

Лабораторная работа №2. Исследование частотных и временных характеристик типовых звеньев и регуляторов

Теоретические сведения. Типовые звенья.

1. Аperiodическое звено.

Уравнение аperiodического звена записывается следующим образом

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t)$$

Здесь k – коэффициент передачи, T – постоянная времени, s . Таким уравнением описывается простая RC-цепь, выступающая часто в качестве фильтра. Передаточная функция такого звена получается применением преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях.

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

2. Инерционно-дифференцирующее звено.

Уравнение звена и передаточная функция показаны ниже.

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \frac{dx(t)}{dt}$$

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

Электрические аналоги аperiodического и инерционно-дифференцирующего звеньев показаны на рис.1

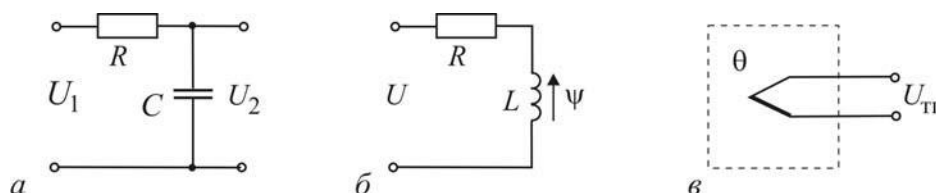


Рис. 1.1. Аperiodические звенья:

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

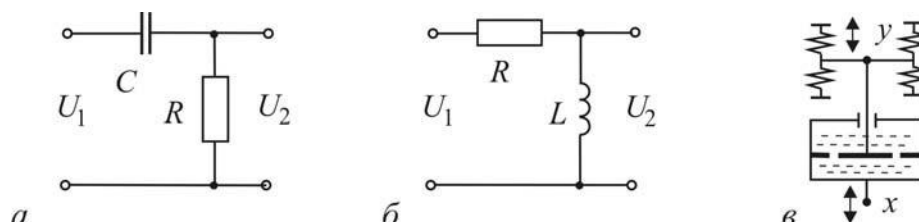
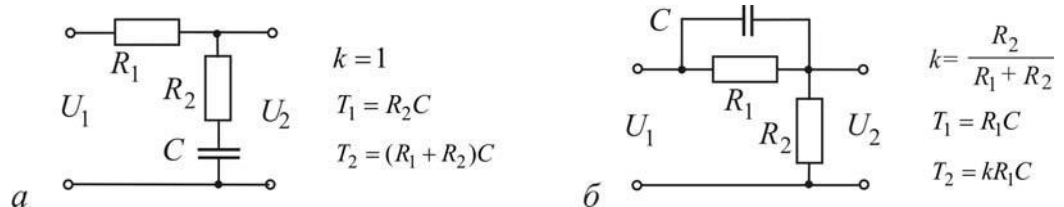


Рис. 1.2. Инерционно-дифференцирующие звенья: а – RC-цепь; б – RL-цепь; в – механическая

3. Инерционно-форсирующее звено.

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \left(\frac{dx(t)}{dt} + x(t) \right)$$

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{T1s + 1}{T2s + 1}$$



$k = 1$
 $T_1 = R_2 C$
 $T_2 = (R_1 + R_2) C$

$k = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
 $T_1 = R_1 C$
 $T_2 = k R_1 C$

Рис. 1.3. Инерционно-форсирующие звенья:
 а – с отставанием по фазе; б – с опережением по фазе

4. Аperiodическое звено второго порядка

$$T1 T2 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + (T1 + T2) \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$$

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k}{(T1s + 1)(T2s + 1)}$$

Здесь k – коэффициент передачи, T1, T2 – постоянные времени, с.

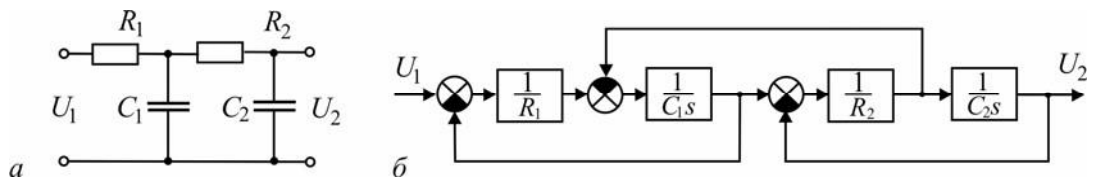


Рис.1.4. Схемы аperiodического звено второго порядка:
 а – принципиальная; б – операторно-структурная

Колебательное звено второго порядка

$$T0 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 2\sigma T0 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$$

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k}{T0^2 s^2 + 2\sigma T0 s + 1} = \frac{k\omega_0^2}{s^2 + 2\sigma\omega_0 s + \omega_0^2}$$

Здесь k – коэффициент передачи, T0 – постоянная времени, с. ($\omega_0 = \frac{1}{T0}$), σ - относительный коэффициент демпфирования ($0 < \sigma < 1$).

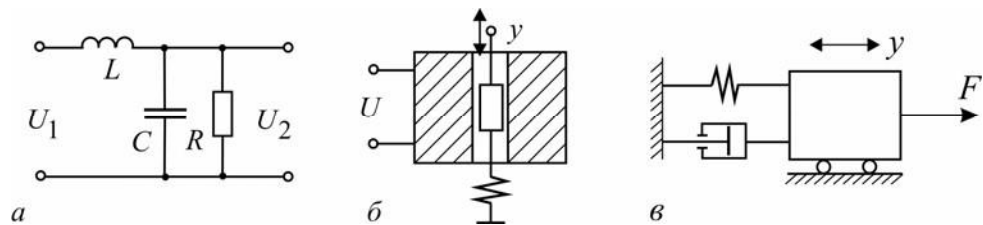


Рис.1.5. Колебательные звенья:

a – LC -фильтр; б – соленоид; в – механическая система

5. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор)

Сигнал управления определяется суммой пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих сигнала ошибки.

$$u(t) = k_p \cdot e(t) + k_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt}$$

Регулятор описывается передаточной функцией также состоящий из сумм трех компонент.

$$W_p(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d \cdot s = \frac{k_d \cdot s^2 + k_p \cdot s + k_i}{s}$$

В реальных схемах идеальное дифференцирование сигнала ошибки выполнить нельзя и передаточная функция ПИД-регулятора принимает вид

$$W_p(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p + \frac{k_i}{s} + \frac{k_d \cdot s}{T_d \cdot s + 1} = \frac{(k_d + k_p \cdot T_d) \cdot s^2 + (k_p + k_i \cdot T_d) \cdot s + k_i}{s \cdot (T_d \cdot s + 1)}$$

Выполнение лабораторной работы

Методические указания

В лабораторной работе исследуются частотные характеристики типовых звеньев. В качестве инструмента используется программа MATLAB Simulink.

Схема испытаний состоит из источника сигнала, например STEP, блока передаточной функции или соединения нескольких блоков с помощью сумматора в случае ПИД-регулятора и осциллографа. Пример схем показан на рис.2. Для установки сигналов линейного анализа необходимо открыть меню на линии связи (правая клавиша мышки на линии связи) и выбрать Linear Analysis Points\Output Measurements – для выходной переменной и Linear Analysis Points\Input Perturbation – для входной переменной (см.рис.3). Для запуска линейного анализа можно здесь же запустить Linearization Manager... (Появится вкладка, где также можно назначить свойства линий связи). Далее выбираем Model Linearizer (Другой вариант: вкладка APPS\ Model Linearizer). Откроется модуль линейного анализа, где производится формирование и измерение параметров частотных характеристик (см.рис.4).

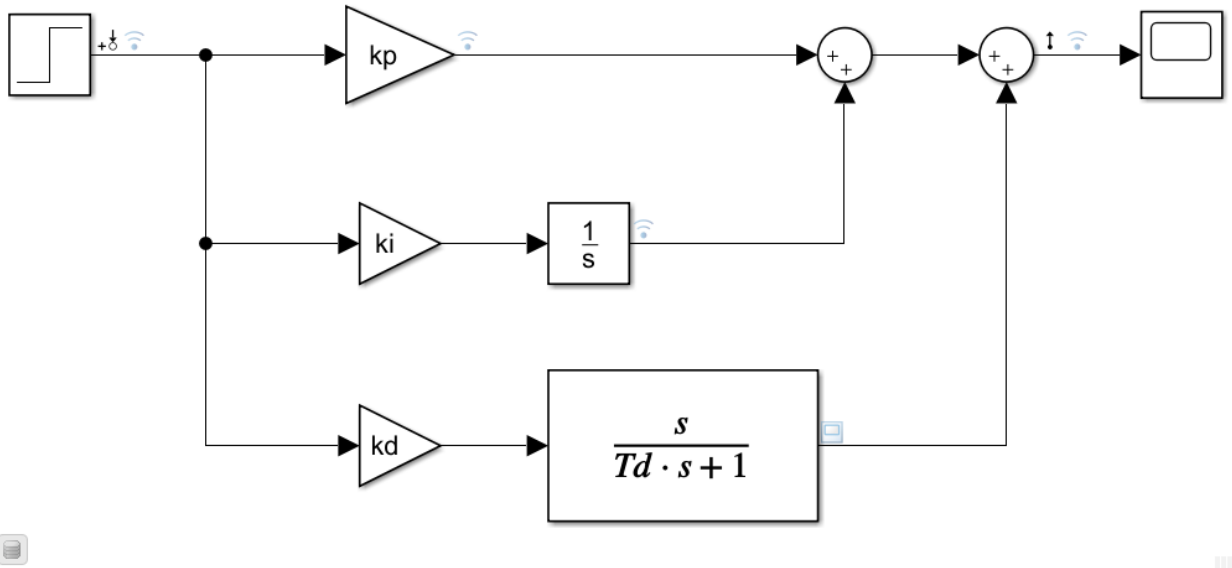


Рис.2

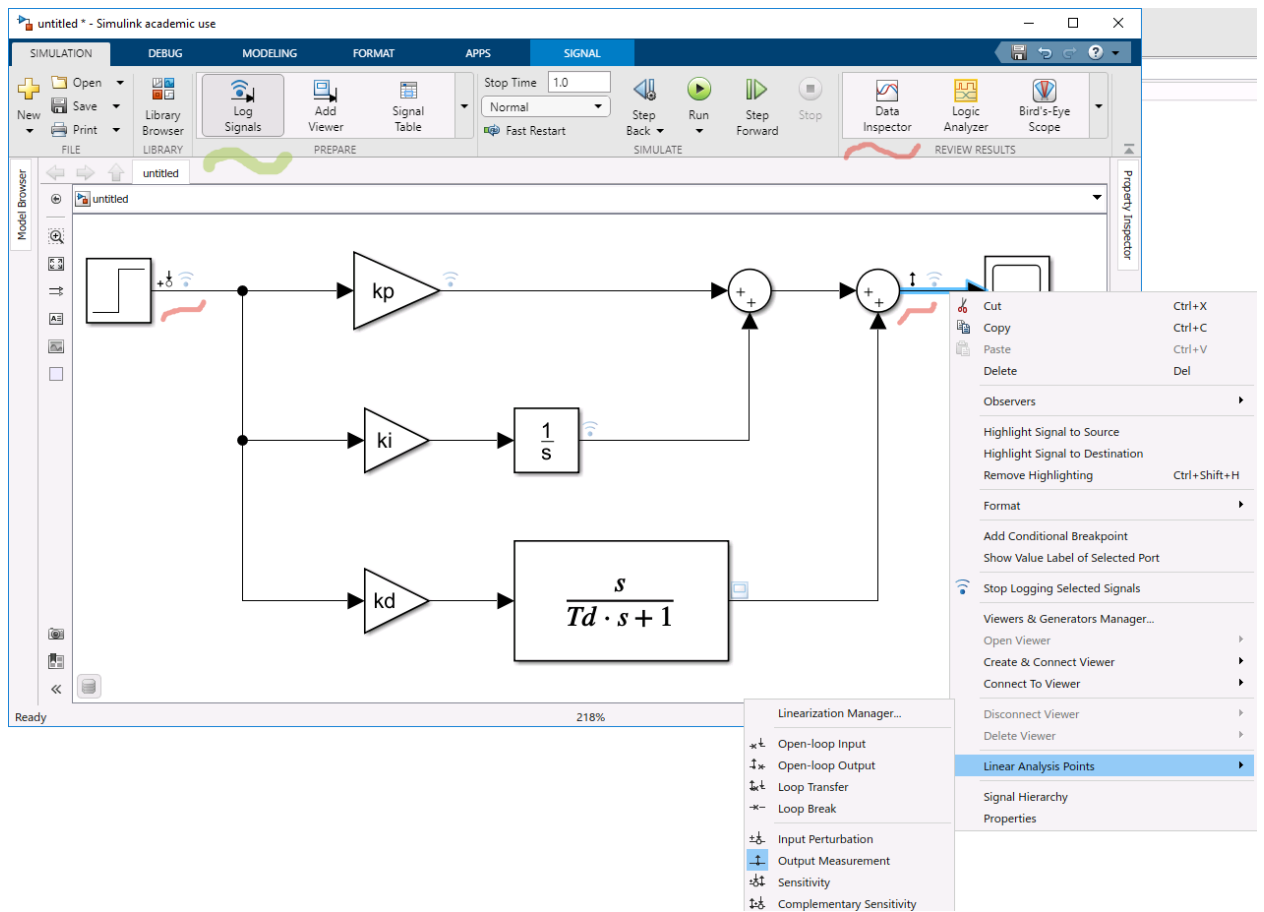


Рис.3

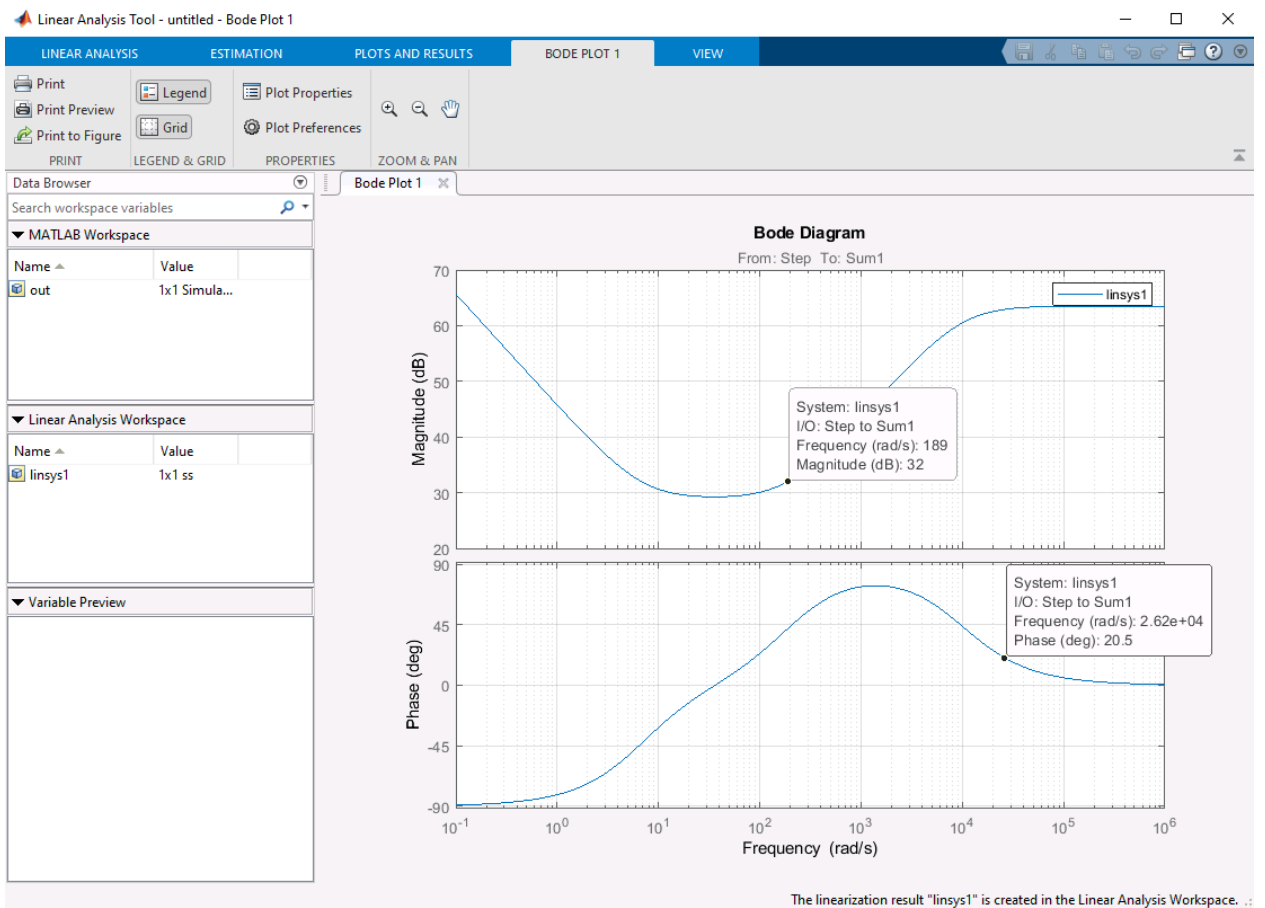


Рис.4

Программа работы

1. Пронаблюдать АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ апериодического и инерционно-дифференцирующего звеньев с заданными значениями k и T . Определить значения АЧХ и ФЧХ при значениях $\omega = 10/T$ рад/с., $\omega = 1/T$ рад/с. и $\omega = 0,1/T$ рад/с. Скопировать частотные характеристики в отчет.
2. Пронаблюдать переходную функцию $h(t)$ апериодического и инерционно-дифференцирующего звеньев с заданными значениями k и T . Определить значения переходной функции $h(t)$ при $t = 0$, $t = T$ и $t = 2T$. Скопировать переходную функцию в отчет.
3. Пронаблюдать АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ инерционно-форсирующего звена с заданными значениями k , T_1 и T_2 . Определить значения АЧХ и ФЧХ при значениях $\omega = 10/T_2$ рад/с., $\omega = 1/T_2$ рад/с. и $\omega = 0,1/T_2$ рад/с. Скопировать частотные характеристики в отчет.
4. Пронаблюдать переходную функцию $h(t)$ инерционно-форсирующего звена с заданными значениями k , T_1 и T_2 . Определить значения переходной функции $h(t)$ при $t = 0$, $t = T_2$ и $t = 2T_2$. Скопировать переходную функцию в отчет.
5. Пронаблюдать частотные характеристики (АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ) апериодического звена второго порядка с заданными значениями k , T_1 и T_2 . Определить коэффициент передачи звена на частоте, при которой звено имеет отставание по фазе $\varphi = -\pi/2$. Скопировать частотные характеристики в отчет.
6. Пронаблюдать переходную функцию апериодического звена второго порядка с заданными значениями k , T_1 и T_2 . Определить интервал времени, за которое выходная величина $y(t)$ достигает значения $0,95 y(\infty)$. Скопировать переходную функцию в отчет.

7. Пронаблюдать частотные характеристики (АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ) колебательного звена второго порядка с заданными значениями k , ξ и T_0 . Определить значения АЧХ и ФЧХ при значениях $\omega = 10/T_2$ рад/с., $\omega = 1/T_2$ рад/с. и $\omega = 0,1/T_2$ рад/с. Скопировать частотные характеристики в отчет.
8. Пронаблюдать переходную функцию колебательного звена второго порядка с заданными значениями k , ξ и T_0 . Определить время достижения первого максимума. Определить интервал времени, за которое выходная величина $y(t)$ входит в интервал $[0,95 y(\infty), 1,05 y(\infty)]$ и в дальнейшем из него не выходит. Скопировать переходную функцию в отчет.
9. Изменяя относительный коэффициент затухания колебательного звена ξ от 0 до 1 при заданных значениях k и T_0 , найти:
 - а. значение коэффициента передачи (значение АЧХ) на частоте $\omega = 1/T_0$ рад/с.;
 - б. значение полюсов колебательного звена.

Полученные данные занесите в таблицу. Постройте траекторию полюсов на комплексной плоскости. Сделайте выводы.

10. Изменяя постоянную времени колебательного звена от $0,1T_0$ до $2T_0$ при заданных значениях k и ξ , найти значения полюсов колебательного звена. Полученные данные занести в таблицу. Построить траекторию полюсов на комплексной плоскости. Сделайте вывод.
11. Пронаблюдать частотные характеристики (АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ) ПИД-регулятора с заданными значениями k_p , k_i и k_d . Определить влияние коэффициентов на частотные характеристики путем построения семейства характеристик при независимом изменении k_p , k_i и k_d ($T_d=100e-6$, с.). Скопировать частотные характеристики в отчет и сделать выводы.

Значения постоянных времени для выполнения лабораторной работы

	$T=T_1=T_0$, мкс	k	T_2 , мкс	ξ	k_p	k_i	k_d	
1	147	1	429	0.5	26	160	0.147	
2	286	24	410	0.6	24	177	0.107	
3	203	2	422	0.7	29	192	0.147	
4	249	10	670	0.4	41	197	0.084	
5	169	8	521	0.3	32	195	0.14	
6	114	24	357	0.5	36	164	0.125	
7	132	17	594	0.6	38	116	0.144	
8	267	3	421	0.7	30	174	0.27	
9	264	25	524	0.4	33	143	0.138	
10	116	7	496	0.3	32	107	0.109	
11	258	12	642	0.5	35	256	0.217	
12	155	20	593	0.6	26	89	0.242	
13	136	10	555	0.7	24	66	0.038	
14	313	4	558	0.4	61	170	0.235	
15	190	10	420	0.3	28	79	0.06	
16	222	12	529	0.5	18	130	0.043	
17	100	5	531	0.6	38	194	0.106	
18	237	10	440	0.7	27	122	0.13	
19	144	16	550	0.4	18	105	0.189	
20	477	25	737	0.3	20	107	0.128	