

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ФАКУЛЬТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ

**Лабораторная работа №3**

**«Параметрический синтез и исследование цифровой системы управления с И-регулятором и объектом в виде апериодического звена из условия обеспечения заданного по качеству переходного процесса.»**

по дисциплине Системы управления в электроприводе

Выполнил: Студент группы  
R34362 Ванчукова Т. С.  
Преподаватель: Ловлин С.Ю.

Санкт-Петербург, 2023

## Содержание

Задание .....	3
Ход работы.....	5
Задание 1 .....	5
Задание 2. Синтез системы с использованием «метода переоборудования» .....	6
Задание 3. Синтез системы с использованием эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового И-регулятора для случая вычислительной задержки $\varepsilon = 0$ .....	9
Задание 4. Синтез системы с использованием эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового И-регулятора для случая вычислительной задержки $\varepsilon = T_0$ . ....	11
Задание 5. Синтез и моделирование системы из условия обеспечения в ней «биномиальной настройки» .....	14
Результаты работы .....	20
Выводы .....	22

## Задание

### Задание 1

Снять временные диаграммы, иллюстрирующие работу эквивалентных аналогового и цифрового П-регуляторов при постоянном и линейно нарастающем входных воздействиях на входе регулятора для случая вычислительной задержки  $\varepsilon = 0$ . Представить схему модели.

### Задание 2. Синтез системы с использованием «метода переоборудования»

2.1 Построить эквивалентную модель и осуществить ее настройку на «оптимум по модулю»  $T_{\mu 1} = T_1 = 1$ .

2.2 Путем моделирования определить величину периода дискретности управления  $T_0$ , при которой обеспечивается качество переходного процесса в исследуемой цифровой системе, близкое к процессу в эквивалентной непрерывной системе.

Снять осциллограммы переходных процессов для значений  $T_0 = 0,1T_{\mu 1}$ ;  $T_0 = T_{\mu 1}$ . Параметры переходных процессов занести в таблицу 1. Представить схему модели.

Задание 3. Синтез системы с использованием эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового И-регулятора для случая вычислительной задержки  $\varepsilon = 0$ .

3.1 Построить полную эквивалентную модель системы, учитывающую динамические свойства И-регулятора в виде системы, содержащей объект управления, аналоговый И-регулятор, а также находящееся в цепи обратной связи апериодическое звено первого порядка с единичным коэффициентом передачи и постоянной времени  $T_{\text{зап}}$ .

3.2 Определить величину постоянной времени  $T_{\text{зап}}$ , при которой процессы в исследуемой цифровой системе и эквивалентной модели максимально приближены друг к другу. Максимальное приближение процессов имеет место при минимальном значении функционала:

$$F = \int \text{abs}(y - y_{\text{э}}(T_{\text{зап}i}))dt$$

где  $y$  – процесс в цифровой системе,  $y_{\text{э}}(T_{\text{зап}i})$  – процесс в эквивалентной системе при некотором значении постоянной  $T_{\text{зап}i}$ . Результаты моделирования занести в таблицу 2, построить зависимость  $F = \varphi(T_{\text{зап}i})$ .

Режим моделирования  $T_0 = T_1 = 0.25$ ,  $T_{\text{зап}} = (0.1, 0.4, 0.9)T_0$ .  
Параметры цифрового и аналогового П-регуляторов берутся из пп.2.1  
и при моделировании остаются неизменными.

- 3.3 Осуществить настройку полной эквивалентной модели системы на «оптимум по модулю» при малой некомпенсированной постоянной времени, определяемой на основании соотношения  $T_{\mu} = T_1 + T_{\text{зап}}$ . Снять осциллограммы переходных процессов для значений  $T_0 = T_1, 2 * T_1$ ; параметры переходных процессов занести в таблицу 3. Представить схему модели.

Задание 4. Синтез системы с использованием эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового И-регулятора для случая вычислительной задержки  $\varepsilon = T_0$ .

- 4.1 Снять временные диаграммы, иллюстрирующие работу эквивалентных аналогового и цифрового И-регуляторов при линейно нарастающем входном воздействии на входе регулятора для случая вычислительной задержки  $\varepsilon = T_0$ . Представить схему модели.
- 4.2 Построить цифровую модель системы и полную эквивалентную модель, учитывающие вычислительную задержку  $\varepsilon = T_0$ .
- 4.3 Осуществить настройку полной эквивалентной модели системы на «оптимум по модулю» при малой некомпенсированной постоянной времени, определяемой на основании соотношения  $T_{\mu} = T_1 + T_{\text{зап}} + T_0$ . Снять осциллограммы переходных процессов для значений  $T_1 = 1, 0.5$ ;  $T_0 = 1$  ( $T_1$  – постоянная времени контура тока) параметры переходных процессов занести в таблицу 4. Представить схему модели.

Задание 5

Осуществить синтез системы из условия обеспечения в ней «биномиальной настройки» и провести моделирование согласно пп.2, 3, 4.

# Ход работы

## Задание 1

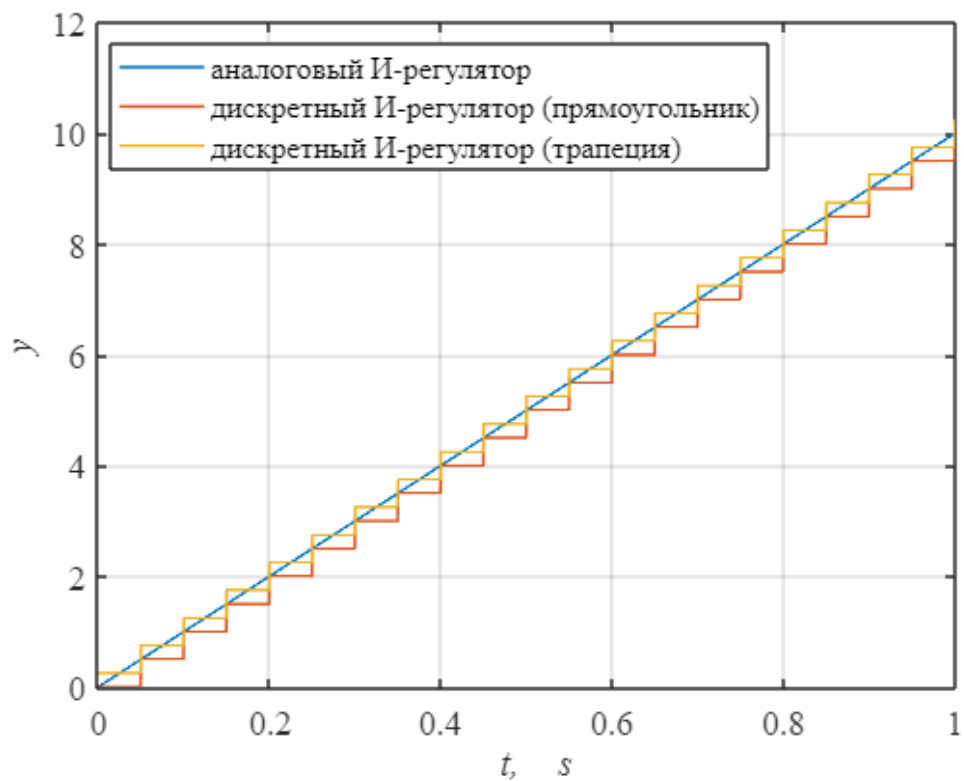
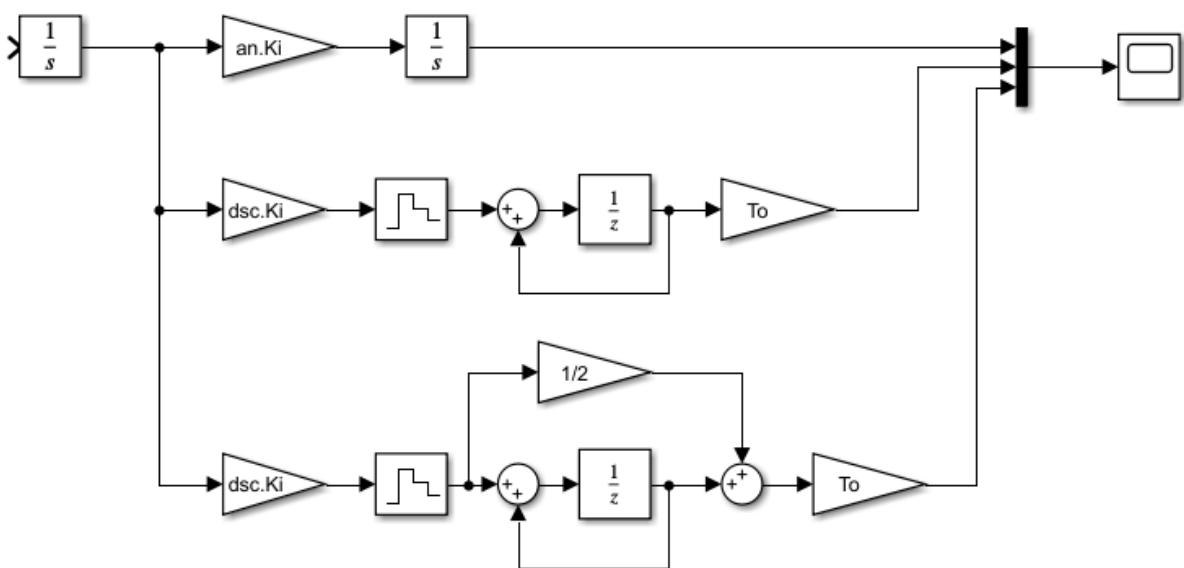


Рисунок 1. Графики выхода аналогового и цифровых И-регуляторов при линейно-возрастающем входном воздействии

Далее будем работать с трапециевидным сигналом, так как не запаздывает в отличие от прямоугольного.



## Задание 2. Синтез системы с использованием «метода переоборудования»

Передаточная функция электрической части привода постоянного тока

$$W_{ob} = \frac{1}{Ls + R}$$

Передаточная функция разомкнутой системы, настроенной на технический оптимум.

$$T_{\mu} = \frac{L}{R}$$
$$W_{ol} = \frac{1}{2T_{\mu}s(T_{\mu}s + 1)}$$

$$W_{reg} = \frac{W_{ol}}{W_{ob}} = \frac{R^2}{2Ls}$$

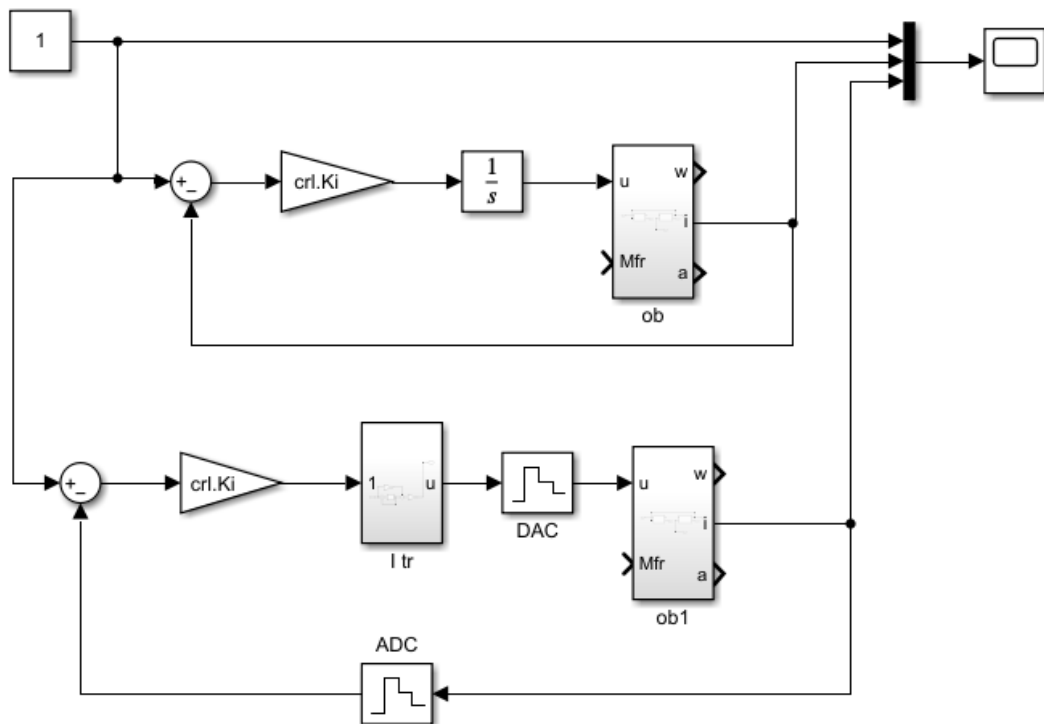


Рисунок 2. Схема моделирования

## Моделирование работы системы, настроенной на технический оптимум

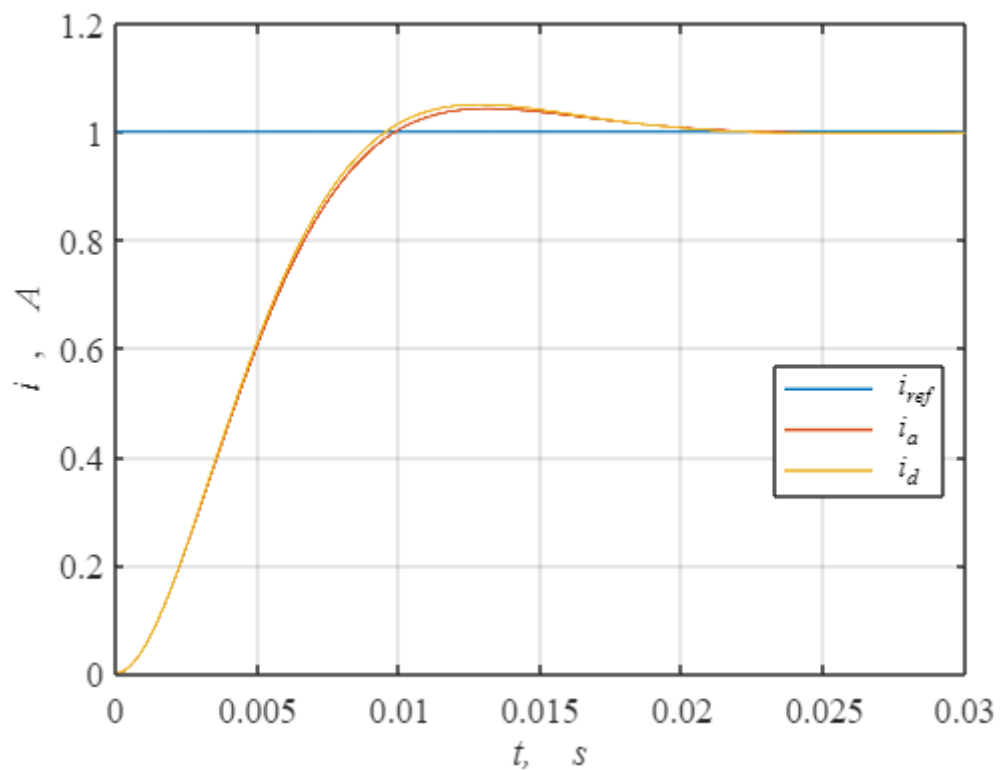


Рисунок 3. График моделирование работы, настроенный на технический оптимум ( $T_o = 0.1 \cdot T_\mu$ )

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 4 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 6.5 \cdot T_\mu$$

$t_0$  – время начала переходного процесса

$t_{p1}$  – максимальное значения  $t$ , при котором справедливо:

$$\varepsilon(t_1) \geq D, D = 0.05 \cdot |y_0 - y_{ss}|$$

$t_{p2}$  – максимальное значения  $t$ , при котором справедливо:

$$\varepsilon(t_1) \leq D, D = 0.05 \cdot |y_0 - y_{ss}|$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = \frac{|\sup(y) - y_{ss}|}{|y_0 - y_{ss}|} = 5.2 \cdot T_\mu$$

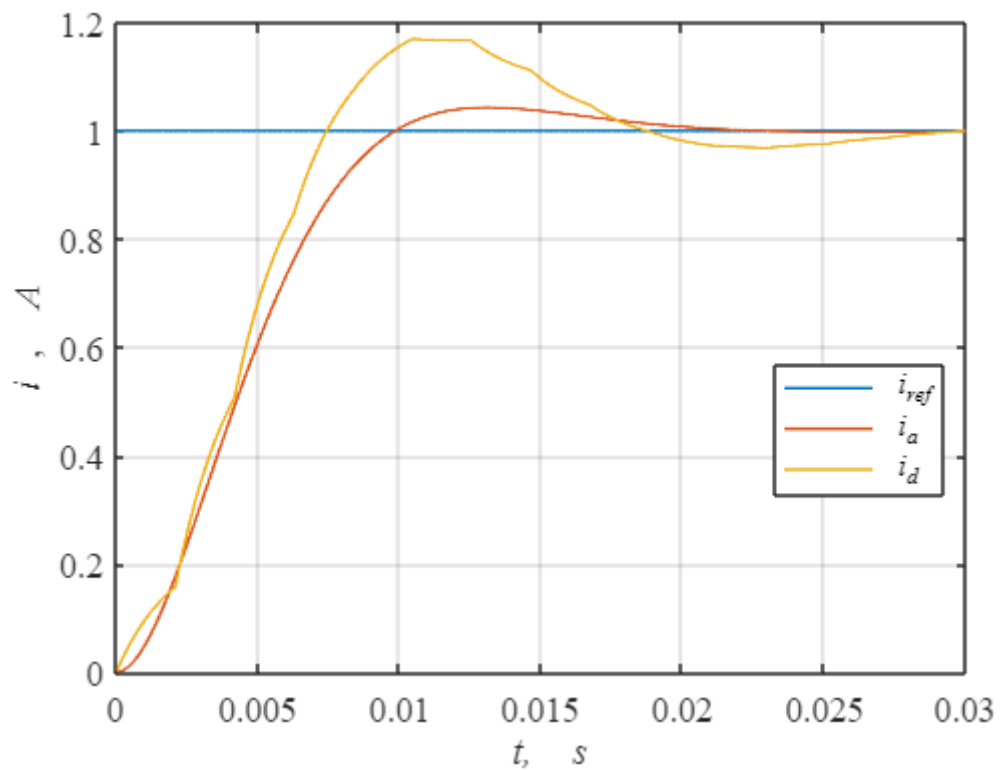


Рисунок 4. График моделирование работы, настроенный на технический оптимум ( $T_o = 1 \cdot T_\mu$ )

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 3.3 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 8 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 17 \cdot T_\mu$$



Задание 3. Синтез системы с использованием эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового И-регулятора для случая вычислительной задержки  $\varepsilon = 0$

$$T_o = T_\mu = 0.0021$$

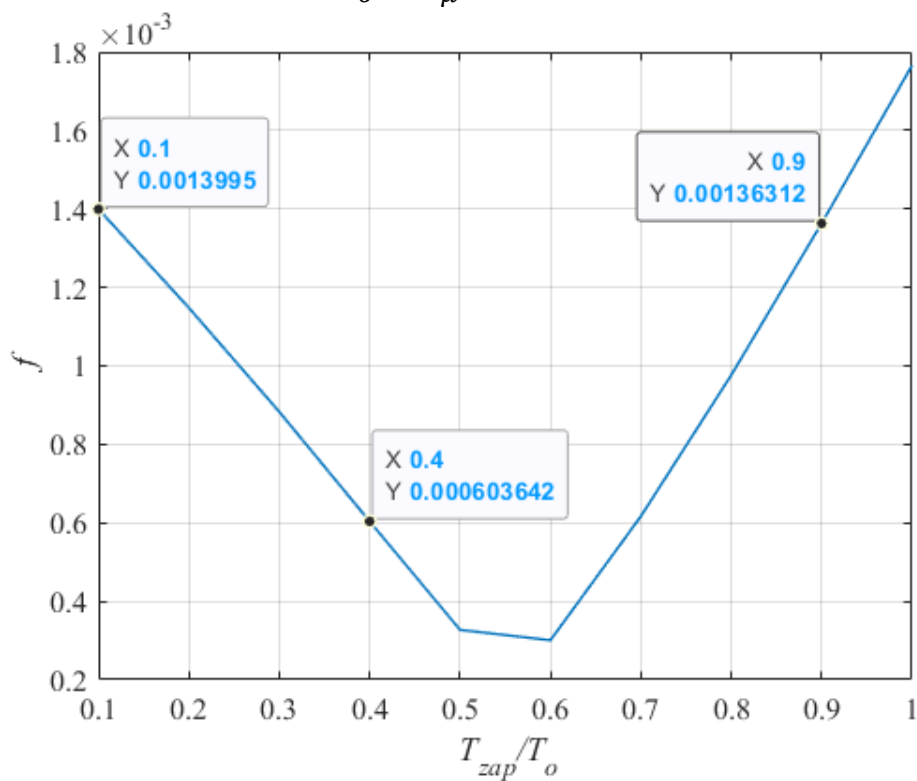


Рисунок 5. График функционала системы

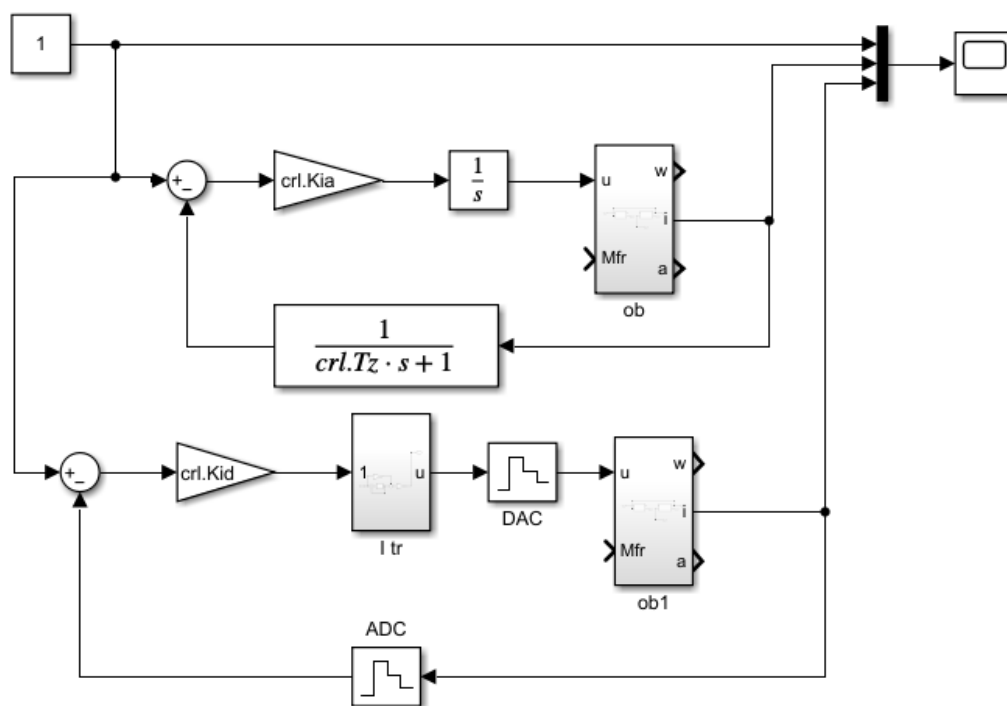


Рисунок 6. Схема моделирования

## Перенастройка с помощью метода переоборудования

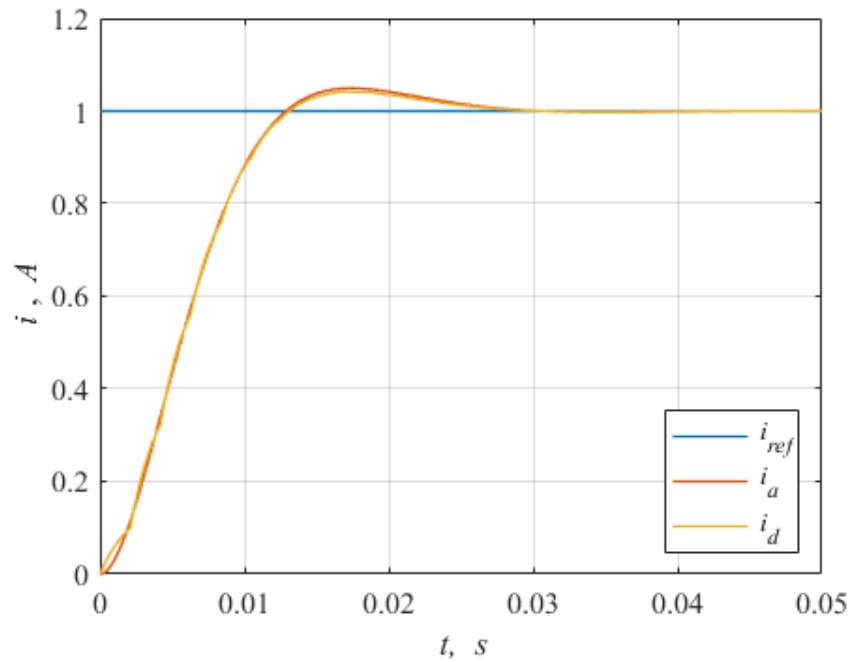


Рисунок 7. График моделирование работы  $T_o = T_t = 0.0042$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 3.4 \cdot T_\mu$$
$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 3.4 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 4.2 \cdot T_\mu$$

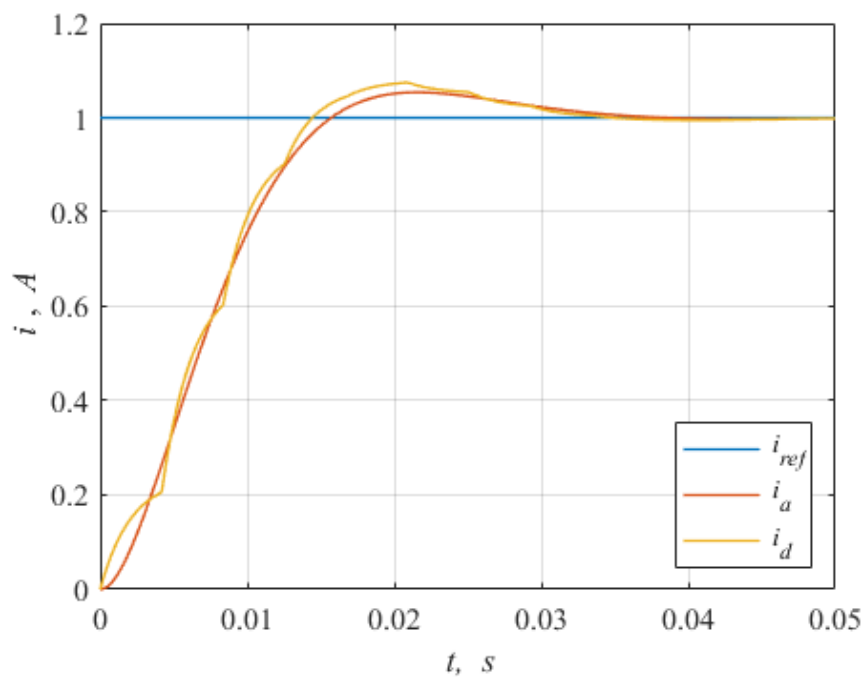


Рисунок 8. График моделирование работы  $T_o = 2T_t = 0.01$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 3 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 5.8 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование:  $\Delta y = 7.6 \cdot T_\mu$

Задание 4. Синтез системы с использованием эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового И-регулятора для случая вычислительной задержки  $\varepsilon = T_0$ .

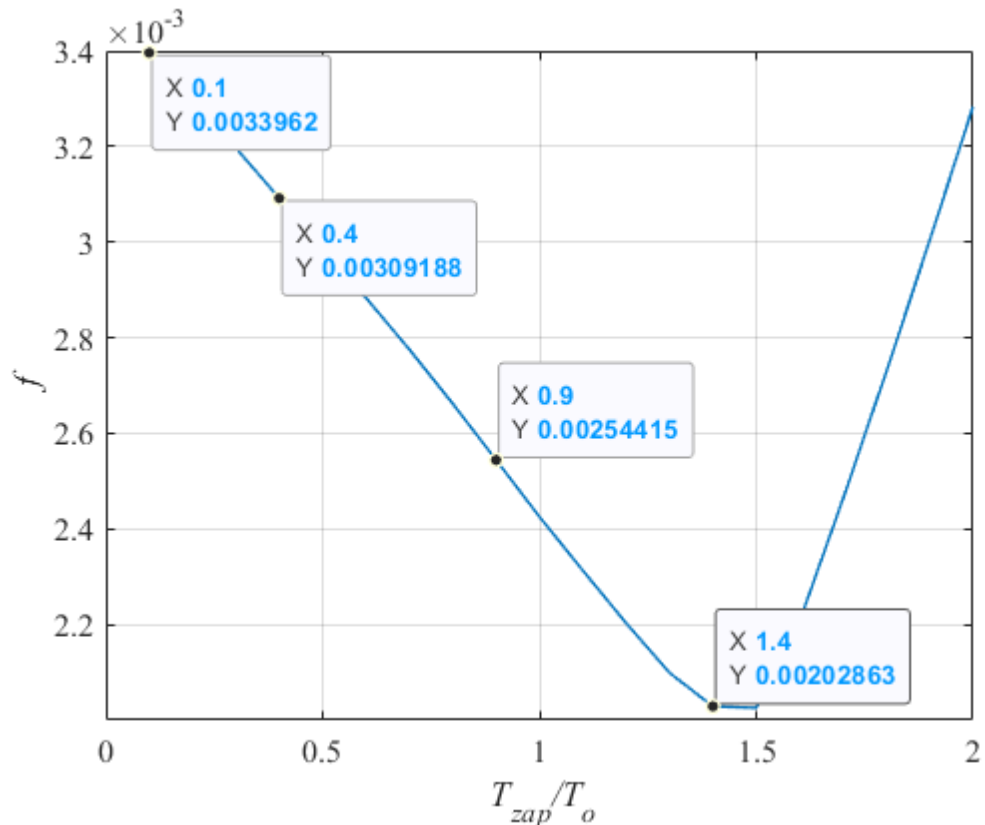


Рисунок 9. График функционала системы

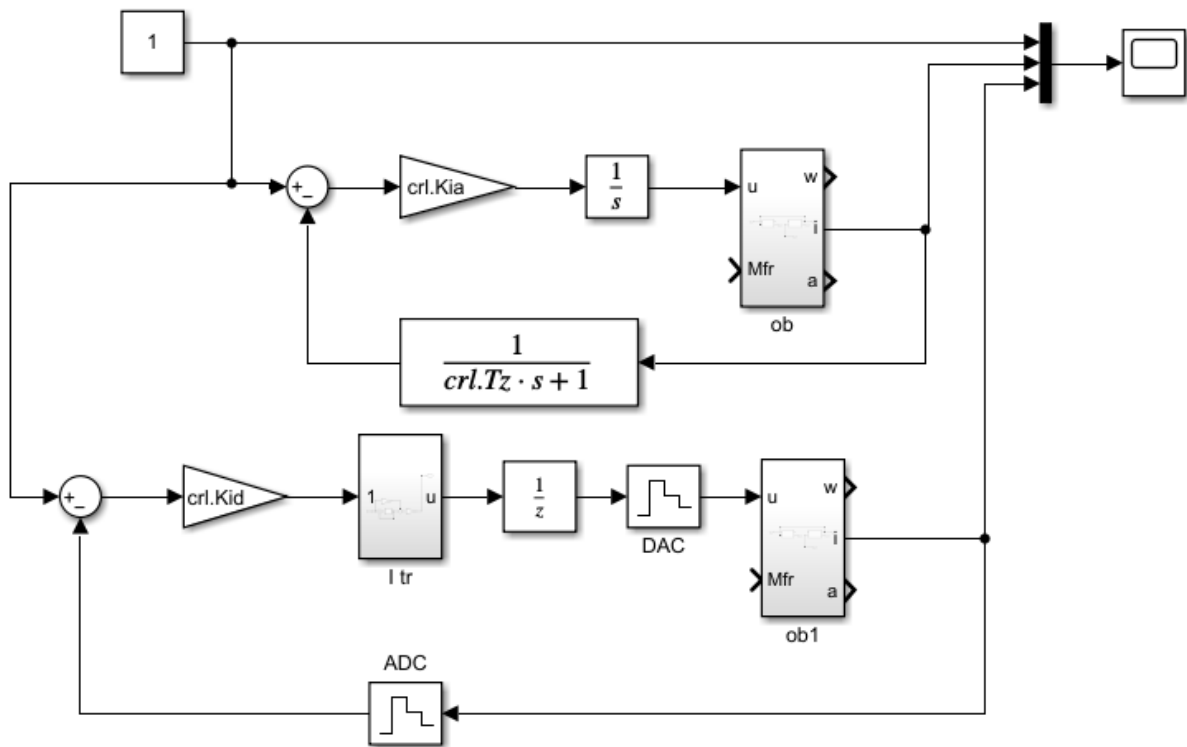


Рисунок 10. Схема моделирования

Перенастройка с помощью метода переоборудования

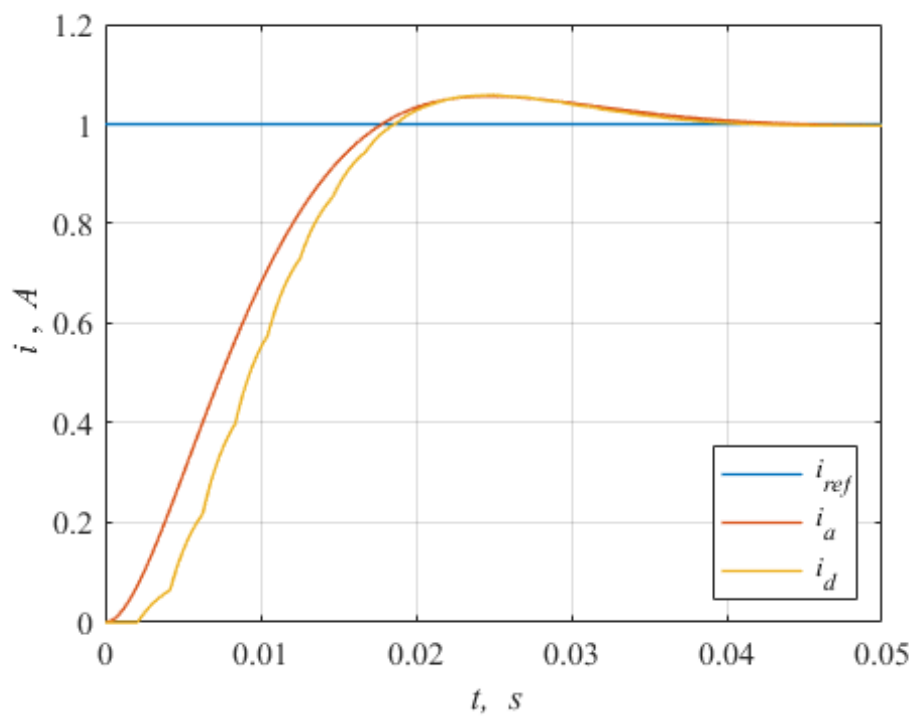


Рисунок 11. График моделирование работы  $T_o = T_t = 0.0021$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 3.3 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 5.6 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 6.1 \cdot T_\mu$$

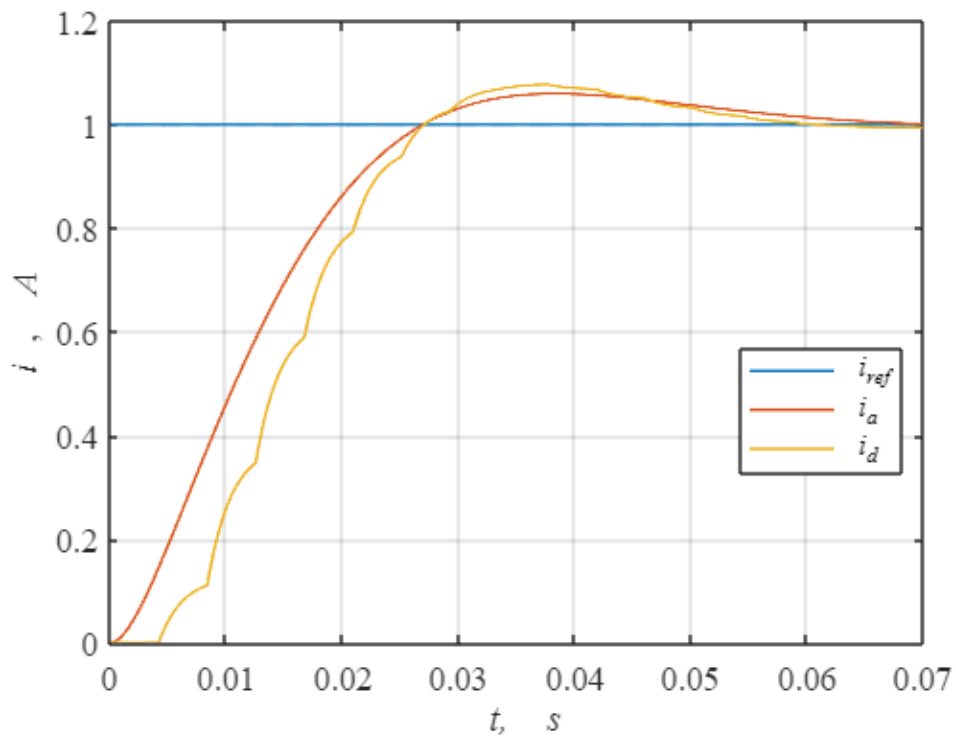


Рисунок 12. График моделирование работы  $T_o = 2T_t = 0.0042$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 3.1 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 5.7 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 8.4 \cdot T_\mu$$

Задание 5. Синтез и моделирование системы из условия обеспечения в ней «биномиальной настройки»

Передаточная функция электрической части привода постоянного тока

$$W_{ob} = \frac{1}{Ls + R}$$

Передаточная функция разомкнутой системы, настроенной на технический оптимум.

$$T_{\mu} = \frac{L}{R}$$

$$W_{ol} = \frac{1}{3T_{\mu}s(T_{\mu}s + 1)}$$

$$W_{reg} = \frac{W_{ol}}{W_{ob}} = \frac{R^2}{3Ls}$$

Моделирование работы системы, настроенной на биномиальный оптимум

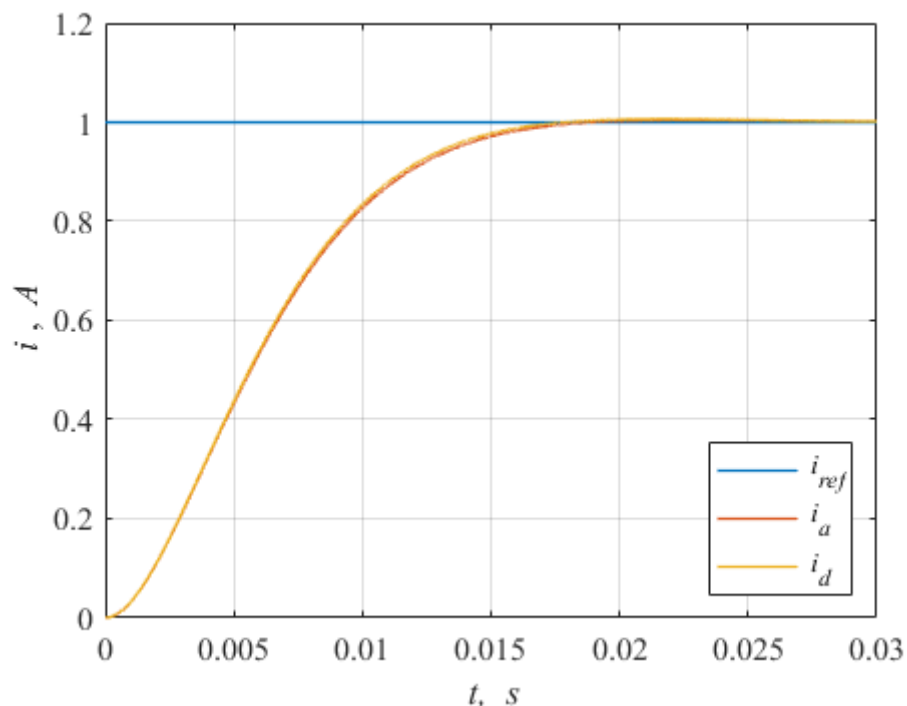


Рисунок 13. График моделирование работы, настроенный на биномиальный оптимум ( $T_o = 0.1 \cdot T_{\mu}$ )

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 6.4 \cdot T_{\mu}$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 6.4 \cdot T_\mu$$

$t_0$  – время начала переходного процесса

$t_{p1}$  – максимальное значения  $t$ , при котором справедливо:

$$\varepsilon(t_1) \geq D, D = 0.05 \cdot |y_0 - y_{ss}|$$

$t_{p2}$  – максимальное значения  $t$ , при котором справедливо:

$$\varepsilon(t_1) \leq D, D = 0.05 \cdot |y_0 - y_{ss}|$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = \frac{|\sup(y) - y_{ss}|}{|y_0 - y_{ss}|} = 0.4 \cdot T_\mu$$

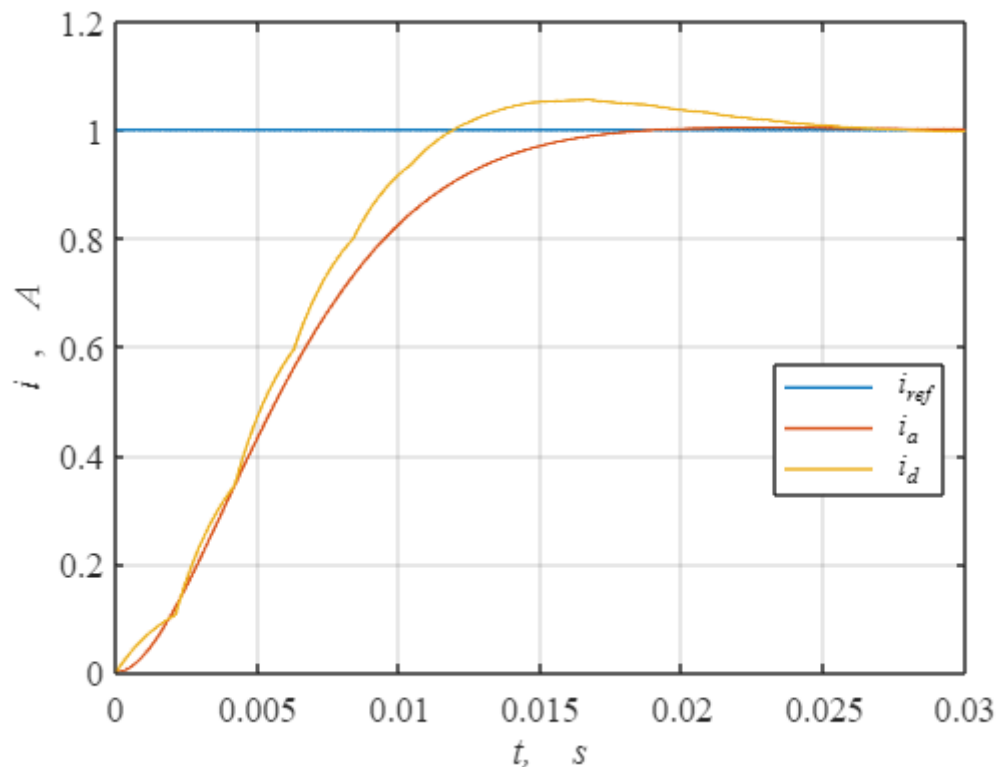


Рисунок 14. График моделирование работы, настроенный на биномиальный оптимум ( $T_o = 1 \cdot T_\mu$ )

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 5.1 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 8.8 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 5.8 \cdot T_\mu$$

Синтез системы с использованием эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового И-регулятора для случая вычислительной задержки  $\varepsilon = 0$

$$T_o = T_\mu = 0.0021$$

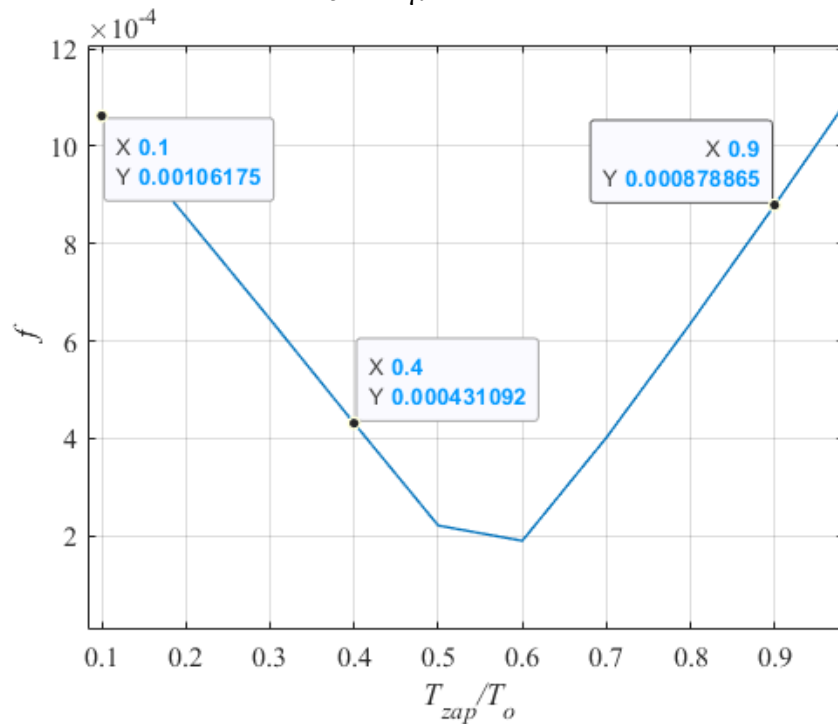


Рисунок 15. График функционала системы

Перенастройка с помощью метода переоборудования

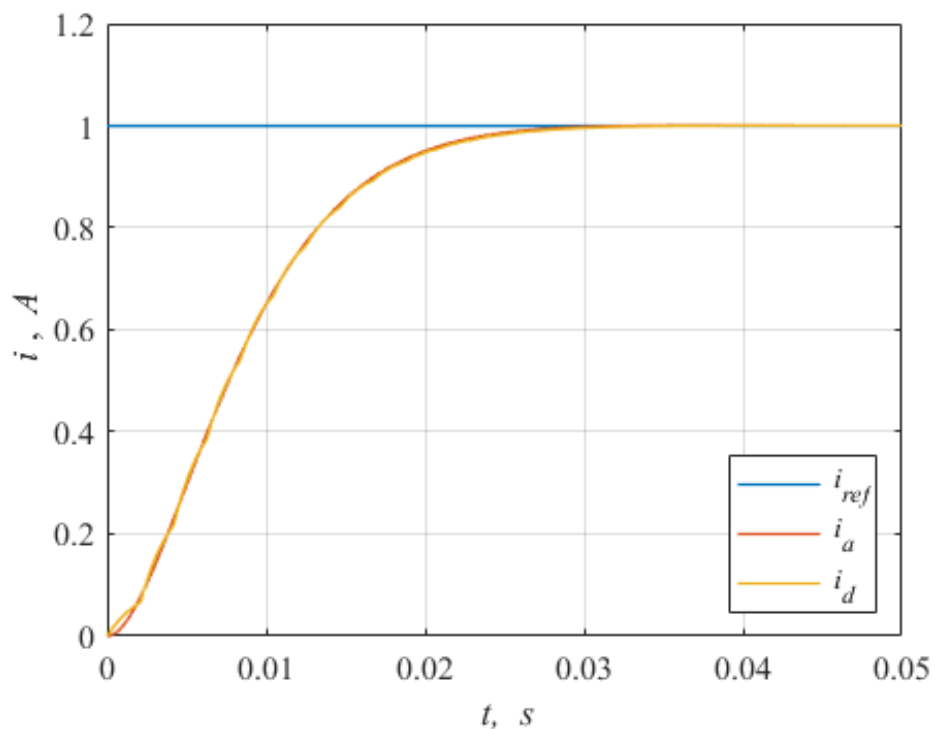


Рисунок 16. График моделирование работы  $T_o = T_t = 0.0021$



Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 6.1 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 6 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 0 \cdot T_\mu$$

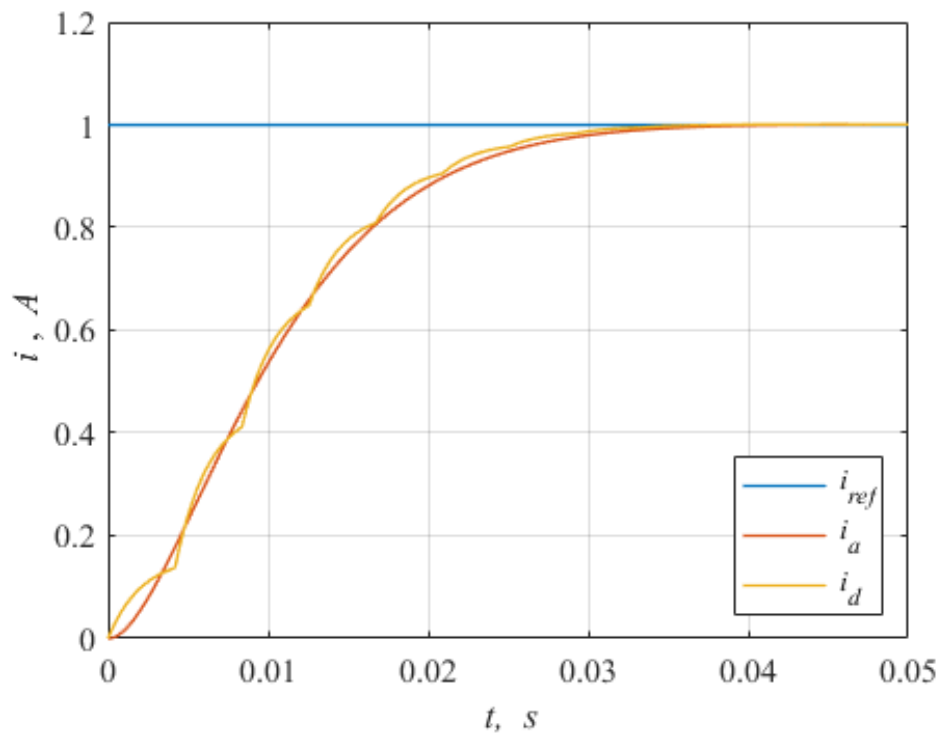


Рисунок 17. График моделирование работы  $T_o = 2T_t = 0.0042$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 5.4 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 5.4 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 0 \cdot T_\mu$$

Синтез системы с использованием эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового И-регулятора для случая вычислительной задержки  $\varepsilon = T_o$

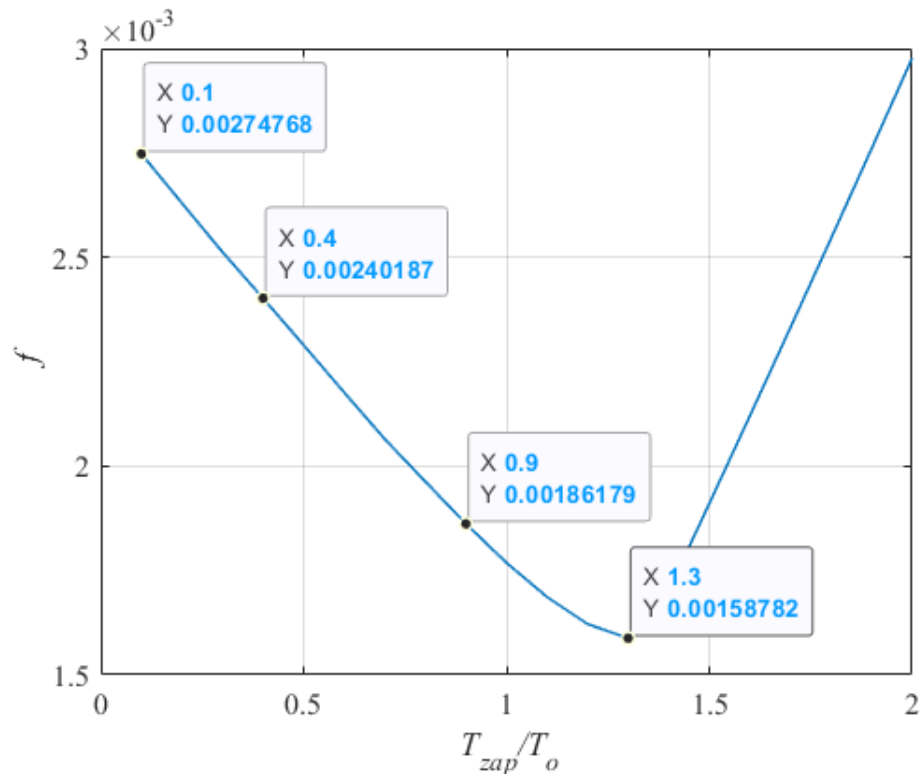


Рисунок 18. График функционала системы

Перенастройка с помощью метода переоборудования

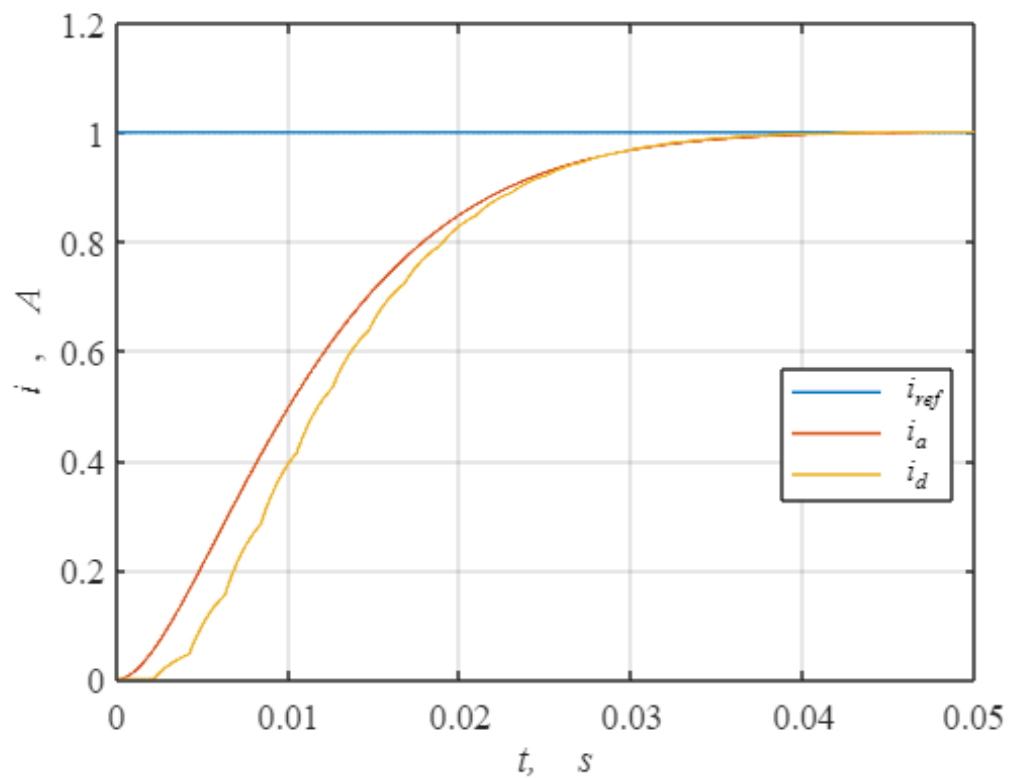


Рисунок 19. График моделирование работы  $T_o = T_t = 0.0021$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 5.7 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 5.7 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 0 \cdot T_\mu$$

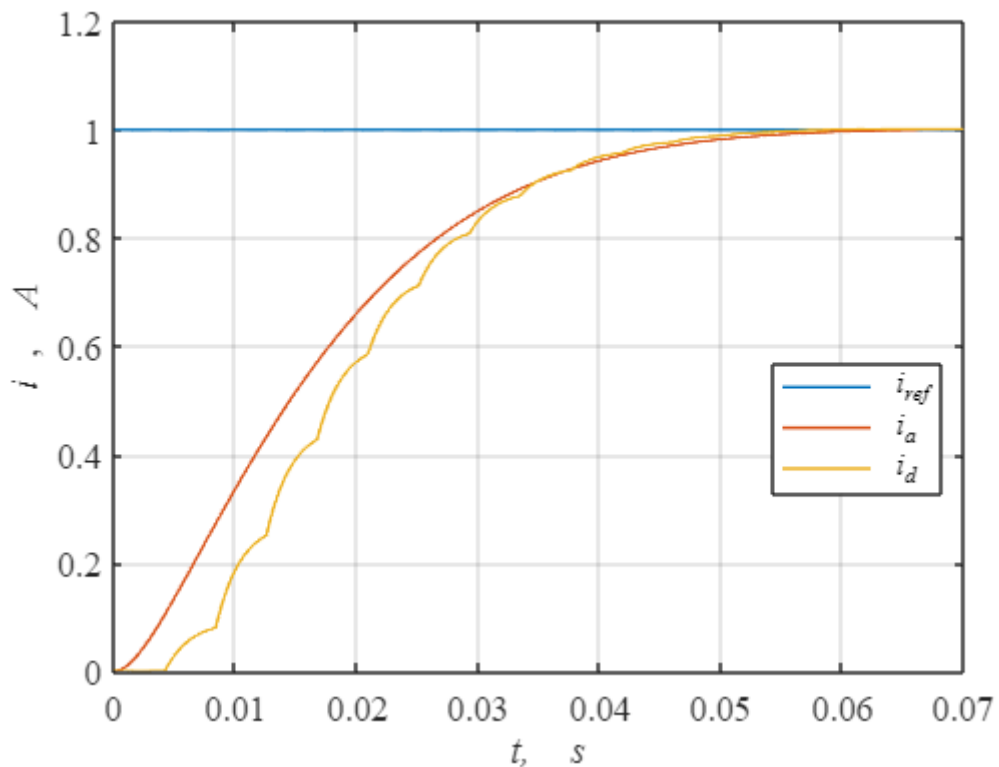


Рисунок 20. График моделирование работы  $T_o = 2T_t = 0.0042$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 5.4 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 5.3 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 0 \cdot T_\mu$$

## Результаты работы

Технический оптимум

Таблица 1

$T_0$	$t_{p1}, \text{с}$	$t_{p2}, \text{с}$	$\Delta y, \%$
$T_0 = 0.1 \cdot T_\mu$	$4 \cdot T_\mu$	$6.5 \cdot T_\mu$	$5.2 \cdot T_\mu$
$T_0 = T_\mu$	$3.3 \cdot T_\mu$	$8 \cdot T_\mu$	$17 \cdot T_\mu$

Таблица 2

$T_{\text{зап}}$	$0.1 \cdot T_0$	$0.4 \cdot T_0$	$0.9 \cdot T_0$
$F$	0.001	0.0006	0.0014

Таблица 3

$T_1$	$T_\mu$	$t_{p1}, \text{с}$	$t_{p2}, \text{с}$	$\Delta y, \%$
$T_1 = 1$	0.0033	$3.4 \cdot T_\mu$	$3.4 \cdot T_\mu$	$4.2 \cdot T_\mu$
$T_1 = 0.5$	0.0044	$3 \cdot T_\mu$	$5.8 \cdot T_\mu$	$7.6 \cdot T_\mu$

Таблица 4

$T_1$	$T_\mu$	$t_{p1}, \text{с}$	$t_{p2}, \text{с}$	$\Delta y, \%$
$T_1 = 1$	0.0033	$3.3 \cdot T_\mu$	$5.6 \cdot T_\mu$	$6.1 \cdot T_\mu$
$T_1 = 0.5$	0.0044	$3.1 \cdot T_\mu$	$5.7 \cdot T_\mu$	$8.4 \cdot T_\mu$

# Биномиальный оптимум

Таблица 5

$T_0$	$t_{p1}, c$	$t_{p2}, c$	$\Delta y, \%$
$T_0 = 0.1 \cdot T_\mu$	$6.4 \cdot T_\mu$	$6.4 \cdot T_\mu$	$0.4 \cdot T_\mu$
$T_0 = T_\mu$	$5.1 \cdot T_\mu$	$8.8 \cdot T_\mu$	$5.8 \cdot T_\mu$

Таблица 6

$T_{\text{зап}}$	$0.1 \cdot T_0$	$0.4 \cdot T_0$	$0.9 \cdot T_0$
$F$	0.001	0.0004	0.00088

Таблица 7

$T_1$	$T_\mu$	$t_{p1}, c$	$t_{p2}, c$	$\Delta y, \%$
$T_1 = 1$	0.0033	$6.1 \cdot T_\mu$	$6 \cdot T_\mu$	$0 \cdot T_\mu$
$T_1 = 0.5$	0.0044	$5.4 \cdot T_\mu$	$5.4 \cdot T_\mu$	$0 \cdot T_\mu$

Таблица 8

$T_1$	$T_\mu$	$t_{p1}, c$	$t_{p2}, c$	$\Delta y, \%$
$T_1 = 1$	0.0033	$5.7 \cdot T_\mu$	$5.7 \cdot T_\mu$	$0 \cdot T_\mu$
$T_1 = 0.5$	0.0044	$5.4 \cdot T_\mu$	$5.3 \cdot T_\mu$	$0 \cdot T_\mu$

## Выводы

В процессе выполнения работы исследовали систему управления с И-регулятором и объектом в виде апериодического звена.

В ходе проведенного исследования было определено, что при величине периода дискретности управления  $T_0 = 0.6$  обеспечивается качество переходного процесса в исследуемой цифровой системе, близкое к процессу в эквивалентной непрерывной системе.

Также при увеличении величины периода дискретности время окончания переходного процесса и перерегулирование увеличиваются (Технический оптимум

Таблица 1).

При вводе задержки уменьшается перерегулирование. Также при задержке величина периода дискретности управления  $T_0 = 1.3$  обеспечивается качество переходного процесса, близкое к процессу в эквивалентной непрерывной системе.

При настройке системы на биномиальный оптимум увеличилось время переходного процесса, перерегулирование уменьшилось. При вводе задержки значение перерегулирование равно 0.