

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ЧАСТОТНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЗВЕНЬЕВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
для студентов, обучающихся по направлениям
210100 «Электроника и наноэлектроника»
и 201000 «Биотехнические системы и технологии»

Составитель **О.С. Вадутов**

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 621.078

Частотные и временные характеристики звеньев первого порядка: метод. указания к выполнению лаб. работы для студентов, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии» / сост. О.С. Вадутов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 9 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры промышленной и медицинской электроники « 26 » марта 2012 года, протокол № 10.

Зав. кафедрой ПМЭ,
доктор технических наук,
профессор

_____ *Г.С. Евтушенко*

Рецензент

Кандидат технических наук
доцент кафедры ПМЭ ТПУ
А.Ф. Глотов

Цель работы. Целью лабораторной работы является изучение частотных и временных характеристик динамических звеньев первого порядка.

1.1. Динамические звенья первого порядка

Интегрирующее звено

В интегрирующем звене выходная величина y пропорциональна интегралу от входной величины x и определяется выражением

$$y(t) = k \int_0^t x(\tau) d\tau + y(0),$$

где k – коэффициент пропорциональности, $y(0)$ – начальное значение. Уравнение интегрирующего звена чаще записывают в виде

$$\frac{d y(t)}{d t} = k x(t).$$

Примерами интегрирующих звеньев являются идеальные модели конденсатора и катушки индуктивности. Как известно, идеальные модели указанных элементов описываются соответственно уравнениями:

$$\frac{d U_C(t)}{d t} = \frac{1}{C} i_C(t); \quad \frac{d i_L(t)}{d t} = \frac{1}{L} U_L(t).$$

Передаточная функция интегрирующего звена равна

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k}{s}.$$

Частотные и временные характеристики звена описываются выражениями:

$$W(j\omega) = \frac{k}{j\omega}; \quad W(\omega) = \frac{k}{\omega}; \quad \varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2};$$

$$L(\omega) = 20 \lg W(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \omega;$$

$$h(t) = k t; \quad w(t) = k \delta(t).$$

Характеристики интегрирующего звена показаны на рис. 1.1.

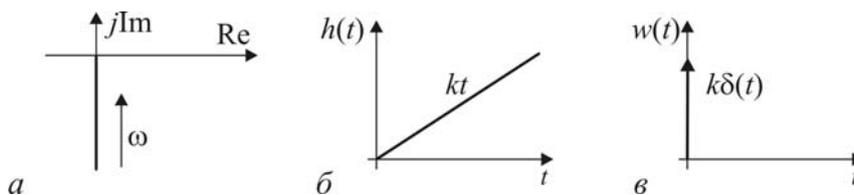


Рис. 1.1. Характеристики интегрирующего звена:
 а – АФЧХ; б – переходная функция; в – импульсная переходная функция

Апериодическое звено

Апериодическое звено описывается уравнением

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t), \quad (1.1)$$

где k – коэффициент передачи, T – постоянная времени.

К апериодическим звеньям относится RC -цепь (рис. 1.2, а), часто используемая в качестве низкочастотного фильтра. Уравнением (1.1) апериодического звена описывается связь между напряжением U и потокосцеплением Ψ электромагнита (рис. 1.2, б). Апериодическим звеном является термопара (рис. 1.2, в), для которой входная величина представляет собой температуру θ в окрестности спаев электродов, а выходная – напряжение $U_{тп}$ на зажимах.

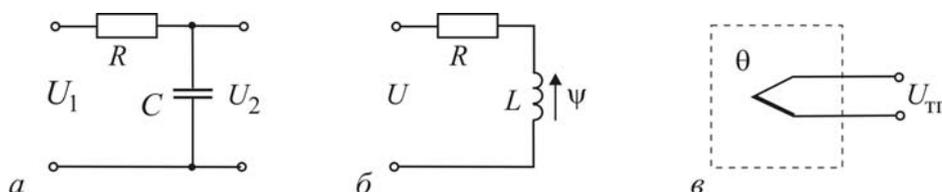


Рис. 1.2. Апериодические звенья:

а – RC -цепь; б – схема замещения электромагнита; в – термопара

Передаточная функция апериодического звена имеет вид

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k}{Ts + 1}.$$

Частотные и временные характеристики апериодического звена описываются формулами:

$$W(j\omega) = \frac{k}{1 + jT\omega}; \quad W(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + T^2\omega^2}}; \quad \varphi(\omega) = -\arctg(T\omega);$$

$$L(\omega) = 20 \lg W(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{1 + T^2\omega^2};$$

$$h(t) = k(1 - e^{-t/T}); \quad w(t) = \frac{k}{T} e^{-t/T}.$$

Характеристики апериодического звена изображены на рис. 1.3.

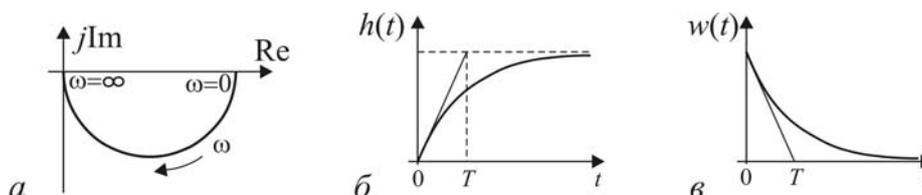


Рис. 1.3. Характеристики апериодического звена:

а – АФЧХ; б – переходная функция; в – импульсная переходная функция

Инерционно-дифференцирующее звено

Инерционно-дифференцирующее звено описывается уравнением

$$T \frac{d y(t)}{d t} + y(t) = k \frac{d x(t)}{d t},$$

где k – коэффициент передачи, T – постоянная времени.

К таким звеньям, например, относятся: RC -цепь; RL -цепь; механическая система с гибкой гидравлической связью (рис. 1.4).

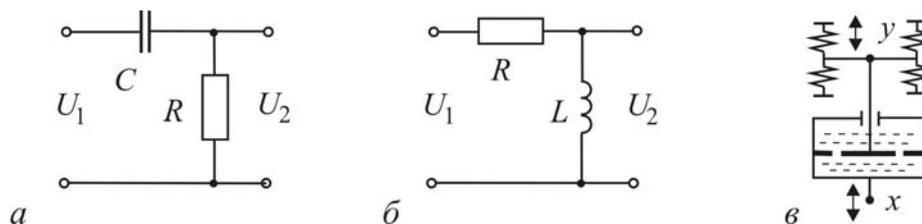


Рис. 1.4. Инерционно-дифференцирующие звенья:
а – RC -цепь; б – RL -цепь; в – механическая система

Передаточная функция инерционно-дифференцирующего звена имеет вид

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{ks}{Ts + 1}.$$

Частотные и временные характеристики инерционно-дифференцирующего звена описываются функциями:

$$W(j\omega) = \frac{jk\omega}{1 + jT\omega}; \quad W(\omega) = \frac{k\omega}{\sqrt{1 + T^2\omega^2}}; \quad \varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \text{arctg}(T\omega);$$

$$L(\omega) = 20 \lg W(\omega) = 20 \lg k + 20 \lg \omega - 20 \lg \sqrt{1 + T^2\omega^2};$$

$$h(t) = \frac{k}{T} e^{-t/T}; \quad w(t) = \frac{k}{T} \delta(t) - \frac{k}{T^2} e^{-t/T}.$$

Характеристики инерционно-дифференцирующего звена приведены на рис. 1.5.

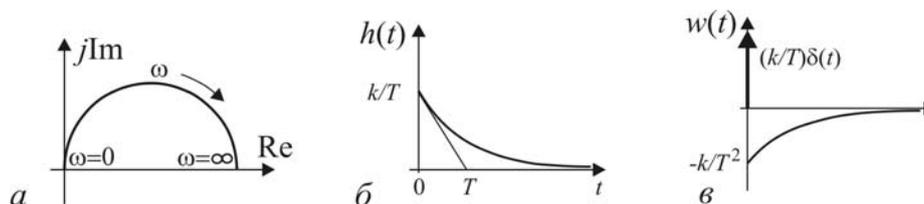


Рис. 1.5. Характеристики инерционно-дифференцирующего звена:
а – АФЧХ; б – переходная функция; в – импульсная переходная функция

Инерционно-форсирующее звено

Инерционно-форсирующее звено описывается уравнением

$$T_2 \frac{d y(t)}{d t} + y(t) = k \left[T_1 \frac{d x(t)}{d t} + x(t) \right],$$

где k – коэффициент передачи, T_1 и T_2 – постоянные времени.

В качестве примеров на рис. 1.6 изображены электрические схемы простейших инерционно-форсирующих звеньев, реализованных на RC -элементах. Такие звенья часто используются в качестве корректирующих устройств в системах автоматического управления. Обычно их включают между каскадами электронного усилителя.

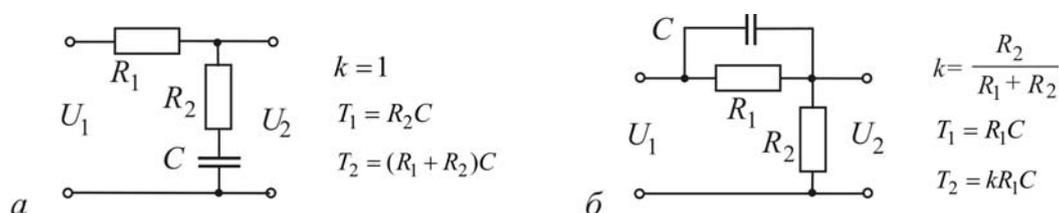


Рис. 1.6. Инерционно-форсирующие звенья:
a – с отставанием по фазе; *б* – с опережением по фазе

Передаточная функция инерционно-форсирующего звена равна

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = k \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}.$$

Частотные и временные характеристики инерционно-форсирующего звена описываются функциями:

$$W(j\omega) = k \frac{1 + jT_1\omega}{1 + jT_2\omega}; \quad W(\omega) = k \sqrt{1 + T_1^2\omega^2} / \sqrt{1 + T_2^2\omega^2};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg(T_1\omega) - \arctg(T_2\omega)$$

$$L(\omega) = 20 \lg W(\omega) = 20 \lg k + 20 \lg \sqrt{1 + T_1^2\omega^2} - 20 \lg \sqrt{1 + T_2^2\omega^2};$$

$$h(t) = k \left[1 + \frac{T_1 - T_2}{T_2} e^{-t/T_2} \right]; \quad w(t) = k \left[\frac{T_1}{T_2} \delta(t) + \frac{T_2 - T_1}{T_2^2} e^{-t/T_2} \right].$$

На рис. 1.7 показаны характеристики инерционно-форсирующего звена с отставанием и опережением по фазе.

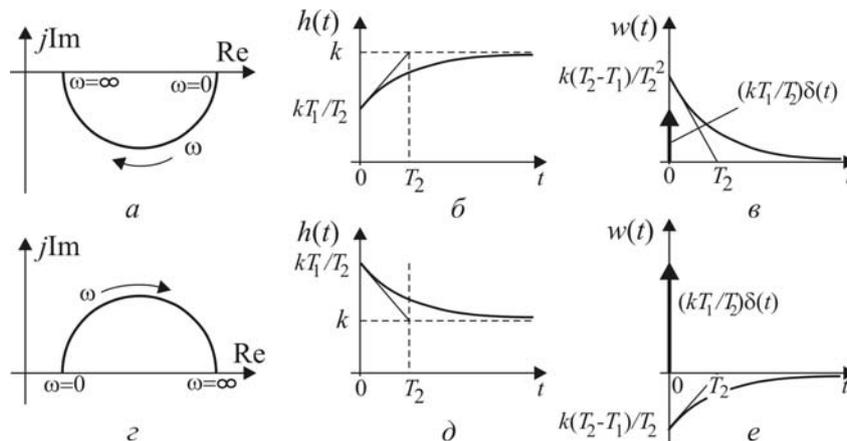


Рис. 1.7. Характеристики инерционно-форсирующего звена: а, б, в – с отставанием по фазе; г, д, е – с опережением по фазе

1.2. Выполнение лабораторной работы

Методические указания

В лабораторной работе исследуются частотные характеристики и переходные функции звеньев первого порядка. На рис. 1.8 в качестве примера показана схема моделирования инерционно-дифференцирующего звена.

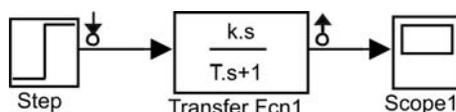


Рис. 1.8. Схема моделирования инерционно-дифференцирующего звена

Для выполнения программы лабораторной работы предлагается использовать инструмент **Simulink LTI-Viewer**.

Параметры исследуемых звеньев задаются преподавателем.

Программа

1. Пронаблюдать АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ интегрирующего звена с заданным значением k . Определить значения АЧХ $W(\omega)$ и ФЧХ $\varphi(\omega)$ на частоте $\omega = k$ рад/с. Скопировать частотные характеристики.

2. Пронаблюдать переходную функцию $h(t)$ интегрирующего звена с заданным значением k . Определить значение переходной функции $h(t)$ при $t = 1$ с. Скопировать переходную функцию.

3. Пронаблюдать АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ апериодического звена с заданными значениями k и T . Определить значения АЧХ $W(\omega)$ и ФЧХ $\varphi(\omega)$ при значениях $\omega = 0,1/T$ рад/с, $\omega = 1/T$ рад/с и $\omega = 10/T$ рад/с.

Скопировать частотные характеристики.

4. Пронаблюдать переходную функцию $h(t)$ апериодического звена с заданными значениями k и T . Определить значения переходной функции $h(t)$ при $t = T$ с; $t = 2T$ с и $t = 3T$ с. Скопировать переходную функцию.

5. Пронаблюдать АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ инерционно-дифференцирующего звена с заданными значениями k и T . Определить значения АЧХ $W(\omega)$ и ФЧХ $\varphi(\omega)$ при значениях $\omega = 0,1/T$ рад/с, $\omega = 1/T$ рад/с и $\omega = 10/T$ рад/с. Скопировать частотные характеристики.

6. Пронаблюдать переходную функцию $h(t)$ инерционно-дифференцирующего звена с заданными значениями k и T . Определить значения переходной функции $h(t)$ при $t = 0$, $t = T$ с и $t = 2T$ с. Скопировать переходную функцию.

9. Пронаблюдать АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ инерционно-форсирующего звена с заданными значениями k , T_1 и T_2 . Определить значения АЧХ $W(\omega)$ и ФЧХ $\varphi(\omega)$ при значениях $\omega = 0,1/T_2$ рад/с, $\omega = 1/T_2$ рад/с, $\omega = 10/T_2$ рад/с. Скопировать частотные характеристики.

10. Пронаблюдать переходную функцию $h(t)$ инерционно-форсирующего звена с заданными значениями k , T_1 и T_2 . Определить значения переходной характеристики $h(t)$ при $t = 0$, $t = T_2$ с и $t = 2T_2$ с. Скопировать переходную функцию.

1.3. Контрольные вопросы и задания

1. Найдите передаточную функцию RC -цепи (рис. 1.2, *a*).
2. Получите формулы для постоянных времени инерционно-дифференцирующих звеньев, схемы которых изображены на рис. 1.4, *a* и *б*.
3. Как связаны передаточная функция и АФЧХ звена?
4. Как определить переходную функцию по передаточной функции звена?
5. Каким выражением связаны между собой переходная и импульсная переходная функции звена?
6. Укажите особенность передаточной функции, при наличии которой переходная функция имеет разрыв при $t = 0$.
7. Как экспериментально определить амплитудно-частотную и фазово-частотную характеристики?
8. Какую характерную особенность имеют АФЧХ системы с интегрирующими звеньями?

Учебное издание

ЧАСТОТНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕНЬЕВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы

Составитель

ВАДУТОВ Олег Самигулович

Авторская редакция

Подписано к печати . Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать Херох. Усл.печ.л. 0,52. Уч.-изд.л. 0,47.
Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru