

## ЛР 3

**Задание: Настройте контур тока на линейный оптимум. Приведите расчет аналогового и цифрового регуляторов. Постройте графики переходных процессов.**

Упрощенная ПФ ОУ

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

Передаточная функция разомкнутой системы, настроенной на линейный оптимум:

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

$$crl.W_{ol} = \frac{1}{T_{\mu}s}$$

Передаточная функция регулятора:

$$crl.W_{reg} = \frac{crl.W_{ol}}{crl.W_{ob}} = \frac{LRs + R^2}{Ls} = \frac{Ls + R}{T_{\mu}s}$$

Получился ПИ-регулятор с коэффициентами:

$$K_p = \frac{L}{T_{\mu}}, \quad K_i = \frac{R}{T_{\mu}}$$

Теперь промоделируем синтезируемую систему, настроенную на линейный оптимум.

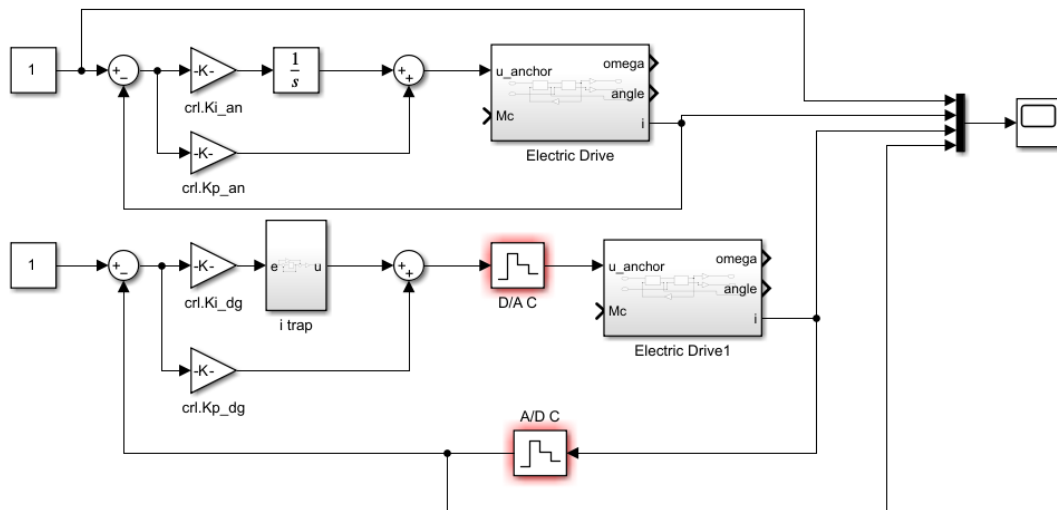


Рисунок 1 - Схема моделирования основной системы с ПИ-регулятором

Синтезируем систему цифровую систему с использованием эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового ПИ-регулятора для случая отсутствия вычислительной задержки  $\epsilon = 0$ . Для этого добавим ПФ в аналоговый регулятор, которая будет давать запаздывание, тем самым представляю собой динамические свойства цифрового ПИ-регулятора.

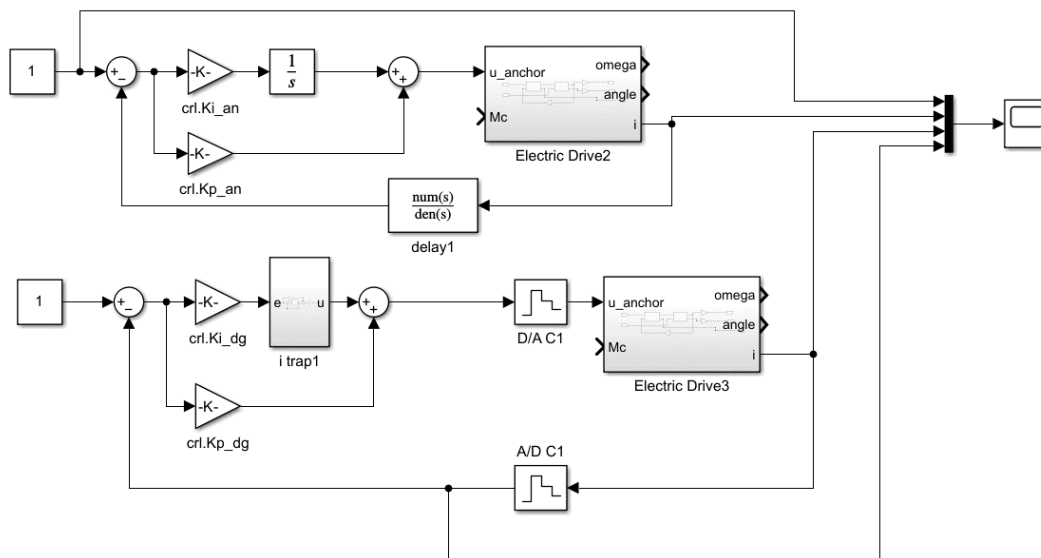


Рисунок 2 - Схема моделирования дискретной и непрерывной систем с учетом динамики ПИ-регулятора

Вычислим значение параметра  $T_z$ , входящее в апериодическое звено в непрерывной системе, используемой для внесения эквивалентной задержки.

Будем варьировать значение  $T_z$  и считать функционал близости

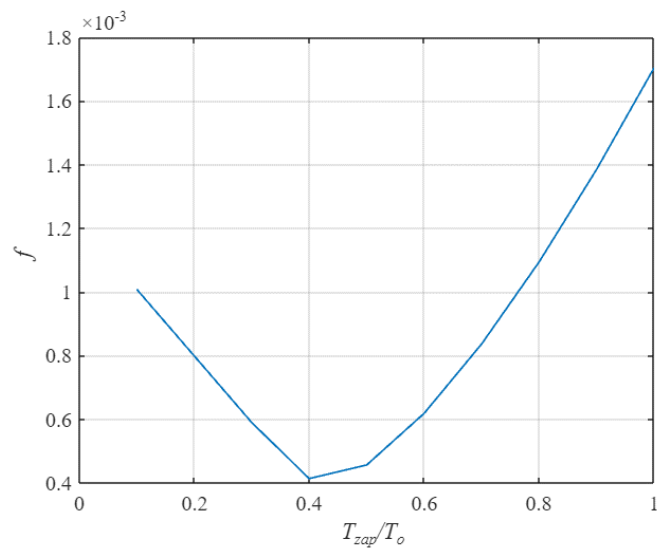


Рисунок 3 - График функционала близости переходных процессов при наличии вычислительной задержки регулятора

Итак, искомое значение  $T_z = 0.4T_o$ .

Осуществим перенастройку методом переоборудования эквивалентной модели системы на линейный оптимум при малой некомпенсированной постоянной времени  $T_\mu = T_z + T_t$ .

Случай  $T_o = T_t$ :

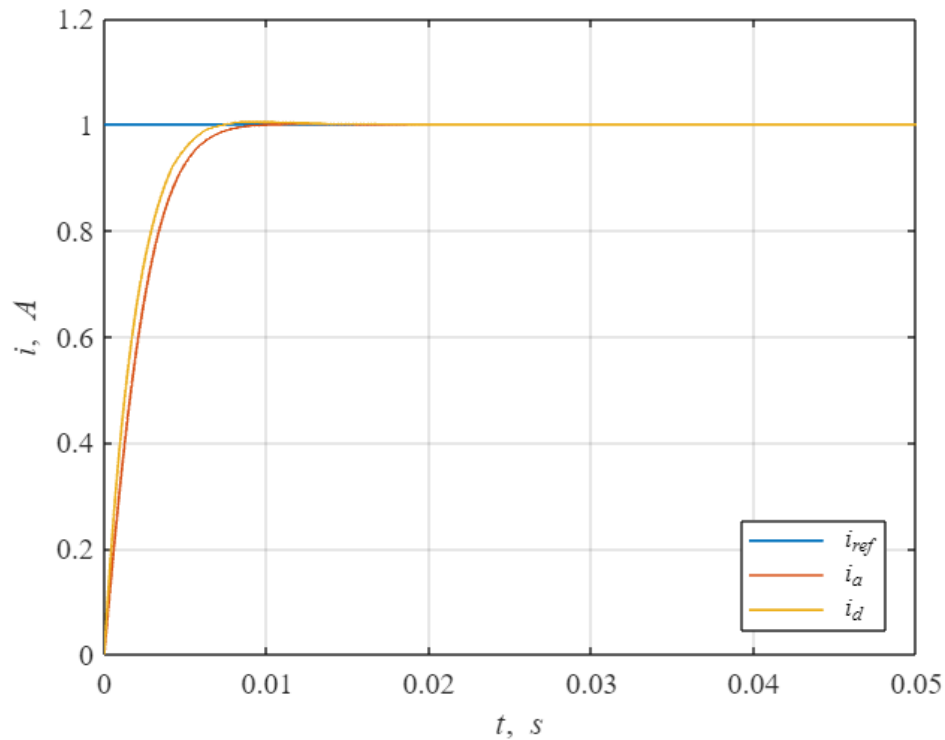


Рисунок 4 - Моделирование переходных процессов полной эквивалентной модели системы с настройкой на линейный оптимум при малой некомпенсированной постоянной времени  $T_\mu = T_z + T_t$ , при  $T_o = T_t$ .

Можем наблюдать некоторую задержку у дискретной системы, из-за этого переходный процесс отличается от аналоговой системы, однако обе переходные функции соответствуют линейному оптимуму.

Показатели качества переходного процесса ДПТ с дискретным регулятором контура тока:

$t_{p1} = 1.7 \cdot T_\mu$  – время первого входа в 5% зону

$t_{p2} = 1.7 \cdot T_\mu$  – время переходного процесса (5% зона)

$\Delta y = 0.3\%$  – перерегулирование

## ЛР 4

**Задание:** Вы синтезировали контур скорости в п.2 с учетом того, что контур тока был настроен на линейный оптимум. Настройте, контур тока на биномиальный оптимум и перенастройте контур скорости с учетом этого. Пришлите коэффициенты ПД-регулятора скорости. Постройте график переходного процесса

Упрощенная ПФ от напряжения к току:

$$W_{u \rightarrow i_{sim}} = \frac{1}{Ls + R}$$

Передаточная функция биномиального оптимума:

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

Передаточная функция регулятора контура тока:

$$W_{reg_{crl}} = \frac{W_{bin}}{W_{u \rightarrow i_{sim}}} = \frac{R + Ls}{3T_{\mu}s(T_{\mu}s + 1)}$$

Данный регулятор можно реализовать в виде последовательно включенных И-регулятора и ПД-регулятора:

$$W_{reg_{crlI}} = \frac{1}{3T_{\mu}s}, \quad W_{reg_{crlPD}} = \frac{Ls + R}{T_{\mu}s + 1} = R \cdot \frac{\frac{L}{R}s + 1}{T_{\mu}s + 1}$$

Соответственно коэффициенты:

$$K_{crlI} = \frac{1}{3T_{\mu}}, \quad K_{crlP} = R \cdot 1, \quad K_{crlD_{an}} = R \cdot \frac{L}{R}, \quad K_{crlD_{dg}} = R \cdot \frac{1}{e^{\frac{T_{\mu}}{L/R}} - 1}$$

Проведем также аппроксимацию апериодическим звеном, тогда схема моделирования контура тока будет выглядеть следующим образом:

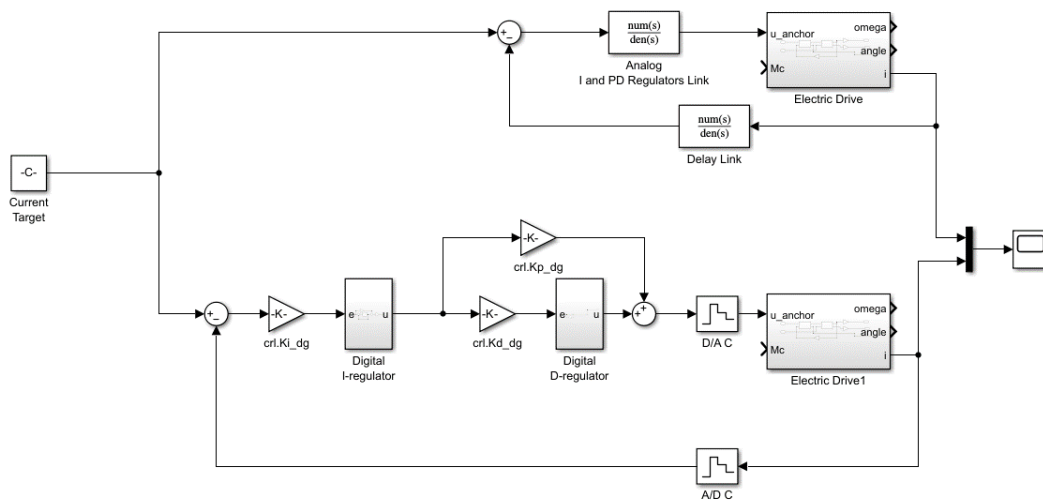


Рисунок 5 - Схема моделирования контура тока с эквивалентным звеном запаздывания

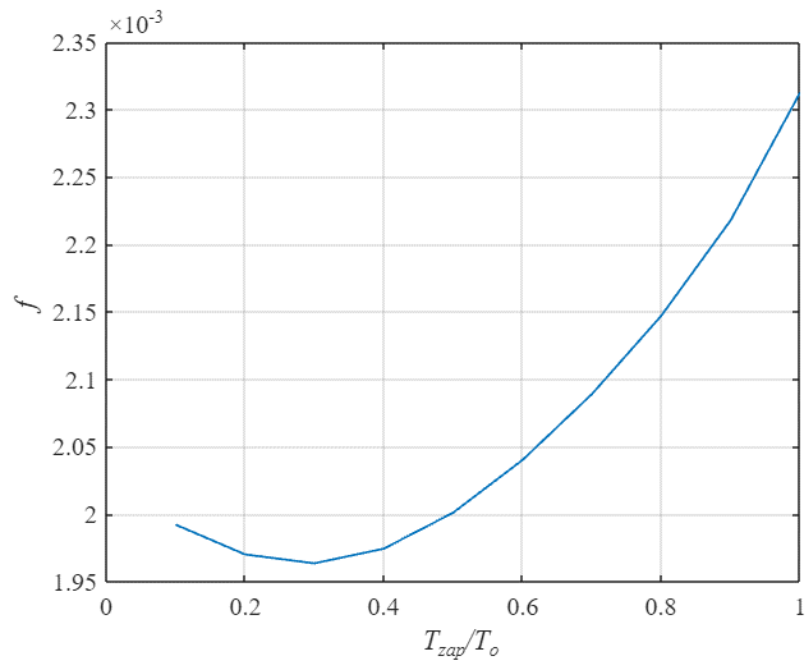


Рисунок 6 - График функционала близости для поиска  $T_z$  для контура тока

$$crl.Tz = 0.3 \cdot T_o$$

В итоге промоделируем контур тока, настроенный на биномиальный оптимум с параметрами

$$crl.T_\mu = crl.T_{\mu_{reg}} + crl.T_z = T_o + 0.3T_o, T_o = 0.001$$

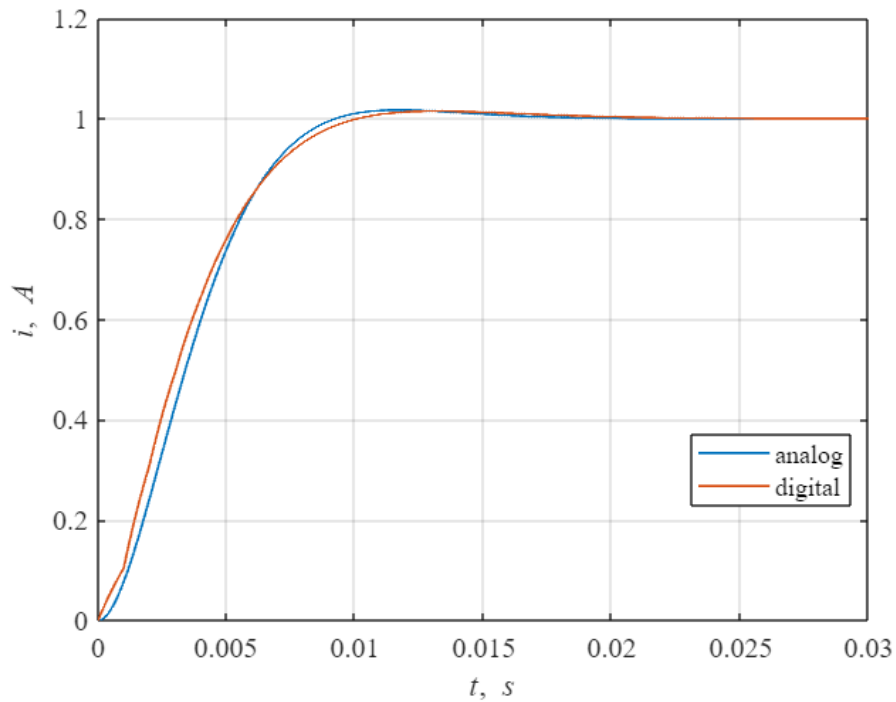


Рисунок 7 - Переходные процессы контура тока, настроенного на биномиальный оптимум

Перенастройка на биномиальный оптимум прошла успешно, оба графика соответствуют данному оптимуму.

Вычислим показатели качества для дискретного регулятора контура тока:

$$t_{p1} = 6.1 \cdot T_{\mu}, \quad t_{p2} = 6.1 \cdot T_{\mu}, \quad \sigma_n = 1.5\%$$

Теперь перенастроим контур скорости.

Итак, мы имеем ПФ контура тока, настроенную на биномиальный оптимум:

$$W_{reg_{crl}} = \frac{1}{3T_{\mu_{crl}}s(T_{\mu_{crl}}s + 1)}$$

Передаточную функцию ОУ:

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

Требуется настроить контур скорости на технический оптимум:

$$W_{tech} = \frac{1}{2T_{\mu_{spl}}s(T_{\mu_{spl}}s + 1)}$$

В таком случае ПФ ПД-регулятора контура скорости будет иметь вид:

$$W_{reg_{spl}} = \frac{W_{tech}}{W_{ob2} W_{reg_{crl}}} = \frac{3 J T_{\mu_{crl}} s (T_{\mu_{crl}} s + 1)}{2 C_e kdw T_{\mu_{spl}} (T_{\mu_{spl}} s + 1)}$$

Реализуем ПД и Д регуляторы:

$$W_{reg_{1spl}} = \frac{T_{\mu_{crl}} s + 1}{T_{\mu_{spl}} s + 1}, \quad W_{reg_{2spl}} = \frac{3 J T_{\mu_{crl}}}{2 C_e kdw T_{\mu_{spl}}} s$$

Коэффициенты регуляторов:

$$K_{spl_{1D}} = \frac{1}{e^{T_o/T_{\mu_{crl}}} - 1}, \quad K_{spl_{1P}} = 1,$$

$$K_{spl_{2D}} = \frac{3 J T_{\mu_{crl}}}{2 C_e kdw T_{\mu_{spl}}} \cdot \frac{1}{e^{T_o/1} - 1}$$

Проведем аппроксимацию аperiодическим звеном контура скорости, тогда схема моделирования двухконтурной системы управления будет выглядеть следующим образом:

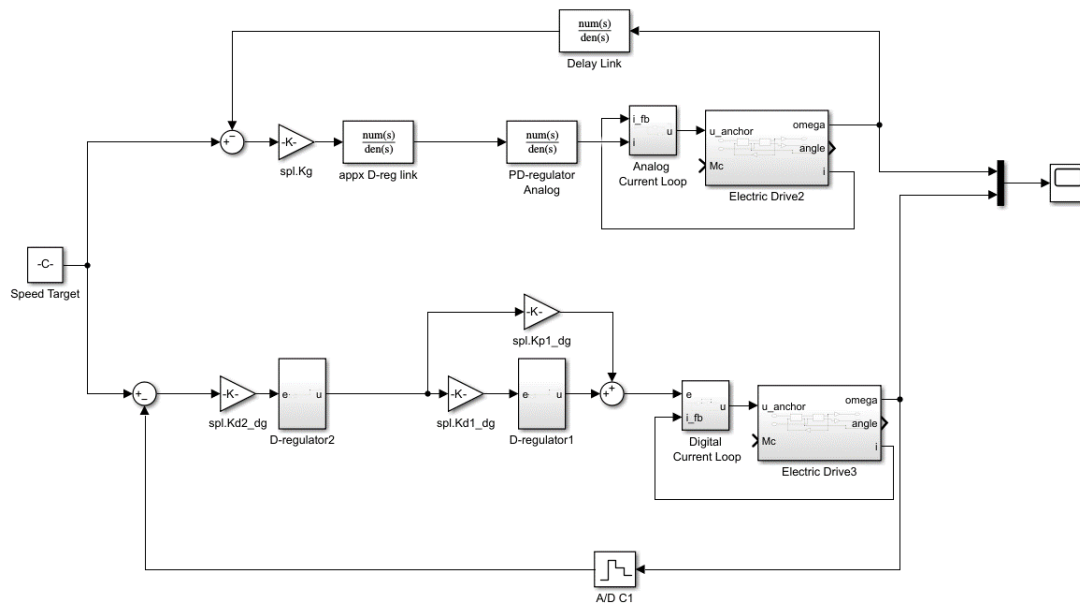


Рисунок 8 - Схема моделирования системы с двухконтурным управлением



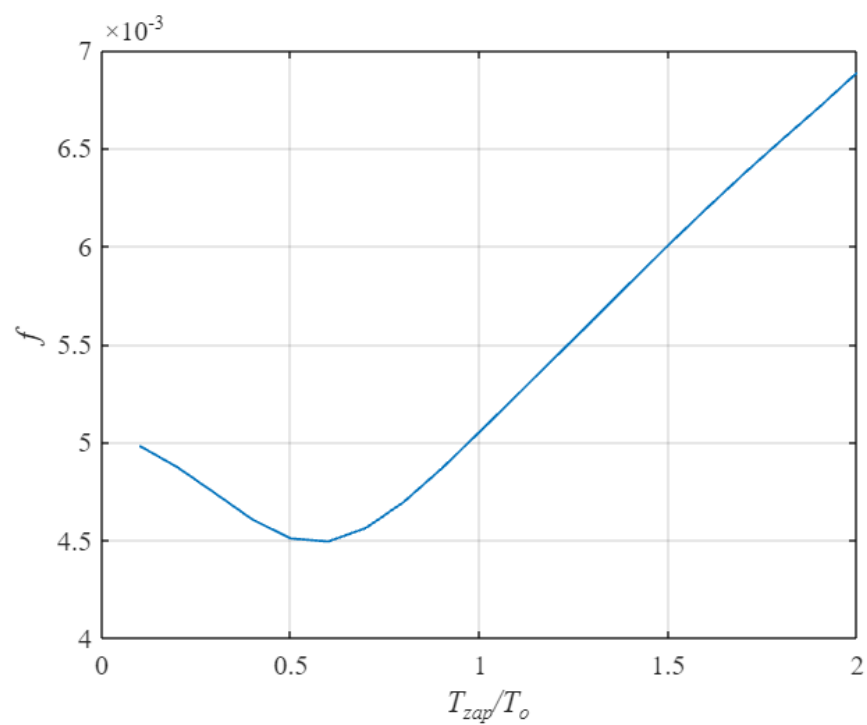


Рисунок 9 - Функционал близости

$$T_{\mu spl} = T_{\mu spl_{reg}} + T_{z spl} = 0.5T_o + 0.6T_o, T_o = 0.001$$

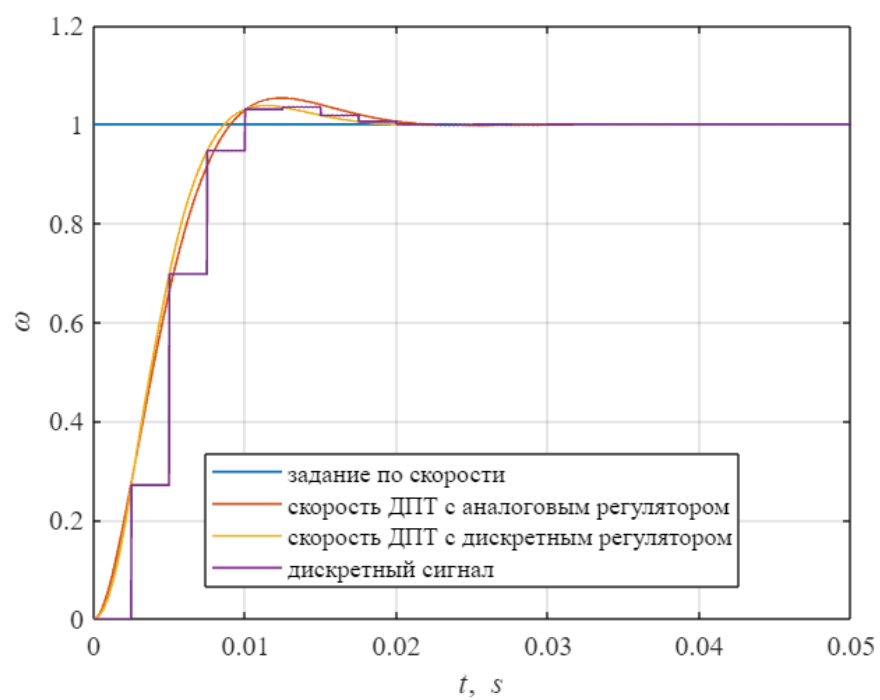


Рисунок 10 - Переходные процессы системы с двухконтурным управлением

Вычислим показатели качества для дискретной двухконтурной системы управления:

$$t_{p1} = 3.0 \cdot T_{\mu}, \quad t_{p2} = 3.0 \cdot T_{\mu}, \quad \sigma_n = 3.8\%$$

## ЛР 5

**Задание:** Вы синтезировали регулятор контура скорости в п.3. Как изменится настройка системы управления, если датчик скорости будет выдавать значение скорости в угл. мин./с и будет обладать инерционностью в виде апериодического звена с постоянной времени  $T_{sens} = 0.8 \cdot T_o$ . Привести формулы для вычисления новых коэффициентов регулятора и графики переходных процессов.

ПФ от напряжения к скорости:

$$W_{\omega_d}(s) = \frac{C_e}{(JL)s^2 + (JR)s + C_e^2} = \frac{K_{ob}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

ПФ датчика скорости:

$$W_{sen}(s) = \frac{k_{sen}}{T_{sen}s + 1}, \quad k_{sen} = 60, T_{sen} = 0.8 \cdot T_o$$

То есть теперь, ПФ ОУ будет выглядеть так:

$$W_{ob}(s) = W_{\omega_d}(s) \cdot W_{sen}(s) = \frac{K_{ob}k_{sen}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_{sen}s + 1)}$$

Данную систему будем настраивать на технический оптимум, ПФ разомкнутой системы, настроенной на технический оптимум:

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

Рассчитаем ПФ регулятора:

$$W_{reg}(s) = \frac{W_{ol}(s)}{W_{ob}(s)} = \frac{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_{sen}s + 1)}{k_{sen} K_{ob} 2 T_{\mu} s (T_{\mu}s + 1)}$$

Так как в 3-м пункте 5 ЛР принималось  $T_1 = T_{\mu}$ , то

$$W_{reg}(s) = \frac{(T_2s + 1)(T_{sen}s + 1)}{k_{sen} K_{ob} 2 T_{\mu} s}$$

Данный регулятор можно реализовать в виде последовательных ПИ и ПД регуляторов.

$$W_{reg1} = \frac{T_2s + 1}{k_{sen} K_{ob} 2 T_{\mu} s}, \quad W_{reg2} = T_{sen}s + 1$$

Коэффициенты регуляторов:

$$K_{P_1} = \frac{T_2}{k_{sen} K_{ob} 2T_\mu}, \quad K_{I_1} = \frac{1}{k_{sen} K_{ob} 2T_\mu}, \quad K_{P_{2an}} = 1, \quad K_{D_{2an}} = T_{sen},$$

$$K_{P_{2dg}} = 1, \quad K_{D_{2dg}} = \frac{1}{e^{T_o/T_{sen}} - 1}$$

Промоделируем данную систему.

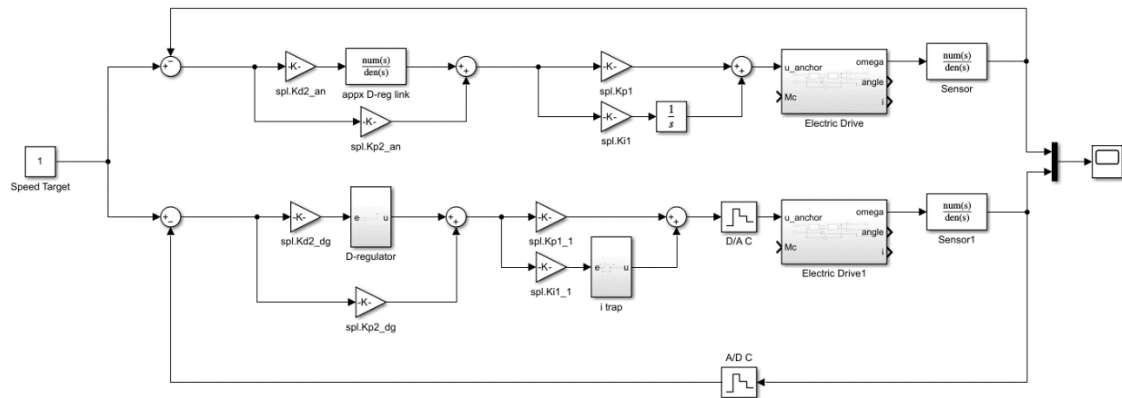


Рисунок 11 - Схема моделирования ОУ с инерционным сенсором, настроенным на технический оптимум

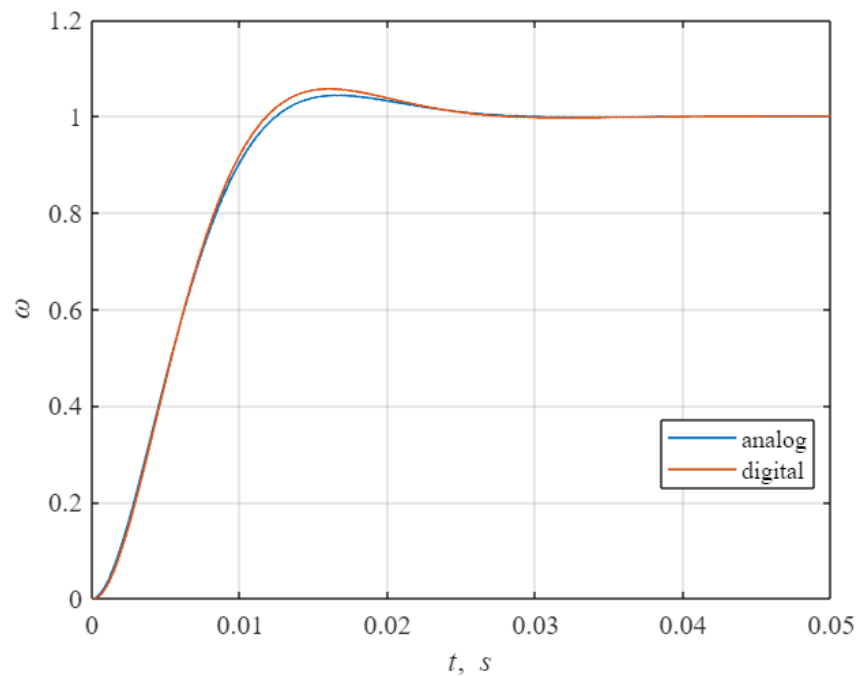
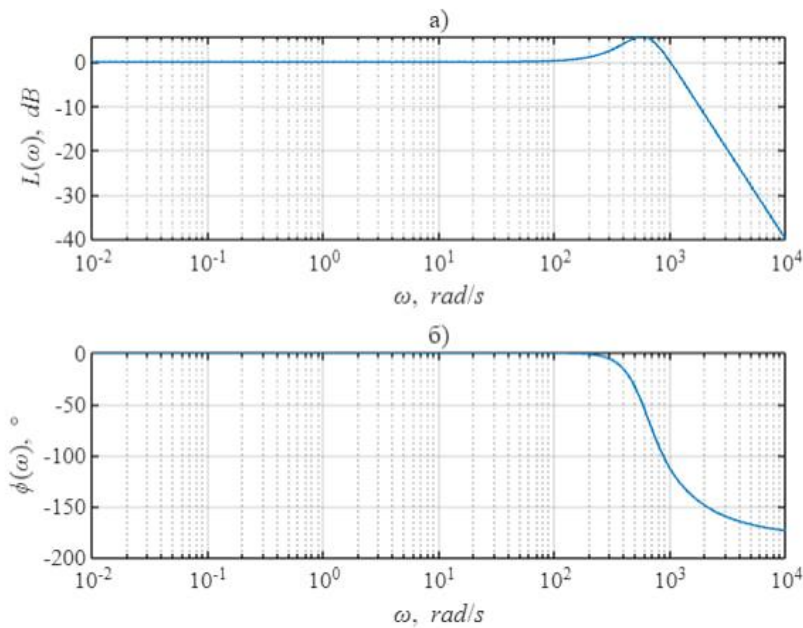


Рисунок 12 - Графики переходных процессов систем с инерционным датчиком скорости с непрерывным и цифровым регуляторами

Графики переходных процессов соответствуют техническому оптимуму. То есть при добавлении инерционного датчика скорости в систему управления добавится ПД-регулятор для компенсации динамики датчика.

## ЛР 6

Была ошибка при расчете ПФ замкнутой системы, неправильно учитывал ПФ фильтра задающего воздействия (он не должен входить в обратную связь регулятор+ОУ). Новое значение показателя колебательности:  $M = 1.924$ .



Графики АЧХ (а) и ФЧХ (б) ПФ замкнутой системы.

Показатель колебательности

Показатель колебательности  $M$ : 1.924