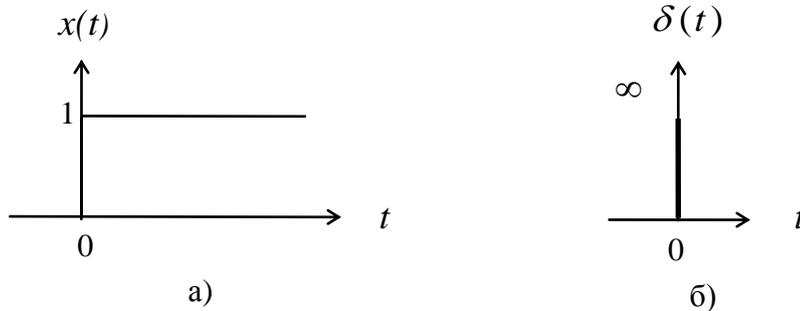


Рис. 1.2. Типовые воздействия: а) единичное ступенчатое; б) единичное импульсное.

Математическое выражение для единичного ступенчатого воздействия может быть записано в виде

$$1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0, \\ 1 & \text{при } t \geq 0. \end{cases} \quad (1.7)$$

Под единичным импульсным воздействием понимают предельно короткий импульс

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{при } t = 0, \\ 0 & \text{при } t \neq 0, \end{cases} \quad (1.8)$$

площадь которого равна единице

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1. \quad (1.9)$$

Выражение для единичного импульса в математике принято называть дельта-функцией.

Графическое изображение реакции системы на единичное ступенчатое воздействие называется переходной характеристикой.

Аналитическое выражение переходной характеристики обозначается  $h(t)$  и называется переходной характеристикой.

Графическое изображение реакции системы на единичное импульсное воздействие называется импульсной переходной характеристикой.

Аналитическое выражение импульсной переходной характеристики обозначается  $\omega(t)$  и называется импульсной переходной функцией или весовой функцией (функцией веса).

Алгоритм нахождения переходной характеристики с помощью преобразования Лапласа следующий:

1) записываем выражение для передаточной функции

$$W(p) = \frac{B(p)}{A(p)}, \quad (1.10)$$

2) применяя прямое преобразование Лапласа, находим изображение оригинала входного воздействия

$$x(p) = L\{x(t)\}, \quad (1.11)$$

3) находим изображение на выходе

$$y(p) = W(p) \cdot x(p) , \quad (1.12)$$

4) используя обратное преобразование Лапласа, находим оригинал выходной функции или реакцию системы на входное воздействие

$$y(t) = L^{-1}\{y(p)\} . \quad (1.13)$$

Для единичного ступенчатого воздействия изображение оригинала входного воздействия равно

$$x(p) = L\{1(t)\} = \frac{1}{p} . \quad (1.14)$$

Для единичного импульсного воздействия изображение оригинала входного воздействия равно

$$x(p) = L\{\delta(t)\} = 1 . \quad (1.15)$$

Общий вид переходной характеристики приведен на рис. 1.3. По переходной характеристике можно определить следующие показатели качества переходного процесса.

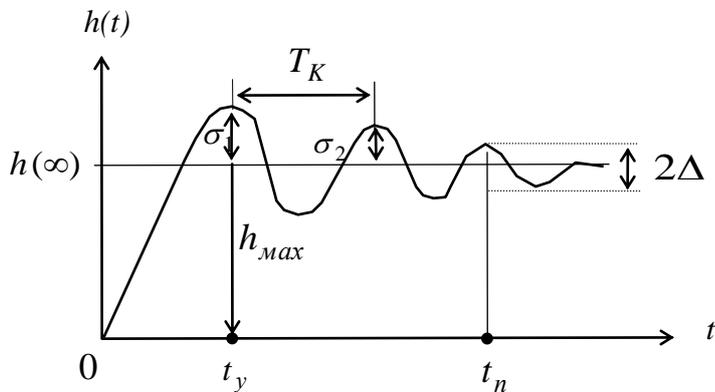


Рис. 1.3. Переходная характеристика с показателями качества переходного процесса

**Длительность переходного процесса**  $t_n$  — интервал времени от начала переходного процесса до момента времени, когда отклонение выходной величины от установившегося значения  $h(\infty)$  становится меньше  $\Delta = (1 \div 5)\%$ , определяет быстродействие системы.

**Время установления первого максимума**  $t_y$  — время достижения первого максимума выходного сигнала, определяет скорость изменения выходного сигнала в переходном процессе.

**Перерегулирование**  $\sigma$  — максимальное отклонение выходной величины от установившегося значения:  $\sigma = \frac{h_{max} - h(\infty)}{h(\infty)} 100\%$ .

**Мера колебательности**  $C$  — отношение первых соседних максимумов переходного процесса  $C = (\sigma_2 / \sigma_1) * 100\%$ .

**Частота колебаний**  $f_K$  — частота колебаний переходного процесса  $f_K = 1/T_K$ , где  $T_K$  - период колебаний переходного процесса.

**Число колебаний**  $N$  — число колебаний за время переходного процесса (обычно число колебаний  $N = 1 \div 2$ ).

**Ошибка регулирования** в установившемся режиме — отличие установившегося значения  $h(\infty)$  от единицы.

### 1.3. Типовые звенья систем радиоавтоматики

Различают семь типовых звеньев систем радиоавтоматики:

- 1) пропорциональное звено;
- 2) апериодическое звено первого порядка;
- 3) апериодическое звено второго порядка (колебательное, консервативное);
- 4) интегрирующее звено;
- 5) дифференцирующее звено;
- 6) форсирующее звено;
- 7) запаздывающее звено.

В табл. 1.1 приведены выражения для частотных функций типовых звеньев систем радиоавтоматики.

В табл. 1.2 приведены выражения для логарифмических частотных функций типовых звеньев систем радиоавтоматики.

В табл. 1.3 приведены выражения для временных функций типовых звеньев систем радиоавтоматики.

В табл. 1.4 приведены логарифмические частотные характеристики типовых звеньев систем радиоавтоматики.

В табл. 1.5 приведены переходные характеристики типовых звеньев систем радиоавтоматики.

В табл. 1.6 приведены схемы моделей типовых звеньев систем радиоавтоматики.

Таблица 1.1

Частотные функции типовых звеньев

Тип звена	АФХ, $W(j\omega)$	АЧХ, $ W(j\omega) $	ФЧХ, $\varphi(\omega)$
Пропорциональное	$k$	$k$	0
Апериодическое первого порядка	$\frac{k}{1+j\omega T}$	$\frac{k}{\sqrt{1+(\omega T)^2}}$	$-\arctg(\omega T)$
Апериодическое второго порядка	$\frac{k}{1-(\omega T)^2+j2\zeta\omega T}$	$\frac{k}{\sqrt{[1-(\omega T)^2]^2+(2\zeta\omega T)^2}}$	$-\arctg\left(\frac{2\zeta\omega T}{1-(\omega T)^2}\right)$
Интегрирующее	$-jk/\omega$	$k/\omega$	$-\pi/2$
Дифференцирующее	$jk\omega$	$k\omega$	$\pi/2$
Форсирующее	$k(1+j\omega T)$	$k\sqrt{1+(\omega T)^2}$	$\arctg(\omega T)$
Запаздывающее	$ke^{-j\omega T}$	$k$	$-\omega T$

Таблица 1.2

## Логарифмические частотные функции типовых звеньев

Тип звена	ЛАЧХ, $L(\omega)$ , дБ	ЛАФХ, $\varphi(\omega)$
Пропорциональное	$20 \lg k$	0
Апериодическое первого порядка	$20 \lg k - 20 \lg \sqrt{1 + (\omega T)^2}$	$-\arctg(\omega T)$
Апериодическое второго порядка	$20 \lg k - 20 \lg \sqrt{[1 - (\omega T)^2]^2 + (2\zeta \omega T)^2}$	$-\arctg\left(\frac{2\zeta \omega T}{1 - (\omega T)^2}\right)$
Интегрирующее	$20 \lg k - 20 \lg \omega$	$-\pi / 2$
Дифференцирующее	$20 \lg k + 20 \lg \omega$	$\pi / 2$
Форсирующее	$20 \lg k + 20 \lg \sqrt{1 + (\omega T)^2}$	$\arctg(\omega T)$
Запаздывающее	$20 \lg k$	$-\omega T$

Таблица 1.3

## Временные функции типовых звеньев

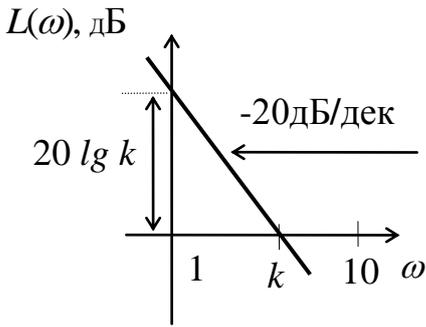
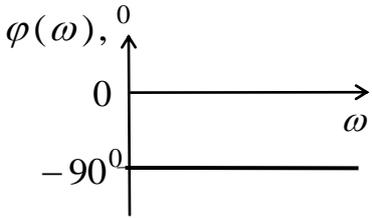
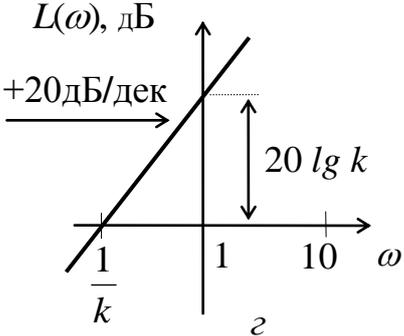
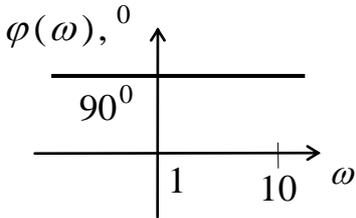
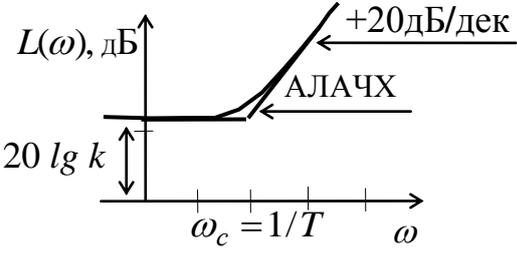
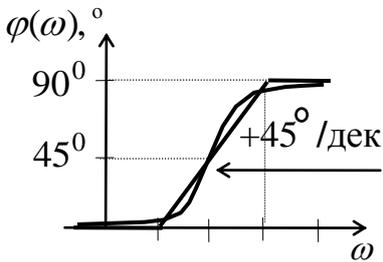
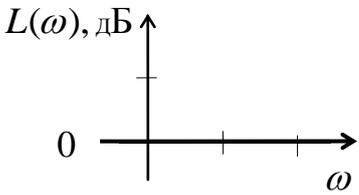
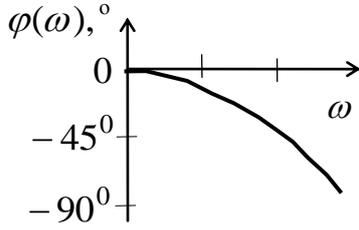
Тип звена	ПХ, $h(t)$	ИПХ, $\omega(t)$
Пропорциональное	$k1(t)$	0
Апериодическое первого порядка	$k(1 - e^{-\frac{t}{T}})$	$\frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}}$
Апериодическое второго порядка	$k[1 - e^{-\frac{\zeta}{T}t} (\cos \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{T}t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{T}t)]$	$\frac{k}{T\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\frac{\zeta}{T}t} \sin \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{T}t$

Интегрирующее	$k \cdot t$	$k$
Дифференцирующее	$k \cdot \delta(t)$	$k \frac{d\delta(t)}{dt}$
Форсирующее	$h(t) = k[T\delta(t) + 1(t)]$	$k \left[ T \frac{d\delta(t)}{dt} + \delta(t) \right]$
Запаздывающее	$k \cdot 1(t-T)$	$k \cdot \delta(t-T)$

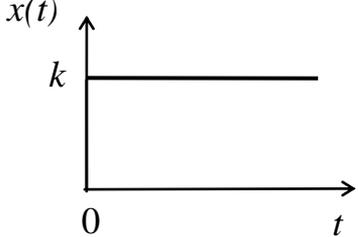
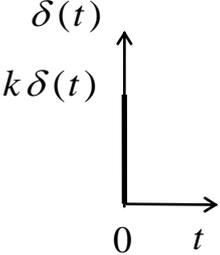
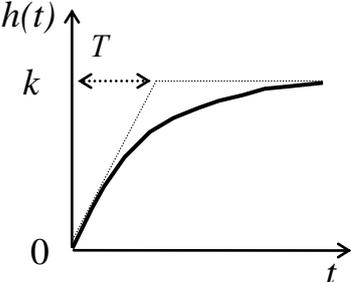
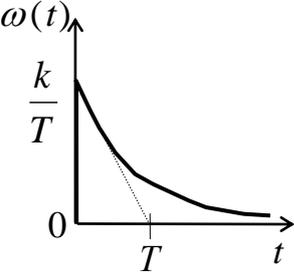
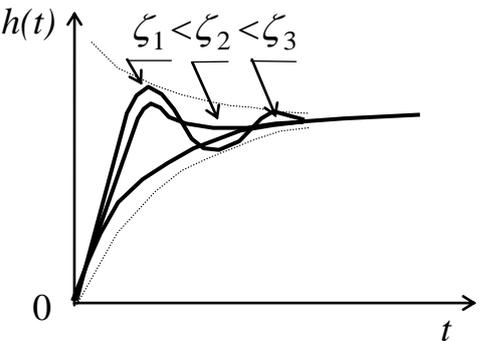
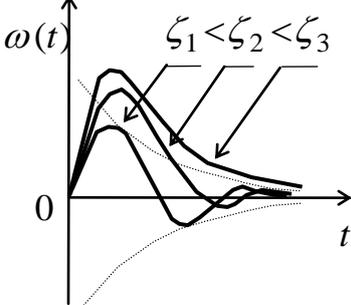
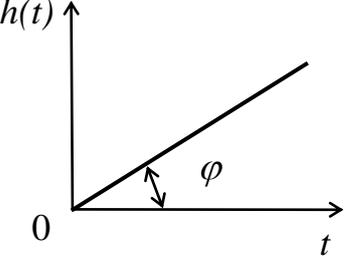
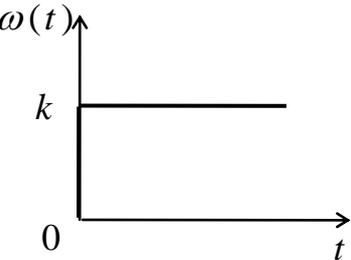
Таблица 1.4

Логарифмические частотные характеристики типовых звеньев

Тип звена	ЛАФХ	ЛФЧХ
Пропорциональное		
Апериодическое первого порядка		
Апериодическое второго порядка		

<p>Интегрирующее</p>	 <p><math>L(\omega), \text{дБ}</math></p> <p><math>20 \lg k</math></p> <p><math>-20 \text{дБ/дек}</math></p> <p><math>1</math> <math>k</math> <math>10</math> <math>\omega</math></p>	 <p><math>\varphi(\omega), ^\circ</math></p> <p><math>0</math></p> <p><math>-90^0</math></p> <p><math>\omega</math></p>
<p>Дифференцирующее</p>	 <p><math>L(\omega), \text{дБ}</math></p> <p><math>+20 \text{дБ/дек}</math></p> <p><math>20 \lg k</math></p> <p><math>\frac{1}{k}</math> <math>1</math> <math>10</math> <math>\omega</math></p> <p><math>z</math></p>	 <p><math>\varphi(\omega), ^\circ</math></p> <p><math>90^0</math></p> <p><math>1</math> <math>10</math> <math>\omega</math></p>
<p>Форсирующее</p>	 <p><math>L(\omega), \text{дБ}</math></p> <p><math>20 \lg k</math></p> <p><math>+20 \text{дБ/дек}</math></p> <p>АЛЧХ</p> <p><math>\omega_c = 1/T</math></p> <p><math>\omega</math></p>	 <p><math>\varphi(\omega), ^\circ</math></p> <p><math>90^0</math></p> <p><math>45^0</math></p> <p><math>+45^0 / \text{дек}</math></p> <p><math>\omega</math></p>
<p>Запаздывающее</p>	 <p><math>L(\omega), \text{дБ}</math></p> <p><math>0</math></p> <p><math>\omega</math></p>	 <p><math>\varphi(\omega), ^\circ</math></p> <p><math>0</math></p> <p><math>-45^0</math></p> <p><math>-90^0</math></p> <p><math>\omega</math></p>

Переходные характеристики типовых звеньев

Тип звена	ПХ	ИПХ
Пропорциональное		
Апериодическое первого порядка		
Апериодическое второго порядка		
Интегрирующее		

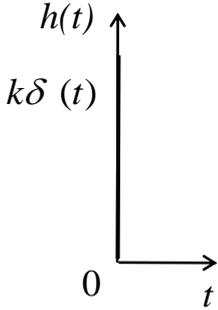
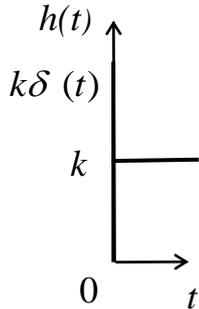
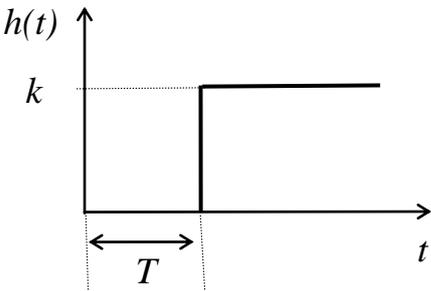
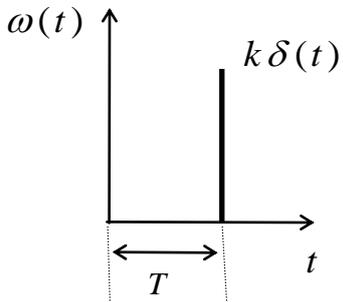
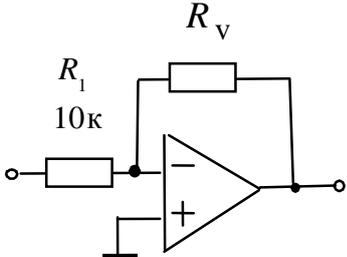
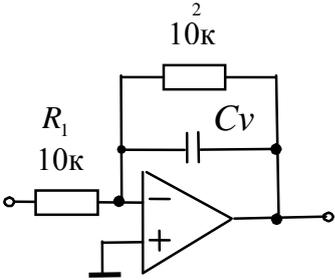
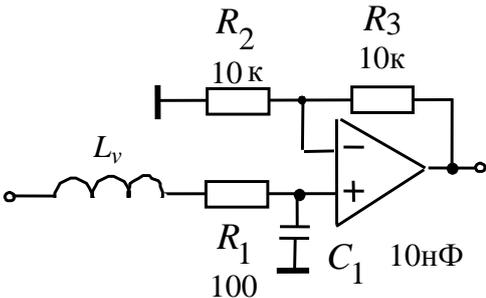
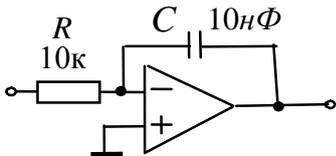
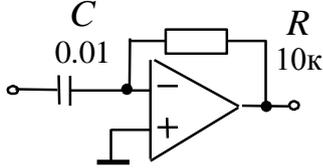
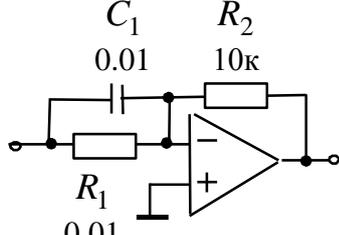
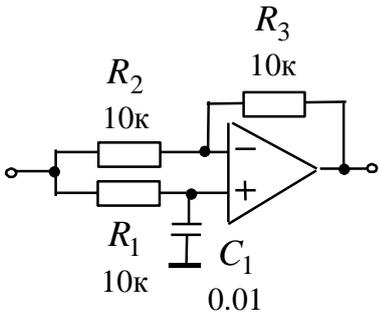
Дифференцирующее		$\omega(t) = k \frac{d\delta(t)}{dt}$
Форсирующее		$\omega(t) = k \left[ T \frac{d\delta(t)}{dt} + \delta(t) \right]$
Запаздывающее		

Таблица 1.6

Схемы моделей типовых звеньев

Тип звена	Схема	Коэффициенты передаточных функций
Пропорциональное		$W(p) = -k, \text{ где}$ $k = R_v / R_1.$ $R_v = 1\text{кОм}, 2\text{кОм}$

<p>Апериодическое 1-го порядка</p>		$W(p) = -k / (1 + pT),$ <p>где <math>k = R_2 / R_1</math>, <math>C_v = 3.3 \text{ нФ}, 10 \text{ нФ}</math></p>
<p>Апериодическое 2-го порядка (<math>\zeta \geq 1</math>). Колебательное (<math>\zeta &lt; 1</math>). Консервативное (<math>\zeta = 0</math>).</p>		$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\zeta T p + 1},$ $T^2 = LC_1, \zeta = R_1 C_1 / (2T)$ $K_3 = \frac{R_4}{R_3}, K_4 = \frac{R_5}{R_6}, k = \frac{T_2}{T_1 K_4},$ $L_v = 100 \text{ уН}, 300 \text{ уН}.$
<p>Интегрирующее</p>		$W(p) = -\frac{1}{pT},$ <p>где <math>T = RC</math>.</p>
<p>Дифференцирующее</p>		$W(p) = -pT,$ <p>где <math>T = RC</math>.</p>
<p>Форсирующее</p>		$W(p) = -k (1 + pT),$ <p>где <math>k = R_2 / R_1</math>, <math>T = R_1 C_1</math>.</p>
<p>Запаздывающее</p>		$W(p) = \frac{1 - pT}{1 + pT},$ <p>где <math>T = R_1 C_1</math>.</p>

## 1.5. Расчетное задание

Рассчитать и построить асимптотические ЛАЧХ и ЛФЧХ, переходные характеристики типовых звеньев систем радиоавтоматики (пропорционального, апериодического 1-го порядка, апериодического 2-го порядка, интегрирующего, дифференцирующего, форсирующего и запаздывающего), схемы которых приведены в табл. 1.6, Определить сопрягающие частоты, частоты среза, а для колебательного звена - коэффициент демпфирования  $\zeta$ .

## 1.6. Экспериментальное задание

1. Измерить и построить АЧХ и ФЧХ, ПХ типовых звеньев систем радиоавтоматики: пропорционального, апериодического 1-го порядка, апериодического 2-го порядка, интегрирующего, дифференцирующего, форсирующего и запаздывающего для всех значений  $R_V$  и  $C_V$  схем, приведенных в табл. 1.6.

2. По экспериментальным частотным характеристикам определить коэффициенты передачи, частоты среза, сопрягающие частоты, а по ним – постоянные времени. Сравнить расчетные и экспериментальные частотные характеристики.

По экспериментальным переходным характеристикам определить время установления, характер зависимостей, а для колебательного звена – время установления первого максимума, длительность переходного процесса, перерегулирование, меру колебательности, частоту колебаний. Сравнить расчетные и экспериментальные переходные характеристики.

## 1.7 Указания по выполнению работы

При выборе диапазона часто для измерения частотных характеристик необходимо ориентироваться на величины постоянных времени звеньев, а также на сопрягающие частоты и частоты среза.

При исследовании переходных характеристик необходимо помнить, что длительность входных импульсов должна превышать длительность переходных процессов в звеньях.

## 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ QUCS

Чтобы открыть программный продукт Qucs щелкните два раза по ярлыку



откроется главное окно, затем щелкните два раза по вкладке «Справка», откроется содержание «Справки».

### Содержание

1. Быстрый старт - Аналоговое моделирование.
2. Быстрый старт - Цифровое моделирование.
3. Быстрый старт – Оптимизация.
4. Краткое описание действий.
5. Работа с подсхемами.
6. Краткое описание математических функций.
7. Перечень специальных символов.
8. Создание согласованных схем.
9. Описание установленных файлов Qucs.
10. Описание форматов файлов Qucs.

Изучить содержание разделов 1,4,5 программного продукта Qucs.

Собрать и промоделировать в частотной и временной областях схемы типовых звеньев, которые приведены в табл. 1.6. Определить основные показатели частотных и переходных характеристик типовых звеньев систем радиоавтоматики.

**Пример.**

На рисунке 1 и рисунке 2 приведены схема, ЛАЧХ и ЛФЧХ апериодического звена 1-го порядка при варьировании параметров для моделирования в частотной области

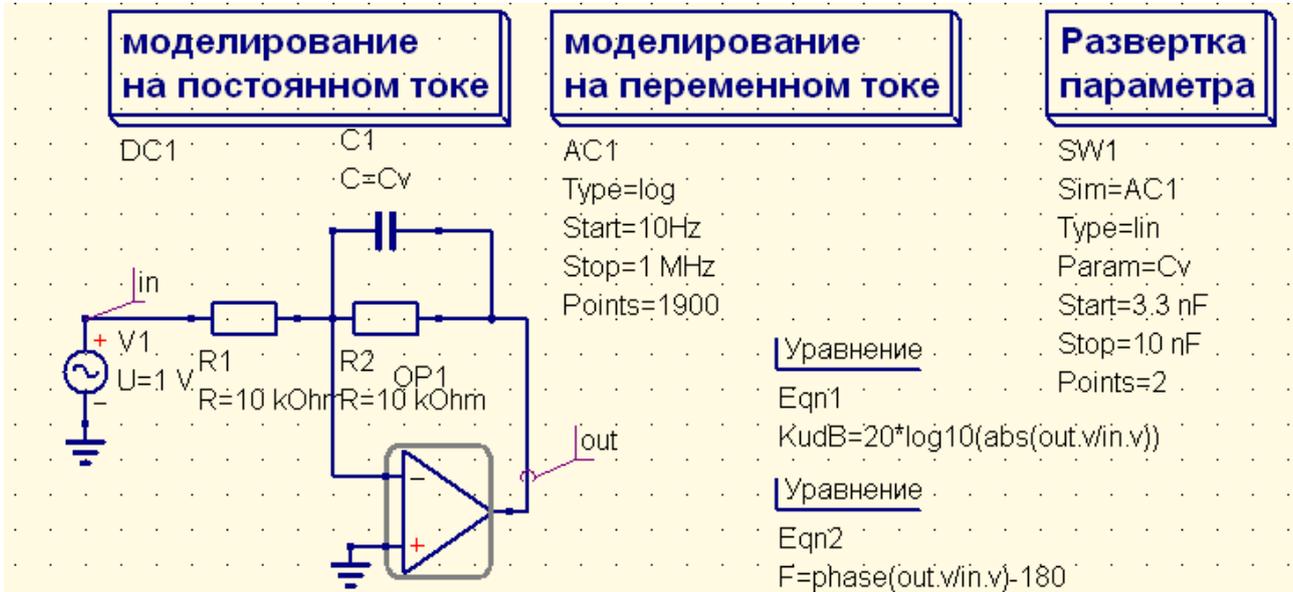


Рисунок 1 – Схема апериодического звена 1-го порядка для моделирования в частотной области

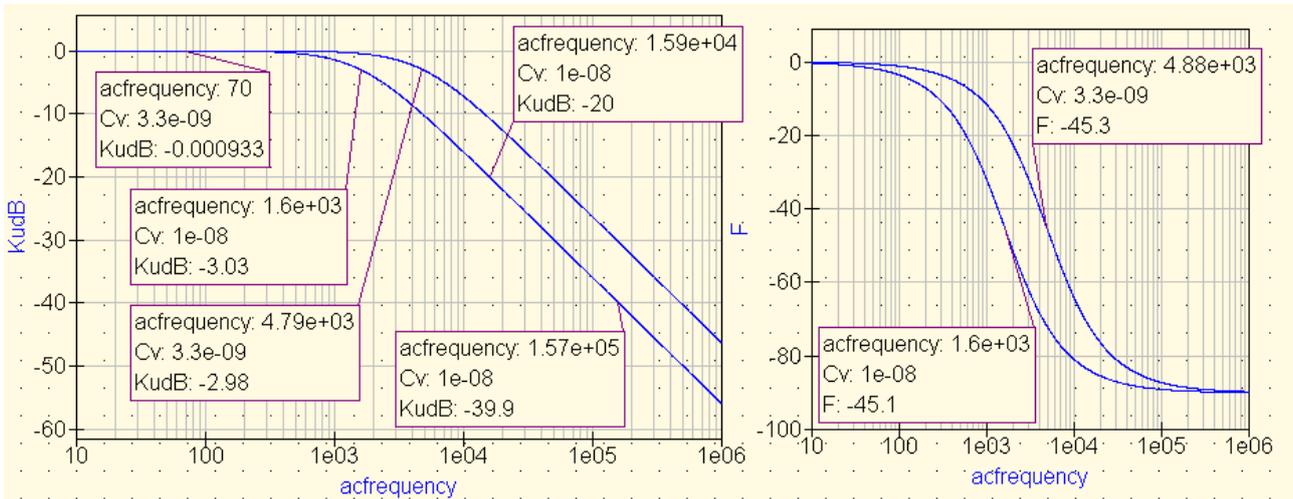


Рисунок 2 – ЛАЧХ и ЛФЧХ апериодического звена 1-го порядка при варьировании параметров

Результаты моделирования представить в таблице 1.

Таблица 1

	$K_{U1}$	$K_{U2}$	$f_{B1} -3дБ$	$f_{B2} -3дБ$
Расчет				
Эксперимент				

На рисунке 3 и рисунке 4 приведены схема и ПХ аperiodического звена 1-го порядка для моделирования во временной области.

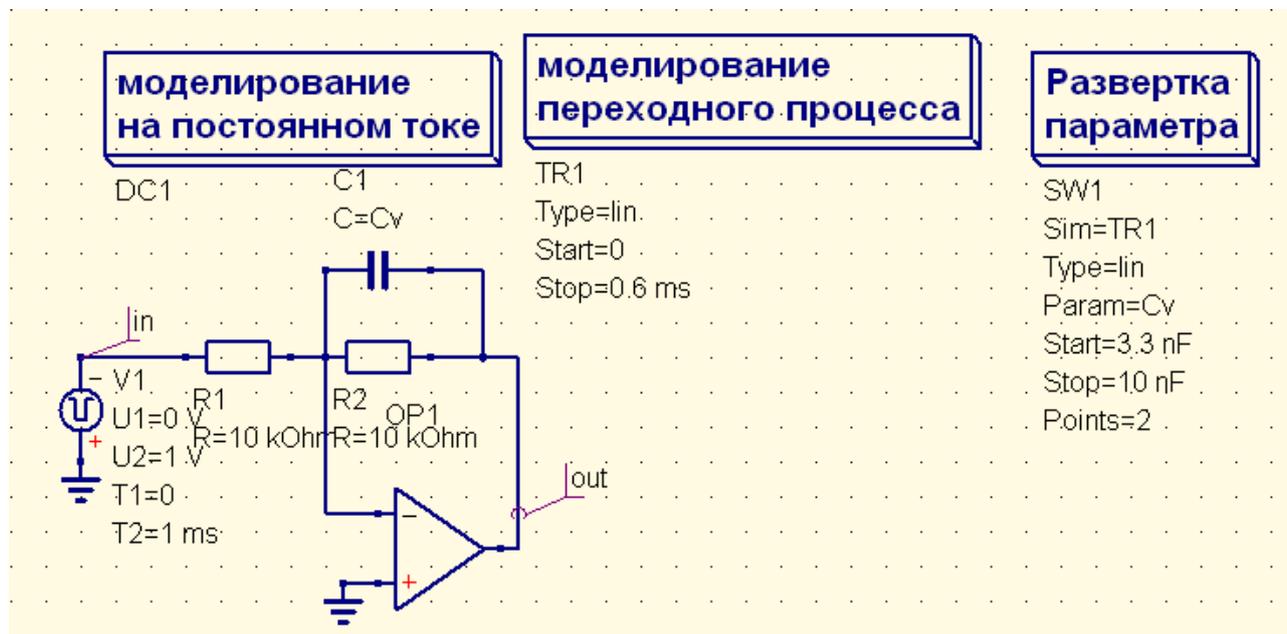


Рисунок 3 - Схема аperiodического звена 1-го порядка для моделирования во временной области

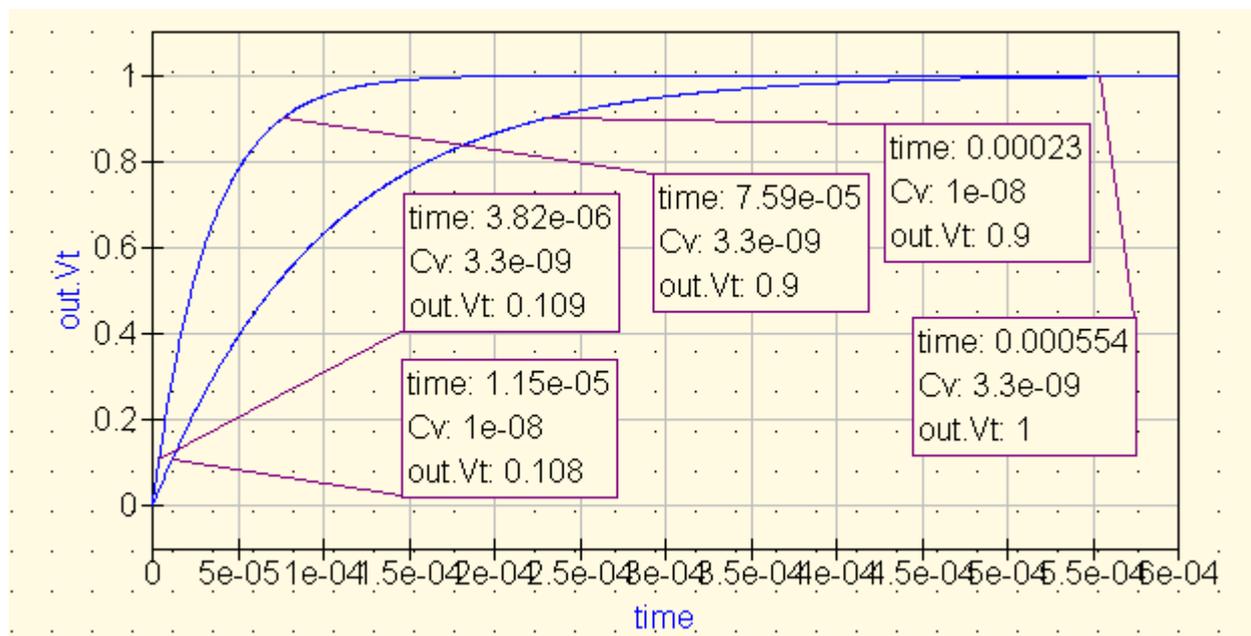


Рисунок 4 – ПХ аperiodического звена 1-го порядка при варьировании параметров

Результаты моделирования представить в таблице 2.

Рассчитать время установления  $t_y$  и по следующему соотношению

$$t_y = 0.35 / f_{В-3дБ},$$

Таблица 3

	$t_{y1}$	$t_{y2}$
Расчет		
Эксперимент		

### **3 ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Выводы должны содержать ссылки на рисунки, объяснение поведения характеристик, физику поведения, сравнение характеристик при варьировании параметров.

### **4 УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА**

В отчете экспериментальные и расчетные логарифмические частотные характеристики и переходные характеристики для каждого звена строятся, соответственно, на одном рисунке.

Выводы должны быть сделаны по каждому пункту исследований и должны содержать: ссылки на рисунки, характер зависимостей, физическое и теоретическое объяснение зависимостей, сравнительный анализ.

### **5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое передаточная функция, какова её связь с частотными и переходными характеристиками?
2. Какие типовые воздействия Вы знаете? Дайте определение, запишите математические выражения.
3. Какие звенья систем радиоавтоматики относятся к типовым звеньям? Перечислите эти звенья
4. Что такое логарифмические и асимптотические логарифмические частотные характеристики типовых звеньев? На какой частоте и чему равна максимальная погрешность представления ЛАЧХ апериодического звена асимптотической ЛАЧХ?
5. Что такое годограф типового звена? Постройте годограф для апериодического звена второго порядка.
6. Какие параметры типовых звеньев определяют по логарифмическим частотным характеристикам?
7. Какие показатели качества переходного процесса определяют по переходным характеристикам?

### **6 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Радиоавтоматика: Учебное пособие / Г. Н. Якушевич - 2019. 237 с. [Электронный ресурс]:— Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9183> (дата обращения 05.03.2024).
2. Исследование характеристик типовых линейных звеньев систем радиоавтоматики: Учебное методическое пособие по лабораторной работе, практическим занятиям и самостоятельной работе / Г. Н. Якушевич - 2019. 31 с. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9192> (дата обращения 05.03.2024).