

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Факультет систем управления и робототехники



**Электрический привод**  
**Лабораторная работа №2**

**Выполнил студент:**

Мысов М.С.

Группа № R33372

**Руководитель:**

Маматов А.Г.

г. Санкт-Петербург

2023

## 1. Задание

- 1) Исследование статических характеристик электропривода с ДПТ НВ питания
- 2) Исследование динамических характеристик электропривода с ДПТ НВ питания
- 3) Синтезировать систему регулирования скорости ДПТ НВ

## 2. Данные для расчета

Вариант – 10

$$\begin{aligned}R_a &= 0.7539 \text{ Ом} \\L_a &= 0.0033 \text{ Гн} \\ \psi_{nom} &= 0.0962 \text{ Вб} \\ U_{nom} &= 48 \text{ В} \\ M_{nom} &= 0.6124 \text{ Н·м} \\ J &= 0.0006 \text{ кг·м}^2\end{aligned}$$

## 3. Расчет

### Задание 1. Исследование статических характеристик электропривода с ДПТ НВ

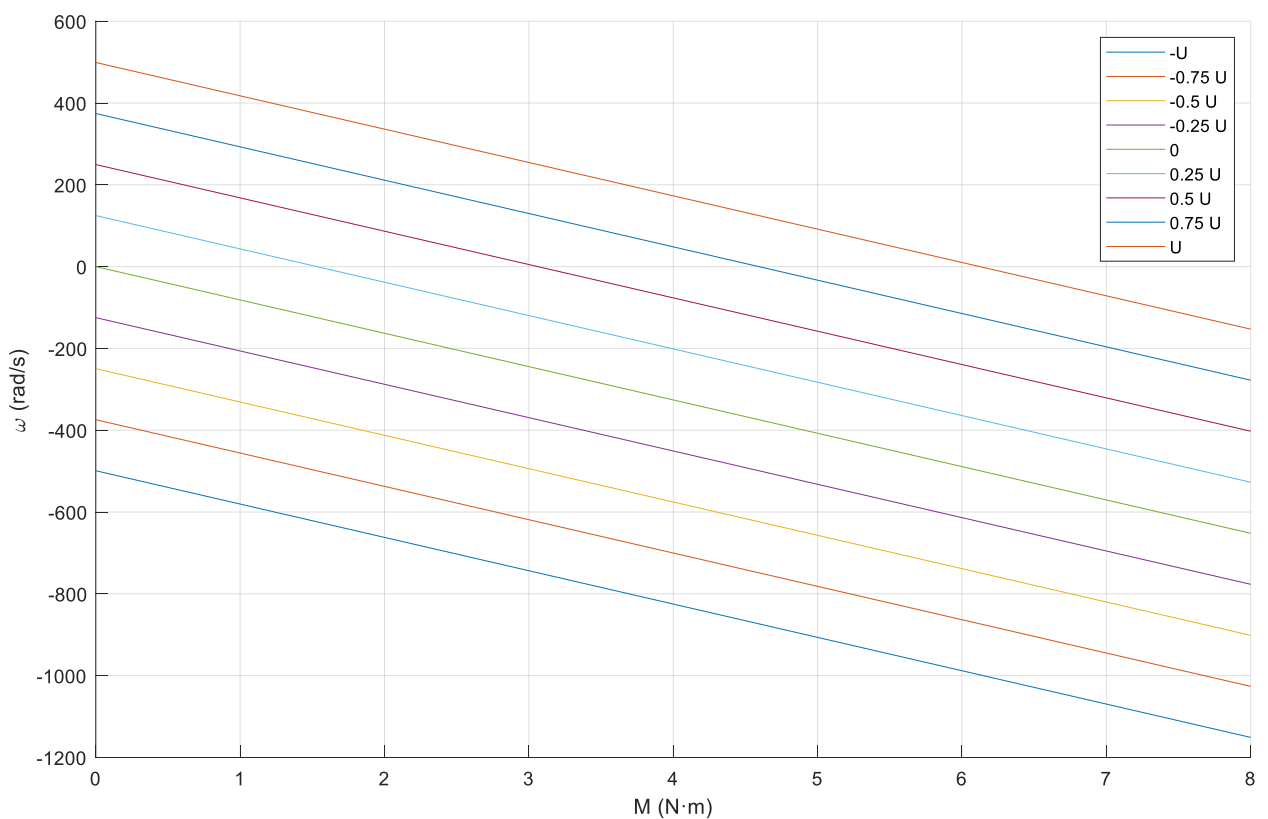


Рисунок 1 – семейство механических характеристик  $\omega(M)$  при регулировании напряжения питания

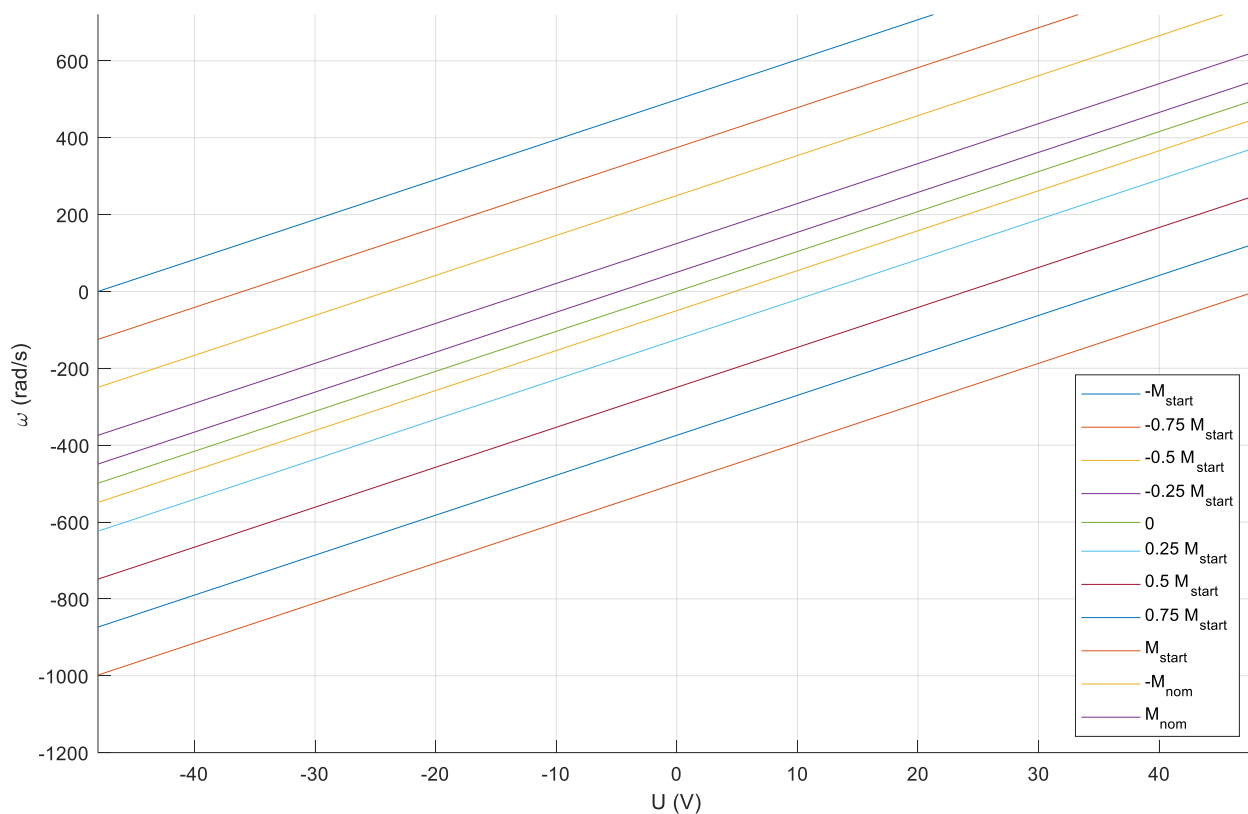


Рисунок 2 – семейство регулировочных характеристик  $\omega(U)$  при изменении напряжения питания  $U \in [-U_{\text{nom}}, U_{\text{nom}}]$

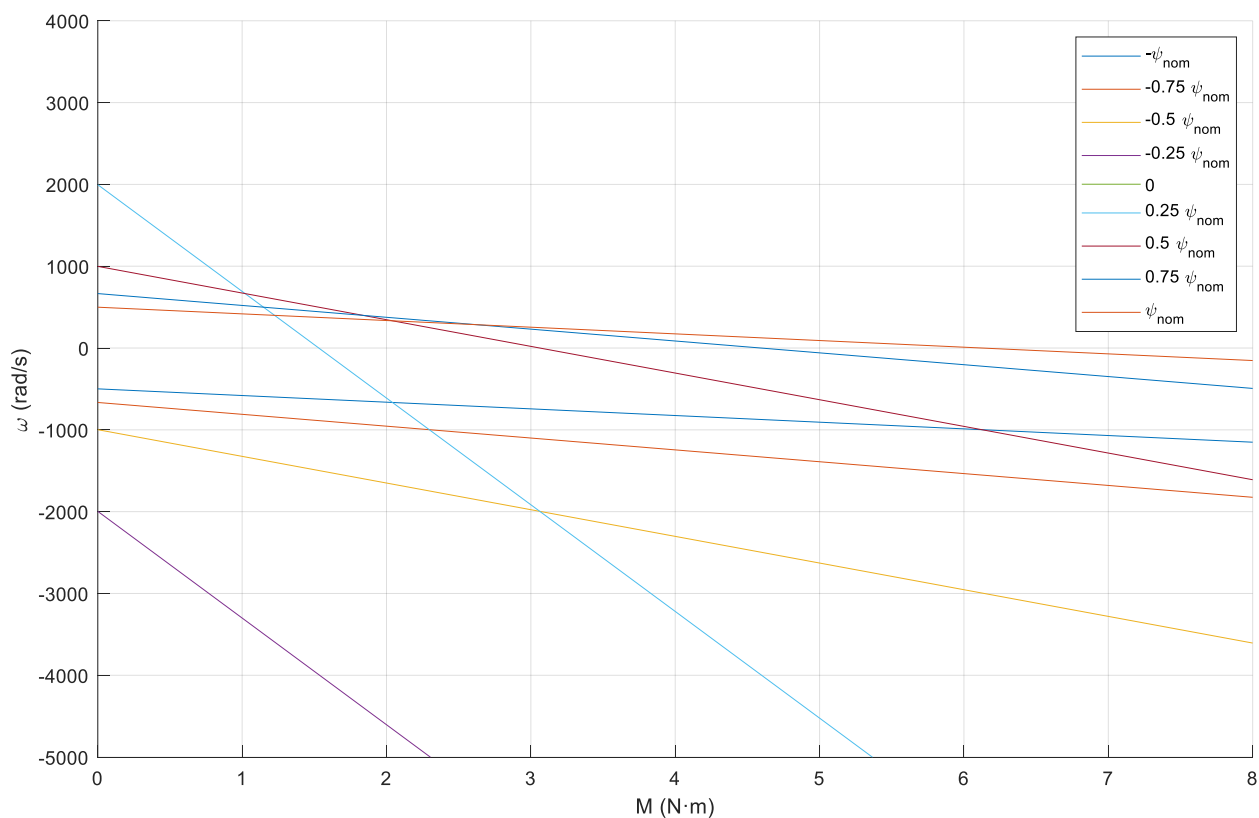


Рисунок 3 – семейство механических характеристик  $\omega(M)$  при регулировании магнитного потока

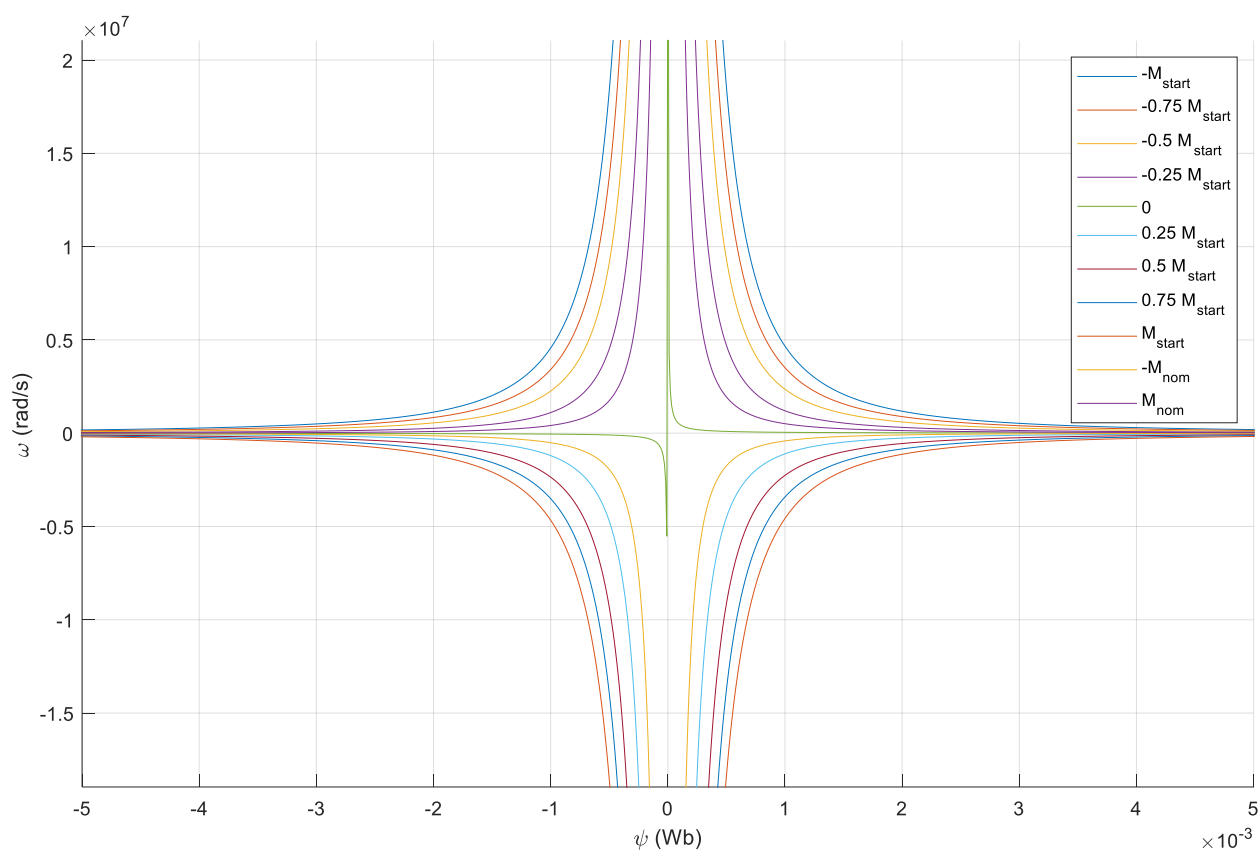


Рисунок 4 – семейство регулировочных характеристик  $\omega(\psi)$  при изменении потокосцепления  $\psi \in [-\psi_{nom}, \psi_{nom}]$

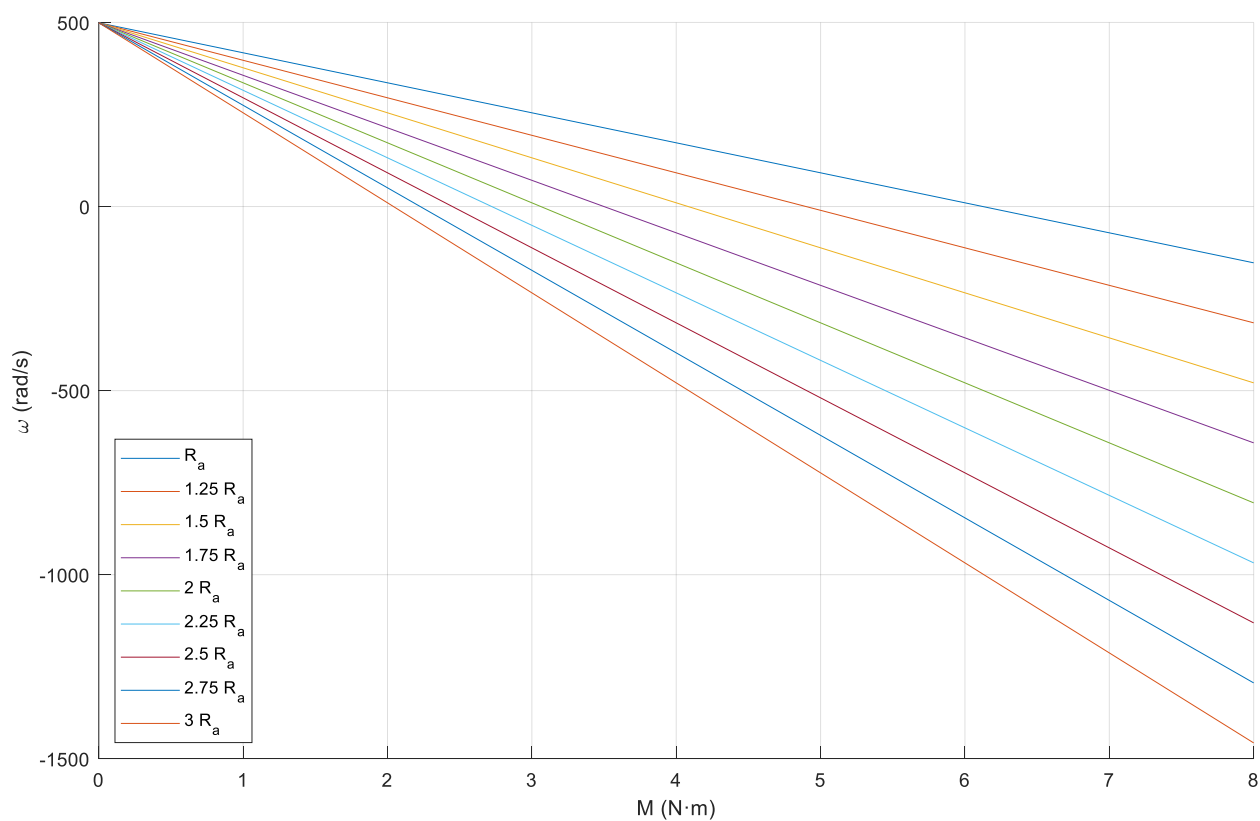


Рисунок 5 – семейство механических характеристик  $\omega(M)$  при регулировании сопротивления якоря

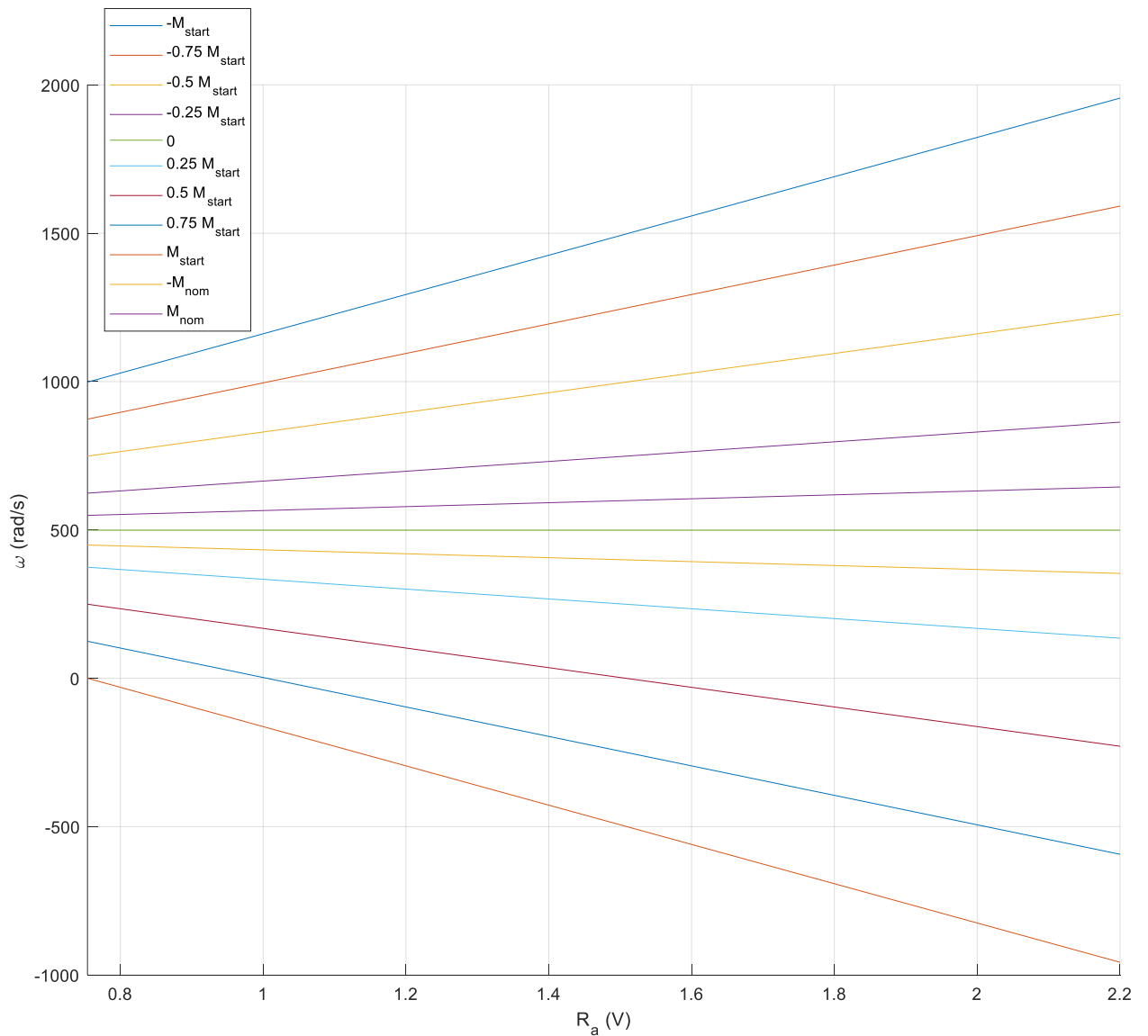


Рисунок 6 – семейство регулировочных характеристик при изменении сопротивления  
якоря  $r \in [R_a, 3 \cdot R_a]$

## Задание 2. Исследование динамических характеристик электропривода с ДПТ НВ

$$\frac{L_a R J}{R \psi^2} \ddot{w} + \frac{R J}{\psi^2} \dot{w} + w = \frac{1}{\psi} U$$

$$\text{где } T_m = \frac{R J}{\psi^2}, T_{\text{я}} = \frac{L_a}{R}, k_{\text{дв}} = \frac{1}{\psi}$$

$$T_m T_{\text{я}} \ddot{w} + T_m \dot{w} + w = k_{\text{дв}} U$$

$$W(s) = \frac{k_{\text{ДБ}}}{T_m T_{\text{я}} s^2 + T_m s + 1}$$

## Аналитическое выражение для корней характеристического уравнения

$$\alpha_{1,2} = \frac{-T_m \pm \sqrt{T_m^2 - 4T_m T_{\text{я}}}}{2T_m T_{\text{я}}}$$

Переходные процессы по скорости будут иметь колебательный характер при наличии колебательных мод в корнях уравнения.

Корни характеристического уравнения  $\alpha_1 = -204.626$ ;  $\alpha_2 = -22.27$

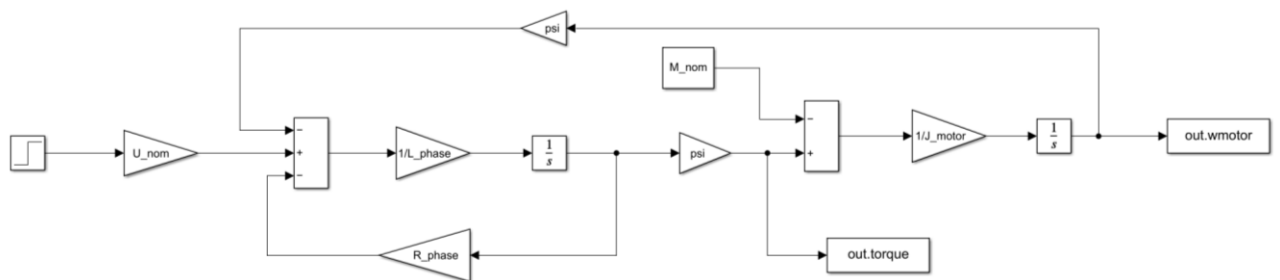


Рисунок 7 – схема моделирования ДПТ в Simulink

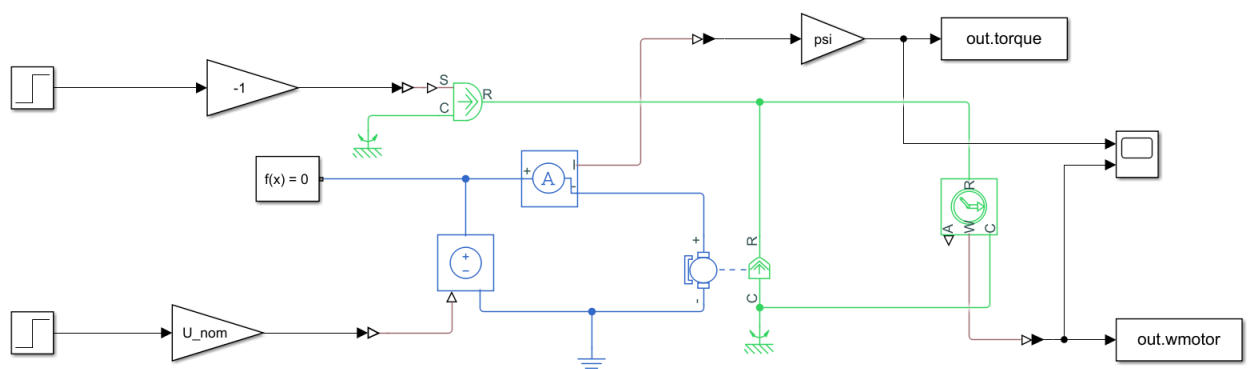


Рисунок 8 – схема моделирования ДПТ в Simscape

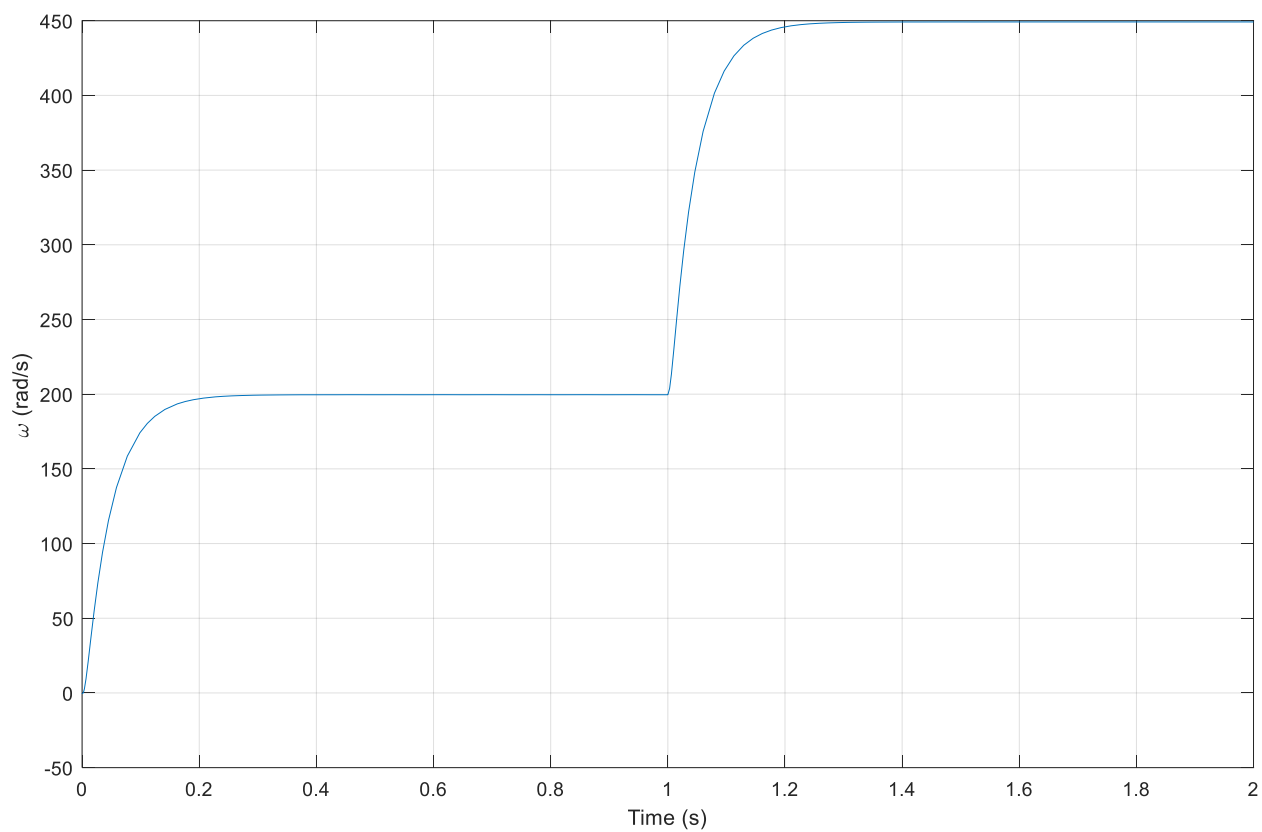


Рисунок 9 – график Simulink скорости ДПТ при скачке управляющего воздействия

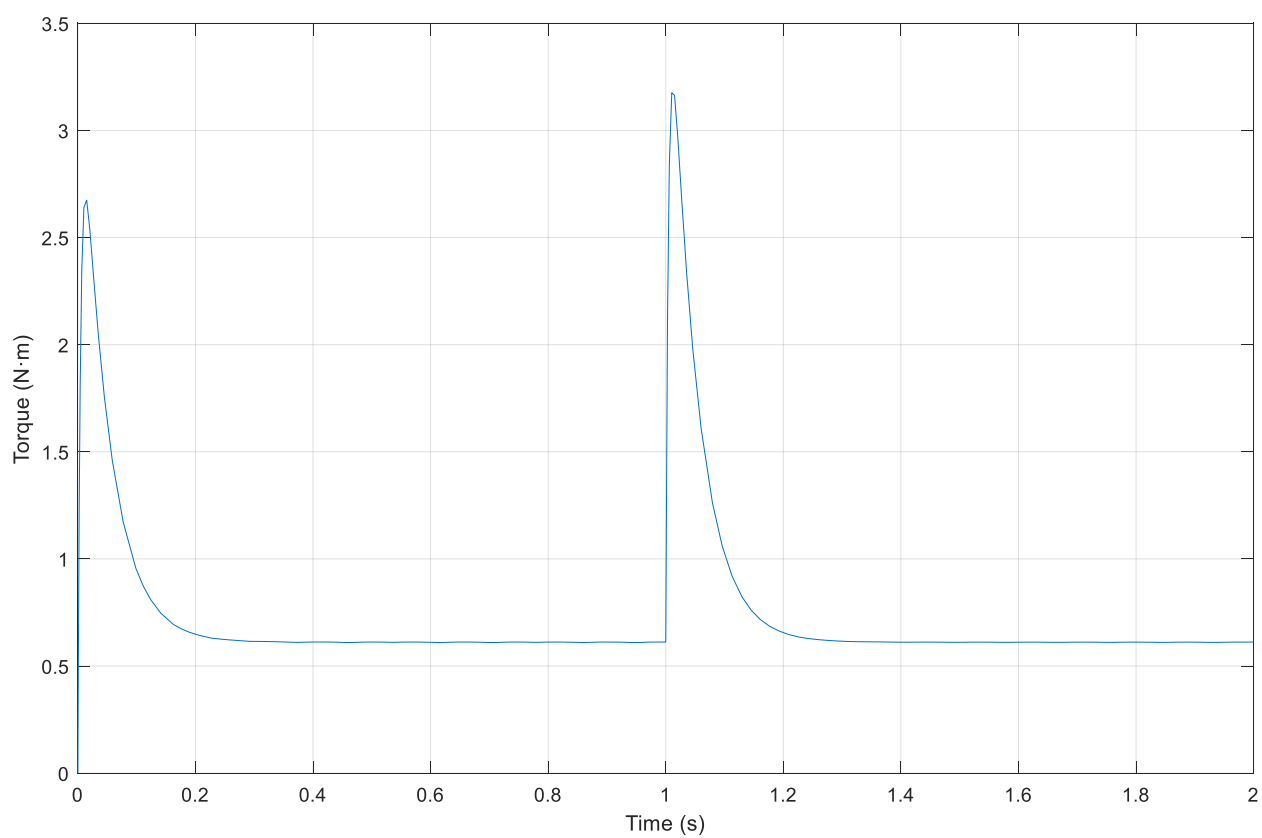


Рисунок 10 – график Simulink момента ДПТ при скачке управляющего воздействия

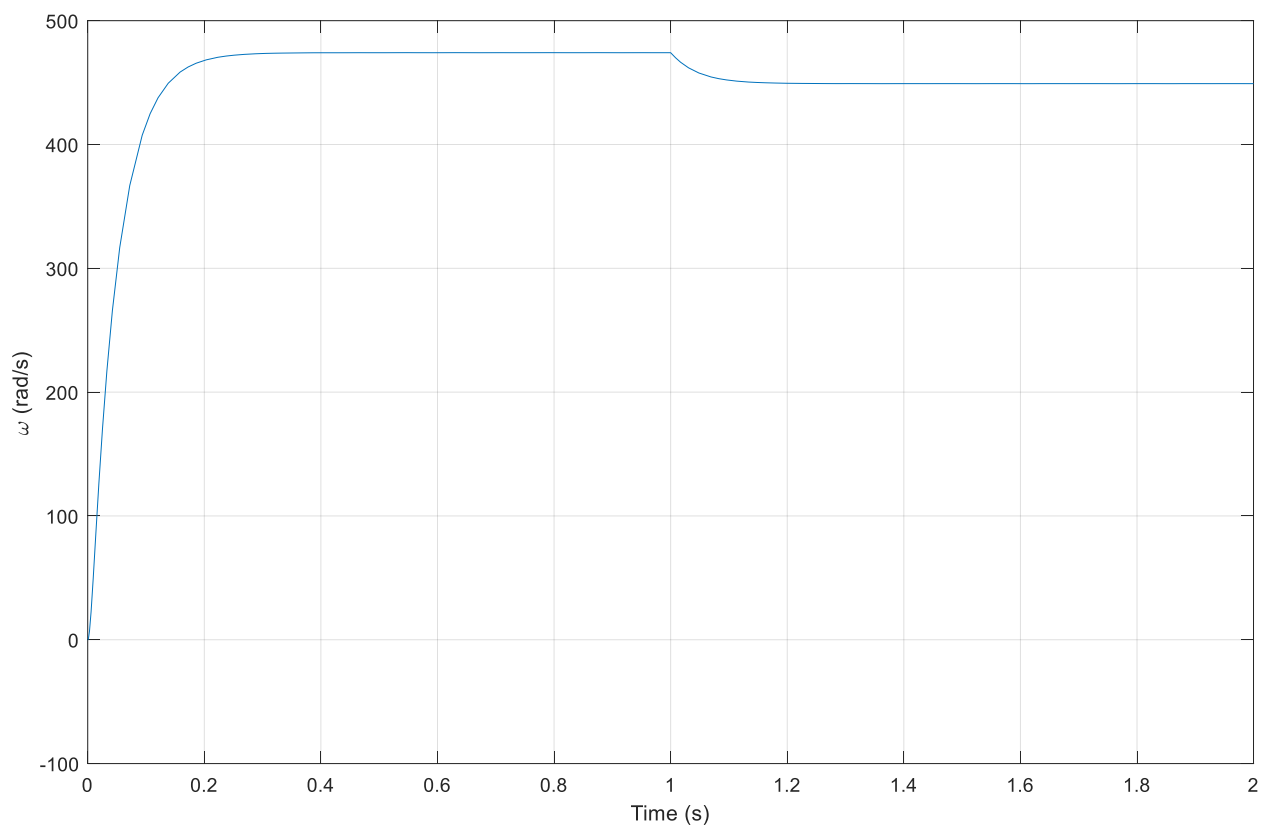


Рисунок 11 – график Simulink скорости ДПТ при скачке нагрузки

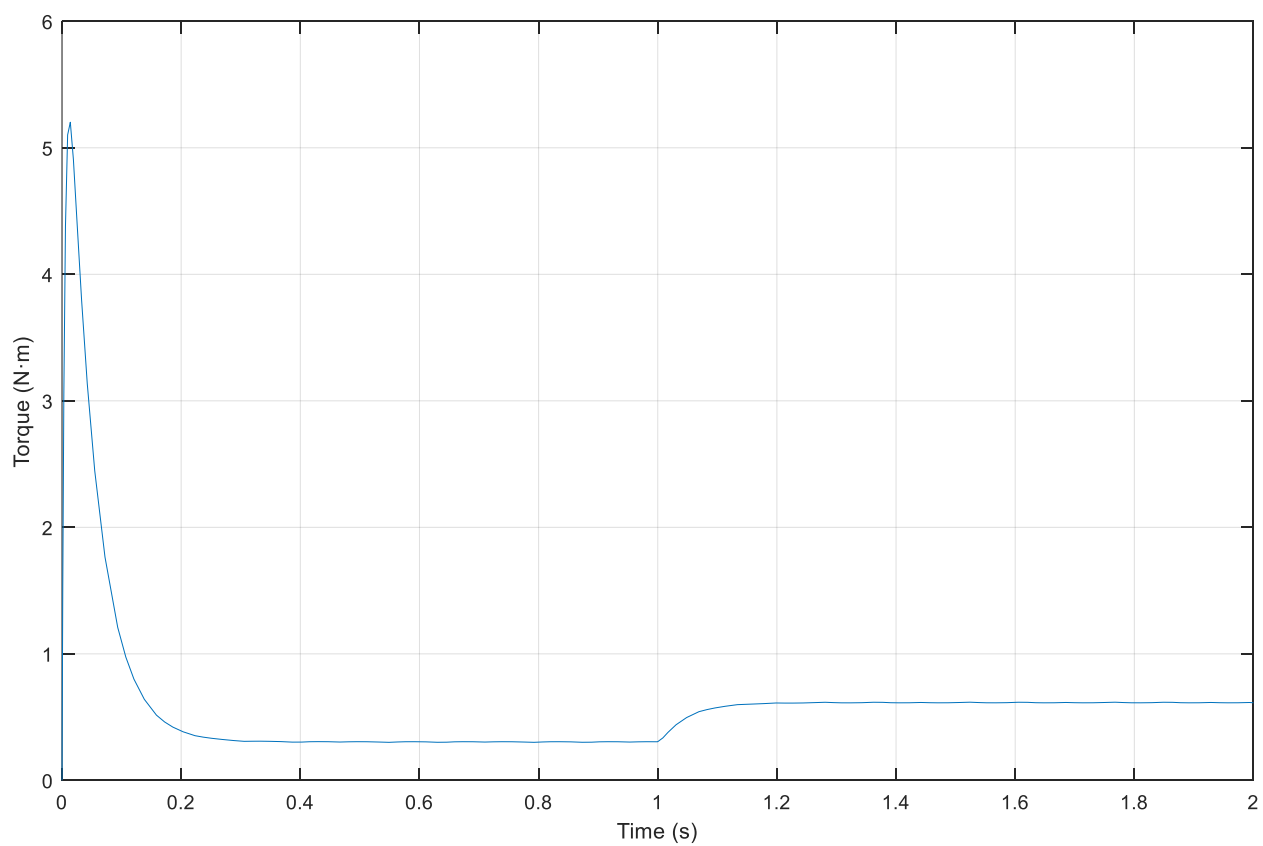


Рисунок 12 – график Simulink момента ДПТ при скачке нагрузки



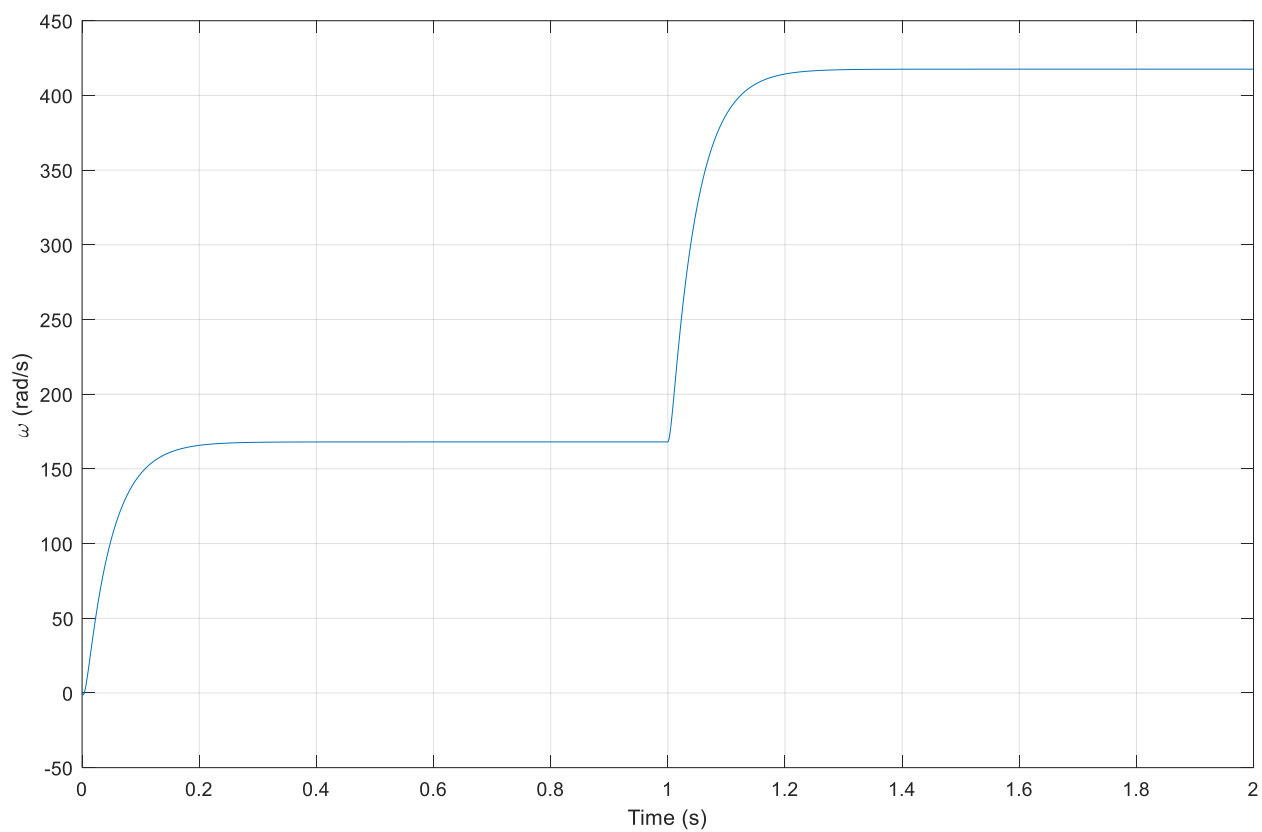


Рисунок 13 – график Simscape скорости ДПТ при скачке управляющего воздействия

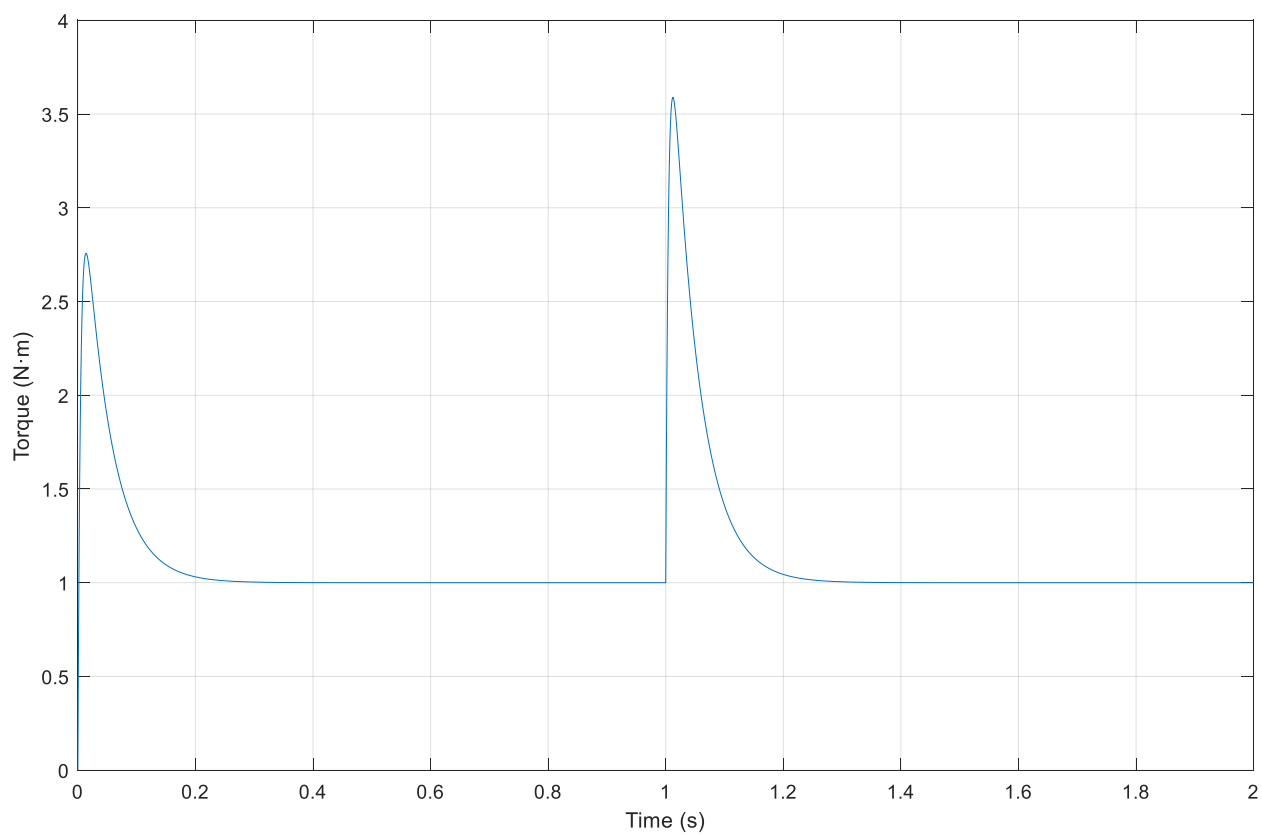


Рисунок 14 – график Simscape момента ДПТ при скачке управляющего воздействия

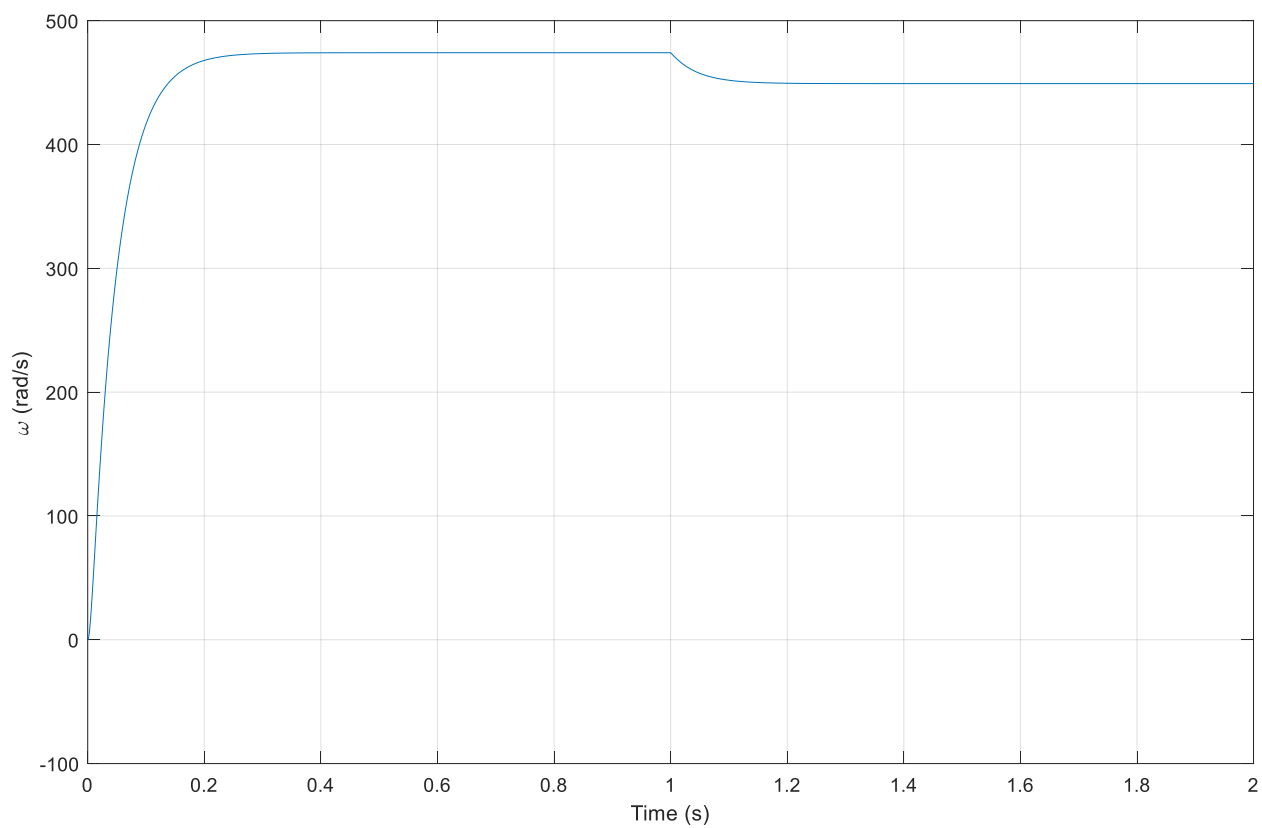


Рисунок 15 – график Simscare скорости ДПТ при скачке нагрузки

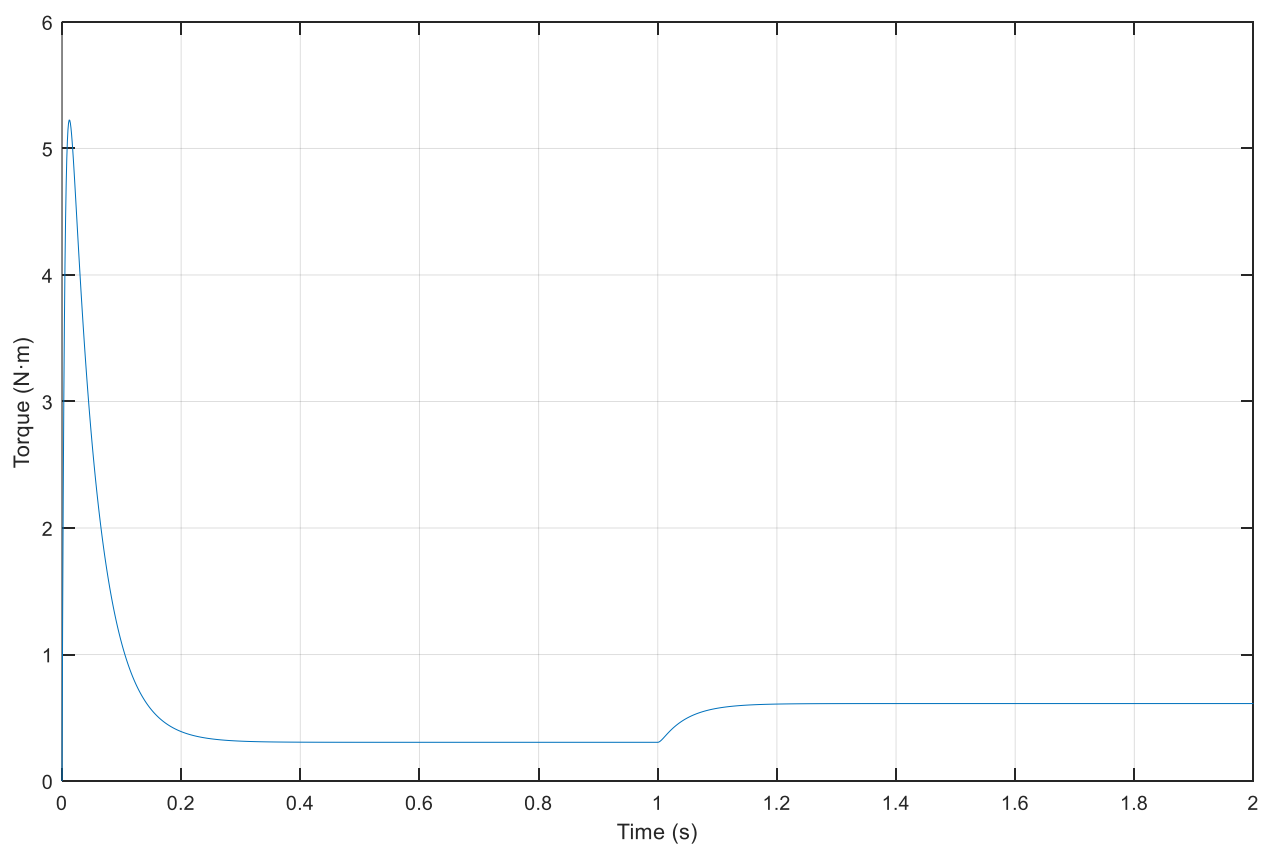


Рисунок 16 – график Simscare момента ДПТ при скачке нагрузки

### Задание 3. Синтезировать систему регулирования скорости ДПТ НВ

#### Одноконтурная система

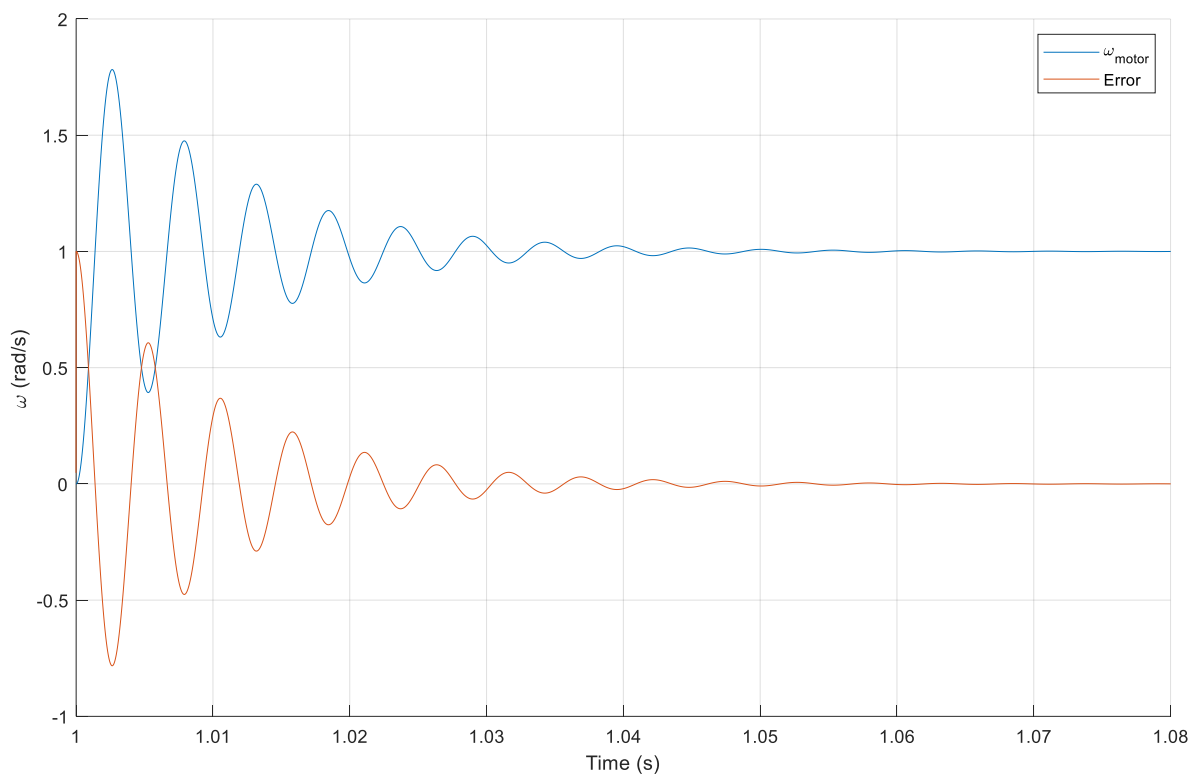


Рисунок 17 – график при скачке скорости одноконтурной системы управления с ПИД-регулятором

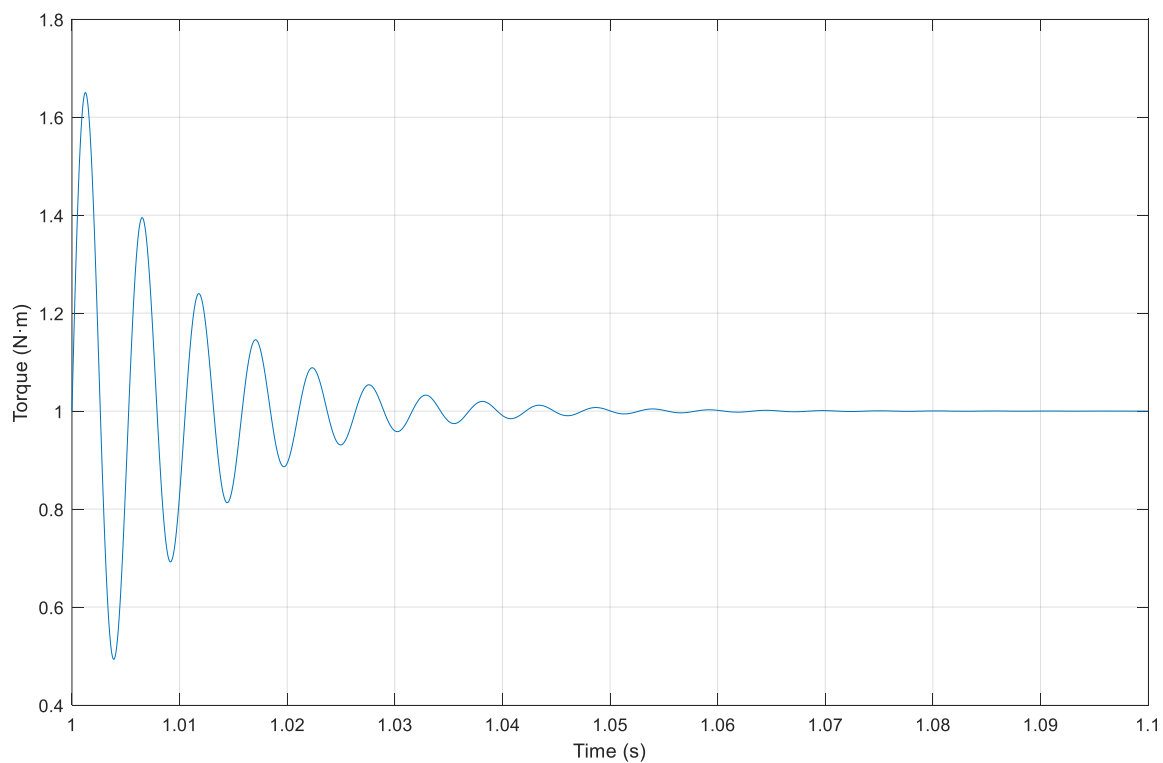


Рисунок 18 – график момента при скачке скорости одноконтурной системы управления с ПИД-регулятором

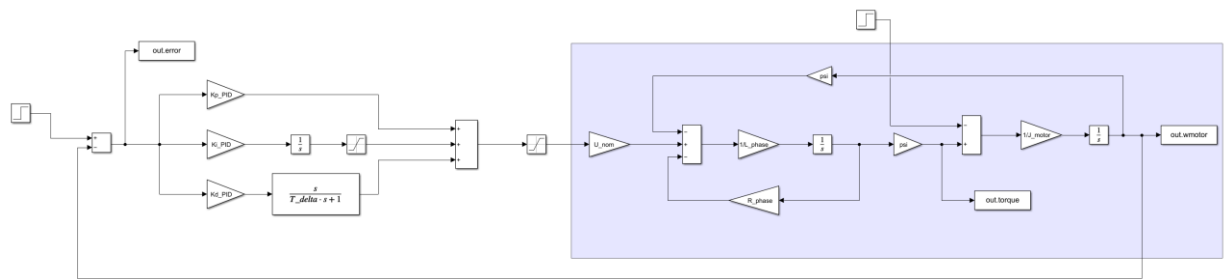


Рисунок 19 – схема одноконтурной СУ

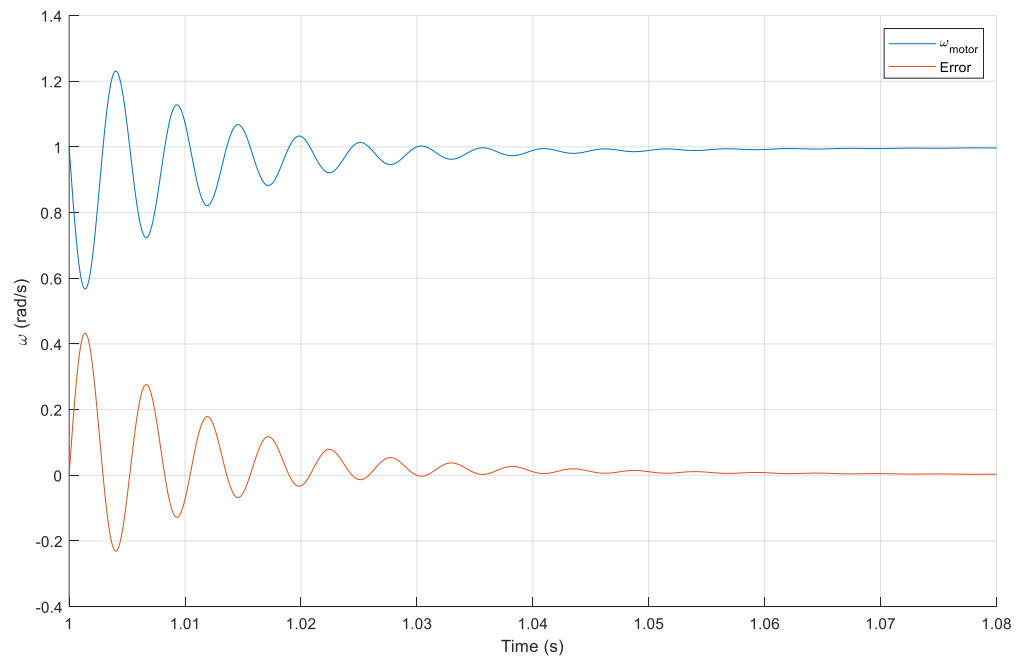


Рисунок 20 – график скорости при скачке момента одноконтурной системы управления

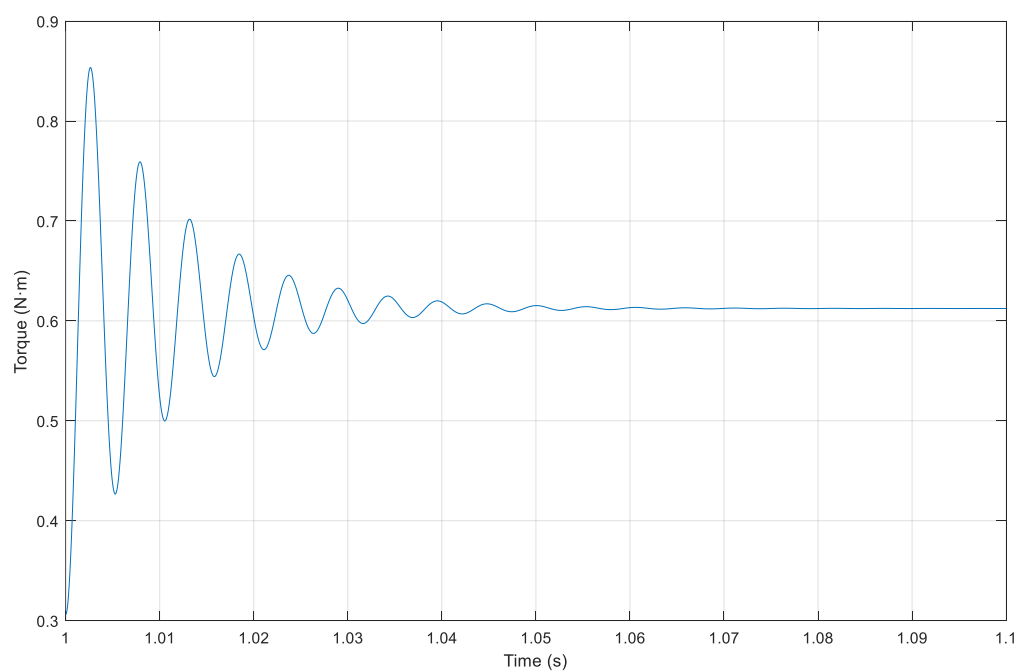


Рисунок 21 – график при скачке момента одноконтурной системы управления

## Двухконтурная система

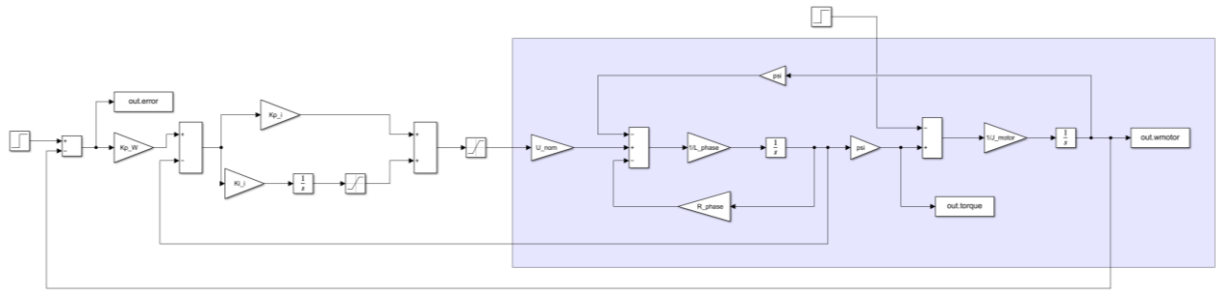


Рисунок 22 – схема двухконтурной СУ

### Настройка контура тока:

Линейным оптимум:

$$W_{ol} = \frac{1}{T_T \cdot s}$$

Передаточная функция от управляющего сигнала к току якоря:

$$W_{ob} = \frac{\frac{Ku}{r}}{T_e \cdot s + 1}$$

Регулятор:

$$\frac{W_{ol}}{W_{ob}} = \frac{T_e \cdot s + 1}{\frac{Ku}{r} \cdot T_T \cdot s}$$

$$Kp = \frac{T_e \cdot r}{T_T \cdot Ku} = 0.0196 \quad Ki = \frac{r}{T_T \cdot Ku \cdot s} = 4.45$$

### Настройка контура скорости:

Технический оптимум:

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

Передаточная функция от задания по току якоря к скорости вращения:

$$W_{ob} = \frac{\psi}{J \cdot s(T_T \cdot s + 1)}$$

Регулятор:

$$\frac{W_{ol}}{W_{ob}} = \frac{J \cdot s(T_T \cdot s + 1)}{2T_\mu \psi \cdot s(T_\mu \cdot s + 1)} = \frac{J}{2T_\mu \psi} = Kpw = 0.9$$

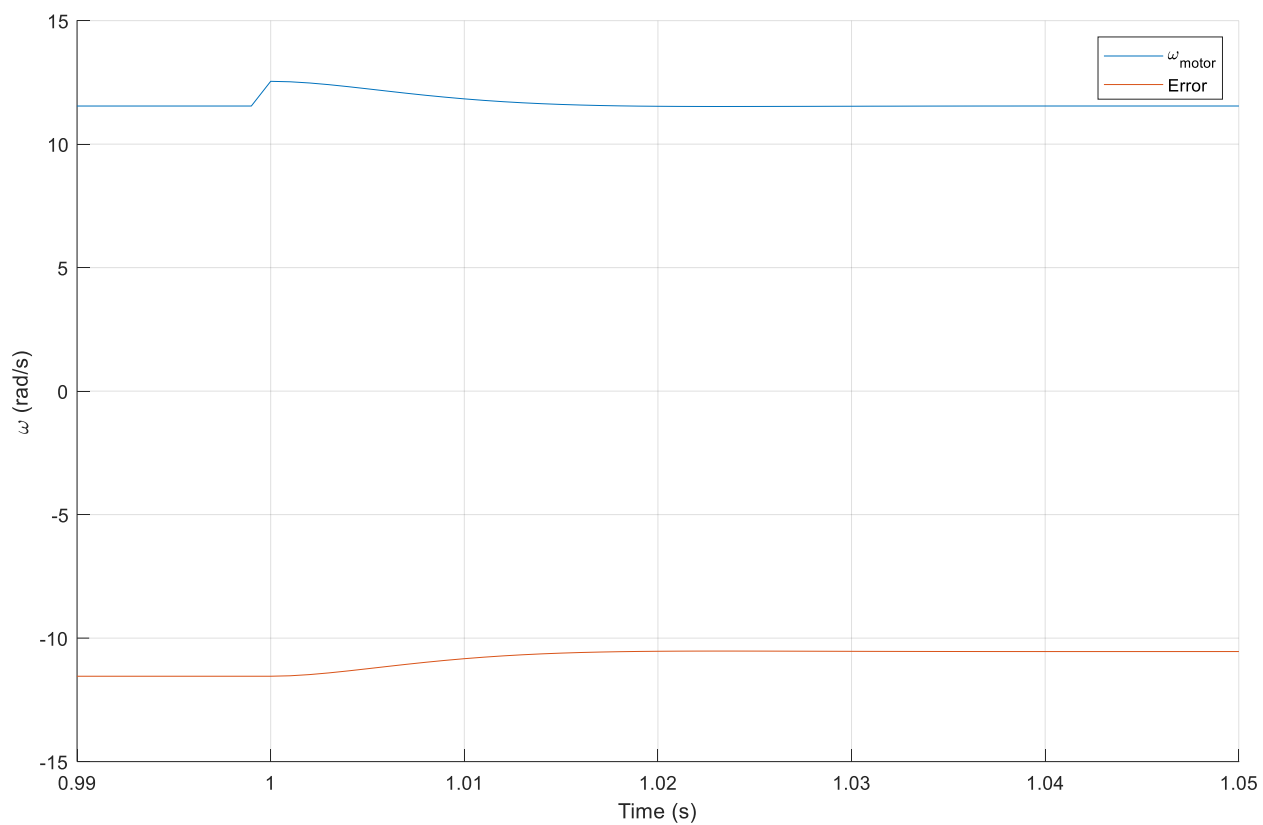


Рисунок 23 – график при скачке скорости двухконтурной системы управления

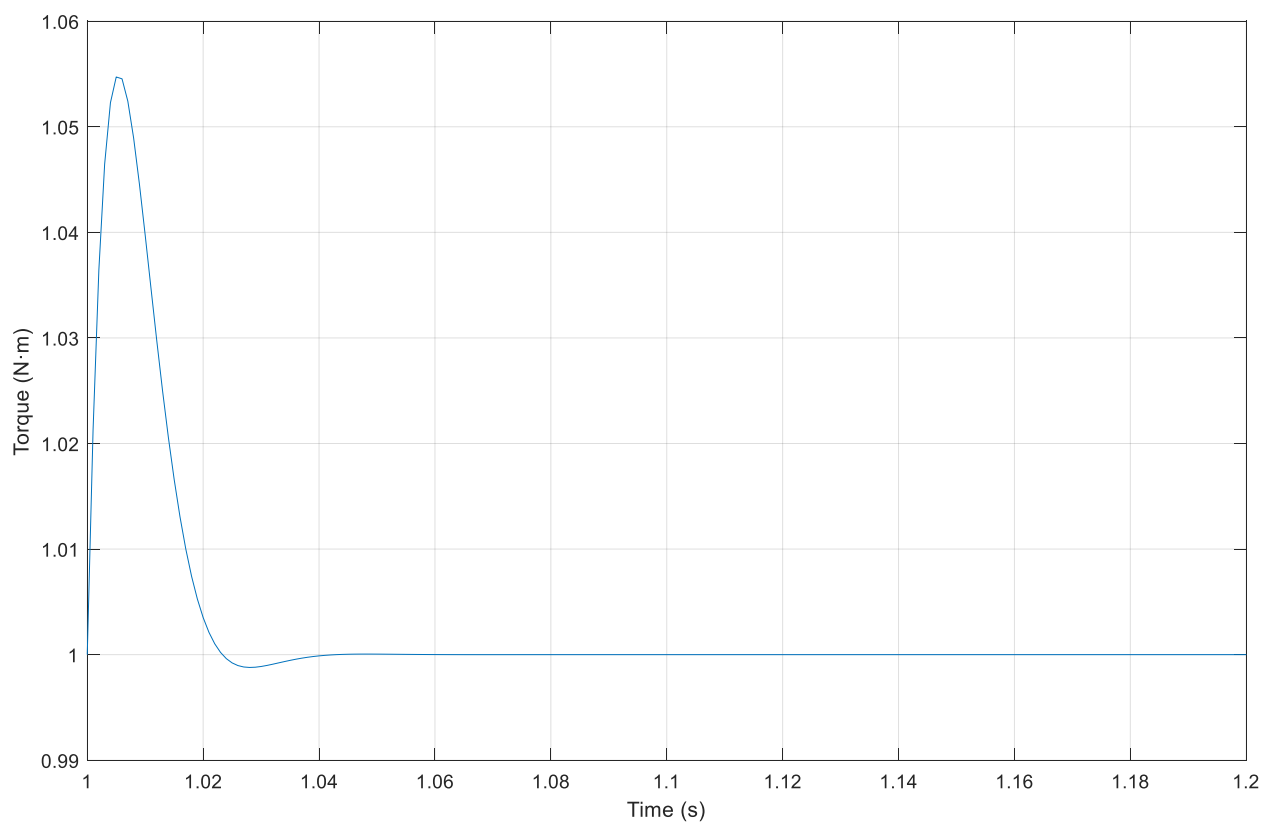


Рисунок 24 – график момента при скачке скорости двухконтурной системы управления

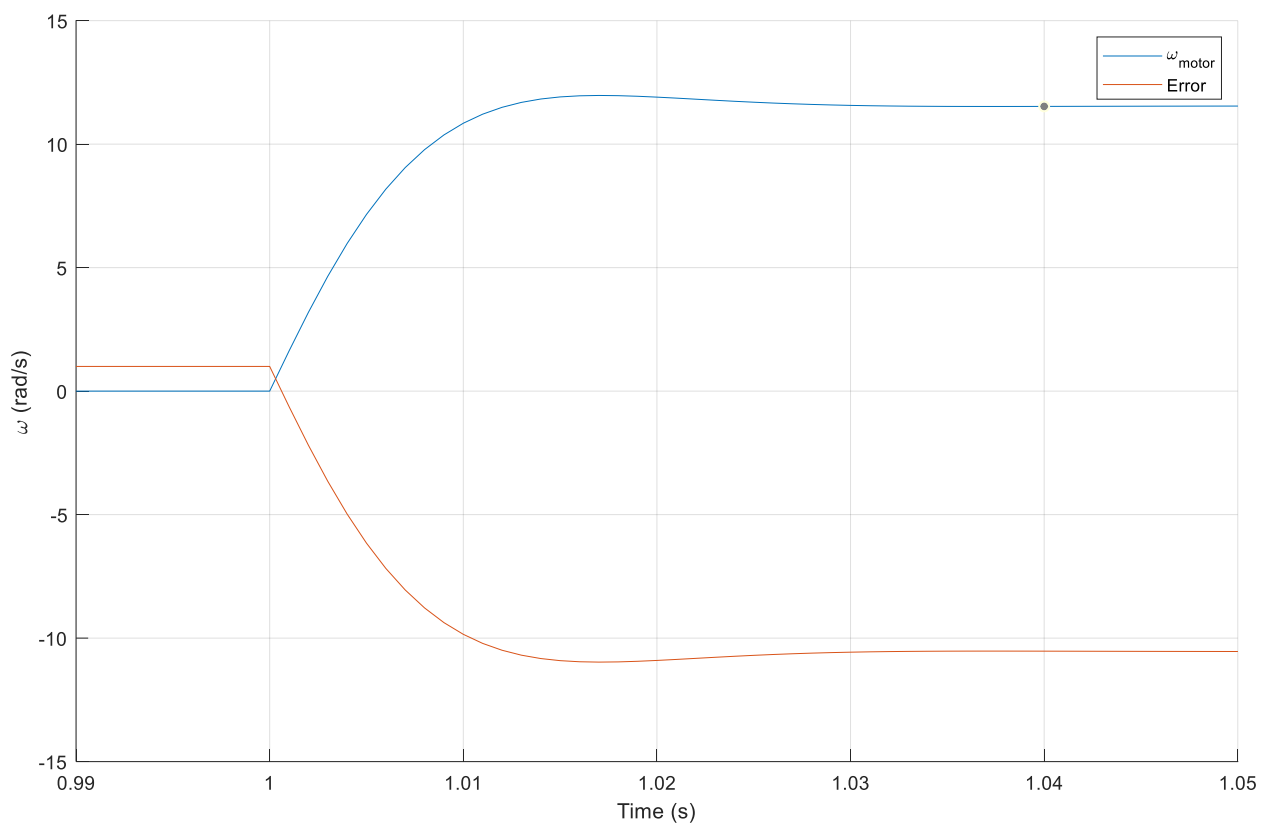


Рисунок 25 – график скорости при скачке момента двухконтурной системы управления

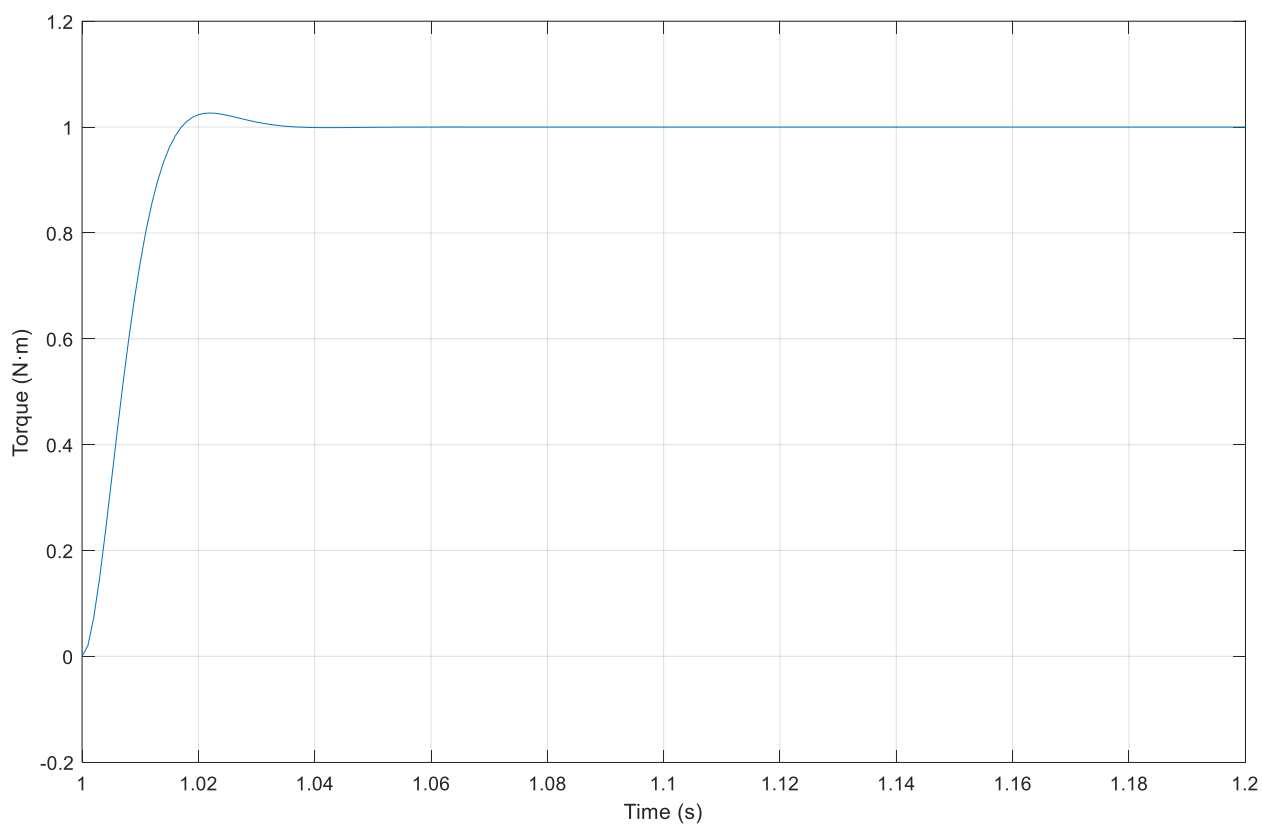


Рисунок 26 – график при скачке момента двухконтурной системы управления

## Двухконтурная система управления с дополнительным контуром

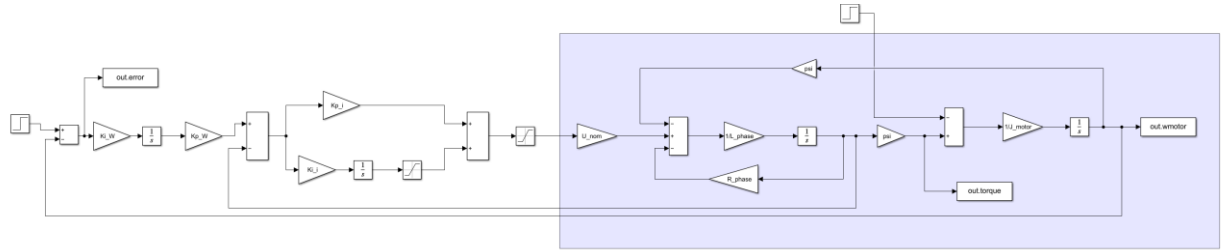


Рисунок 27 – схема двухконтурной СУ с дополнительным контуром

### Настройка контура дополнительного контура:

Технический оптимум:

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

Передаточная функция от задания по скорости к скорости вращения:

$$W_{ob} = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s + 1}$$

Регулятор:

$$\frac{W_{ol}}{W_{ob}} = \frac{2 \cdot T_{\mu} \cdot s + 1}{4T_{\mu} \cdot s(2T_{\mu} \cdot s + 1)} = \frac{1}{4T_{\mu}s} = Kp_w = 4.32$$

$$Kp_w = 4.32 \quad Kp_i = 0.0468 \quad Ki_i = 0.0044 \quad Ki_w = 0.0059$$

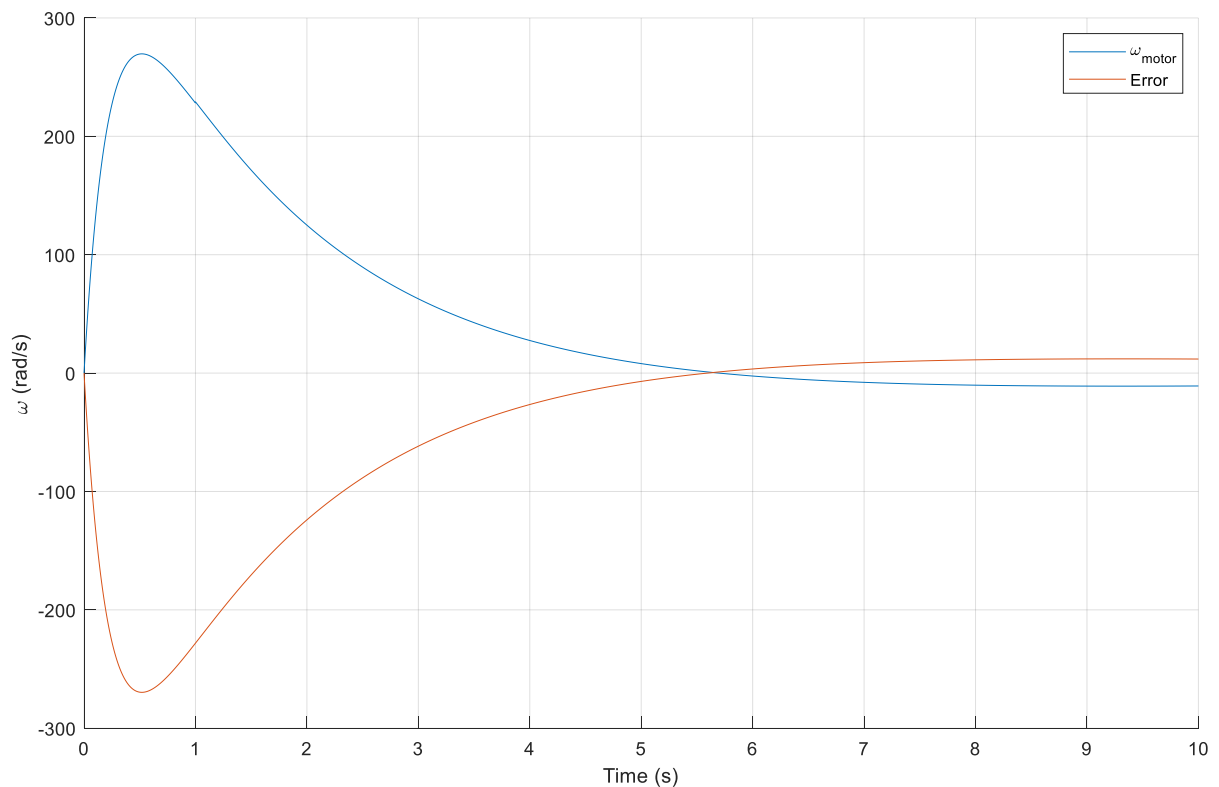


Рисунок 28 – график скорости при скачке момента двухконтурной СУ с дополнительным контуром



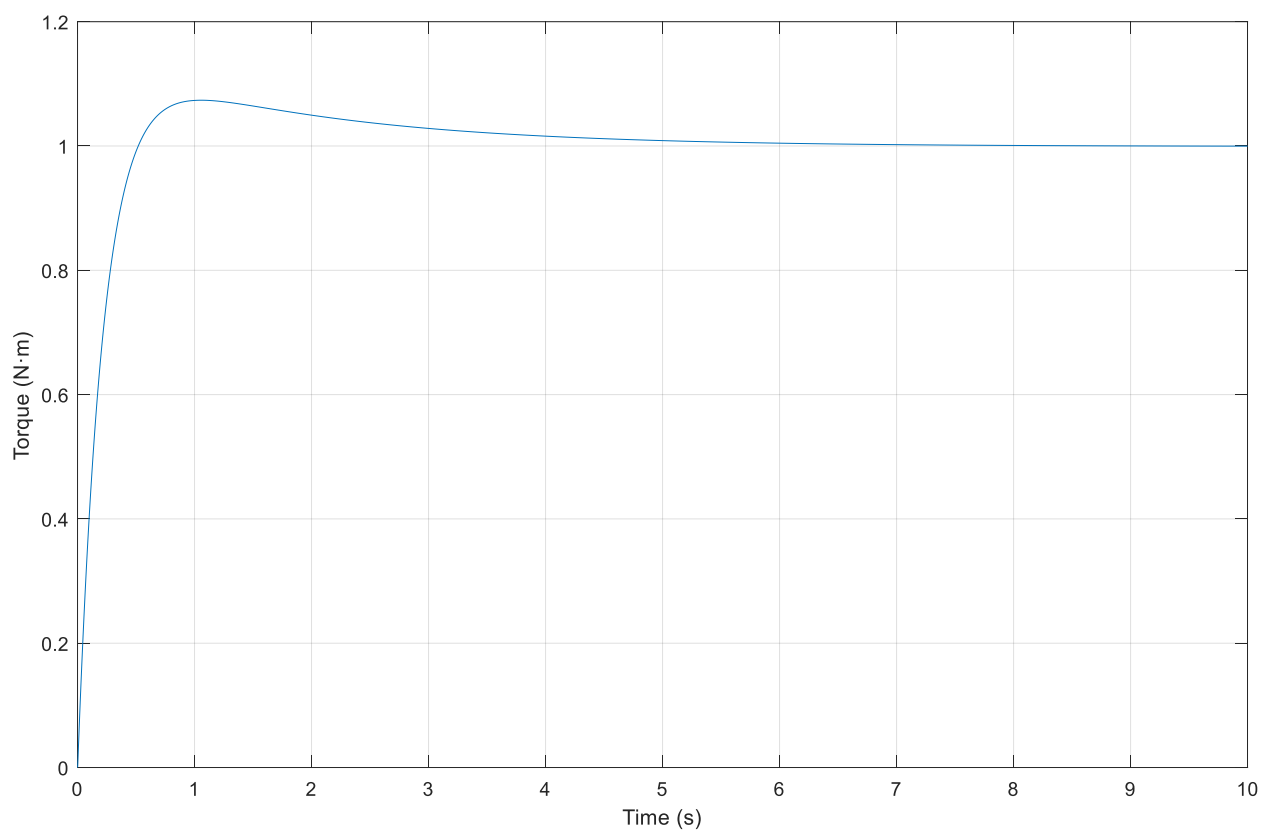


Рисунок 29 - график при скачке момента двухконтурной СУ с дополнительным контуром

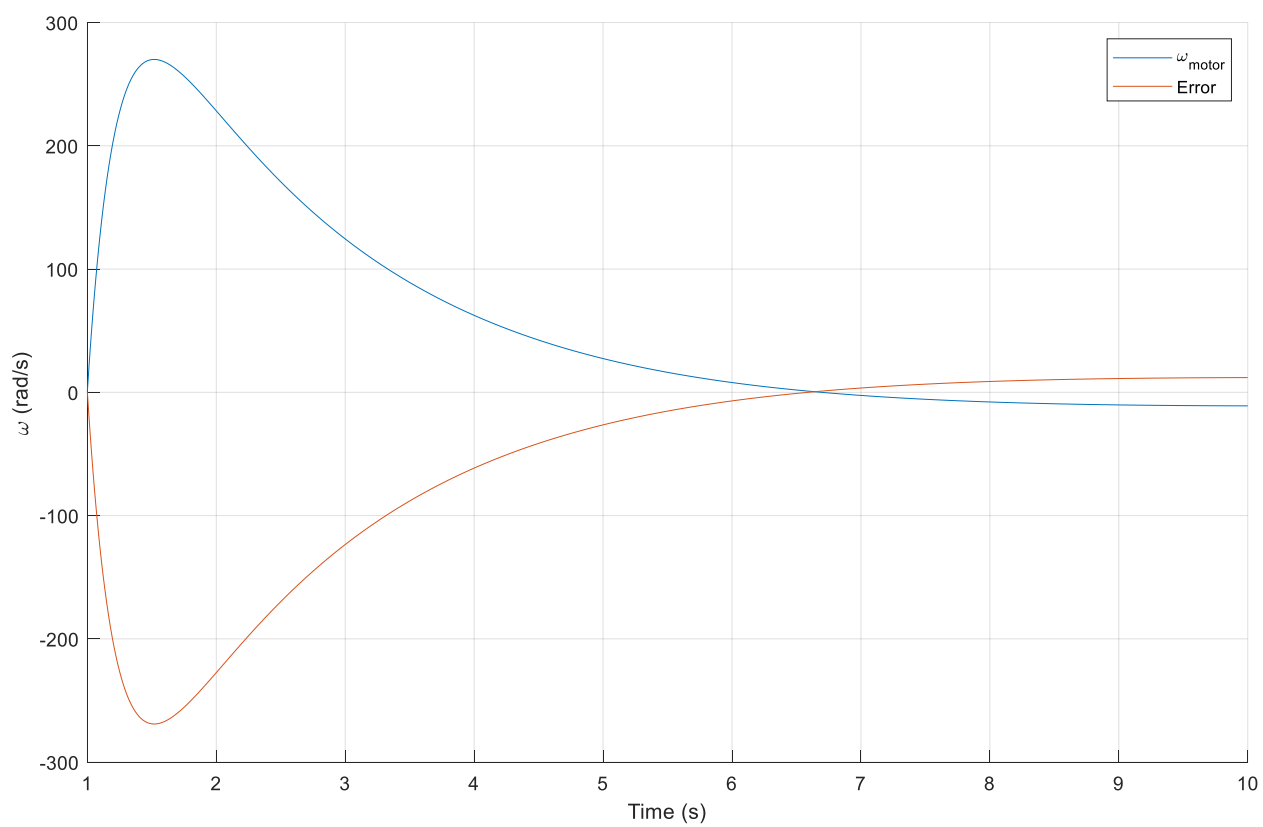


Рисунок 30 – график при скачке скорости двухконтурной СУ с дополнительным контуром

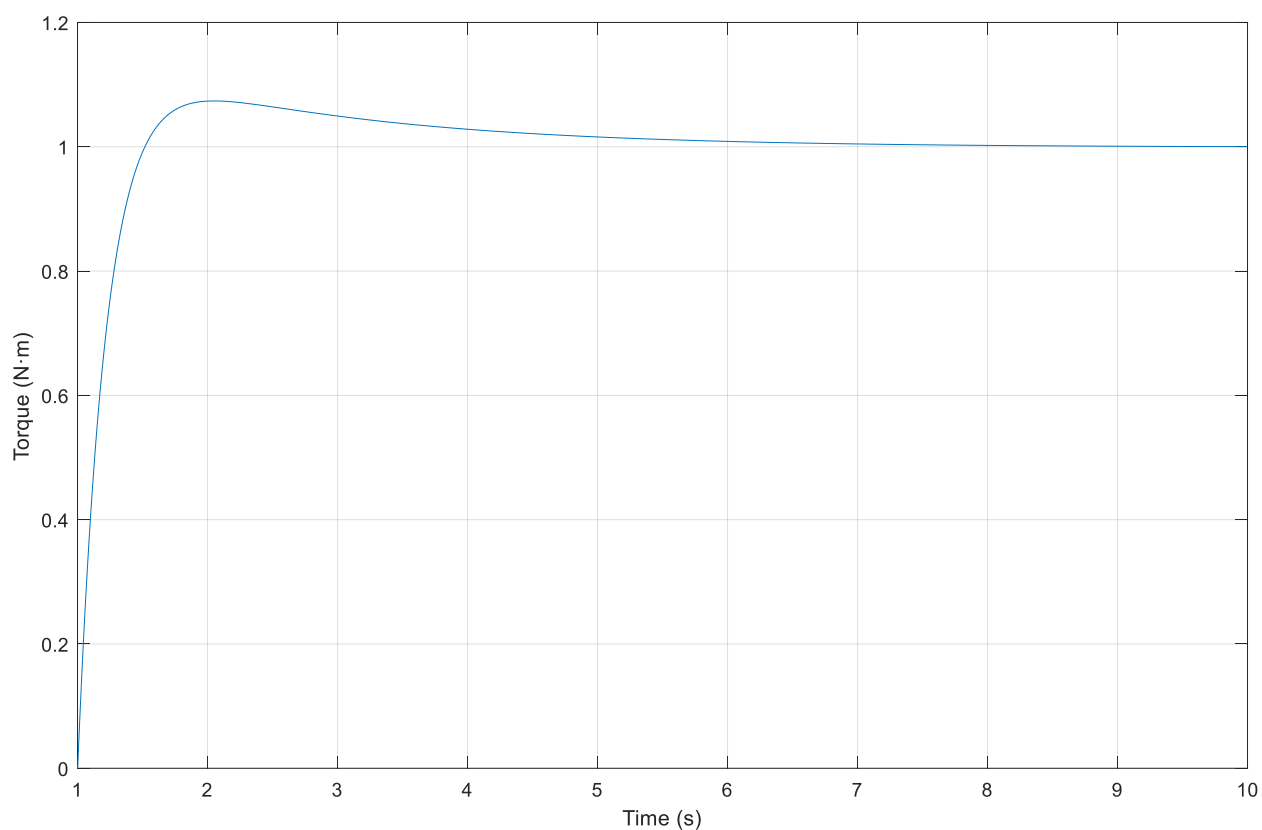


Рисунок 31 – график момента при скачке скорости двухконтурной СУ с дополнительным контуром

## Вывод

В данной работе были успешно исследованы статические и динамические характеристики электропривода с ДПТ НВ. Далее, были синтезированы системы регулирования скорости ДПТ НВ с ПИД-регулятором, а также двухконтурные системы. Из-за разных порядков астатизма имелась и различная устойчивость систем.