

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ФАКУЛЬТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ

Лабораторная работа №2

«Параметрический синтез и исследование цифровой системы управления с П-регулятором и объектом в виде последовательно включенных апериодического и интегрирующего звеньев из условия обеспечения заданного 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 П- регулятора для случая вычислительной задержки $\varepsilon = 0$	11
Задание 4. Синтез системы с использованием эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового П- регулятора для случая вычислительной задержки $\varepsilon = T_0$	14
Задание 5. Синтез и моделирование системы из условия обеспечения в ней «биномиальной настройки»	17
Результаты работы	23
Выводы	25

Задание

Задание 1

Снять временные диаграммы, иллюстрирующие работу эквивалентных аналогового и цифрового П-регуляторов при линейно нарастающем входном воздействии 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» $T_{\mu 1} = T_1 = 0.05$.
- 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 П-регулятора для случая вычислительной задержки $\varepsilon = 0$.

- 3.1 Построить полную эквивалентную модель системы, учитывающую динамические свойства П-регулятора в виде системы, содержащей объект управления, аналоговый П-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 $T_0 = T_1 = 1, T_{\text{зап}} = (0.1, 0.4, 0.9)T_0$.
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 $T_0 = 1; T_1 = 1, 0.5$; параметры переходных процессов занести в таблицу 3. Представить схему модели.

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

- 4.1 Снять временные диаграммы, иллюстрирующие работу эквивалентных аналогового и цифрового П-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 $T_0 = 0.05, 0.1; T_1 = 0.05$ (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

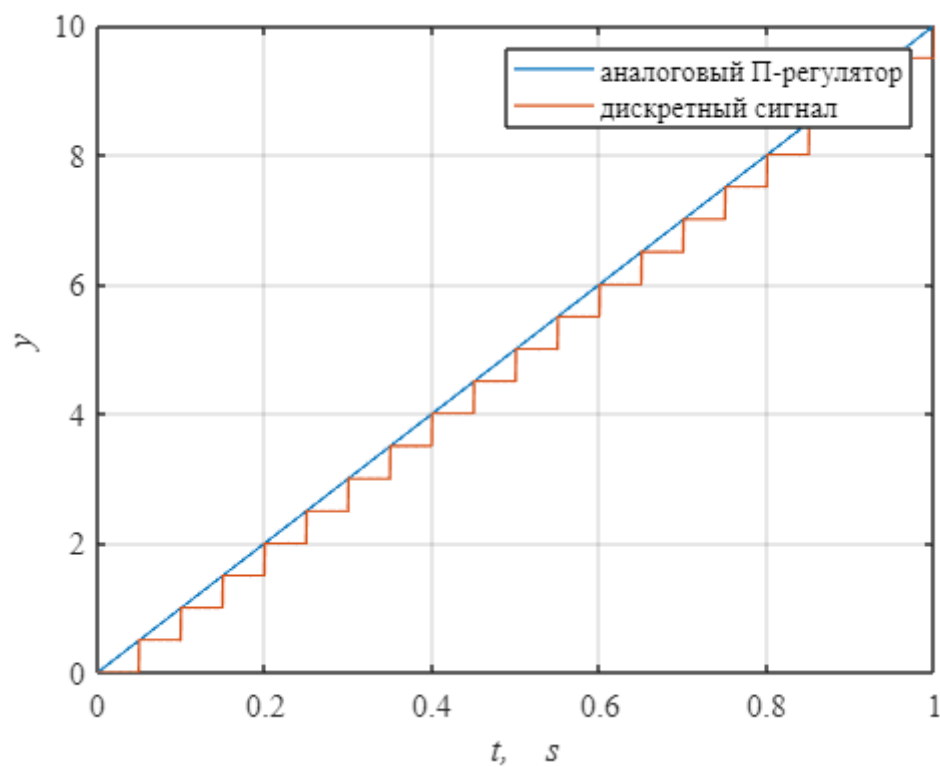


Рисунок 1. Графики выхода аналогового и цифрового П-регуляторов при линейно-возрастающем входном воздействии

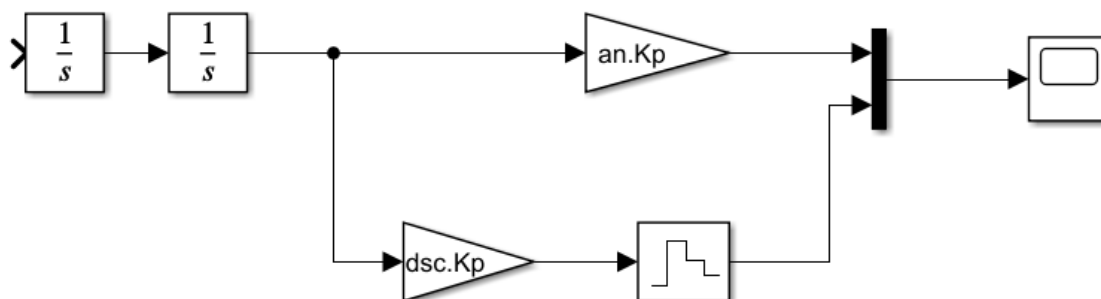


Рисунок 2. Схема моделирования

Задание 2. Синтез системы с использованием «метода переоборудования»

Сначала построим эквивалентную модель и осуществим ее настройку на «оптимум по модулю» $T_{\mu 1} = T_1 = 0.05$.

Для этого определили передаточную функцию:

$$\frac{Js}{(JL)s^2 + (JR)s + Ce^2}.$$

Пренебрегая влиянием противоЭДС перепишем передаточную функцию:

$$\frac{1}{Ls + R}.$$

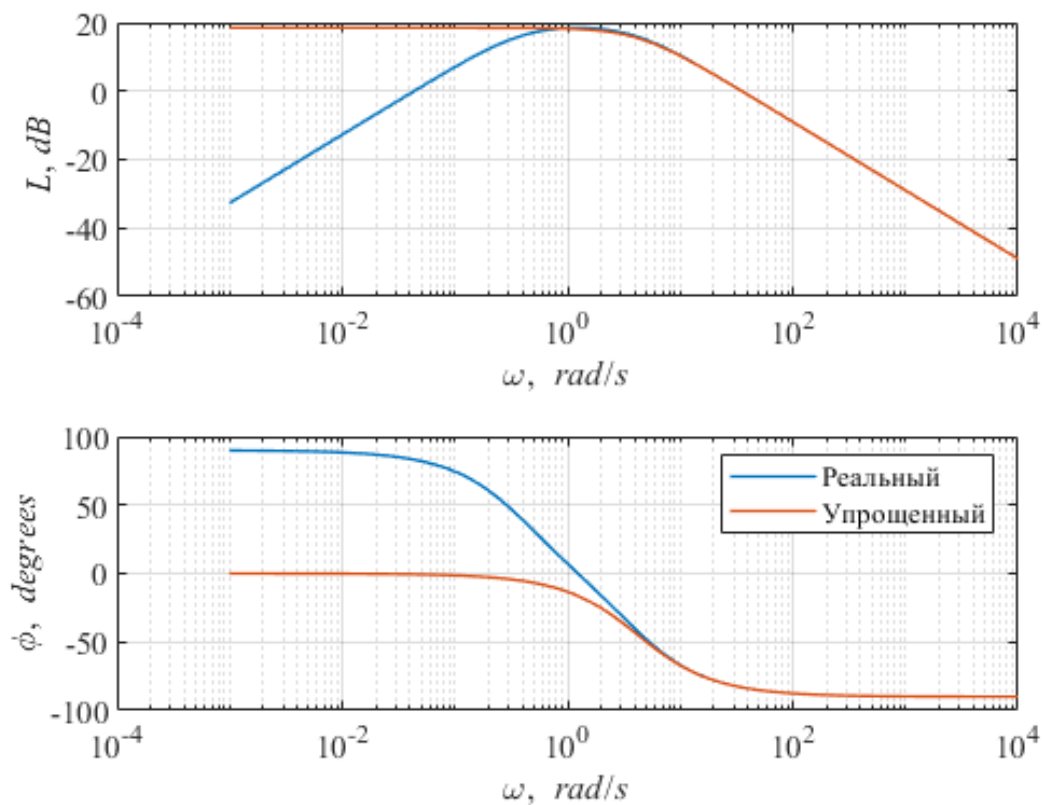


Рисунок 3. АЧХ и ФЧХ реальной и упрощенной разомкнутых систем

По графикам видим, что графики реальной и упрощённых систем расходятся только при малых значениях частоты. Если выполняем синтез для быстрых систем, как в данном случае, можем пренебречь противоЭДС.

Рассчитаем ПИ-регулятор.

$$W_{ol} = \frac{1}{T_t s}$$

Передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W_{reg} = \frac{Ls + R}{T_t s}$$

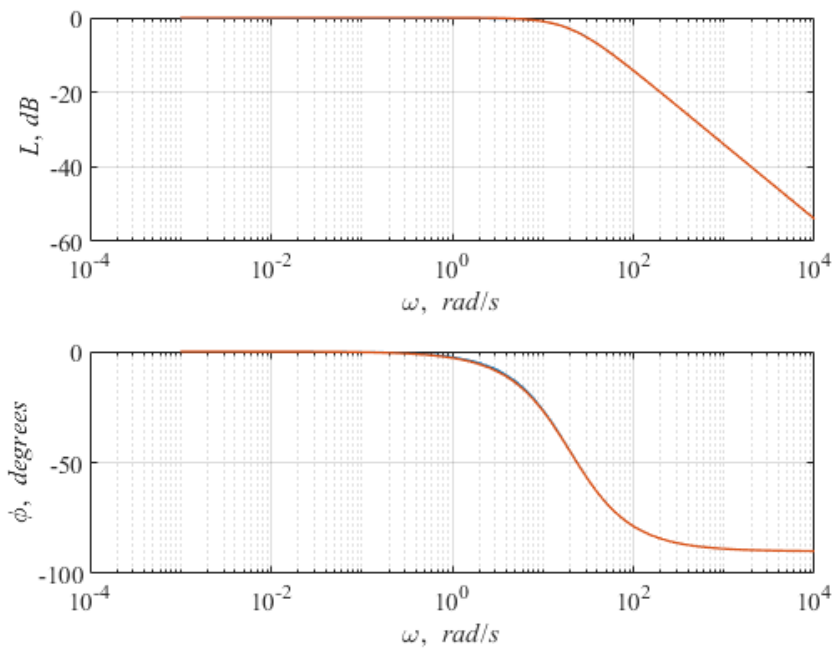


Рисунок 4. АЧХ и ФЧХ реальной и упрощенной замкнутых систем ПИ-регулятором

Выполним моделирование работы контура тока.

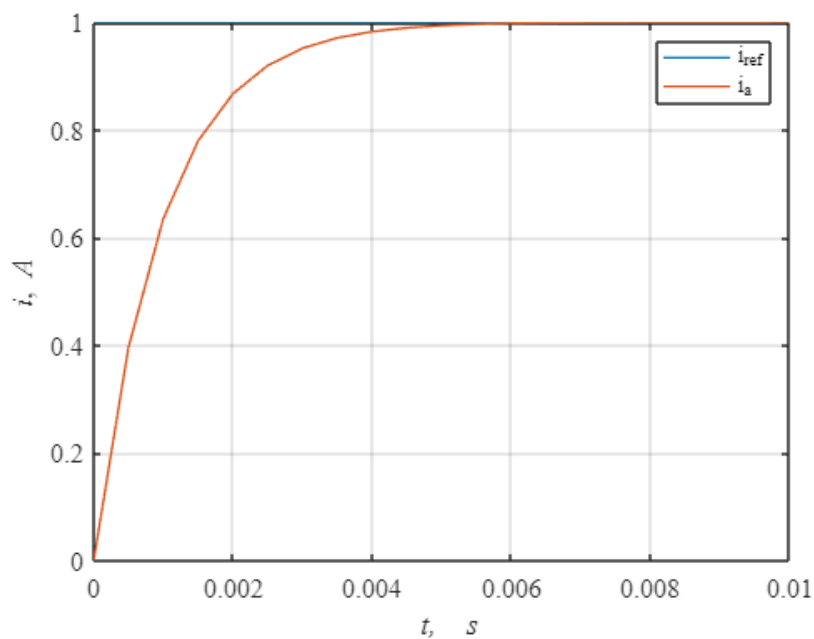


Рисунок 5. График моделирование работы контура тока

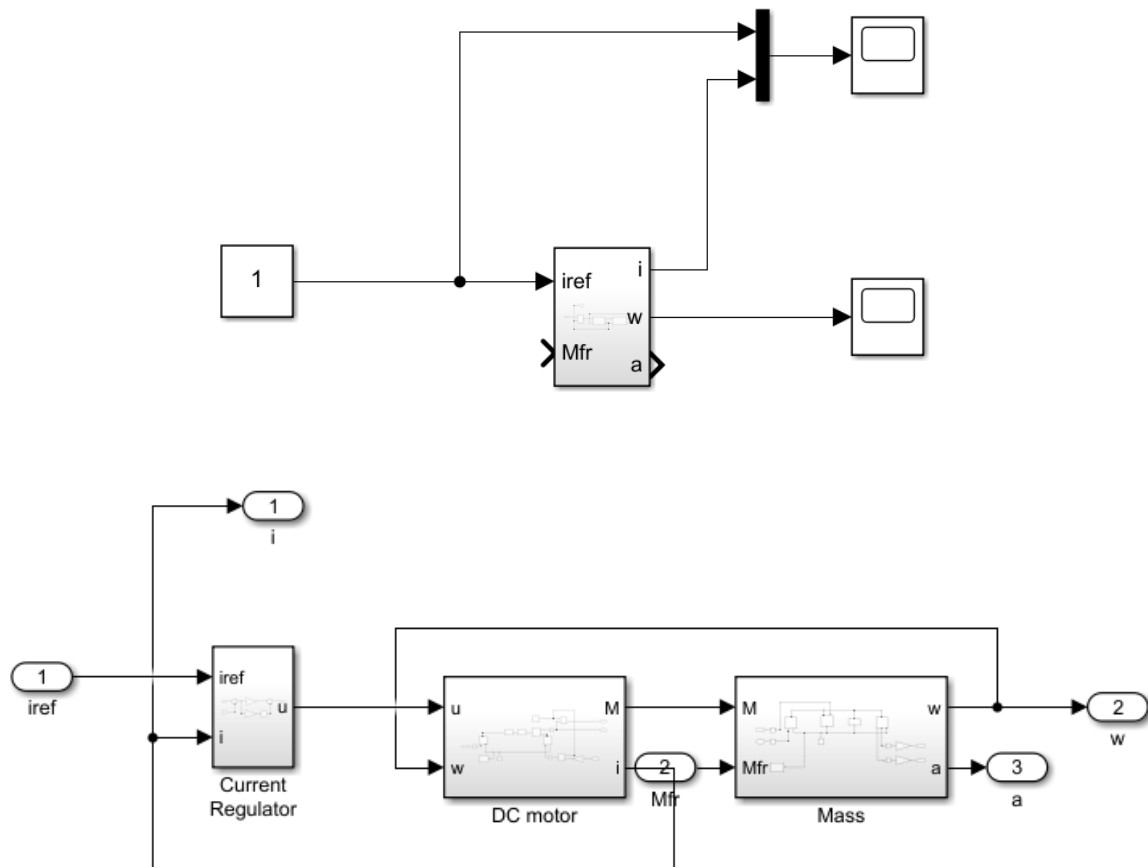


Рисунок 6. Схема моделирования

Расчет цифрового П-регулятора скорости

$$W_{ob2} = \frac{Ce \cdot kdw}{Js}$$

Передаточная функция разомкнутой системы, настроенной на технический оптимум.

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

$$W_{reg} = \frac{W_{ol}}{\frac{1}{T_{\mu}s + 1} \cdot \frac{Ce \cdot kdw}{Js}} = \frac{J}{2Ce \cdot T_{\mu} \cdot kdw}$$

Моделирование работы системы, настроенной на технический оптимум

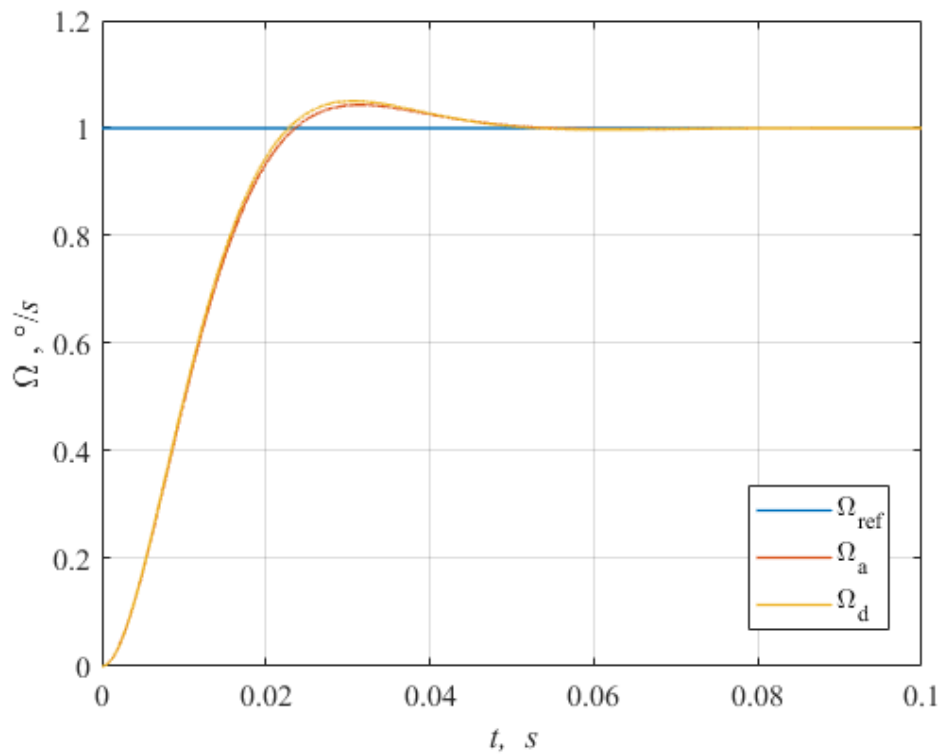


Рисунок 7. График моделирование работы, настроенный на технический оптимум ($T_o = 0.1 \cdot T_\mu$)

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

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

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 6.3 \cdot T_\mu$$

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 Δy :

$$\Delta y = \frac{|\sup(y) - y_{ss}|}{|y_0 - y_{ss}|} = 5.0 \cdot T_\mu$$

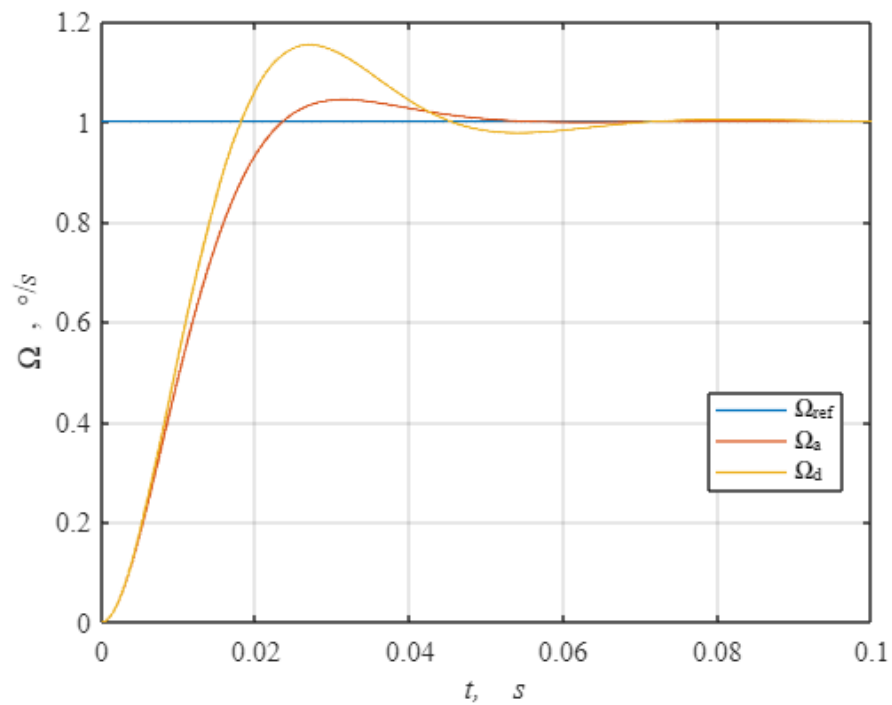


Рисунок 8. График моделирование работы, настроенный на технический оптимум ($T_o = 1 \cdot T_\mu$)

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

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

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 7.8 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование Δy :

$$\Delta y = 15.3 \cdot T_\mu$$

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

$$T_o = T_\mu = 0.005$$

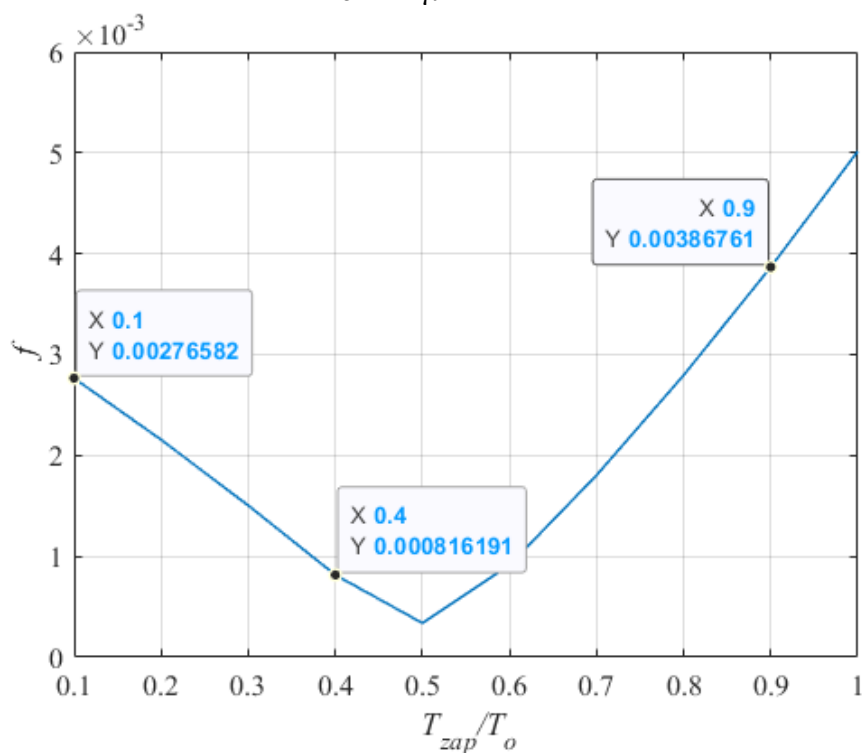


Рисунок 9. График функционала системы

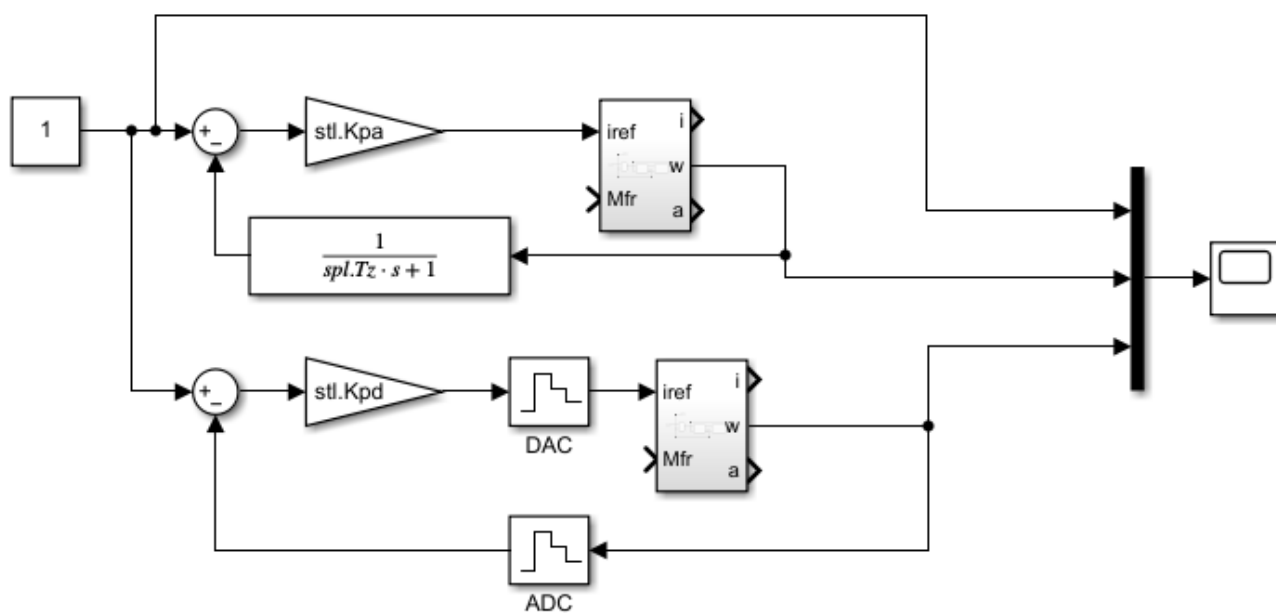


Рисунок 10. Схема моделирования

Перенастройка с помощью метода переоборудования

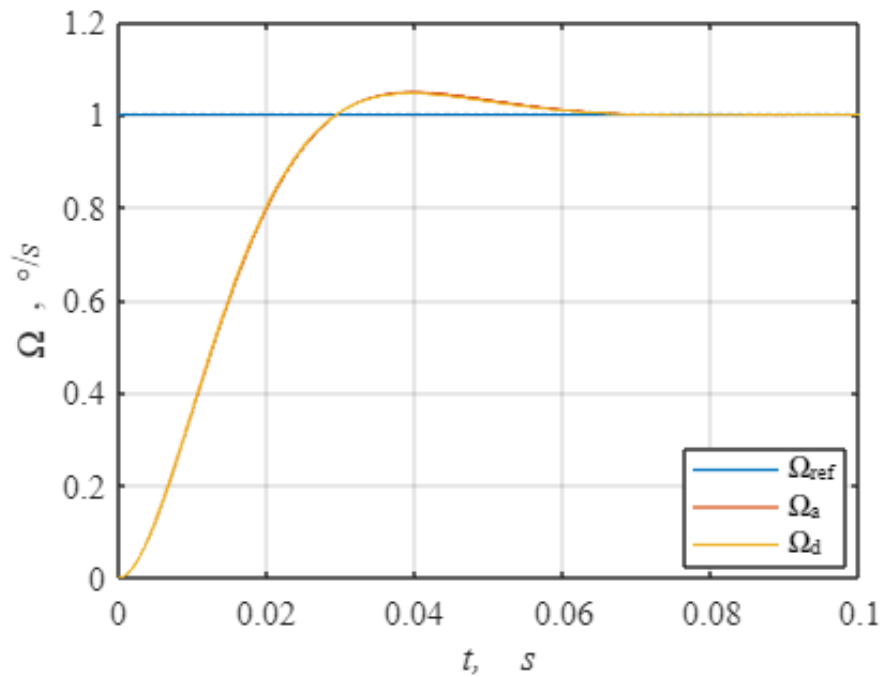


Рисунок 11. График моделирование работы $T_o = T_t = 0.005$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 3.5 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 3.5 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование Δy :

$$\Delta y = 4.5 \cdot T_\mu$$

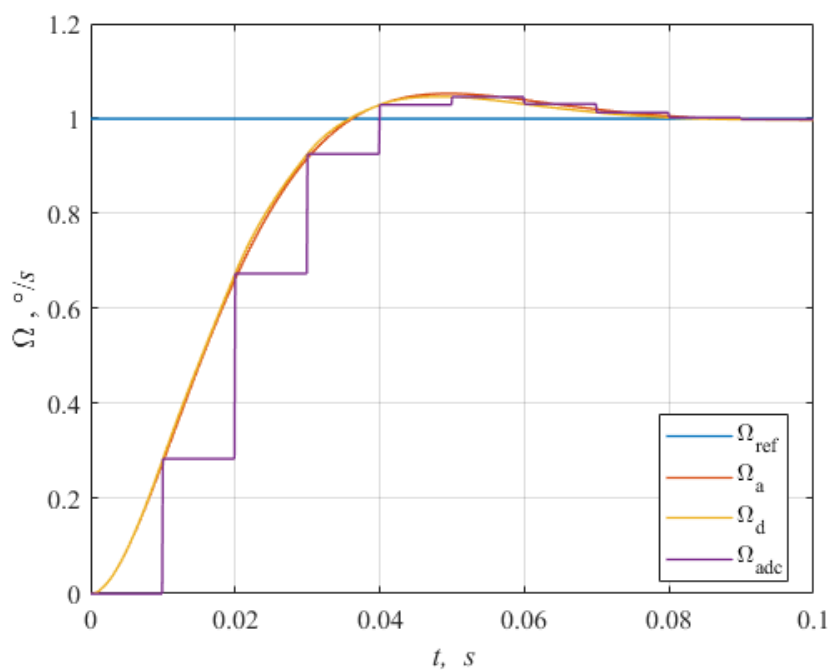


Рисунок 12. График моделирование работы $T_o = 2T_t = 0.01$

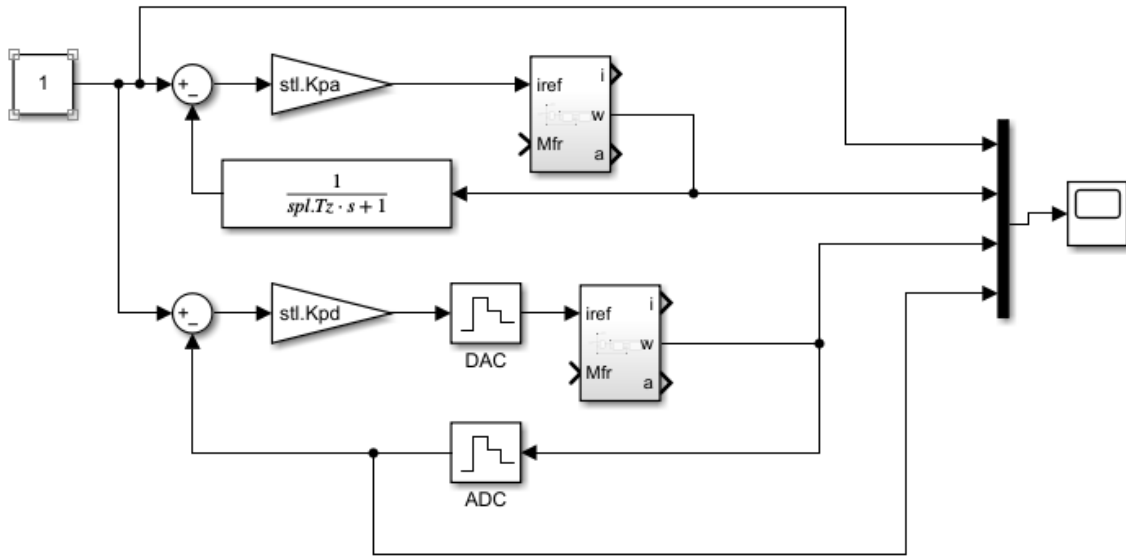


Рисунок 13. Схема моделирования

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

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

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 3.1 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование Δy :

$$\Delta y = 4.9 \cdot T_\mu$$

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

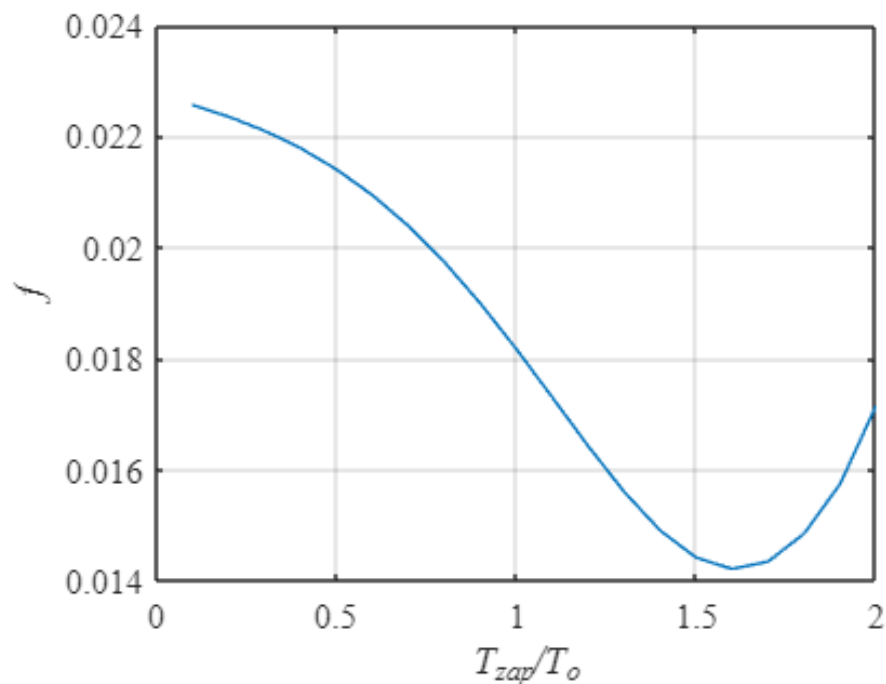


Рисунок 14. График функционала системы

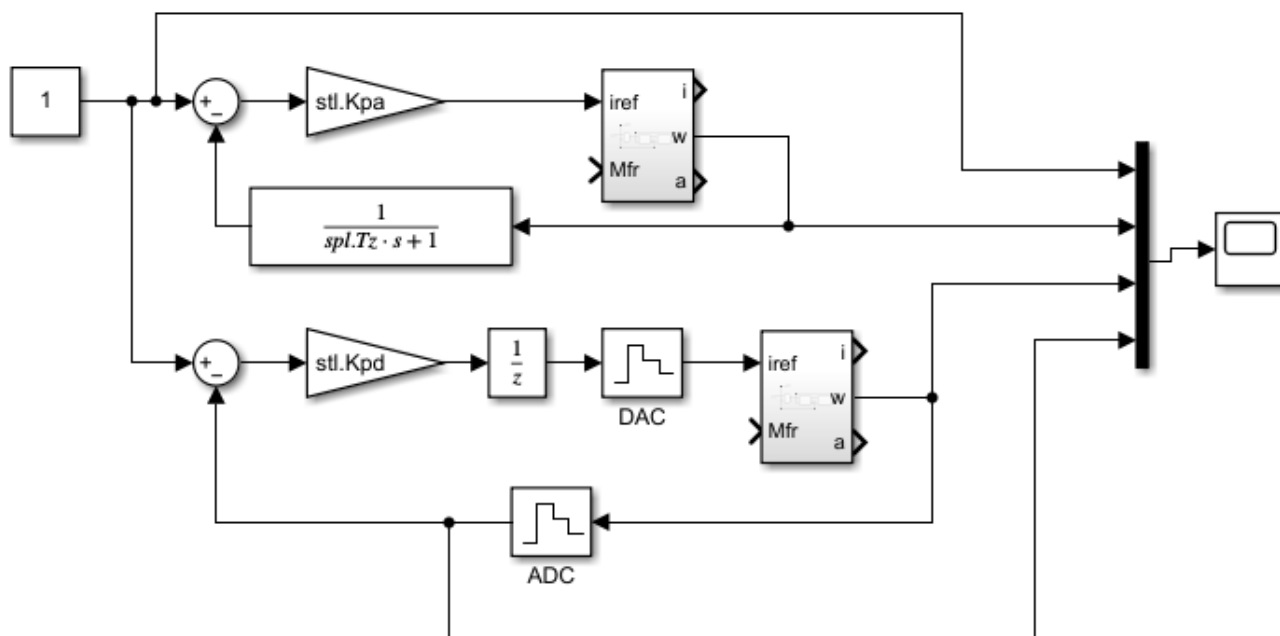


Рисунок 15. Схема моделирования

Перенастройка с помощью метода переоборудования

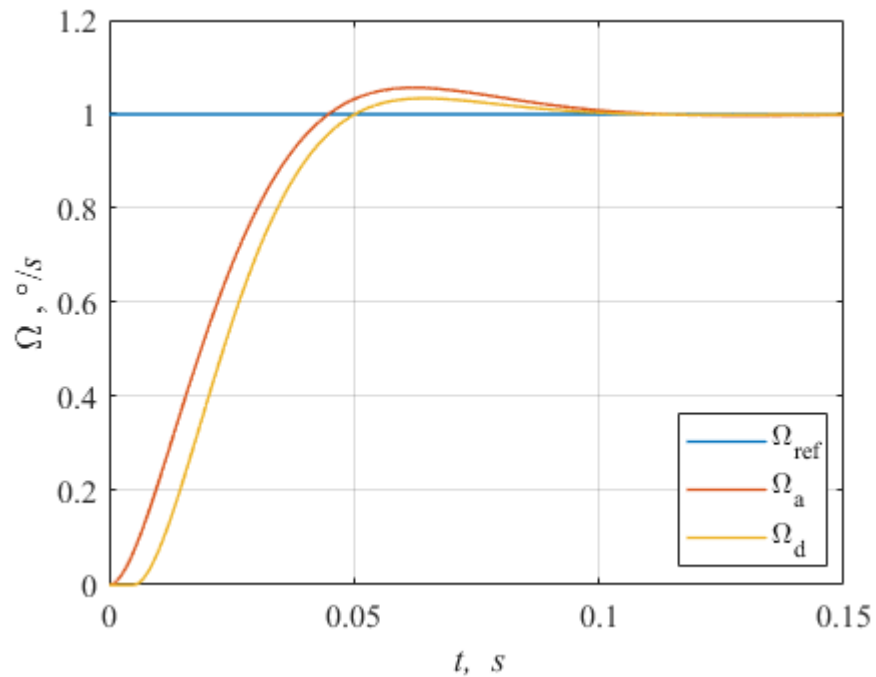


Рисунок 16. График моделирование работы $T_o = T_t = 0.01$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

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

Вычислим перерегулирование Δy :

$$\Delta y = 3.4 \cdot T_\mu$$

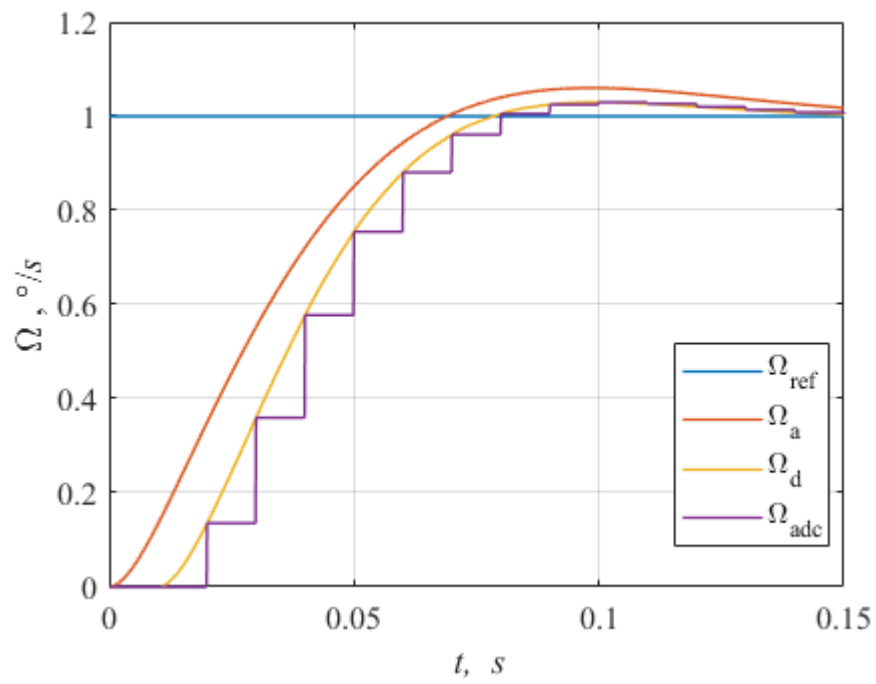


Рисунок 17. График моделирование работы $T_o = 2T_t = 0.01$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

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

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 3.3 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование Δy :

$$\Delta y = 2.5 \cdot T_\mu$$

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

Моделирование работы системы, настроенной на биномиальный оптиум

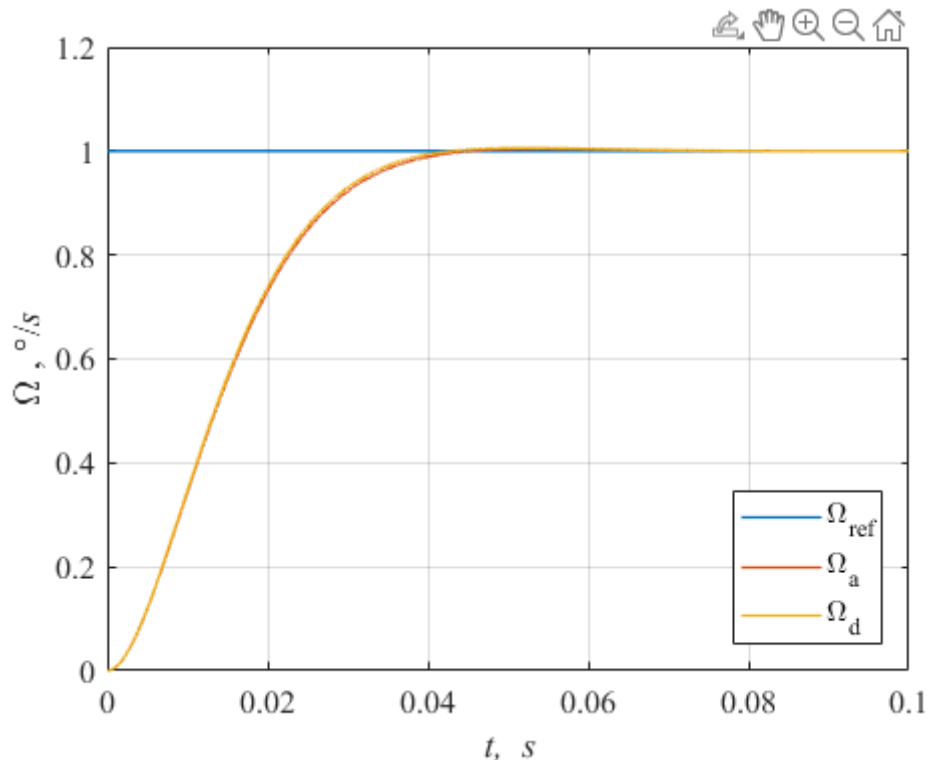


Рисунок 18. График моделирование работы, настроенный на биномиальный оптиум ($T_o = 0.1 \cdot T_\mu$)

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 Δy :

$$\Delta y = \frac{|\sup(y) - y_{ss}|}{|y_0 - y_{ss}|} = 0.6 \cdot T_\mu$$

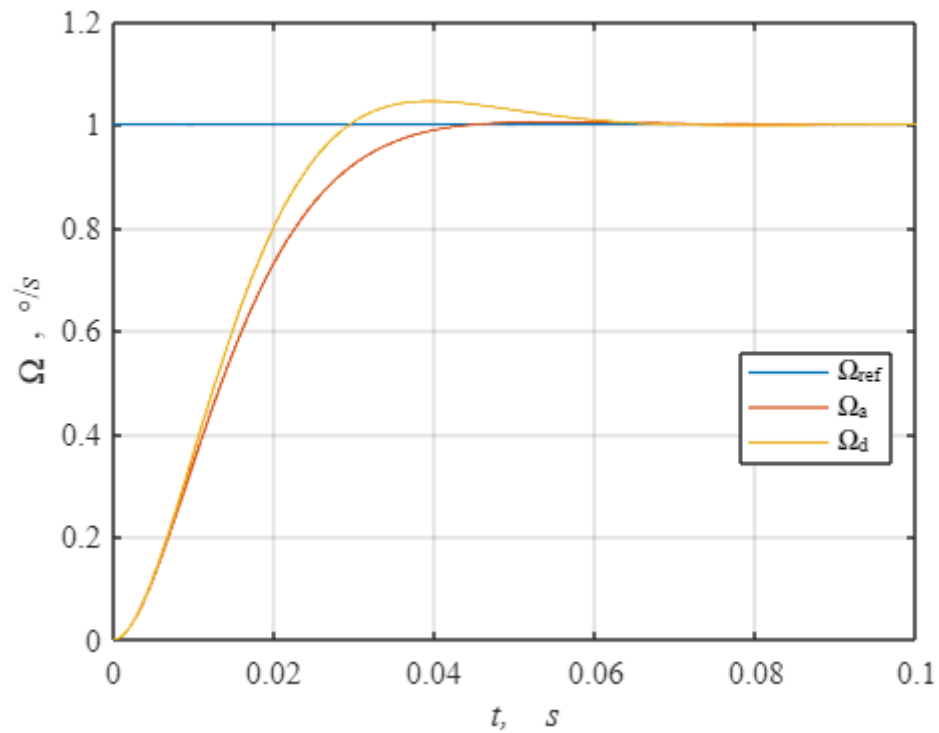


Рисунок 19. График моделирование работы, настроенный на биномиальный оптимум ($T_o = 1 \cdot T_\mu$)

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 5.2 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 5.2 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование Δy :

$$\Delta y = 4.5 \cdot T_\mu$$

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

$$T_o = T_\mu = 0.005$$

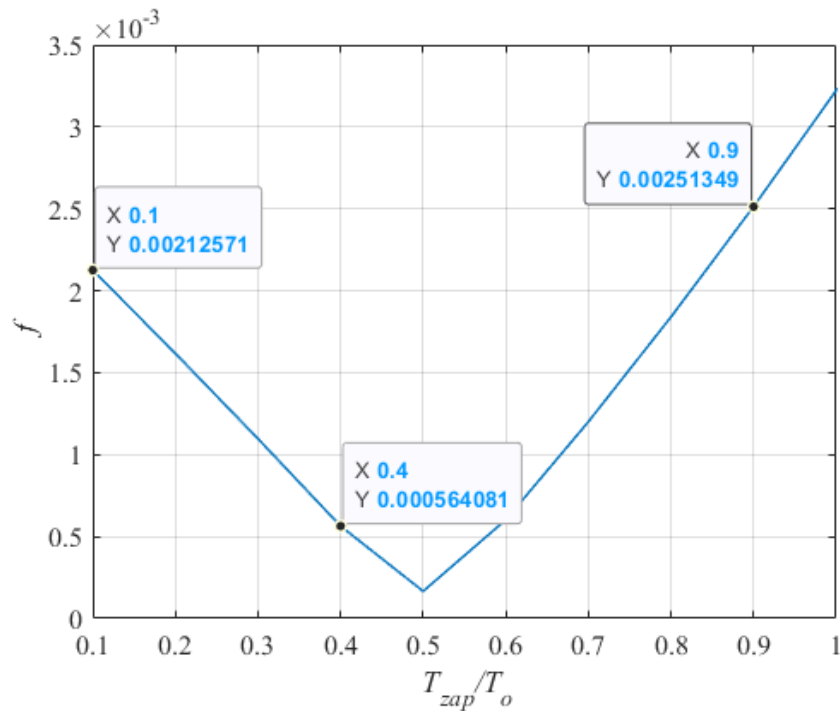


Рисунок 20. График функционала системы

Перенастройка с помощью метода переоборудования

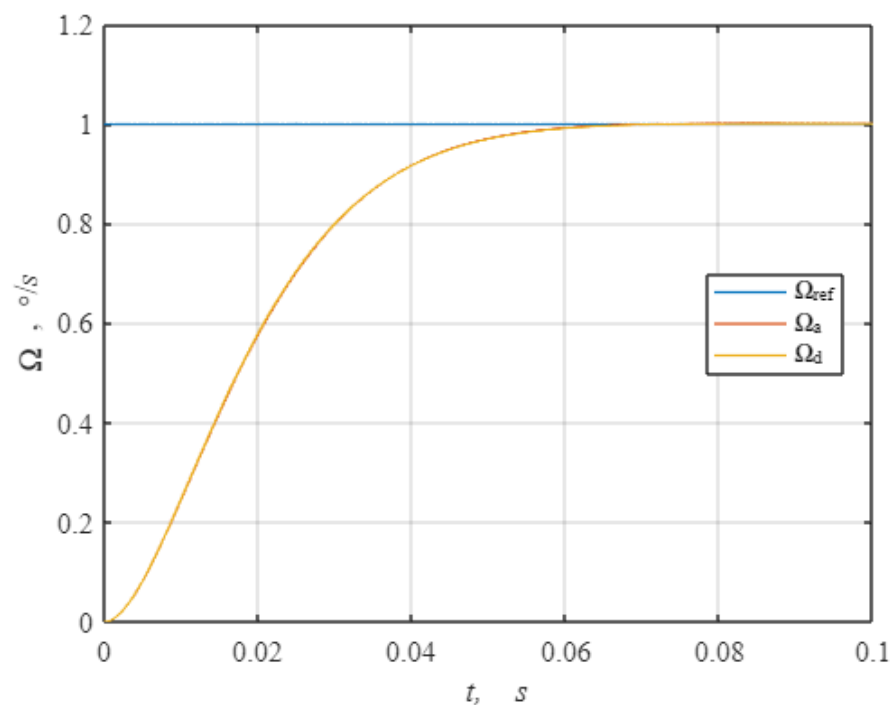


Рисунок 21. График моделирование работы $T_o = T_t = 0.005$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

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

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 6.1 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование Δy :

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

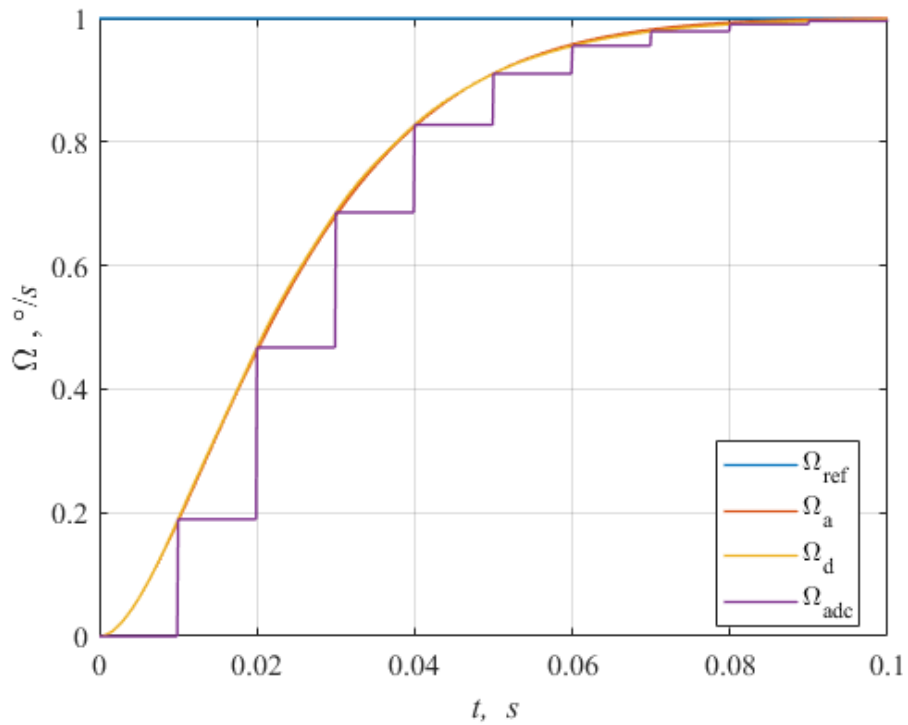


Рисунок 22. График моделирование работы $T_o = 2T_t = 0.01$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 5.8 \cdot T_\mu$$

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

Вычислим перерегулирование Δy :

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

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

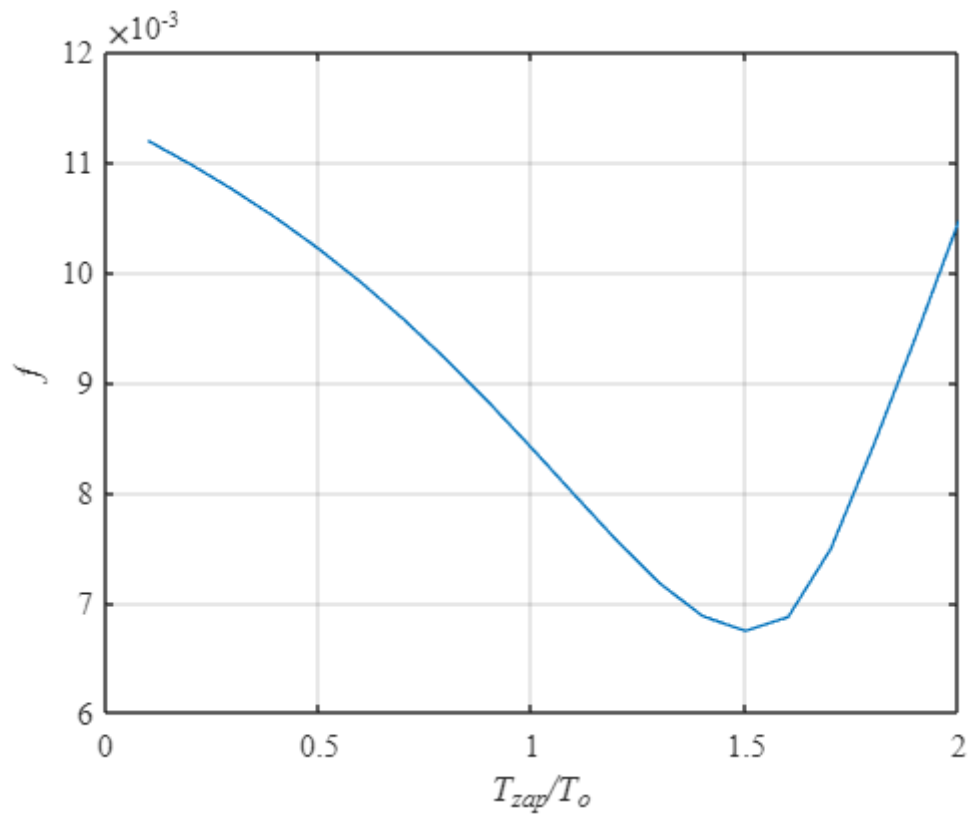


Рисунок 23. График функционала системы

Перенастройка с помощью метода переоборудования

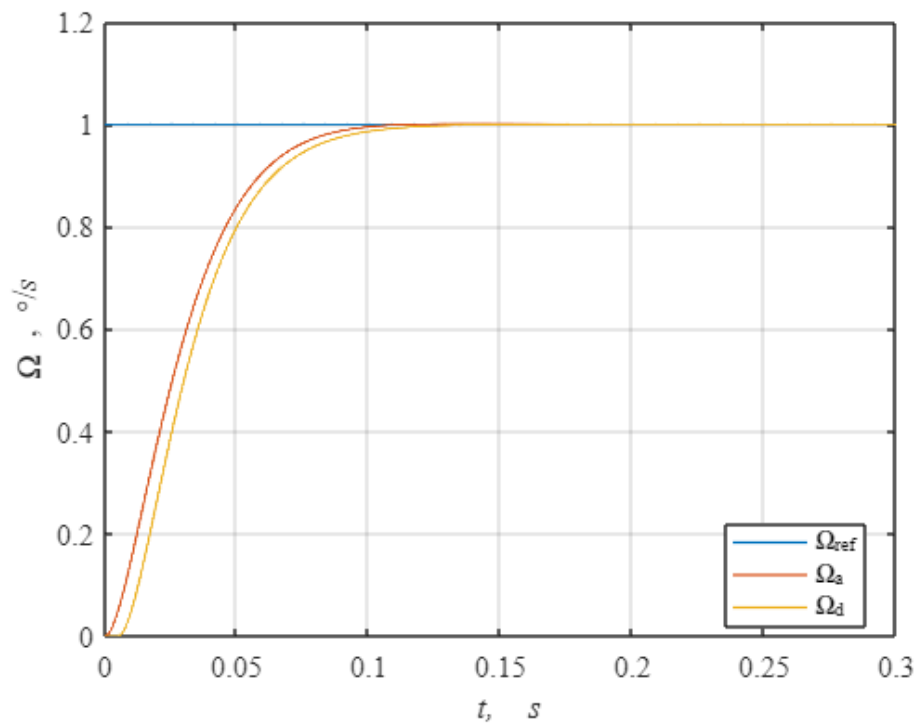


Рисунок 24. График моделирование работы $T_o = T_t = 0.005$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 6.2 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 6.2 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование Δy :

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

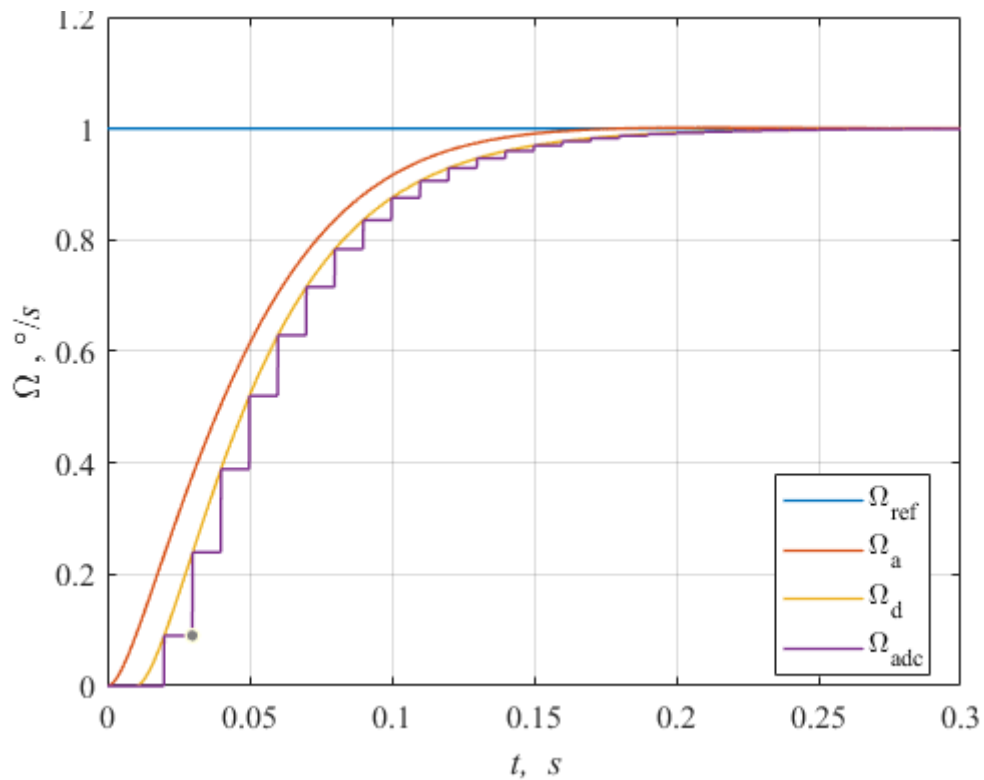


Рисунок 25. График моделирование работы $T_o = 2T_t = 0.01$

Найдем время переходного процесса для входа в 5%.

$$t_{p1} = t_1 - t_0 = 6.3 \cdot T_\mu$$

$$t_{p2} = t_{end} - t_0 = 6.3 \cdot T_\mu$$

Вычислим перерегулирование Δy :

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

Результаты работы

Таблица 1

T_0	$t_{p1}, \text{с}$	$t_{p2}, \text{с}$	$\Delta y, \%$
$T_0 = 0.1 \cdot T_\mu$	$4 \cdot T_\mu$	$6.3 \cdot T_\mu$	$5 \cdot T_\mu$
$T_0 = T_\mu$	$3.4 \cdot T_\mu$	$7.8 \cdot T_\mu$	$15.3 \cdot T_\mu$

Технический оптимум

Таблица 2

$T_{\text{зап}}$	$0.1 \cdot T_0$	$0.4 \cdot T_0$	$0.9 \cdot T_0$
F	0.0028	0.0008	0.0039

Таблица 3

T_1	T_μ	$t_{p1}, \text{с}$	$t_{p2}, \text{с}$	$\Delta y, \%$
$T_1 = 1$	0.021	$3.1 \cdot T_\mu$	$3.1 \cdot T_\mu$	$4.9 \cdot T_\mu$
$T_1 = 0.5$	0.021	$3.5 \cdot T_\mu$	$3.5 \cdot T_\mu$	$4.5 \cdot T_\mu$

Таблица 4

T_1	T_μ	$t_{p1}, \text{с}$	$t_{p2}, \text{с}$	$\Delta y, \%$
$T_1 = 1$	0.021	$3.4 \cdot T_\mu$	$3.4 \cdot T_\mu$	$3.4 \cdot T_\mu$
$T_1 = 0.5$	0.021	$3.3 \cdot T_\mu$	$3.3 \cdot T_\mu$	$2.5 \cdot T_\mu$

Биномиальный опцион

Таблица 5

$T_{\text{зап}}$	$0.1 \cdot T_0$	$0.4 \cdot T_0$	$0.9 \cdot T_0$
F	0.0021	0.0006	0.0025

Таблица 6

T_1	T_μ	$t_{p1}, \text{с}$	$t_{p2}, \text{с}$	$\Delta y, \%$
$T_1 = 1$	0.021	$6.1 \cdot T_\mu$	$6.1 \cdot T_\mu$	$0 \cdot T_\mu$
$T_1 = 0.5$	0.021	$5.8 \cdot T_\mu$	$5.8 \cdot T_\mu$	$0 \cdot T_\mu$

Таблица 7

T_1	T_μ	$t_{p1}, \text{с}$	$t_{p2}, \text{с}$	$\Delta y, \%$
$T_1 = 1$	0.021	$6.2 \cdot T_\mu$	$6.2 \cdot T_\mu$	$0 \cdot T_\mu$
$T_1 = 0.5$	0.021	$6.3 \cdot T_\mu$	$6.3 \cdot T_\mu$	$0 \cdot T_\mu$

Выводы

В процессе выполнения работы исследовали систему управления с П-регулятором и объектом в виде последовательно включенных апериодического и интегрирующего звеньев из условия обеспечения заданного переходного процесса.

В ходе проведенного исследования было определено, что при величине периода дискретности управления $T_0 = 0.5$ 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 (Таблица 1).

При вводе задержки уменьшается перерегулирование. Также при задержке величина периода дискретности управления $T_0 = 1.5$ обеспечивается качество переходного процесса, близкое к процессу в эквивалентной непрерывной системе.

При настройке системы на биномиальный оптимум увеличилось время переходного процесса, перерегулирование равно 0.