

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
по курсу «Электрические машины»
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ДПТ НЕЗАВИСИМОГО
ВОЗБУЖДЕНИЯ

Вариант № 4

Авторы работы: Кирбаба Д.Д.

Группа: R3438

Преподаватель: Маматов А.Г.

Санкт-Петербург

2023

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| 1. Цель работы | 3 |
| 2. Данные для расчета | 3 |
| 3. Ход работы | 3 |
| 1. Исследование статических характеристик электропривода с ДПТ НВ ... | 3 |
| Семейство механических характеристик при регулировании напряжения питания | 4 |
| Семейство регулировочных характеристик при регулировании напряжения питания | 5 |
| Семейство механических характеристик при регулировании магнитного потока..... | 6 |
| Семейство регулировочных характеристик при изменении потокосцепления..... | 7 |
| Семейство механических характеристик при регулировании сопротивления якоря | 8 |
| Семейство регулировочных характеристик при изменении сопротивления якоря | 9 |
| 2. Исследование динамических характеристик электропривода с ДПТ НВ | 9 |
| Расчет передаточной функции от напряжения якоря к скорости вращения двигателя | 9 |
| Аналитическое выражение для корней характеристического уравнения | 10 |
| Передаточная функция от напряжения якоря к току двигателя | 10 |
| Передаточная функция от момента нагрузки к скорости вращения двигателя | 11 |
| Передаточная функция от момента нагрузки к току двигателя..... | 11 |
| Моделирование ДПТ НВ | 11 |
| Графики скорости момента и момента двигателя при скачке управляющего воздействия (напряжения) и при скачке момента нагрузки | 12 |
| 3. Синтезирование одноконтурной системы регулирования скорости ДПТ НВ | 16 |
| 4. Выводы | 20 |

1. Цель работы

Исследование электропривода с ДПТ независимого возбуждения.

2. Данные для расчета

| Ψ_{nom} | R_a | L_a | U_{nom} | M_{nom} | J |
|--------------|-------|--------|-----------|-----------|-----------|
| 0.227 | 0.32 | 0.0058 | 48.0 | 2.6 | 0.0145413 |

Ψ_{nom} – номинальное потокоцепление,

R_a – активное сопротивление обмотки якоря,

L_a – индуктивность обмотки якоря,

U_{nom} – номинальное напряжение,

M_{nom} – номинальный момент,

J – момент инерции вала.

3. Ход работы

1. Исследование статических характеристик электропривода с ДПТ НВ

Механическая характеристика:

$$\omega = \frac{U}{\Psi} - \frac{r}{\Psi^2} M = \omega_0 - \frac{M}{h}$$

Семейство механических характеристик при регулировании напряжения питания

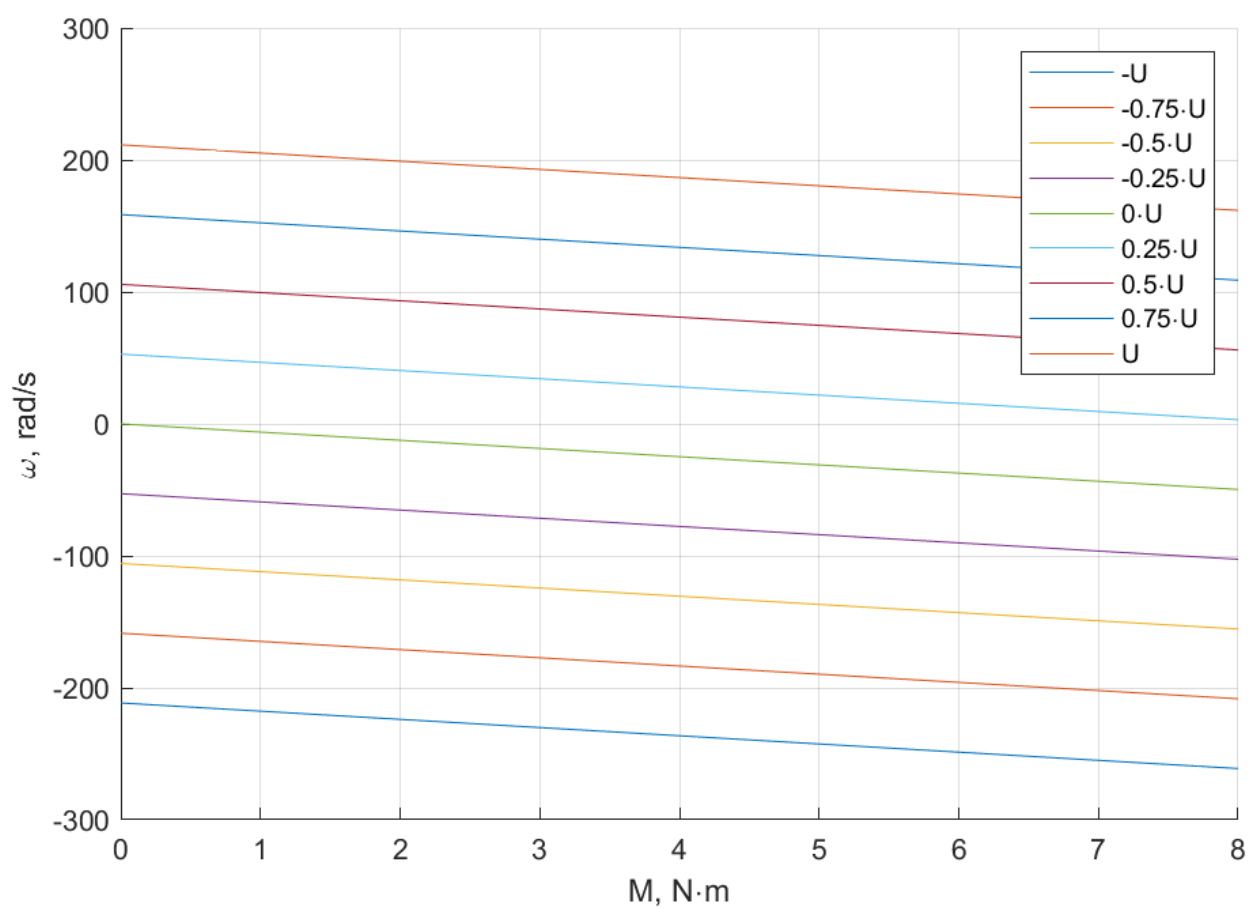


Рисунок 1. Механические характеристики при регулировании напряжения питания.

Семейство регулировочных характеристик при регулировании напряжения питания

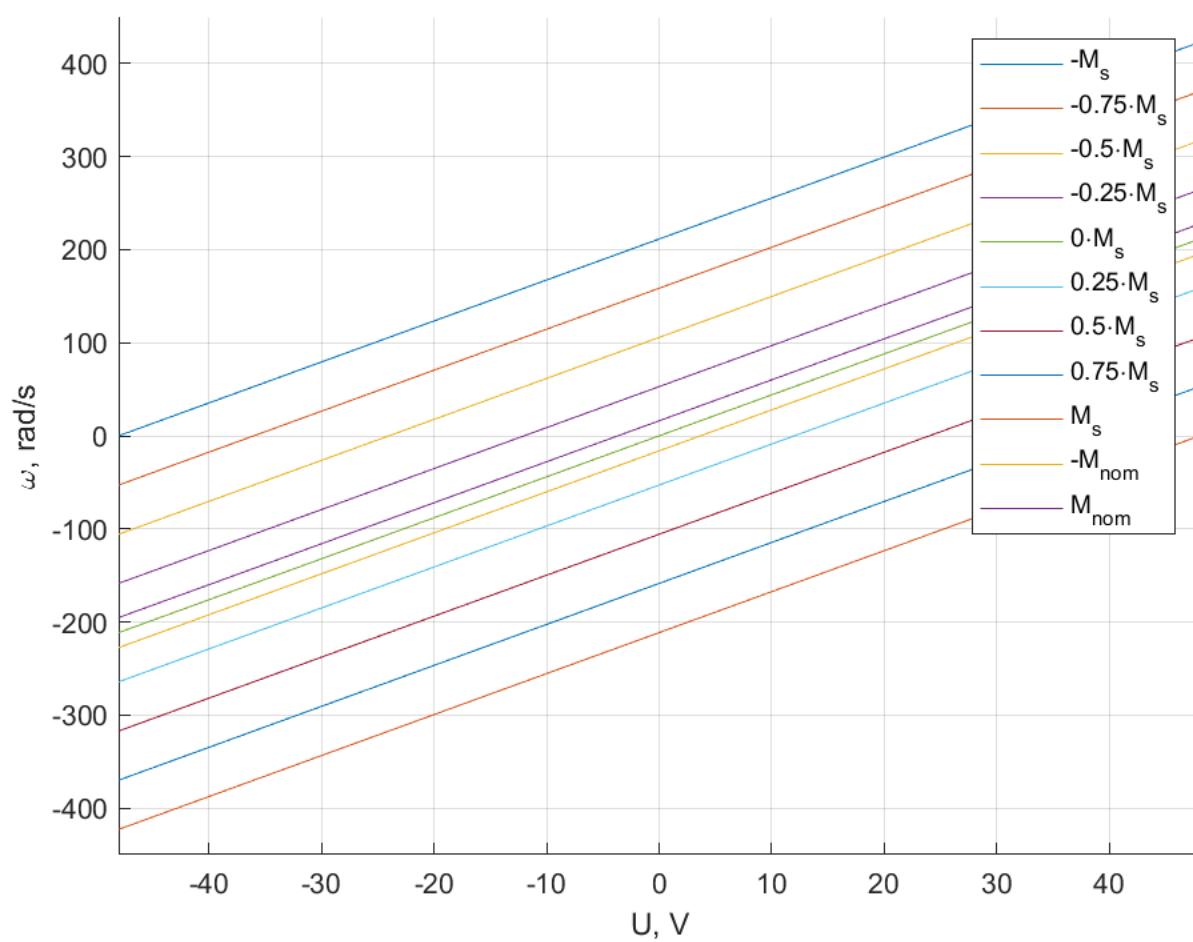


Рисунок 2. Регулировочные характеристики при регулировании напряжения питания.

Семейство механических характеристик при регулировании магнитного потока

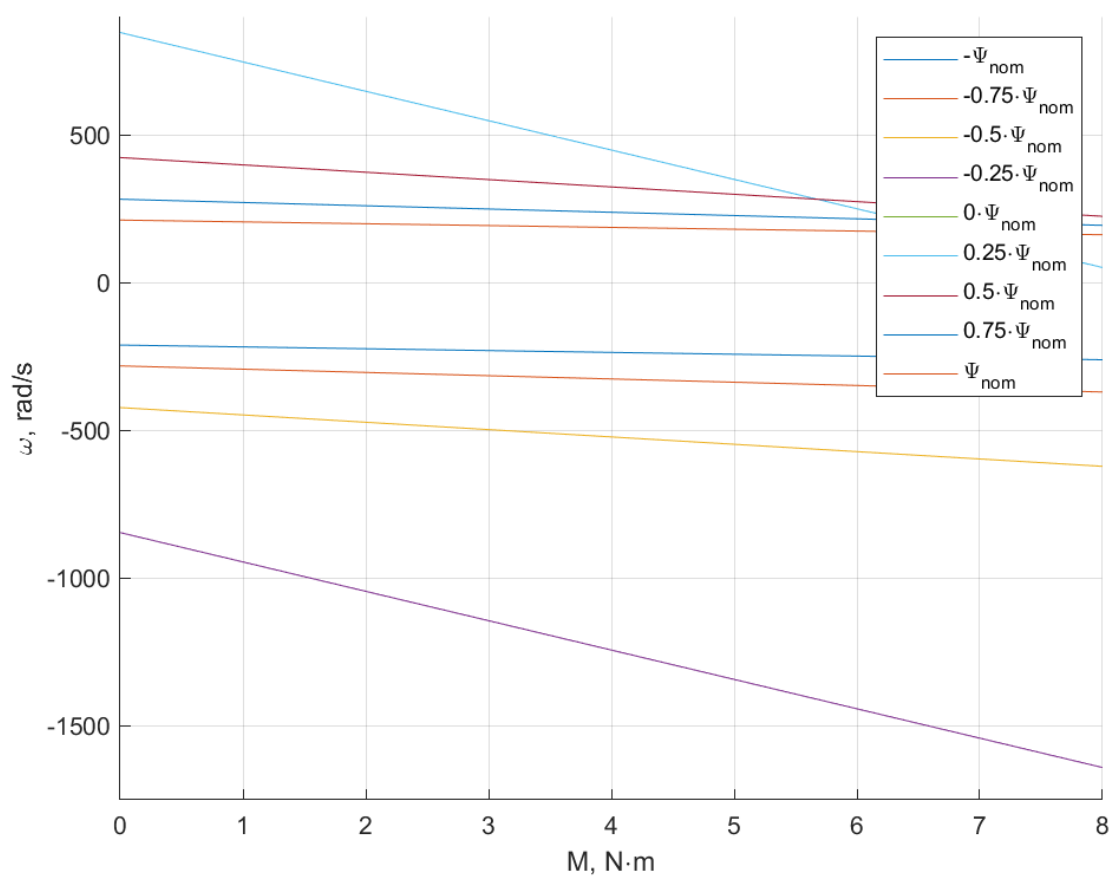


Рисунок 3. Механические характеристики при регулировании магнитного потока.

Семейство регулировочных характеристик при изменении потокоцепления

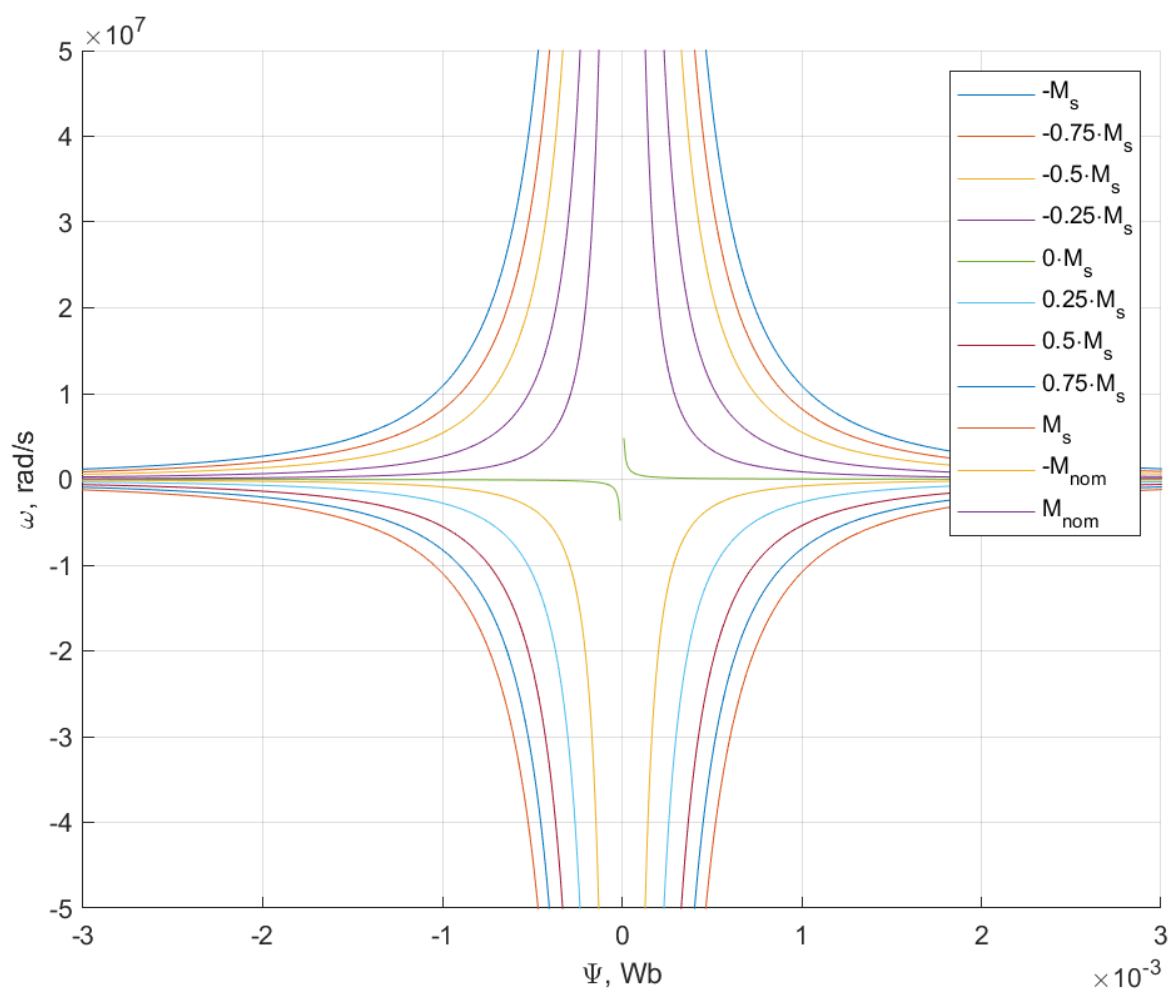


Рисунок 4. Регулировочные характеристики при изменении потокоцепления.

Семейство механических характеристик при регулировании сопротивления якоря

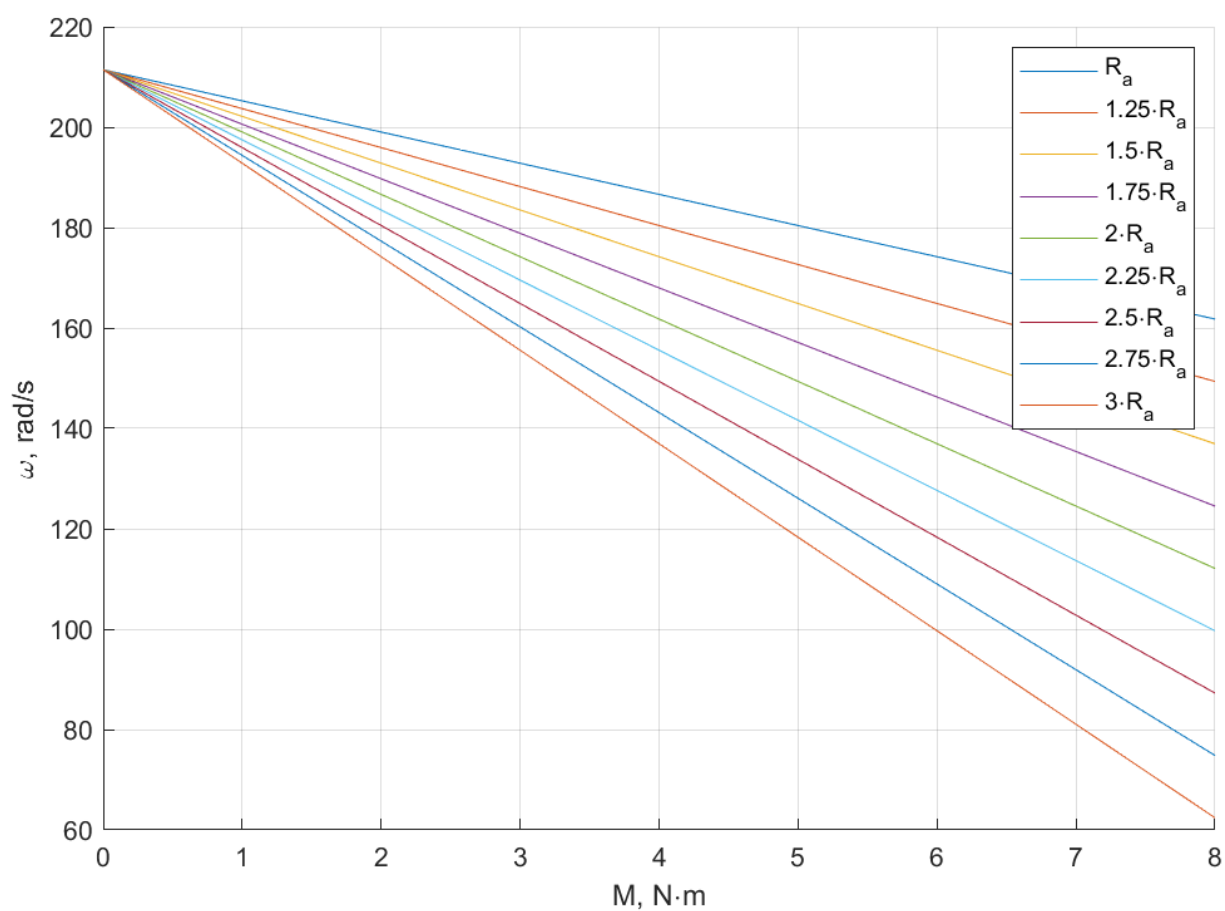


Рисунок 5. Механические характеристики при регулировании сопротивления якоря.

Семейство регулировочных характеристик при изменении сопротивления якоря

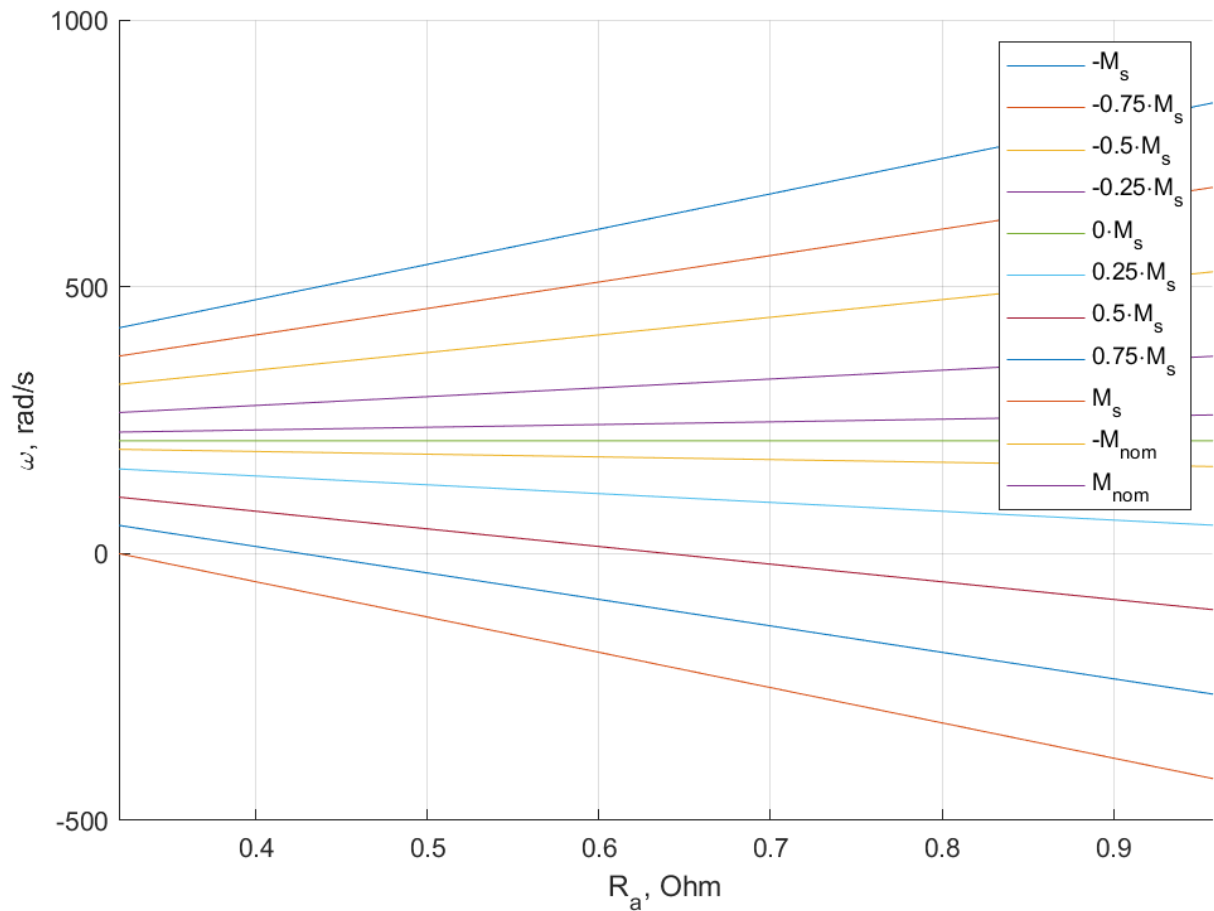


Рисунок 6. Регулировочные характеристики при изменении сопротивления якоря.

2. Исследование динамических характеристик электропривода с ДПТ НВ

Динамическая модель ДПТ НВ:

$$\begin{cases} L_a \cdot \frac{di_a(t)}{dt} = U - R_a \cdot i_a(t) - \Psi \cdot \omega(t) \\ J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = \Psi \cdot i_a(t) - M_L \end{cases}$$

Расчет передаточной функции от напряжения якоря к скорости вращения двигателя

$$\frac{L_a J}{\Psi^2} \ddot{\omega} + \frac{R_a J}{\Psi^2} \dot{\omega} + \omega = \frac{1}{\Psi} U,$$

где $T_m = \frac{R_a J}{\Psi^2}$, $T_{\text{я}} = \frac{L_a}{R_a}$, $k_{\text{дв}} = \frac{1}{\Psi}$.

Тогда:

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

Следовательно, передаточная функция:

$$W(s) = \frac{\frac{1}{\Psi}}{\frac{L_a J}{\Psi^2} s^2 + \frac{R_a J}{\Psi^2} s + 1} \text{ или } W(s) = \frac{k_{\text{дв}}}{T_m T_{\text{я}} s^2 + T_m s + 1}$$

Аналитическое выражение для корней характеристического уравнения

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

Подставляя параметры нашей системы:

$$\lambda_1 = -39.8348, \quad \lambda_2 = -15.3376$$

Переходные процессы по скорости будут иметь колебательный характер при комплексных $\lambda_{1,2}$, то есть если

$$T_m^2 - 4T_m T_{\text{я}} < 0.$$

Изменением параметров R_a, L_a, J, Ψ можно влиять на качественный характер мод системы, тем самым настраивая характер переходных процессов.

Передаточная функция от напряжения якоря к току двигателя

Электромеханические уравнения ДПТ НВ:

$$e_b(t) = \Psi \omega(t) - \text{обратная ЭДС}$$

$$M(t) = \Psi i_a(t) - \text{развиваемый момент}$$

$$e_a(t) = i_a(t) R_a + e_b(t) - \text{закон Кирхгофа в цепи якоря}$$

Используем преобразование Лапласа и запишем в форме вход-выход:

$$E_a(s) = L_a s I_a(s) + R_a I_a(s) + E_b(s)$$

$$E_a(s) = (L_a s + R_a) I_a(s) + E_b(s)$$

$$E_a(s) - E_b(s) = (L_a s + R_a) I_a(s)$$

$$I_a(s) = \left(\frac{1}{L_a s + R_a} \right) (E_a(s) - E_b(s))$$

Тогда передаточная функция:

$$W(s) = \frac{1}{L_a s + R_a}$$

Корень характеристического уравнения: $\lambda = -\frac{R_a}{L_a} = -55.1724$.

Передаточная функция от момента нагрузки к скорости вращения двигателя

Используя преобразование Лапласа к электромеханическим уравнениям:

$$E_b(s) = \Psi \Omega(s)$$

$$M(s) = \Psi I_a(s)$$

Из уравнения механического движения системы:

$$M(t) = J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} - M_L$$

Применим преобразование Лапласа и перепишем в виде вход-выход:

$$M(s) = Js\Omega(s) \Rightarrow \Omega(s) = \frac{1}{Js} M(s)$$

Передаточная функция:

$$W(s) = \frac{1}{Js}$$

Корень характеристического уравнения: $\lambda = 0$.

Передаточная функция от момента нагрузки к току двигателя

Используя уравнение связи момента и тока якоря:

$$M(s) = \Psi I_a(s)$$

$$I_a(s) = \frac{1}{\Psi} M(s)$$

Передаточная функция:

$$W(s) = \frac{1}{\Psi}$$

Моделирование ДПТ НВ

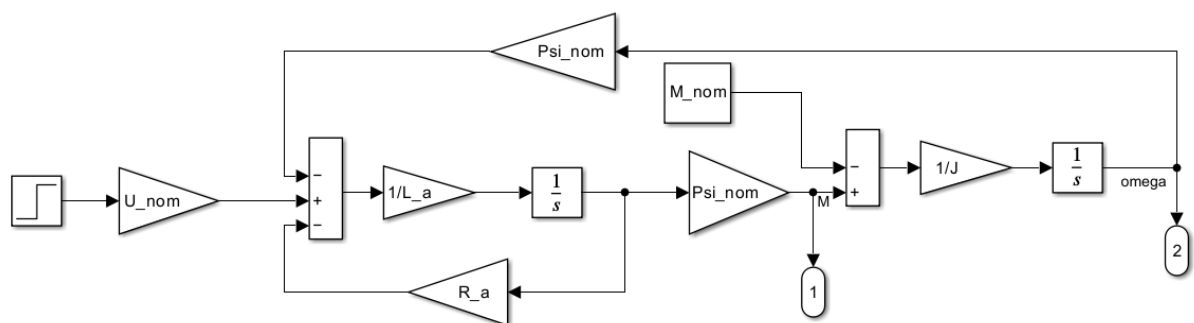


Рисунок 7. Схема моделирования ДПТ в Simulink.

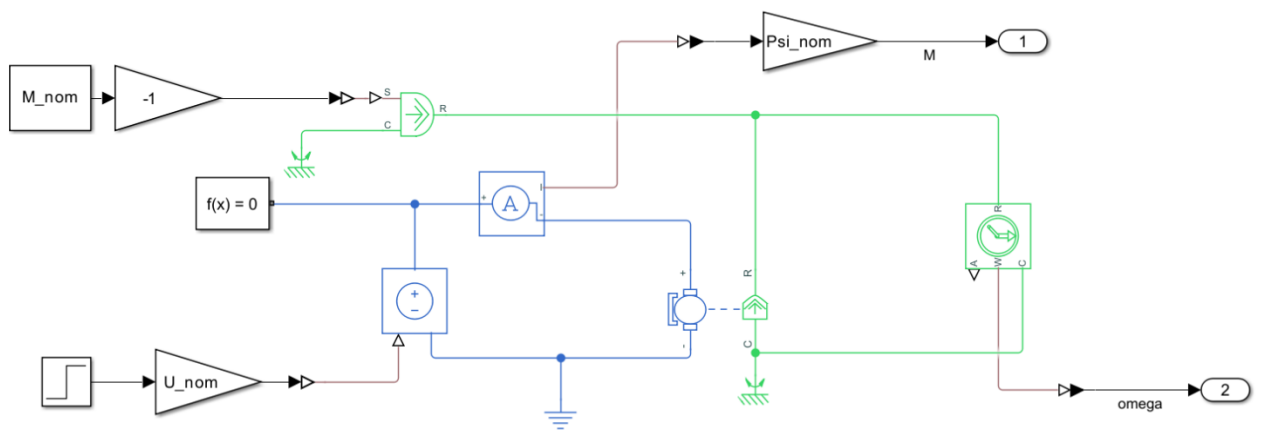


Рисунок 8. Схема моделирования Simscape.

Графики скорости момента и момента двигателя при скачке управляющего воздействия (напряжения) и при скачке момента нагрузки

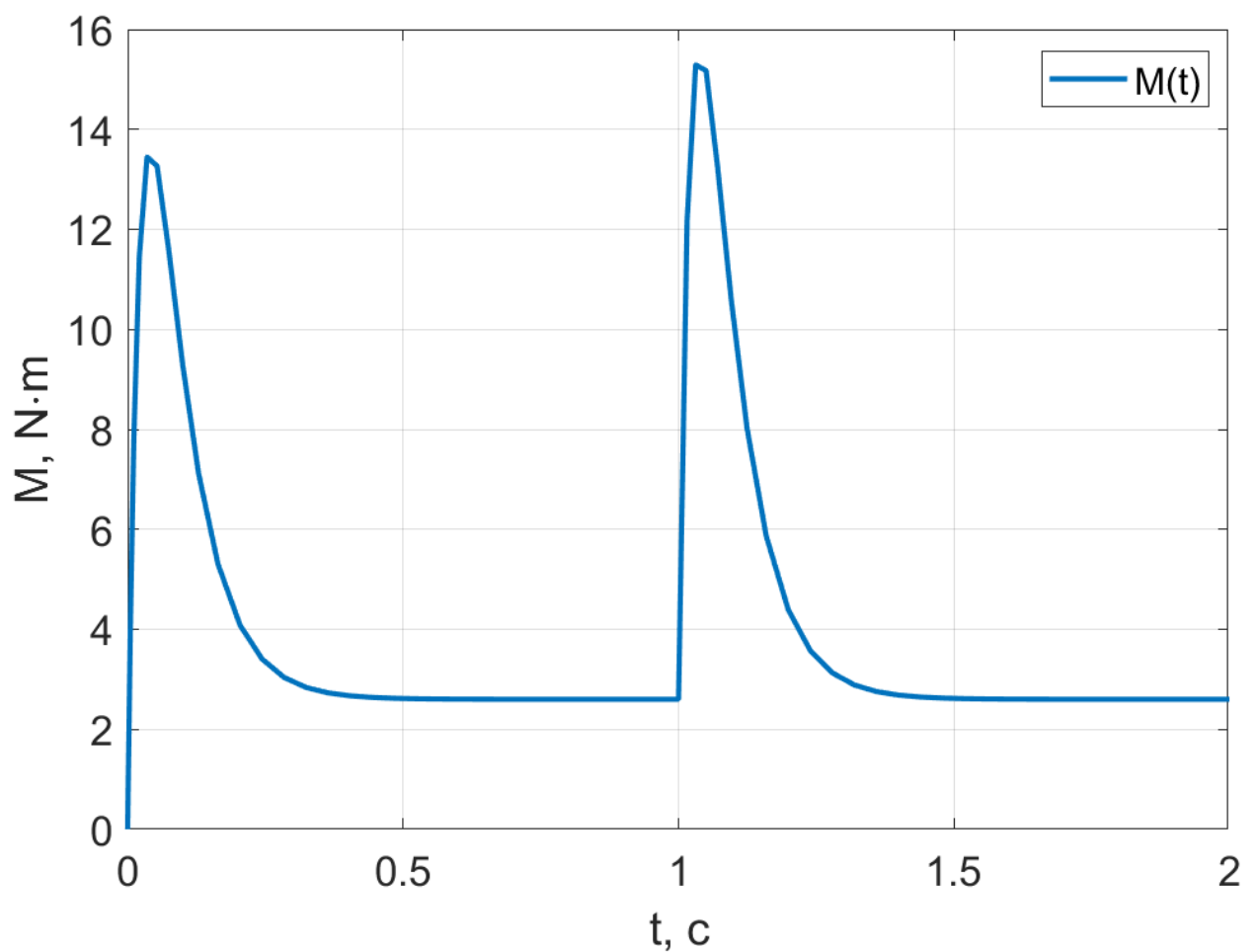


Рисунок 9. График Simulink момента ДПТ при скачке управляющего воздействия.

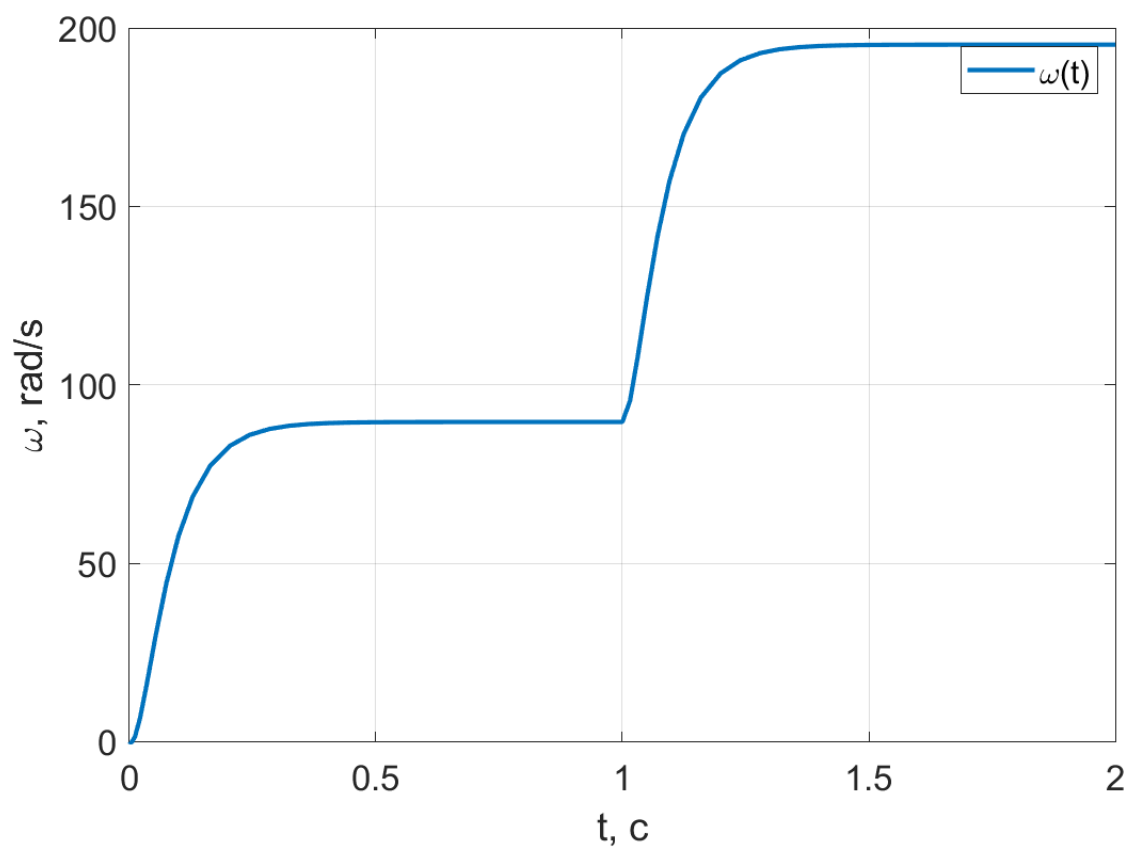


Рисунок 10. График Simulink скорости ДПТ при скачке управляющего воздействия.

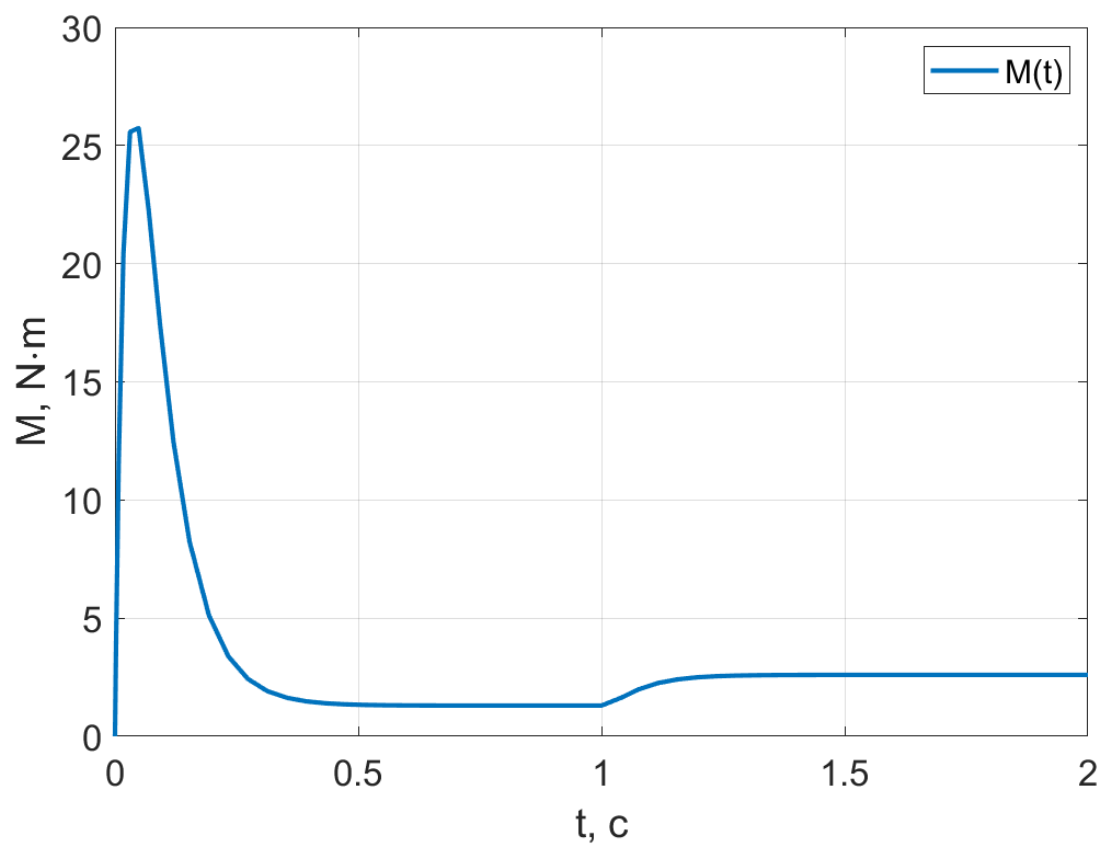


Рисунок 11. График Simulink момента ДПТ при скачке нагрузки.

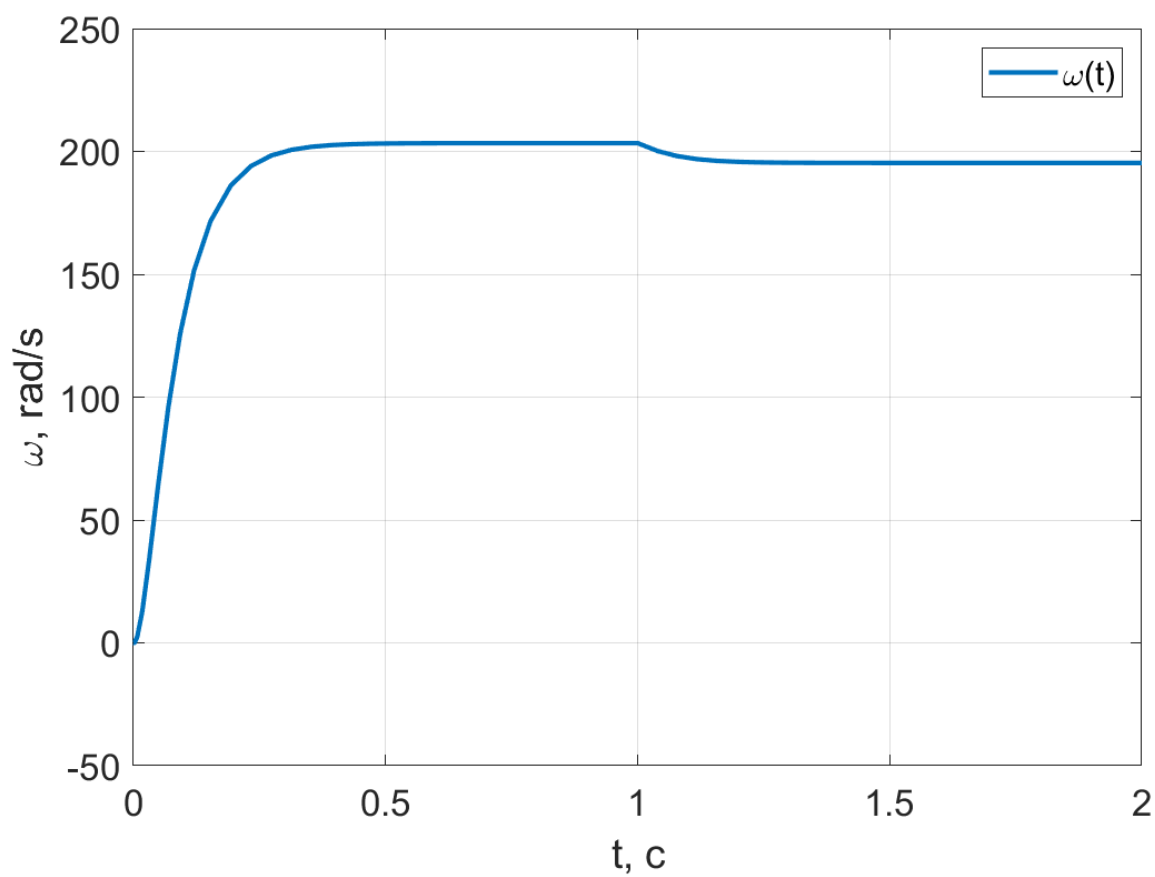


Рисунок 12. График Simulink скорости ДПТ при скачке нагрузки.

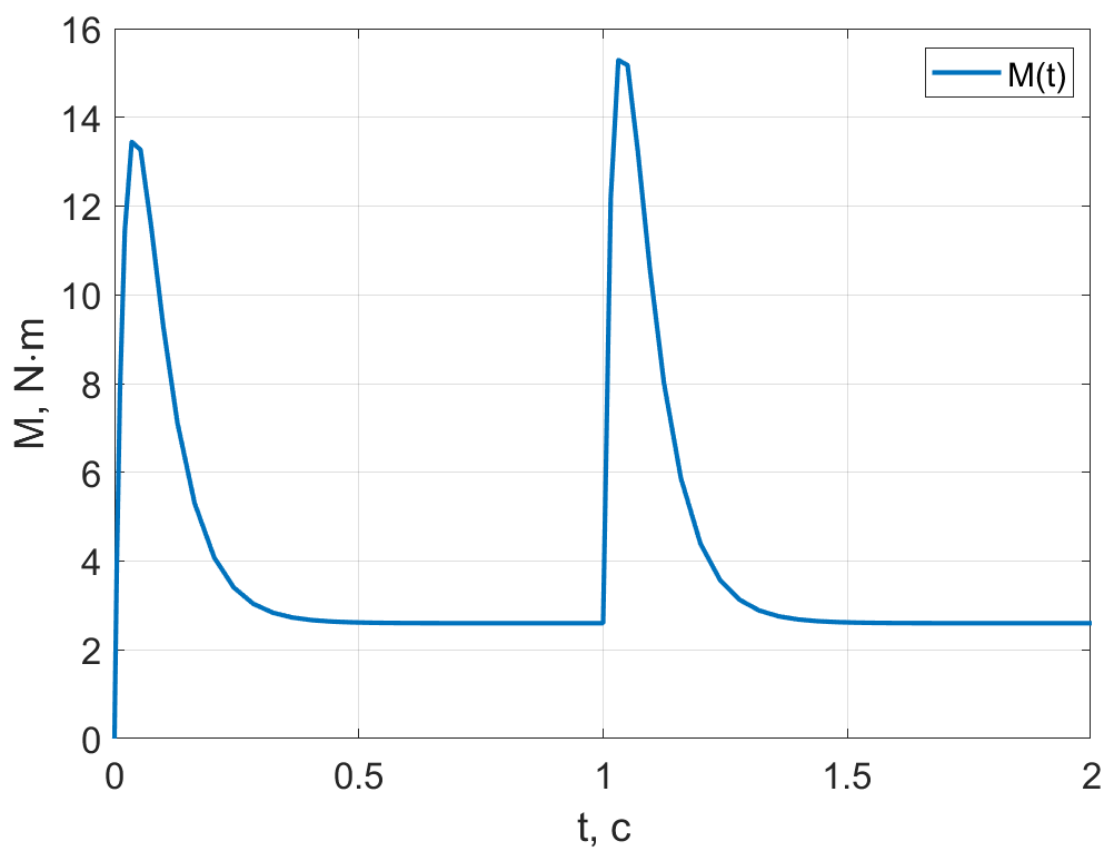


Рисунок 13. График Simulink момента ДПТ при скачке управляющего воздействия.

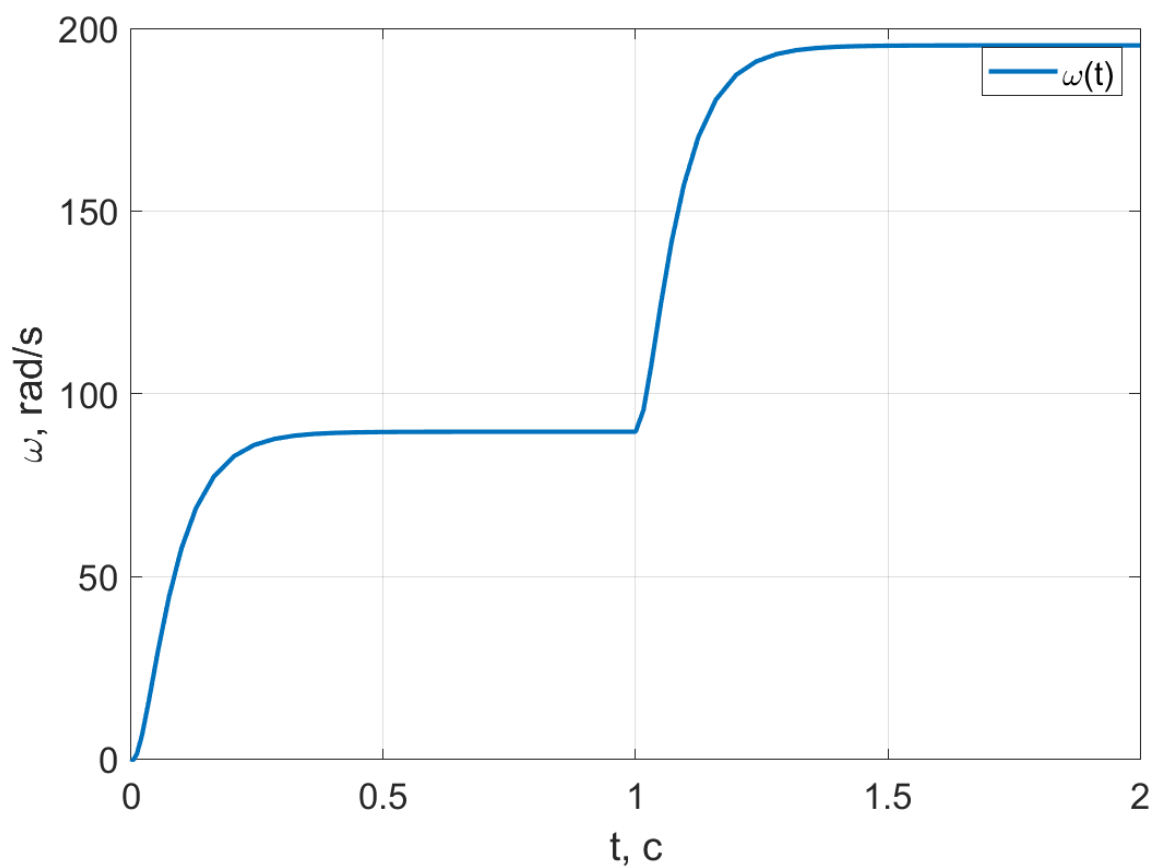


Рисунок 14. График Simscape скорости ДПТ при скачке управляющего воздействия.

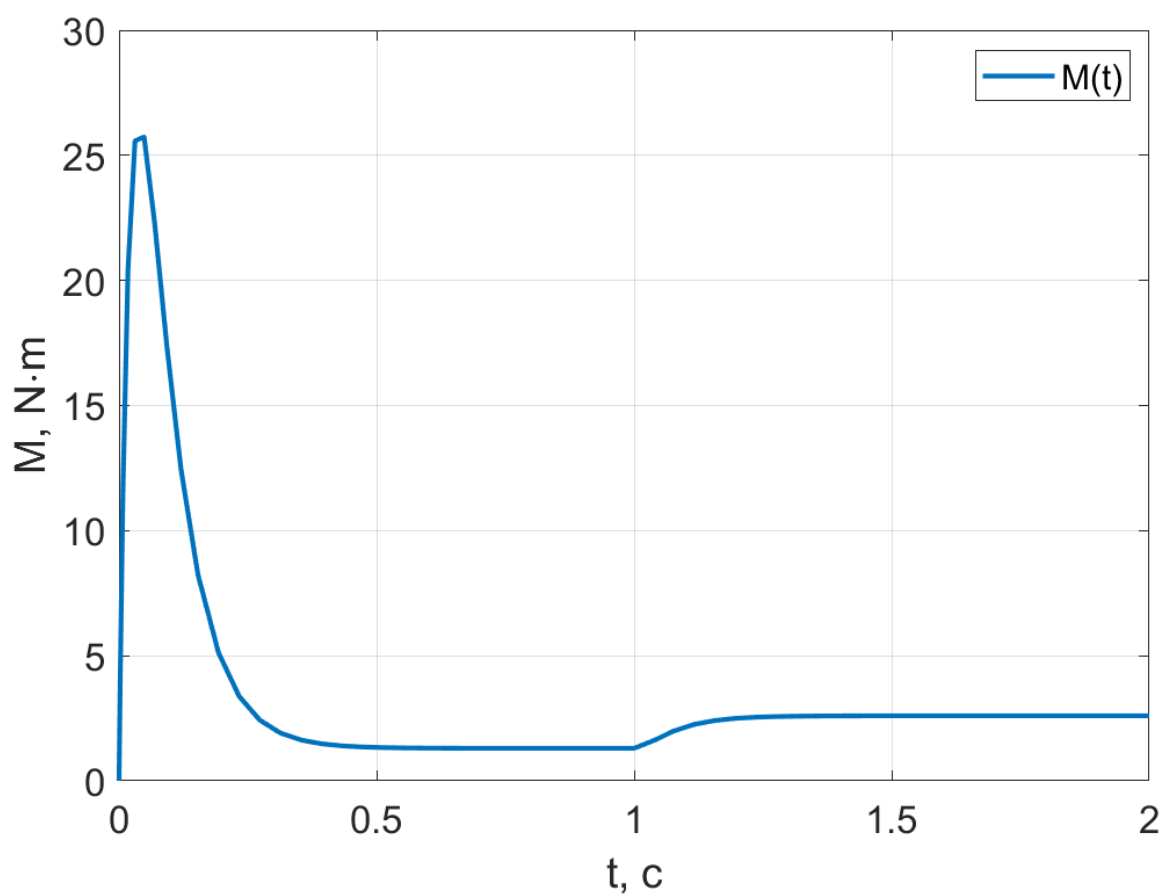


Рисунок 15. График Simscape момента ДПТ при скачке нагрузки.

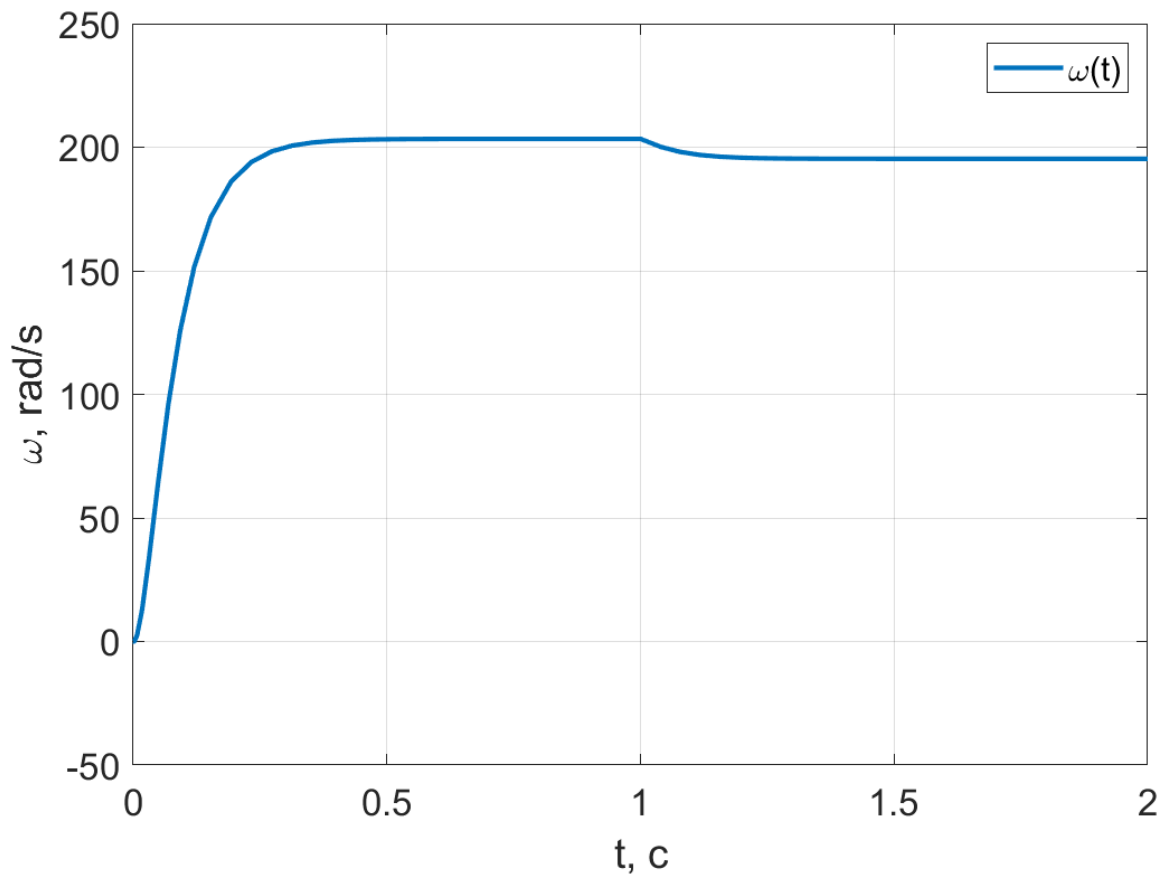


Рисунок 16. График Simscape скорости ДПТ при скачке нагрузки.

3. Синтезирование одноконтурной системы регулирования скорости ДПТ НВ

$$\begin{cases} L_a \cdot \frac{di_a(t)}{dt} = K_u u - r \cdot i_a(t) - \Psi \cdot \omega(t) \\ J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = \Psi \cdot i_a(t) - M_L \end{cases},$$

где K_u — коэффициент усиления управляющего сигнала, для ДПТ НВ равен напряжению источника питания (номинальному напряжению),

$u \in [-1; 1]$ — управляющий сигнал.

Уравнение «реального» ПИД регулятора:

$$u(s) = K_p e(s) + \frac{K_i}{s} e(s) + \frac{K_d s}{T_\delta s + 1} e(s),$$

где K_p, K_i, K_d — настраиваемые коэффициенты регулятора,

T_δ — малая постоянная времени, определяющая запаздывание «реального» дифференцирования (0.1 ms).

$e(s) = \omega_z(s) - \omega(s)$ – ошибка регулирования.

Коэффициенты регулятора выберем с помощью метода Циглера-Никольса:

$$K = 1, T_\delta = 0.1$$

$$K_p = 0.6 \cdot K, \quad K_i = \frac{2 \cdot K_p}{T_\delta}, \quad K_d = \frac{K_p \cdot T_\delta}{8}$$

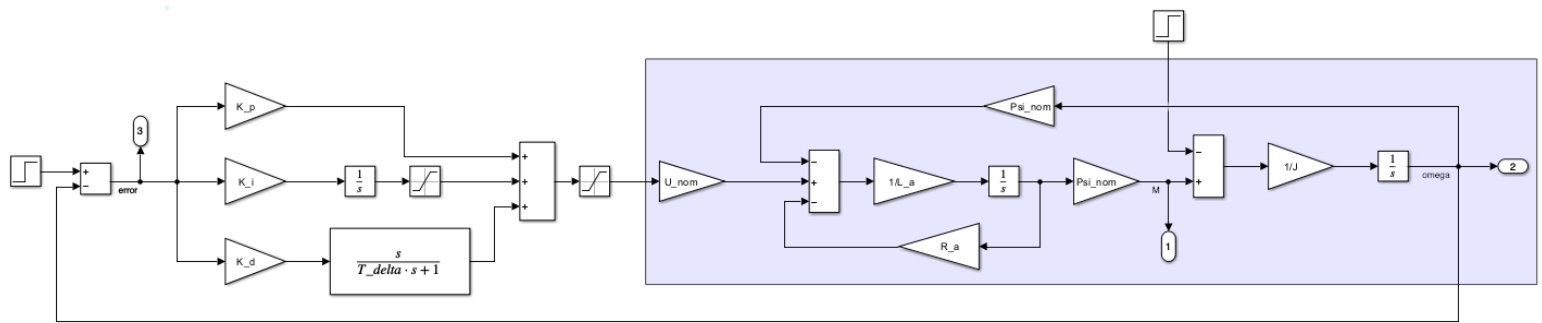


Рисунок 17. Схема моделирования одноконтурной СУ для ДПТ НВ.

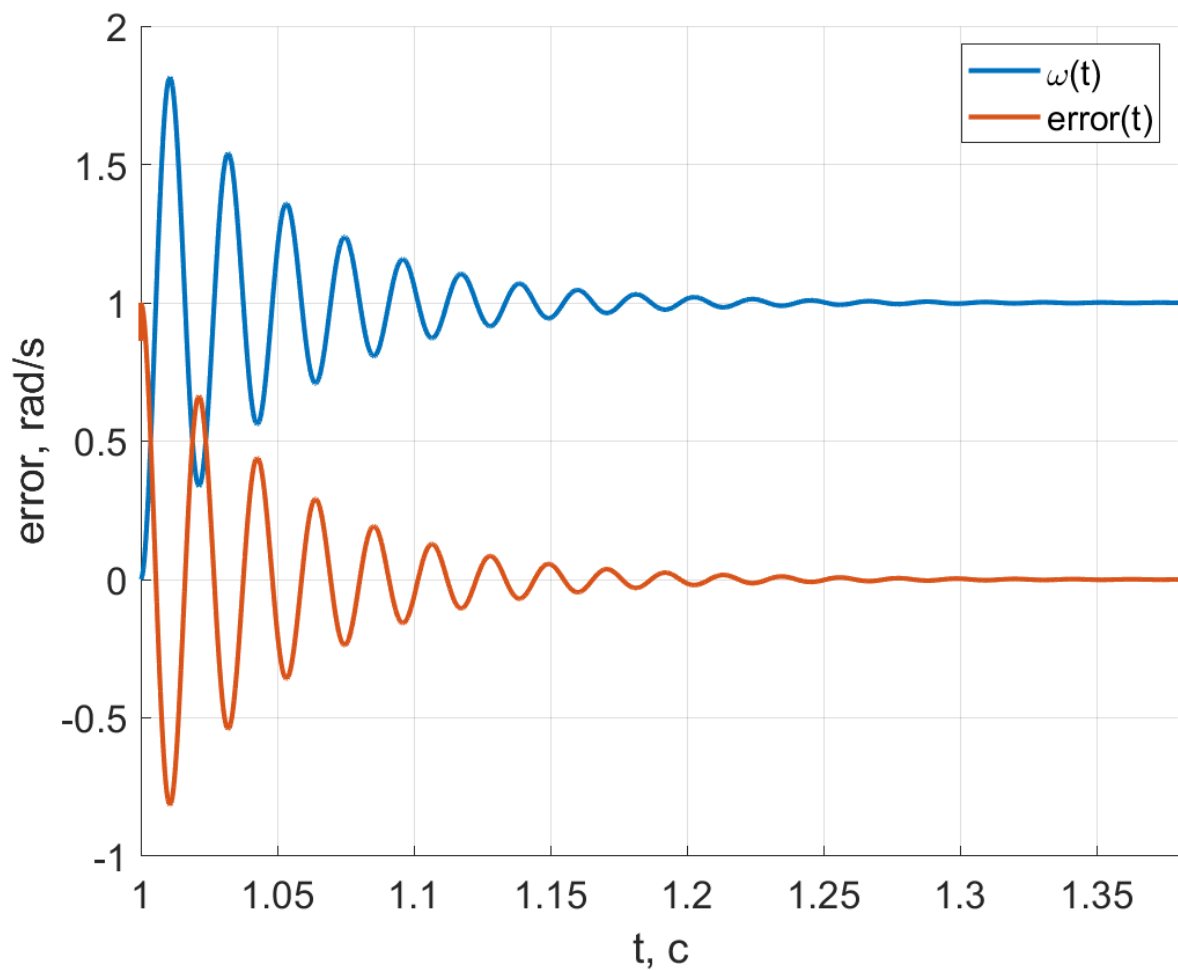


Рисунок 18. Графики скорости и ошибки по скорости при скачке скорости одноконтурной СУ с ПИД-регулятором.



Рисунок 19. График момента при скачке скорости одноконтурной СУ с ПИД-регулятором.

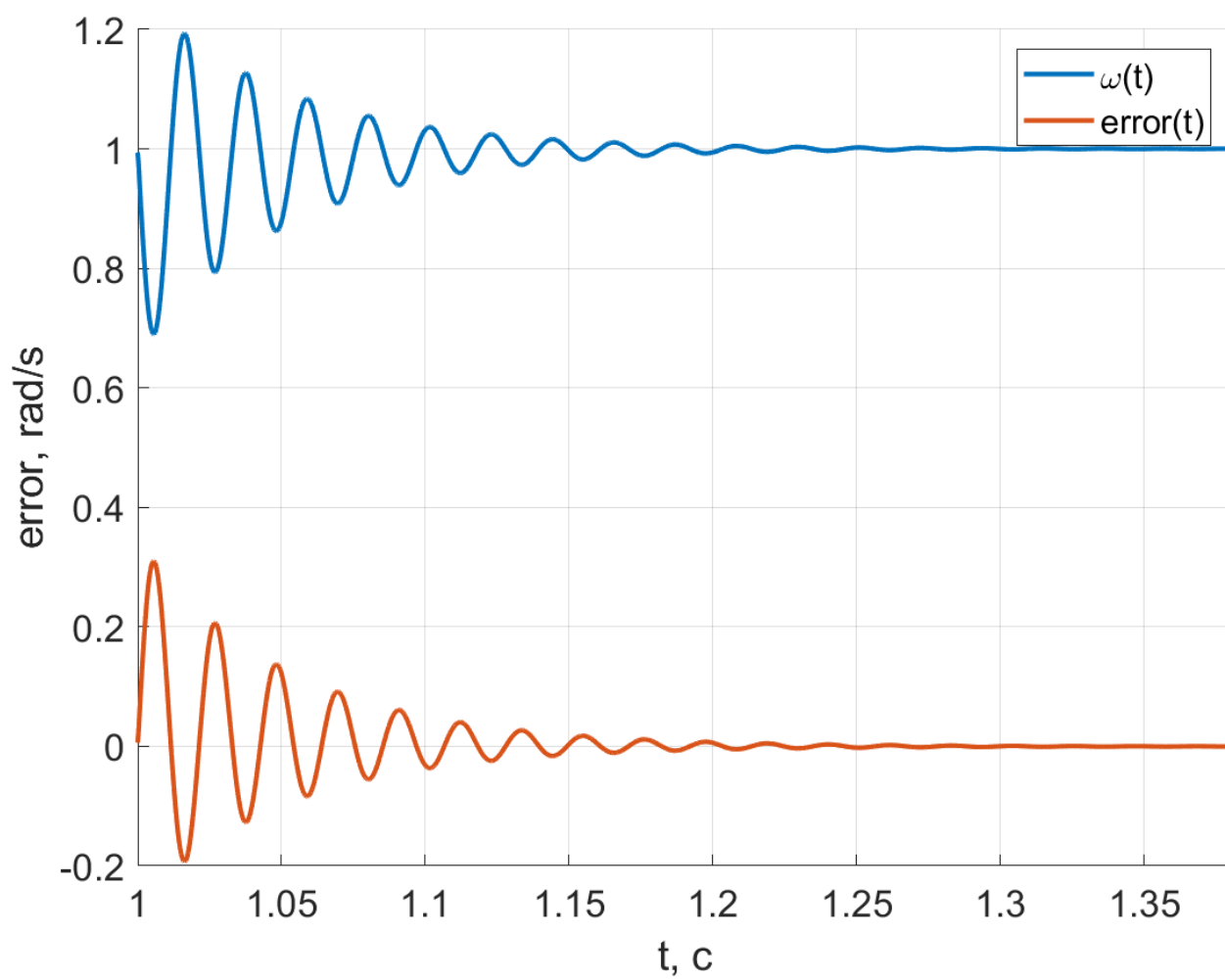


Рисунок 20. Графики скорости и ошибки при скачке момента одноконтурной СУ и ПИД-регулятором.

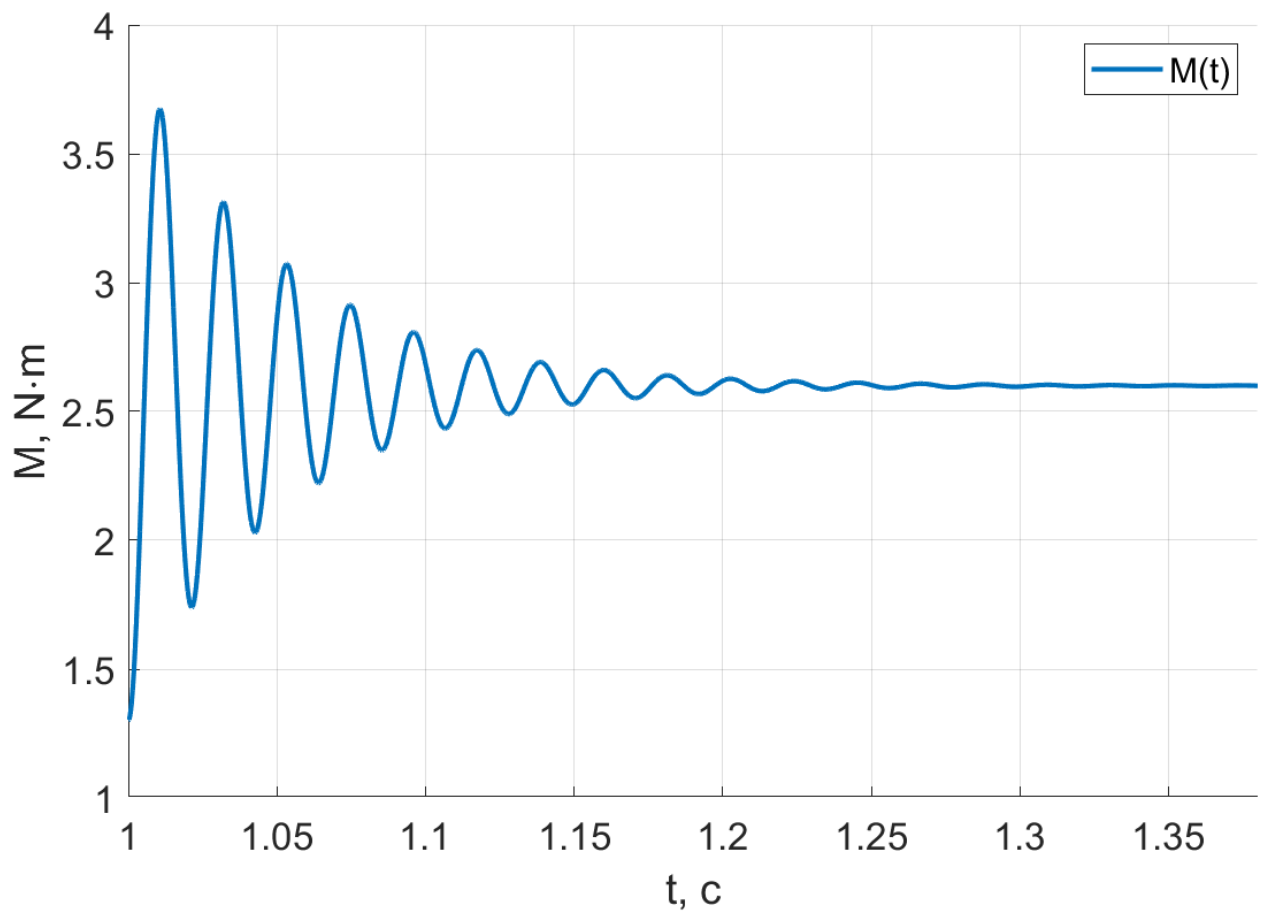


Рисунок 21. График момента при скачке момента одноконтурной СУ с ПИД-регулятором.

4. Выводы

В данной работе были успешно исследованы статические и динамические характеристики электропривода с ДПТ НВ. Также была синтезирована система регулирования скорости ДПТ НВ с ПИД-регулятором, коэффициенты которого выбирались методом Циглера-Никольса.