

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

## Основы теории управления

### Задание 1. Оптимальная настройка и сравнение регуляторов

*Выполнил*  
Кондренко К.П., группа 21203

*Преподаватель*  
Ломов А.А.

7 марта 2024 г.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Постановка задачи</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Порядок выполнения работы</b>	<b>3</b>
2.1	Разработка формул для настройки . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Результаты моделирования и анализ результатов</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Выводы</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Приложения</b>	<b>12</b>

# 1 Постановка задачи

## Определение

Отклик системы на функцию Хэвисайда называется *переходной характеристикой*.

## Определение

Отклик системы на дельта-функцию называется *импульсной функцией*.

## Определение

Образ Лапласа  $W(s)$  импульсной функции  $w(t)$  называется *передаточной функцией* линейной системы.

## Определение

Система *устойчива*, если для любой ненулевой ограниченной функции входа, функция выхода ограничена.

## Определение

*Ошибка регулирования* называется функция  $e(t) = x(t) - u(t)$ , где  $x(t)$  — функция выхода системы,  $u(t)$  — функция входа.

## Определение

*Интегральной ошибкой* называется интеграл от модуля ошибки регулирования на интервале наблюдения.

## Определение

За показатель качества регулятора принимается

$$\int_0^{\infty} |e(\tau)| d\tau$$

## Цель

Произвести оптимальную настройку и сравнение П,ПИ и ПИД- регуляторов.

## Задачи

1. Для одноконтурной системы регулирования с ПИ-регулятором определить параметры  $K$  и  $T_i$  следующими способами:
  - покоординатной оптимизацией  $K$  и  $T_i$  по интегральному критерию качества;
  - по параметрам переходной характеристики объекта.

Сравнить полученные системы управления между собой по интегральному критерию качества.

2. Для одноконтурной системы регулирования с ПИД-регулятором определить параметры  $K$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ ,  $T_s$  следующими способами:
  - покоординатной оптимизацией  $K$  и  $T_i$  по интегральному критерию качества (принять  $T_d = T_i/4$ ,  $T_s = T_d/8$ );
  - по параметрам переходной характеристики объекта.

Сравнить полученные системы управления между собой по интегральному критерию качества. Сравнить ПИ- и ПИД-регуляторы между собой по интегральному критерию качества исходя из наилучших значений  $K$  и  $T_i$ .

3. Предложить свои формулы настройки параметров ПИД-регулятора исходя из наилучших табличных значений  $K$  и  $T_i$ . Сравнить по интегральному критерию качества регулятор, настроенный по вашим формулам, с регулятором, настроенным по предложенным формулам, для значений параметра задержки объекта  $T = 1; 2; 10$ .

## 2 Порядок выполнения работы

В ходе работы рассматривались объекты с передаточной функцией<sup>1</sup>

$$W(s) = \frac{2e^{-sT}}{(1 + T_0s)^n},$$

а именно — три объекта:  $T = 0; 1.5; 3$ , при  $T_0 = 1.07$  и  $n = 4$ . Для каждого из трёх объектов были разработаны П,ПИ,ПИД-регуляторы, построенные в программе MicroCap. В конечном итоге регуляторы были настроены для получения минимальной интегральной ошибки, при этом в качестве функции входа выступала функция  $u(t) \equiv 1$ .

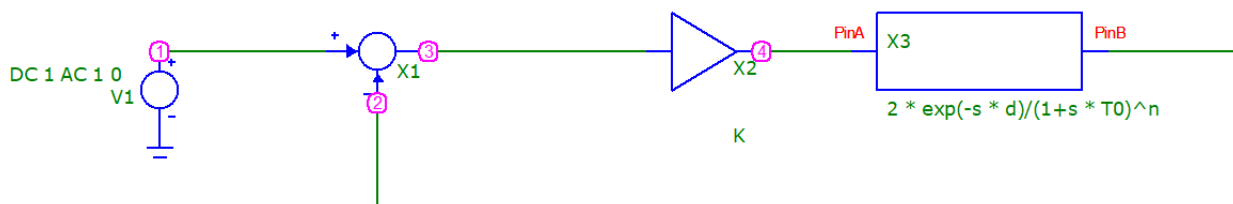


Рис. 1: Схема П-регулятора

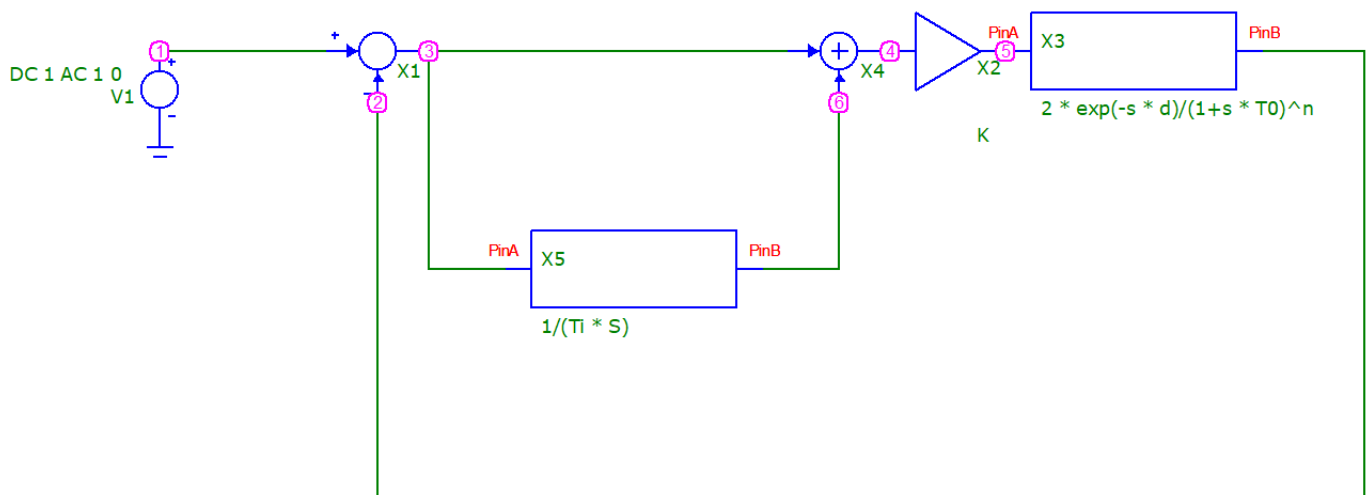


Рис. 2: Схема ПИ-регулятора

<sup>1</sup>На схемах вместо  $T$  была использована буква  $d$

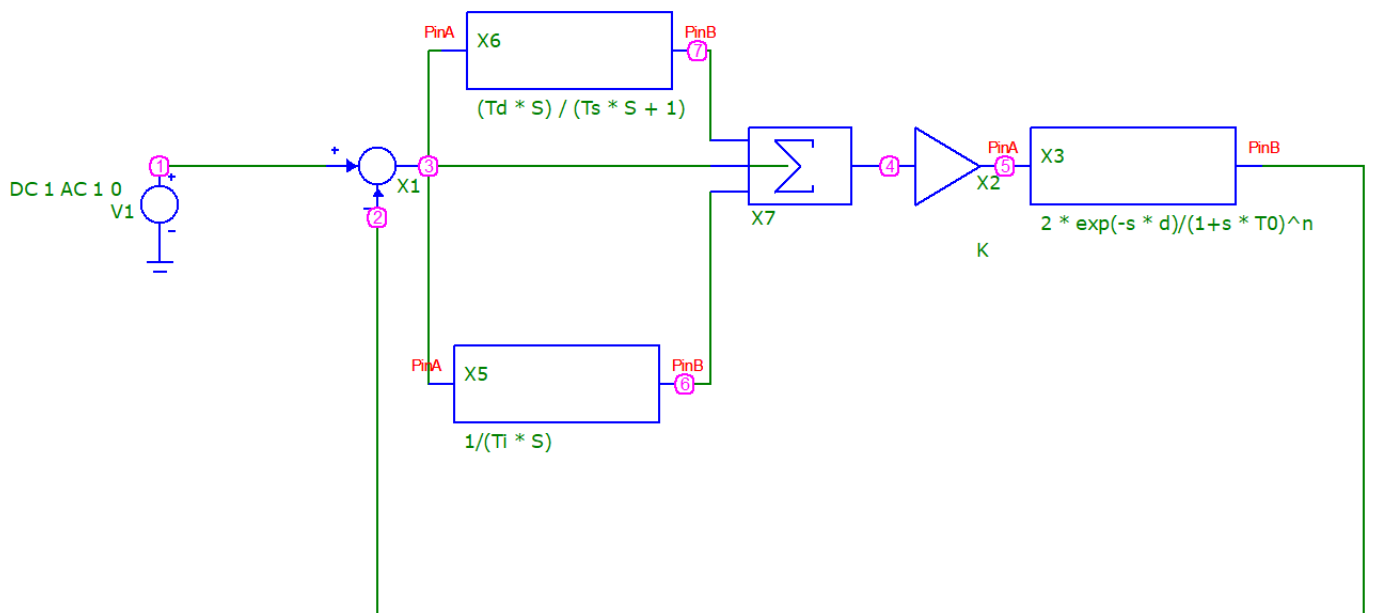


Рис. 3: Схема ПИД-регулятора

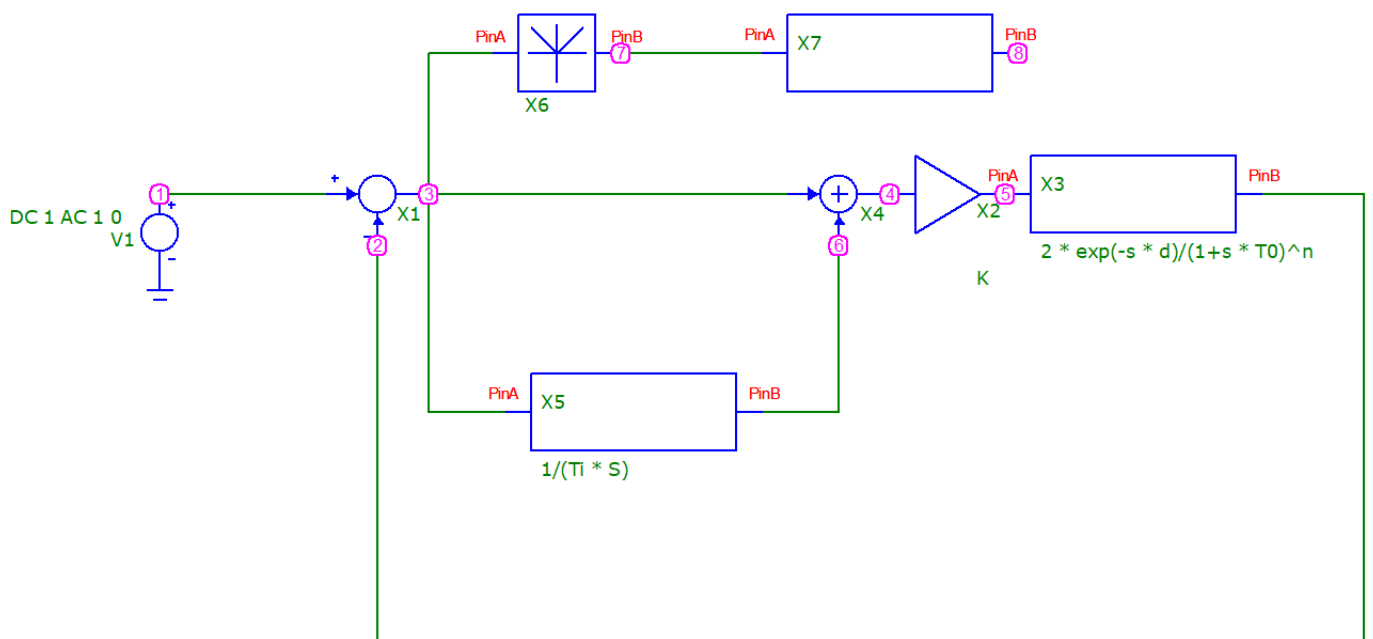


Рис. 4: Схема ПИ-регулятора с вычислением интегральной ошибки

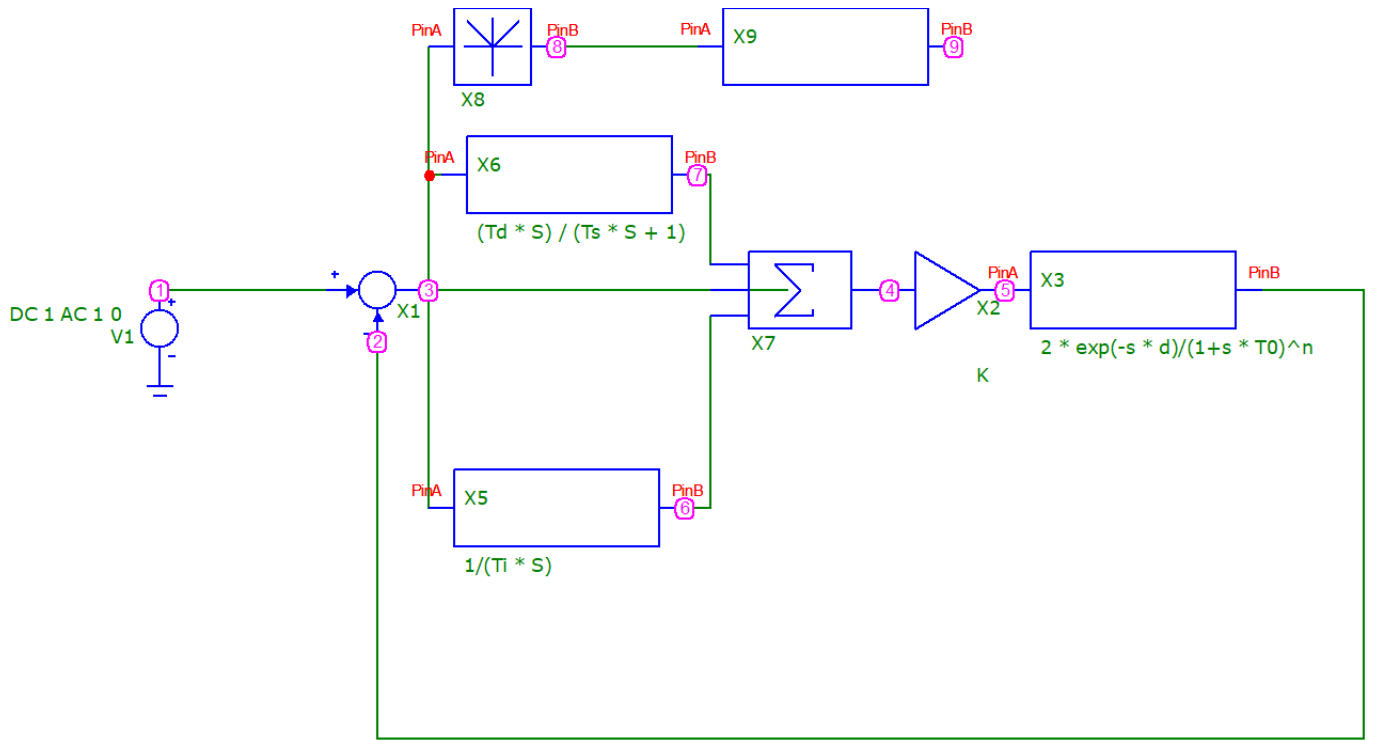


Рис. 5: Схема ПИД-регулятора с вычислением интегральной ошибки

## 2.1 Разработка формул для настройки

В ходе работы были разработаны формулы для параметров рассматриваемых объектов, которые должны минимизировать интегральную ошибку. Итоговые формулы имеют вид

**ПИ**

$$K(T) = 0.7e^{-0.24\sqrt{T}},$$

$$T_i(T) = 4.9e^{0.17\sqrt{T^3}};$$

**ПИД**

$$K(T) = 0.932e^{-0.15T^{\frac{5}{4}}},$$

$$T_i(T) = 4e^{0.195T}.$$

При разработке эти формул были сделаны 2 предположения, основанных на подборе параметров регуляторов:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} K(T) = 0, \quad \lim_{T \rightarrow \infty} T_i(T) = +\infty,$$

также было сделано предположение о монотонности  $K(T)$  и  $T_i(T)$ . В следствие этого были подобраны монотонные функции, которые бы проходили через точки, соответствующие настройкам регулятора через «покоординатный спуск».

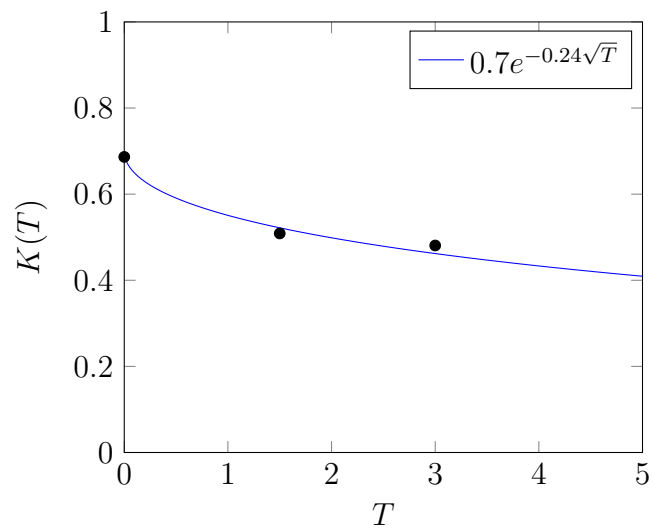


Рис. 6: Разработанная зависимость  $K(T)$  для ПИ-регулятора

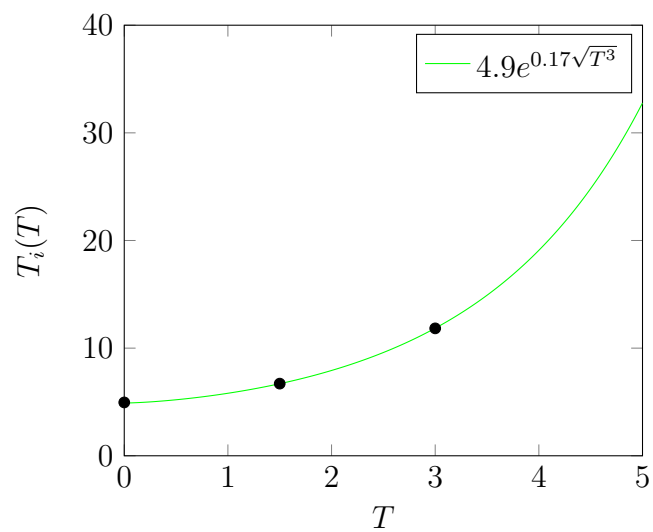


Рис. 7: Разработанная зависимость  $T_i(T)$  для ПИ-регулятора

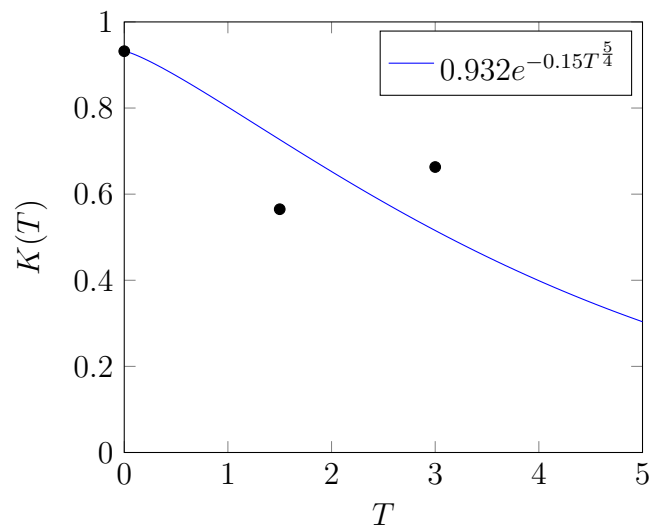


Рис. 8: Разработанная зависимость  $K(T)$  для ПИД-регулятора

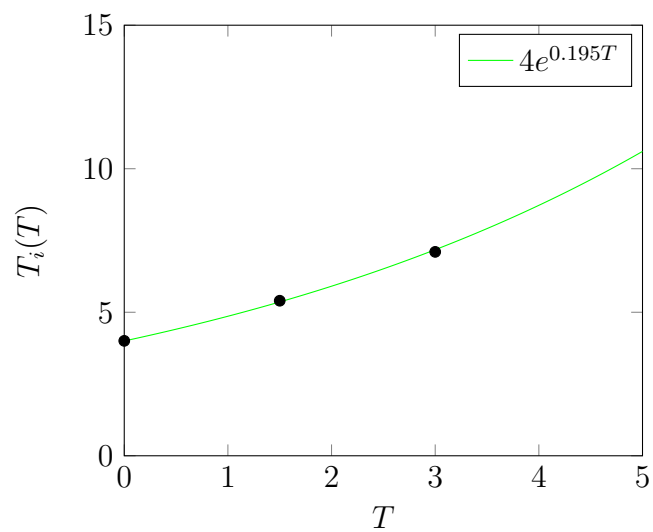


Рис. 9: Разработанная зависимость  $T_i(T)$  для ПИД-регулятора



### 3 Результаты моделирования и анализ результатов

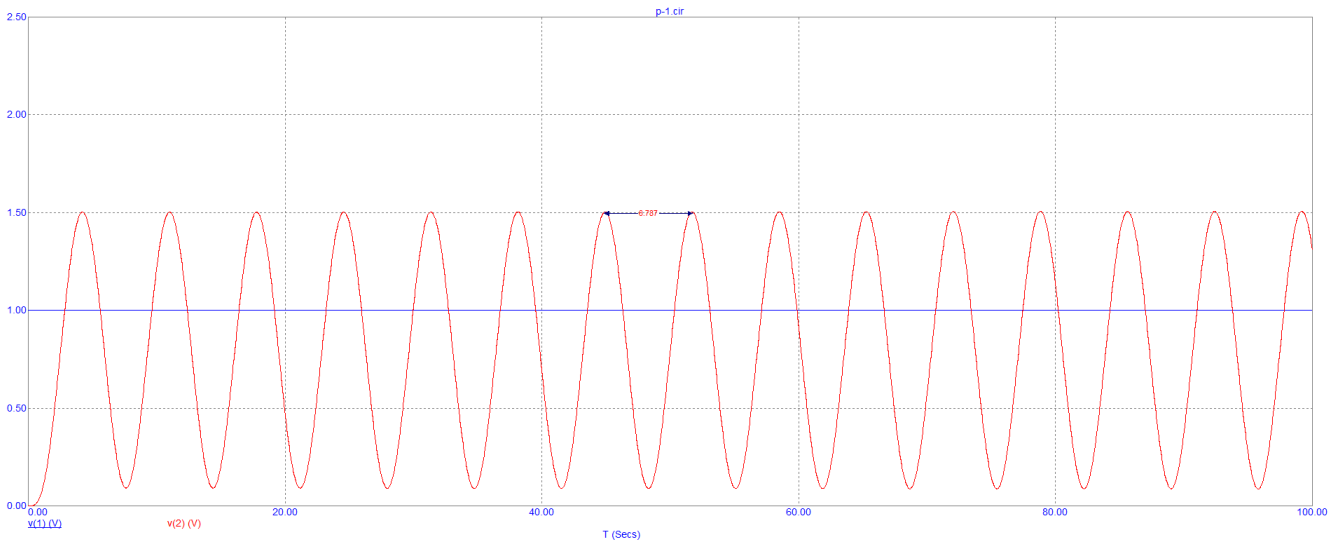


Рис. 10: Переходная характеристика П-регулятора в критическом режиме ( $T = 0$ ,  $K = K_{cr} = 1.97$ ,  $T_{cr} = 6.787$ )

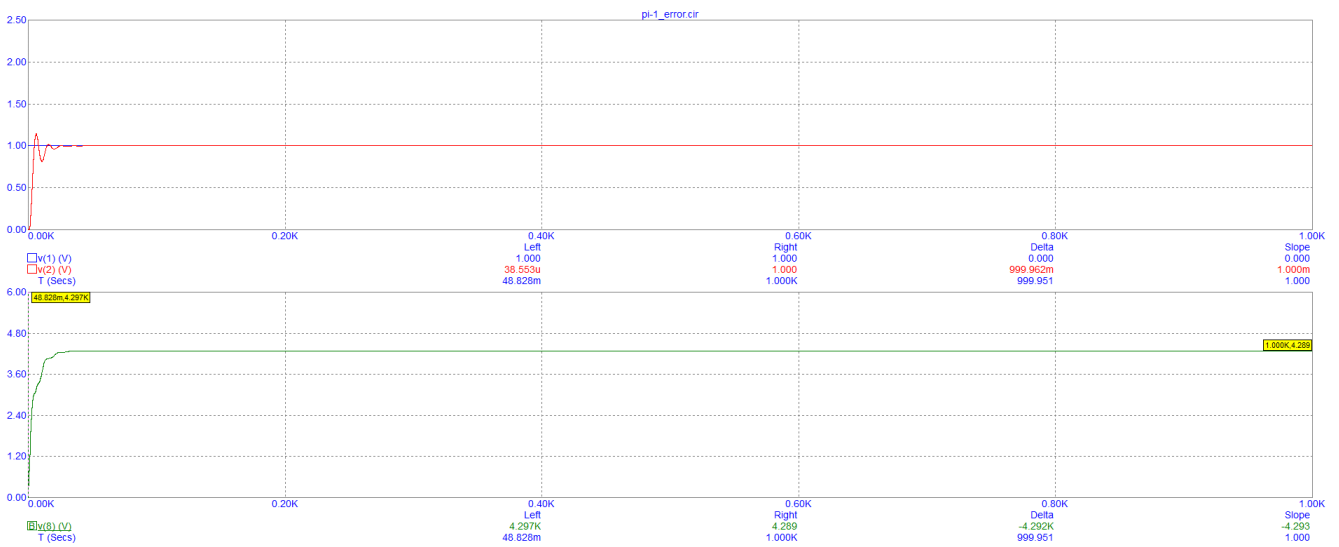


Рис. 11: Переходная характеристика ПИ-регулятора вместе с интегральной ошибкой ( $T = 0$ ,  $K = 0.45K_{cr} - 0.2$ ,  $T_i = T_{cr}/1.2 - 0.7$ )

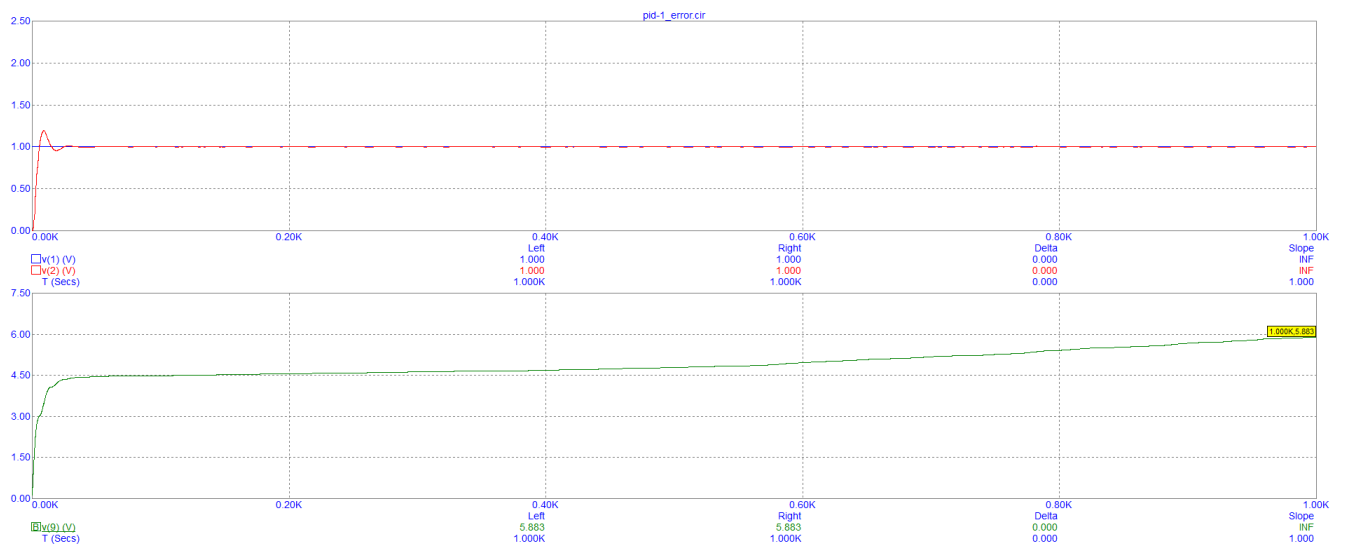


Рис. 12: Переходная характеристика ПИД-регулятора вместе с интегральной ошибкой ( $T = 0$ ,  $K = 0.6K_{cr} - 0.25$ ,  $T_i = T_{cr}/2 + 0.61$ ,  $T_d = T_i/4$ ,  $T_s = T_d/8$ )

## 4 Выводы

По ходу работы выяснилось, что при «малых» значениях задержки ( $T < 3$ ) ПИ-регулятор даёт ошибку меньше, чем ПИД-регулятор, однако если задержка не является «малой» величиной, то ПИД-регулятор обеспечивает более хорошее качество регулирования.

Также выяснилось, что использование готовых формул увеличивает интегральную ошибку по сравнению с «покоординатным спуском» и использованием формул, основанных на нём.

<b>T</b>	<b>Ошибка</b>
1	6.465
2	4.327
10	4.289

Таблица 1: Интегральная ошибка ПИ-регулятора при использовании разработанных формул

<b>T</b>	<b>Ошибка</b>
1	5.647
2	6.535
10	214.6

Таблица 2: Интегральная ошибка ПИД-регулятора при использовании разработанных формул

<b>T</b>	<b>Ошибка</b>
1	66.517
2	$\infty$
10	53.037

Таблица 3: Интегральная ошибка ПИ-регулятора при использовании первого варианта готовых формул

<b>T</b>	<b>Ошибка</b>
1	$\infty$
2	$\infty$
10	62.543

Таблица 4: Интегральная ошибка ПИД-регулятора при использовании первого варианта готовых формул

<b>T</b>	<b>Ошибка</b>
1	38.637
2	276
10	$\infty$

Таблица 5: Интегральная ошибка ПИ-регулятора при использовании второго варианта готовых формул

<b>T</b>	<b>Ошибка</b>
1	$\infty$
2	$\infty$
10	$\infty$

Таблица 6: Интегральная ошибка ПИД-регулятора при использовании второго варианта готовых формул

## 5 Приложения

<b>K</b>	<b>T<sub>i</sub></b>	<b>Ошибка</b>
$0.45K_{cr}$	$T_{cr}/1.2$	4.928
$0.45K_{cr} - 0.15$	$T_{cr}/1.2 - 0.35$	4.327
$0.45K_{cr} - 0.2$	$T_{cr}/1.2 - 0.7$	4.289

Таблица 7: Итеративный процесс нахождения оптимальных характеристик ПИ-регулятора при  $T = 0$

<b>K</b>	<b>T<sub>i</sub></b>	<b>Ошибка</b>
$0.6K_{cr}$	$T_{cr}/2$	8.341
$0.6K_{cr} - 0.31$	$T_{cr}/2 + 0.5$	6.924
$0.6K_{cr} - 0.25$	$T_{cr}/2 + 0.61$	5.883

Таблица 8: Итеративный процесс нахождения оптимальных характеристик ПИД-регулятора при  $T = 0$

<b>K</b>	<b>T<sub>i</sub></b>	<b>Ошибка</b>
$0.45K_{cr}$	$T_{cr}/1.2$	10.260
$0.45K_{cr} + 0.11$	$T_{cr}/1.2 - 1.4$	8.232
$0.45K_{cr} + 0.07$	$T_{cr}/1.2 - 2.3$	7.742

Таблица 9: Итеративный процесс нахождения оптимальных характеристик ПИ-регулятора при  $T = 1.5$

<b>K</b>	<b>T<sub>i</sub></b>	<b>Ошибка</b>
$0.6K_{cr}$	$T_{cr}/2$	6.529
$0.6K_{cr} - 0.01$	$T_{cr}/2 + 0.01$	6.346
$0.6K_{cr} - 0.02$	$T_{cr}/2$	6.345

Таблица 10: Итеративный процесс нахождения оптимальных характеристик ПИД-регулятора при  $T = 1.5$

<b>K</b>	<b>T<sub>i</sub></b>	<b>Ошибка</b>
$0.45K_{cr}$	$T_{cr}/1.2$	17.427
$0.45K_{cr} + 0.14$	$T_{cr}/1.2 - 0.005$	12.932
$0.45K_{cr} + 0.141$	$T_{cr}/1.2 - 0.0045$	12.929

Таблица 11: Итеративный процесс нахождения оптимальных характеристик ПИ-регулятора при  $T = 3$

<b>K</b>	<b>T<sub>i</sub></b>	<b>Ошибка</b>
$0.6K_{cr}$	$T_{cr}/2$	8.765
$0.6K_{cr} + 0.2$	$T_{cr}/2 - 0.0001$	7.626
$0.6K_{cr} + 0.21$	$T_{cr}/2 - 0.0001$	7.574

Таблица 12: Итеративный процесс нахождения оптимальных характеристик ПИД-регулятора при  $T = 3$