

Национальный исследовательский университет ИТМО

Факультет систем управления и робототехники

Отчёт по дисциплине «Электрический привод»

Лабораторная №3

Исследование электропривода на базе ДПТ НВ

Выполнили студенты:

Демкин Алексей Игоревич

Ле Ван Хынг

Мовчан Игорь Евгеньевич

Будков Ярослав Антонович

Преподаватель:

Маматов Александр Геннадьевич

Санкт-Петербург

2025 г.

Данные варианта:

$$J_{motor} = 4.0341 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$L_{phase} = 0.0025 \text{ Гн}$$

$$M_{nom} = 1.3544 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\psi = 0.2051 \text{ Вб}$$

$$R_{phase} = 0.7270 \text{ Ом}$$

$$U_{nom} = 48 \text{ В}$$

Часть 1. Исследование статических характеристик ДПТ НВ

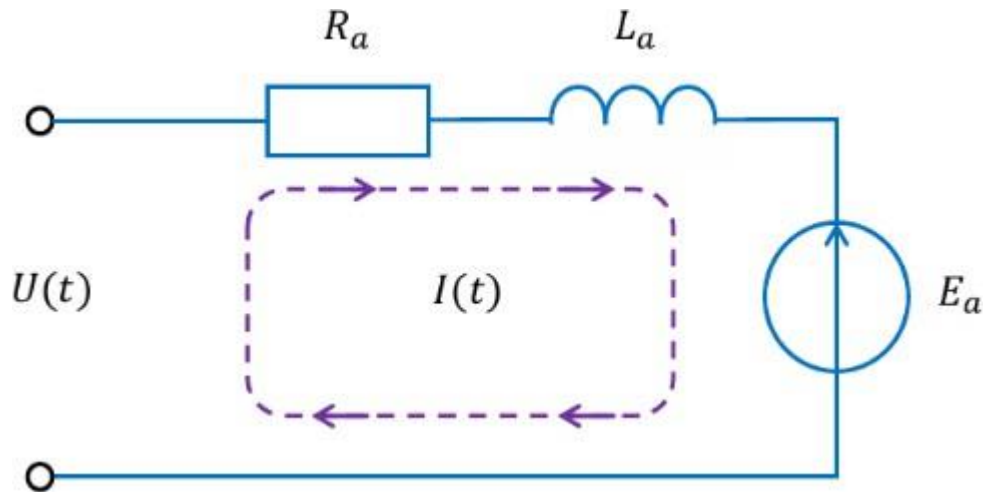


Рисунок 1. Схема замещения ДПТ НВ

Воспользуемся вторым законом Кирхгофа для анализа замкнутого контура цепи якоря:

$$U = E + IR_a \quad (1)$$

Также воспользуемся следующими формулами и подставим их в уравнение (1):

$$E = \psi \omega \quad (2)$$

$$M = \psi I \quad (3)$$

Поставим (2) и (3) в (1):

$$\omega = \frac{U}{\psi} - \frac{R_a}{\psi^2} M = \omega_0 - M/h$$

(где h – жёсткость механической характеристики, ψ - потокосцепление)

На основе этого выражения нужно построить два графика семейств механических характеристик: $\omega(M)$ и $\omega(U)$. Делается это путём фиксации одного значения и изменения другого. В случае $\omega(M)$ мы фиксируем номинальное напряжение, а в случае $\omega(U)$ номинальный момент.

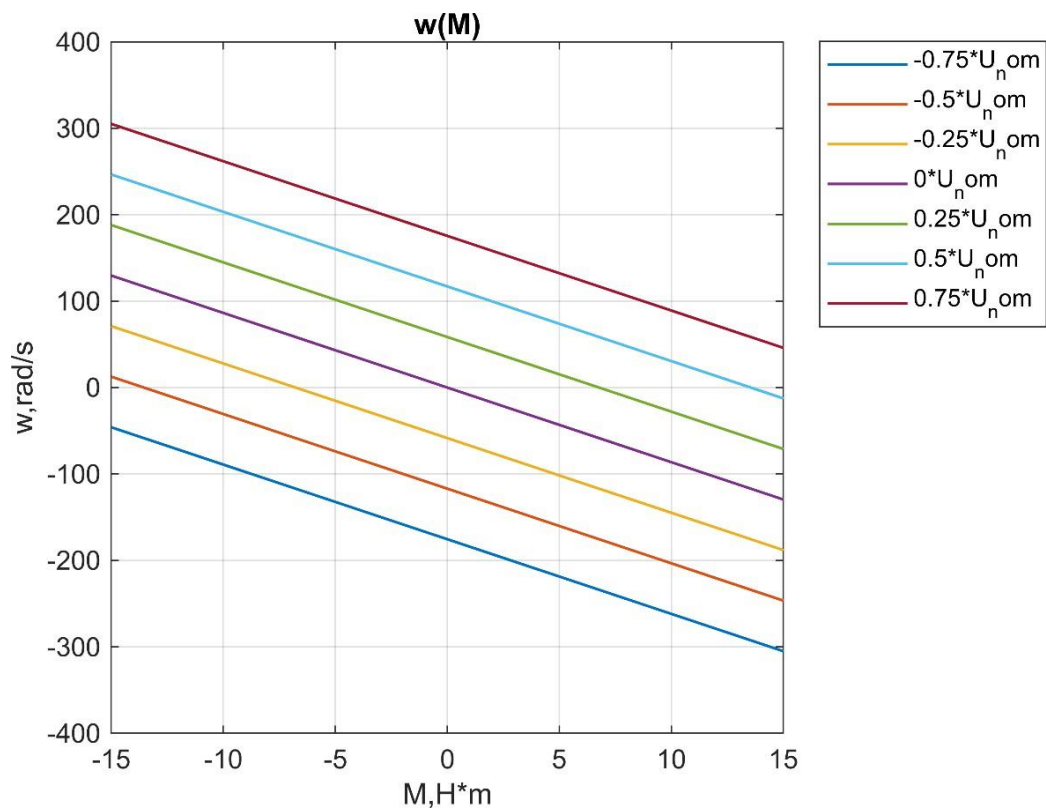


График 1. Механическая характеристика $\omega(M)$ при регулировании напряжения питания

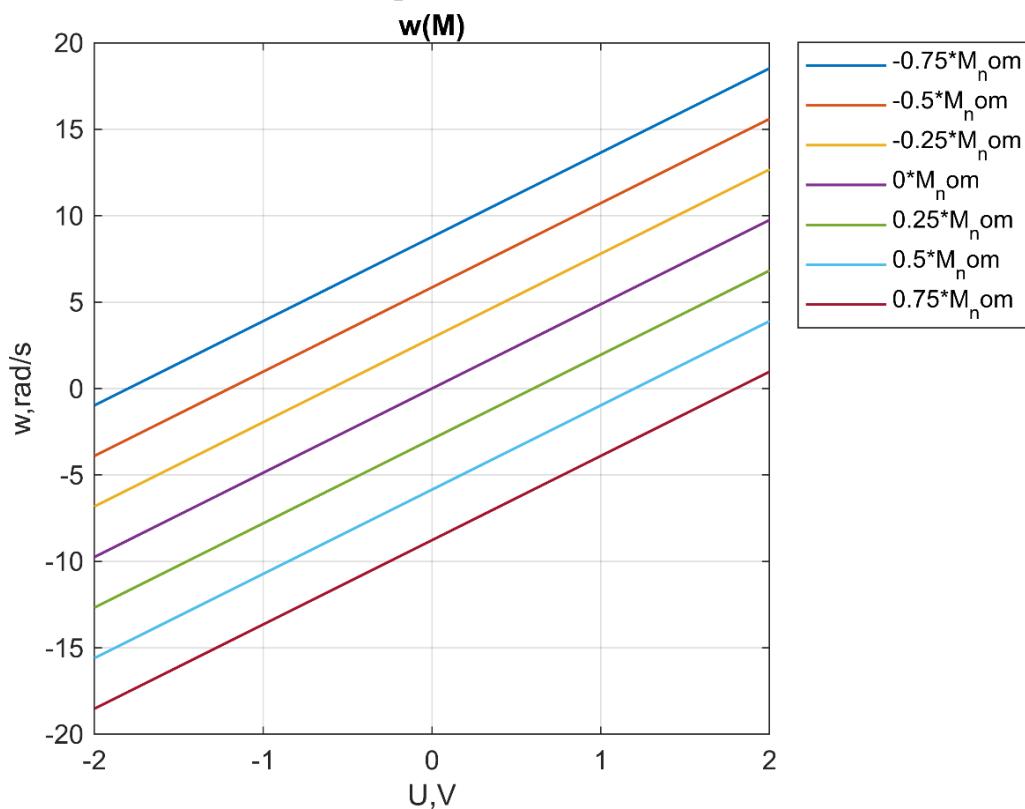


График 2. Механическая характеристика $\omega(U)$ при регулировании напряжения питания (увеличенный масштаб)

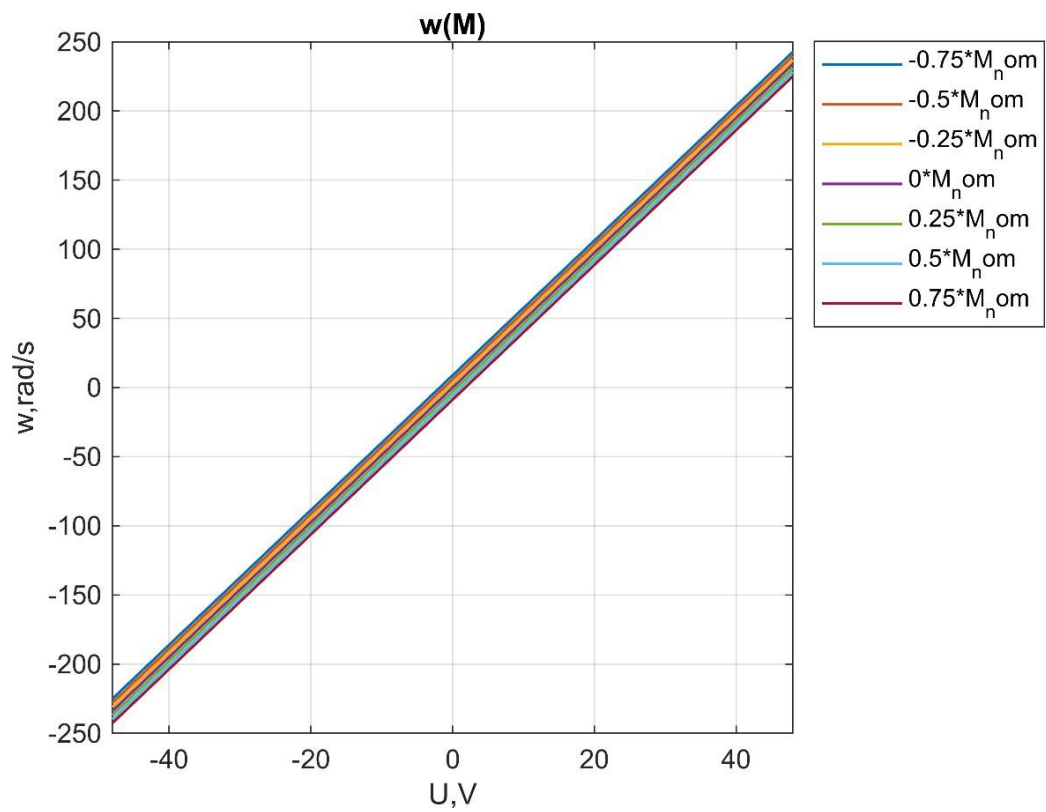


График 3. Механическая характеристика $\omega(U)$ при регулировании напряжения питания $U = [-U_{nom}; U_{nom}]$

Часть 2. Исследование динамических характеристик ДПТ НВ

Исследование системы на холостом ходу

Динамическая модель описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} L_a \cdot \frac{di_a(t)}{dt} = U - R_a \cdot i_a(t) - \psi \cdot \omega(t) \\ (J_m + J_L) \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = \psi \cdot i_a(t) - \sum M_L \end{cases}$$

(где L_a – индуктивность обмотки якоря, J_m – момент инерции ротора, J_L – момент инерции нагрузки, M_L – момент нагрузки)

Для исследования характеристик воспользуемся имитационным моделированием в среде Simscape.

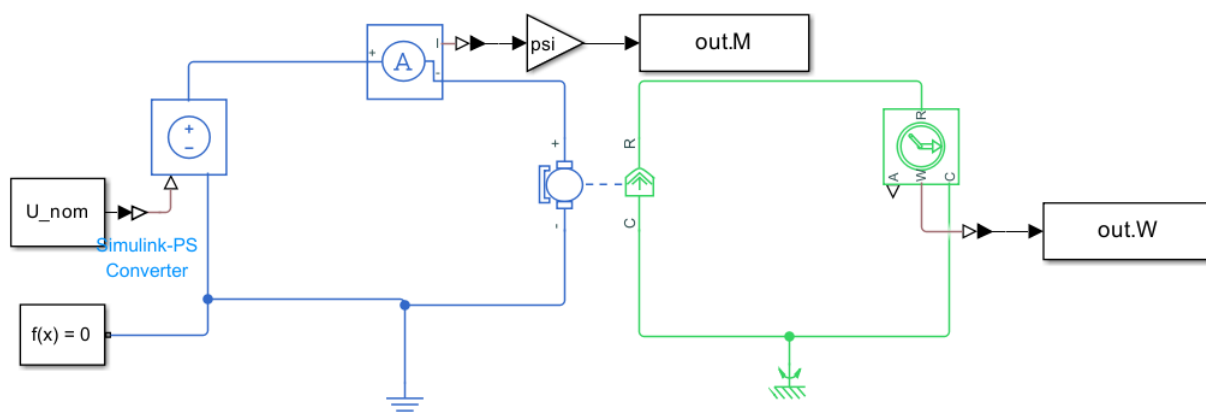


Рисунок 2. Модель ДПТ НВ в среде Simscape

Приводим необходимые графики при скачке управляющего воздействия и при $\sum M_L = 0$

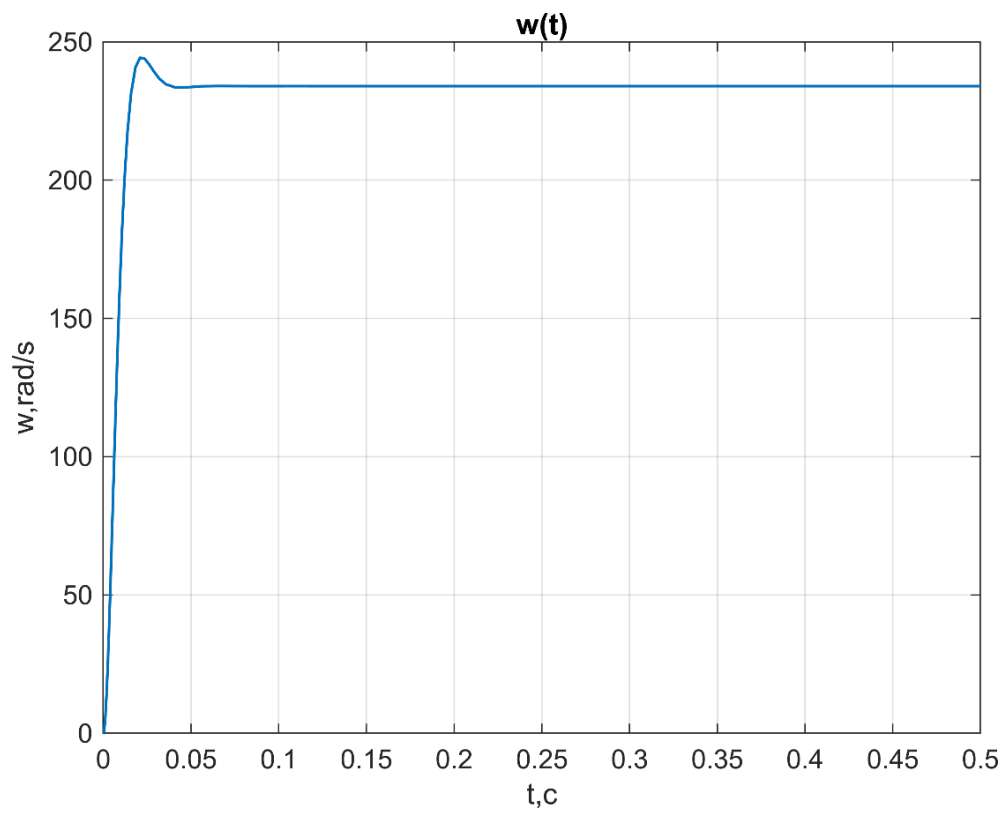


График 4. График скорости $\omega(t)$

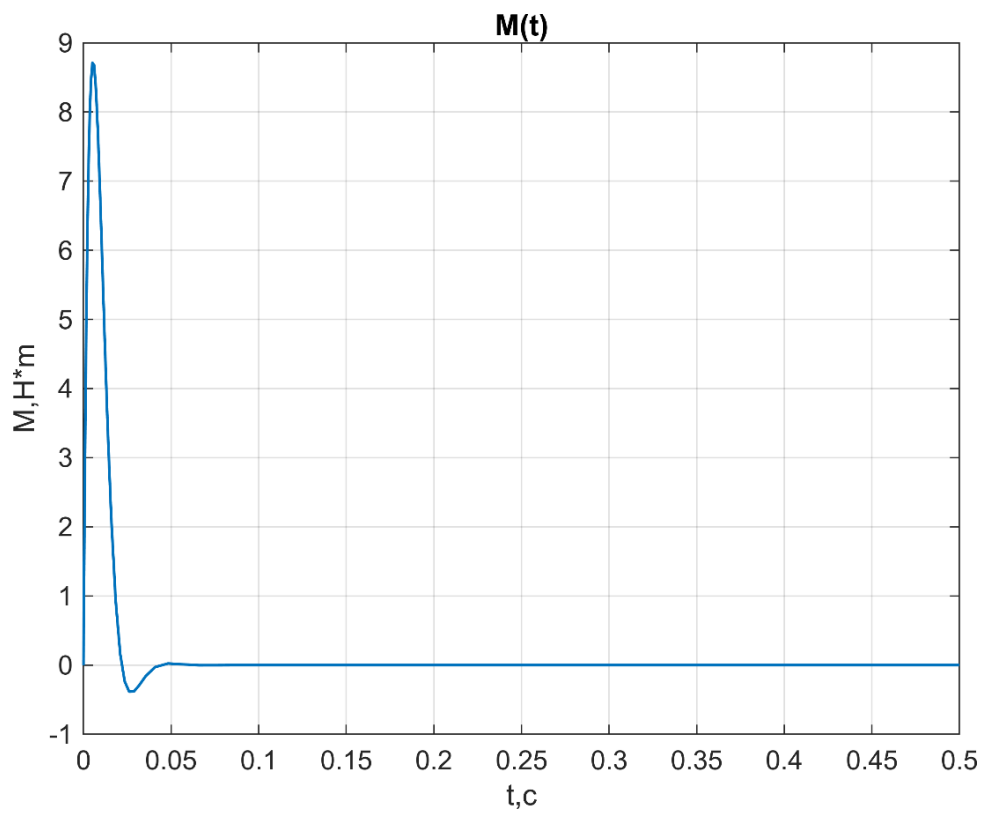


График 5. График скорости $M(t)$

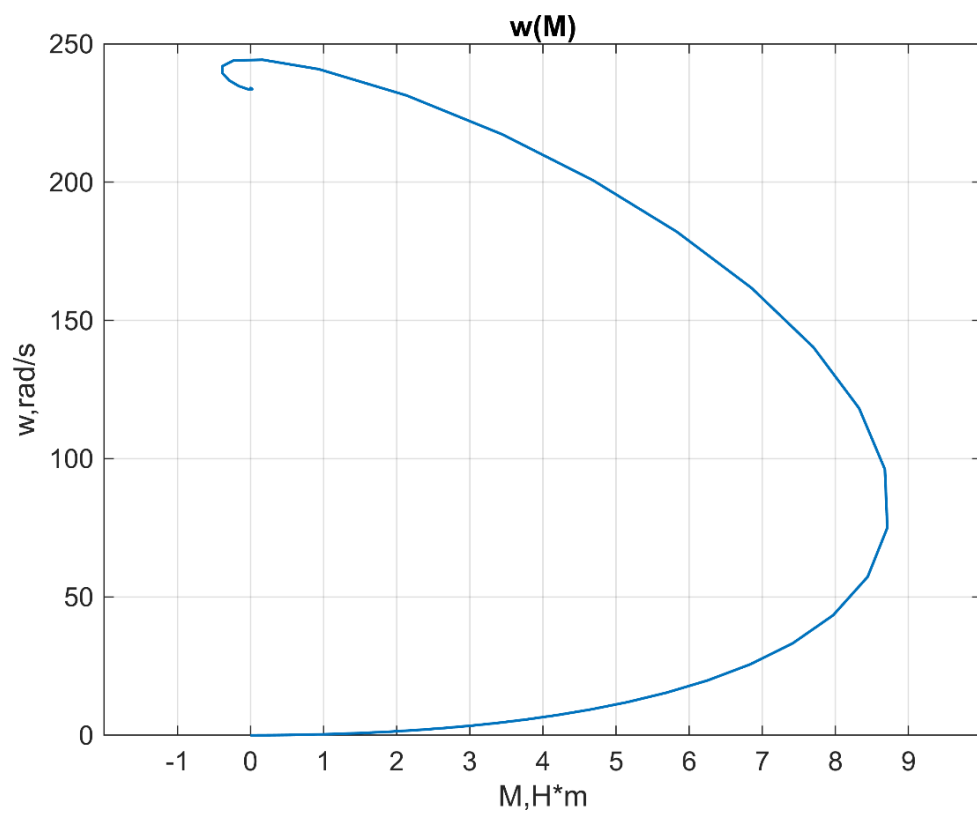


График 6. График фазовой характеристики $\omega(M)$

Исследование системы с внешней нагрузкой

Теперь дополним систему гребным винтом двигателя подводного дрона:

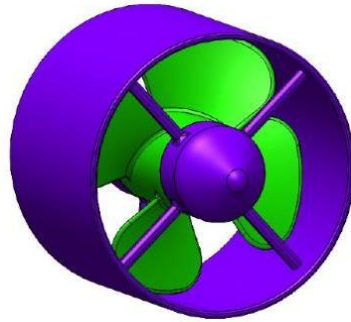


Рисунок 3. Внешний вид двигателя подводного дрона

Так как у нас появляется нагрузка, следовательно, появляются новые силы. Среди них сила тяги T , которая выступает в роли движущей силы системы, и момент нагрузки Q . Определяются они следующими выражениями:

$$T = \rho D^4 K_T |n|n \quad (6)$$

$$Q = \rho D^5 K_Q |n|n \quad (7)$$

Где K_T - коэффициент по тяге, K_Q - коэффициент по моменту, D – диаметр гребного винта, ρ – плотность среды, n – скорость вращения винта

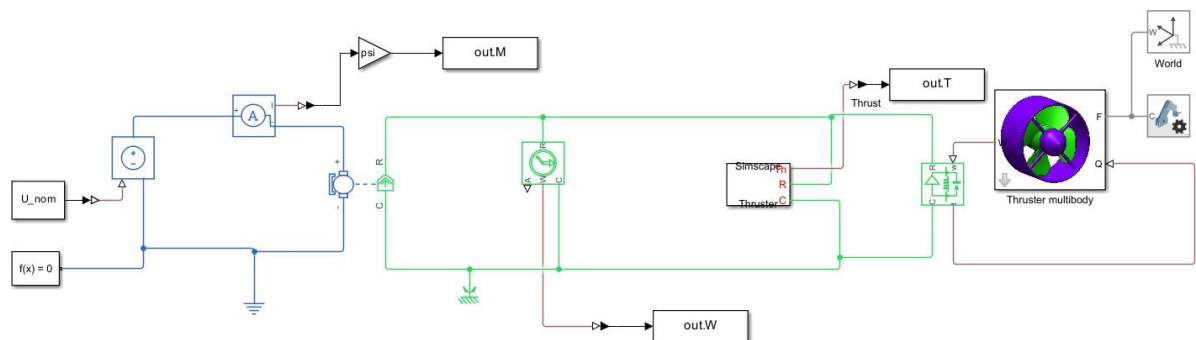


Рисунок 4. Модель привода с ДПТ НВ в составе двигателя

Графики

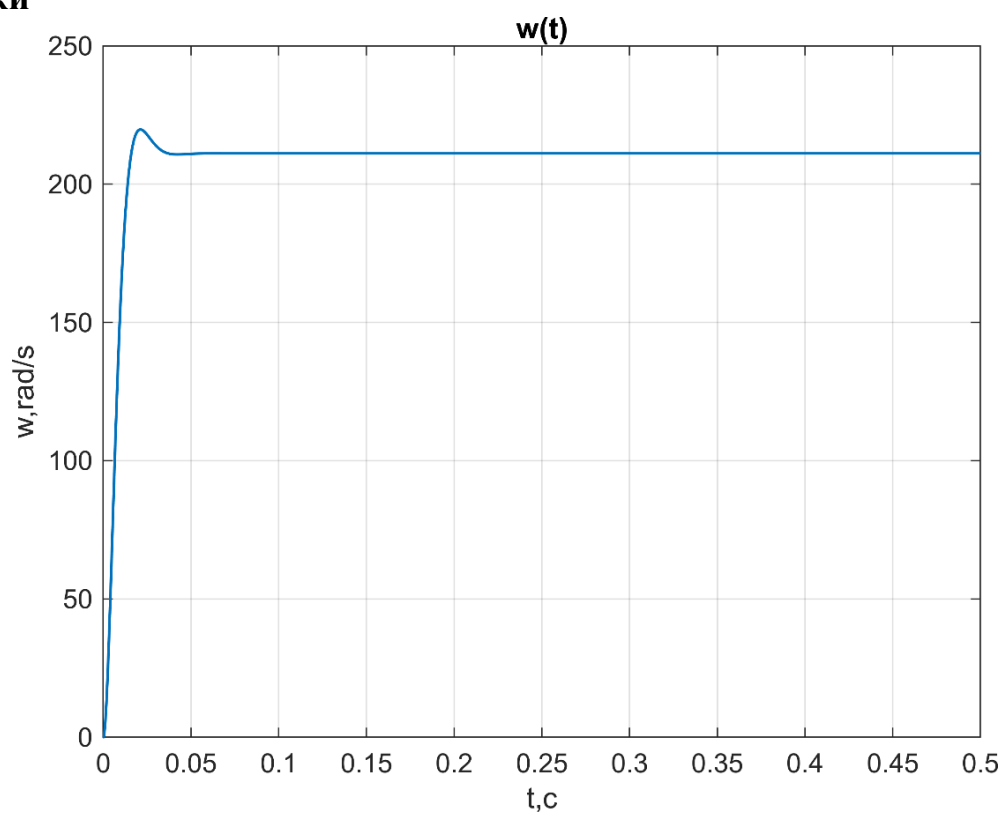


График 7. График скорости $\omega(t)$

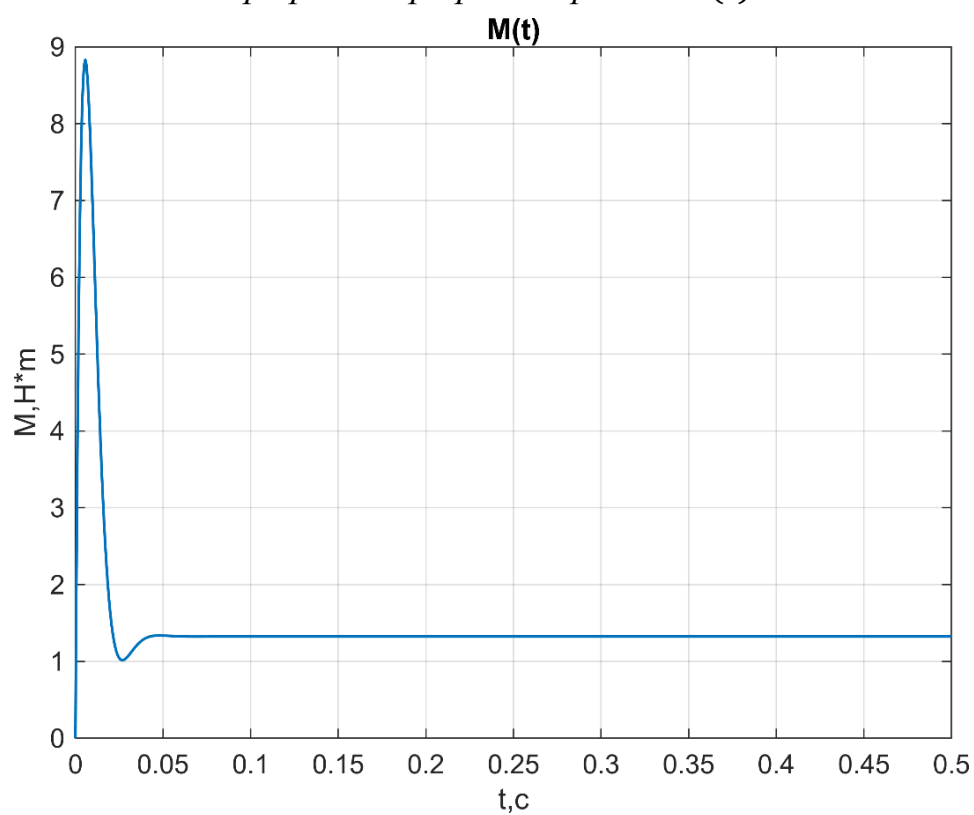


График 8. График скорости $M(t)$

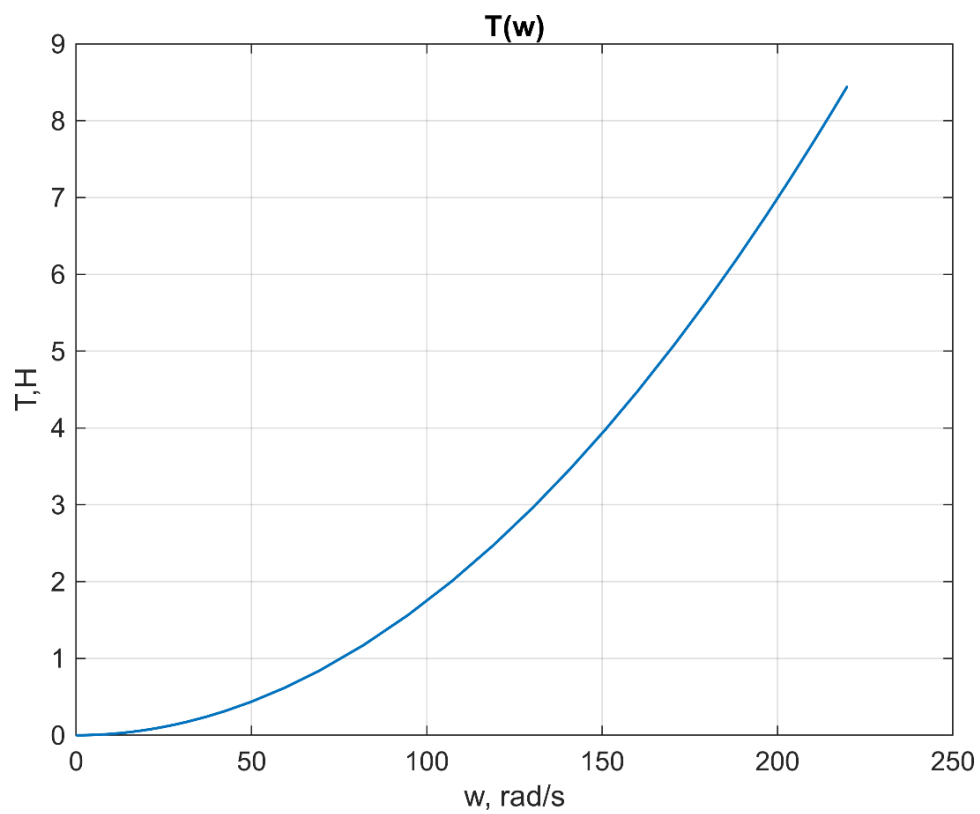


График 9. График зависимости $T(\omega)$

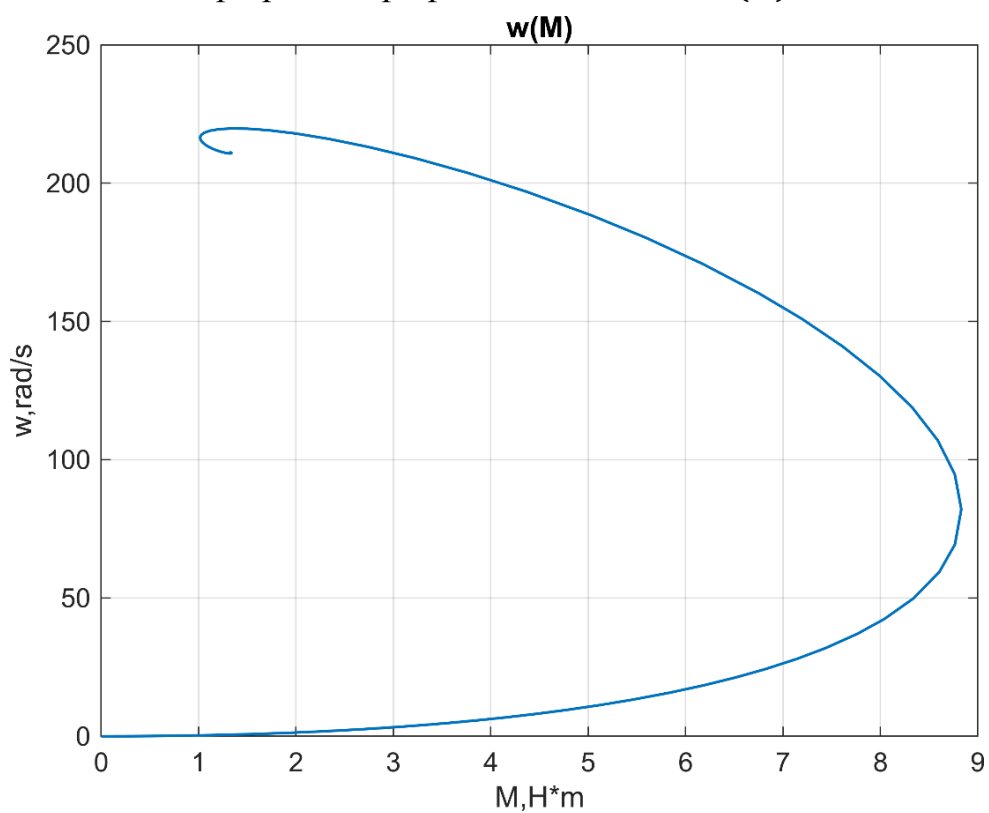


График 10. График фазовой характеристики $\omega(M)$

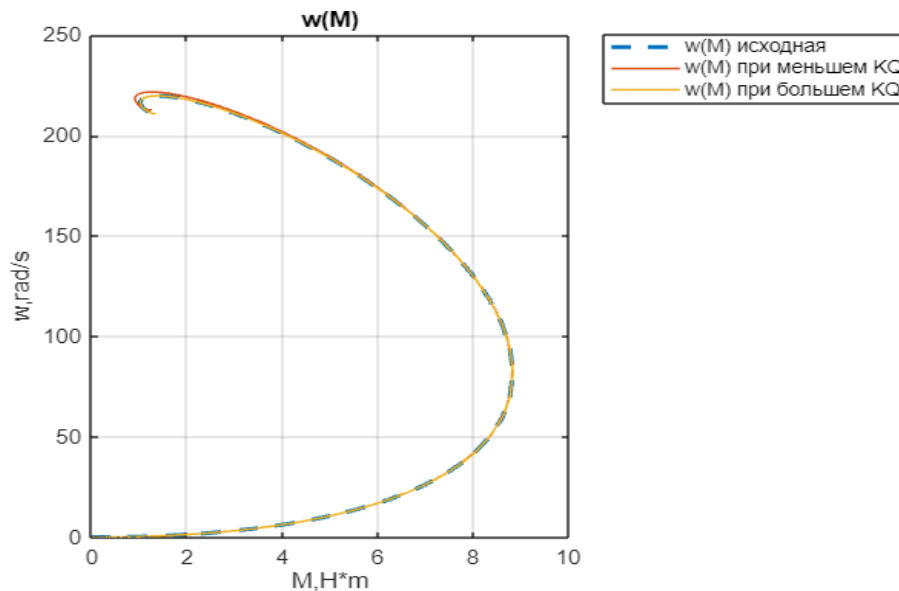


График 11. Влияние KQ на график фазовой характеристики $\omega(M)$

Так как оно зависит от KQ , который находится в составе этой формулы $Q = \rho D^5 K_Q |n|n$, а она ещё и формула вентиляторного трения, то, получается, что зависит от механической нагрузки вентиляторного трения

Часть 3. Синтез системы управления ДПТ НВ

Суть задания в том, чтобы ко всему, что мы делали выше добавить ещё и регулятор. Я решил сделать ПИД-регулятор. Сначала я пытался использовать метод Циглера-Николса, но те значения, что он выдавал по формулам и таблице не давали нужного результата.

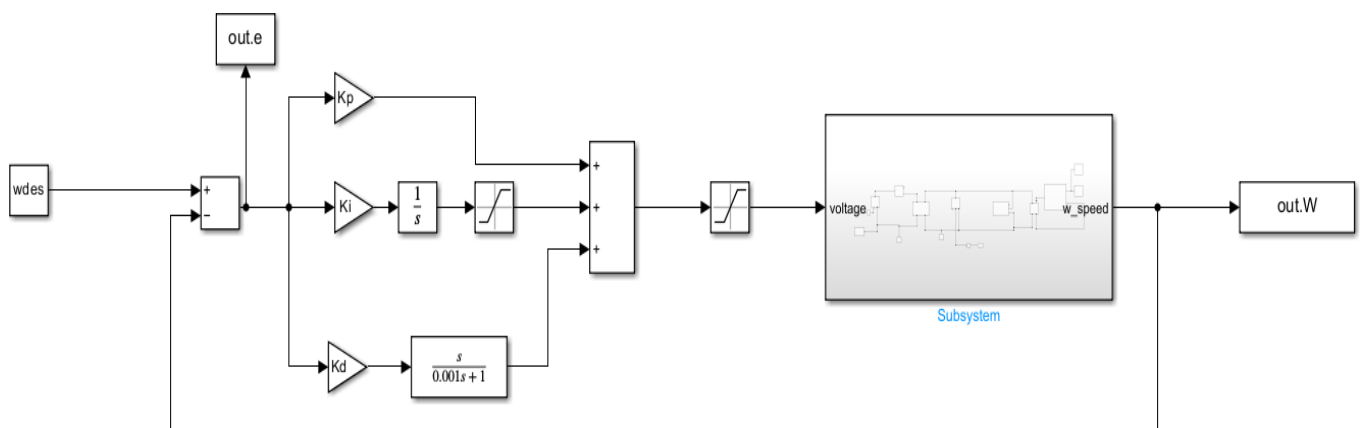


Рисунок 5. Структура системы управления контуром скорости с реальным ПИД-регулятором

Я выбрал следующие коэффициенты:

$$K_p = 60;$$

$$K_i = 0.05;$$

$$K_d = 0.05;$$

Ну и получились вот такие графики

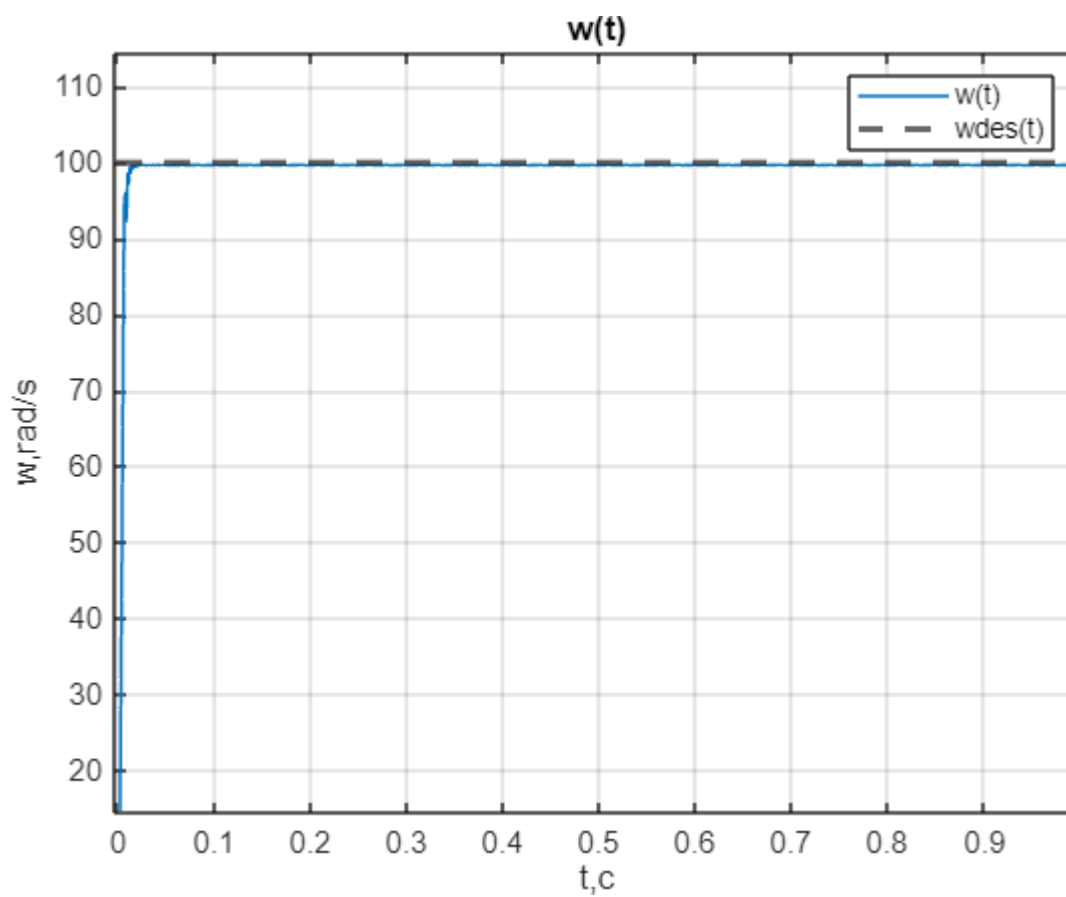


График 12. График $\omega(t)$ при выбранных мною коэффах ПИДа

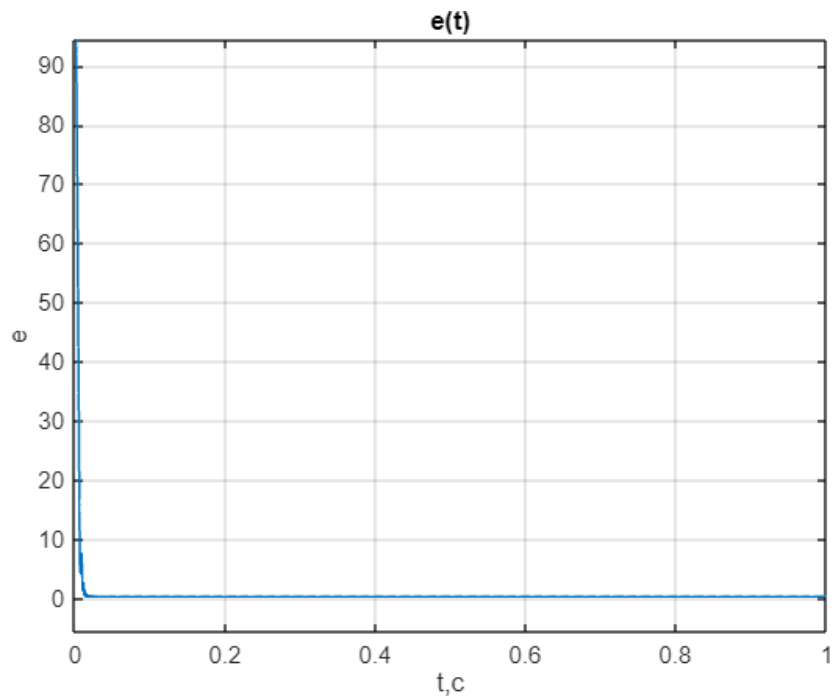


График 13. График $e(t)$ при выбранных мною коэффах ПИДа

На графике ошибки (см график 13) видно, что значение почти равняется нулю. В целом, так как у нас весьма быстрый переходный процесс, и движители достигают нужной скорости, могу сказать, что регулятор неплохо выполняет поставленную задачу.

Часть 4. Синтез системы управления ДПТ НВ подводного дрона

Суть задания в том, что теперь у нас не один движитель, а четыре, и надо построить индивидуальные графики скорости к каждому.

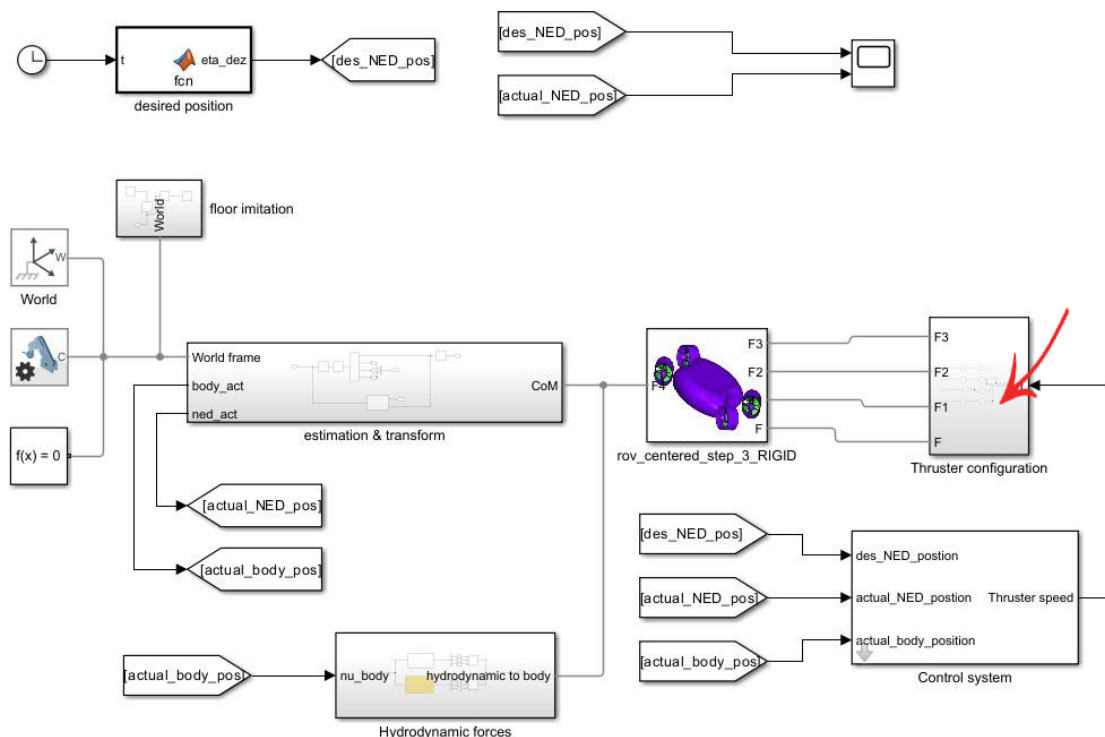


Рисунок 6. Модель дрона в среде Simscape

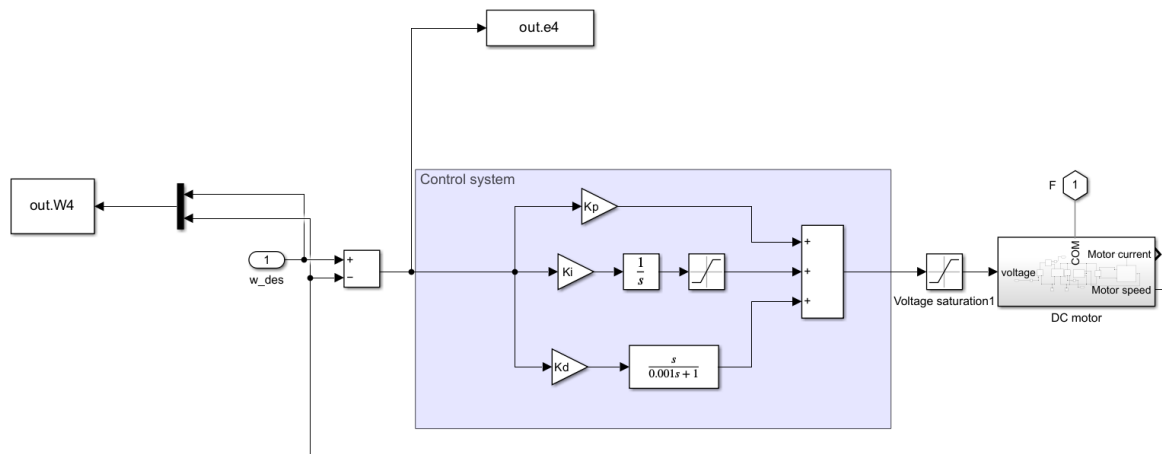


Рисунок 7. Дополненная СУ для одного из движателей

Выбрали следующие коэффициенты

$$K_p = 100;$$

$$K_i = 0.01;$$

$$K_d = 0.3;$$

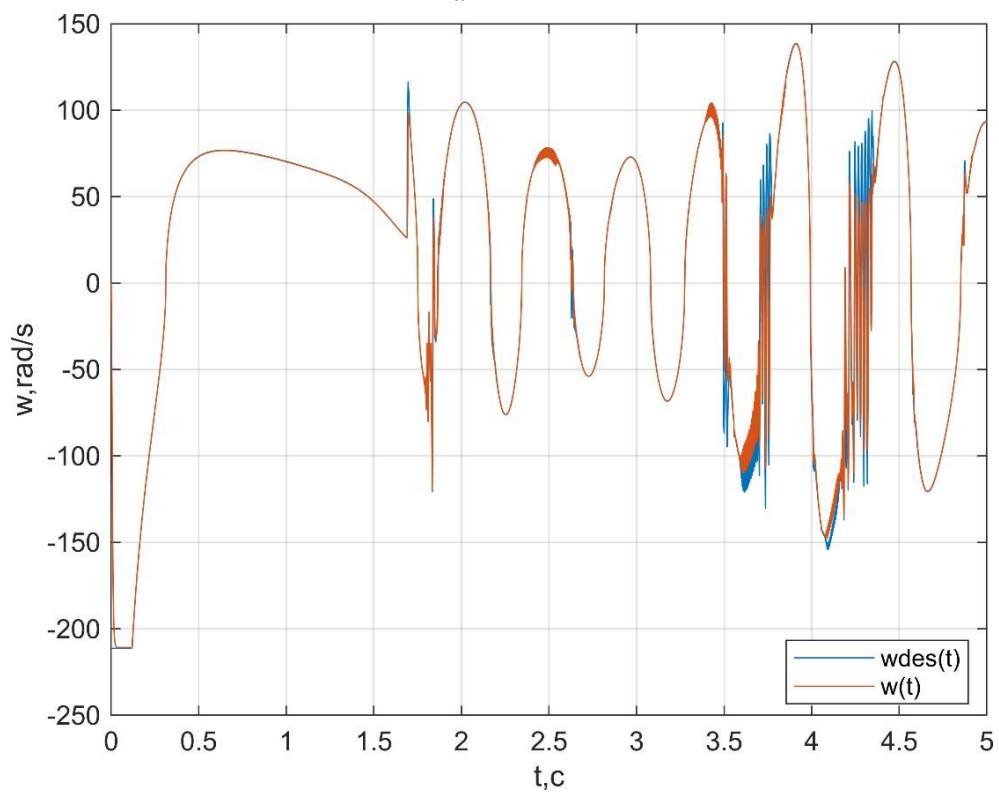


График 14. График $\omega_1(t)$ при выбранных мною коэффах ПИДа

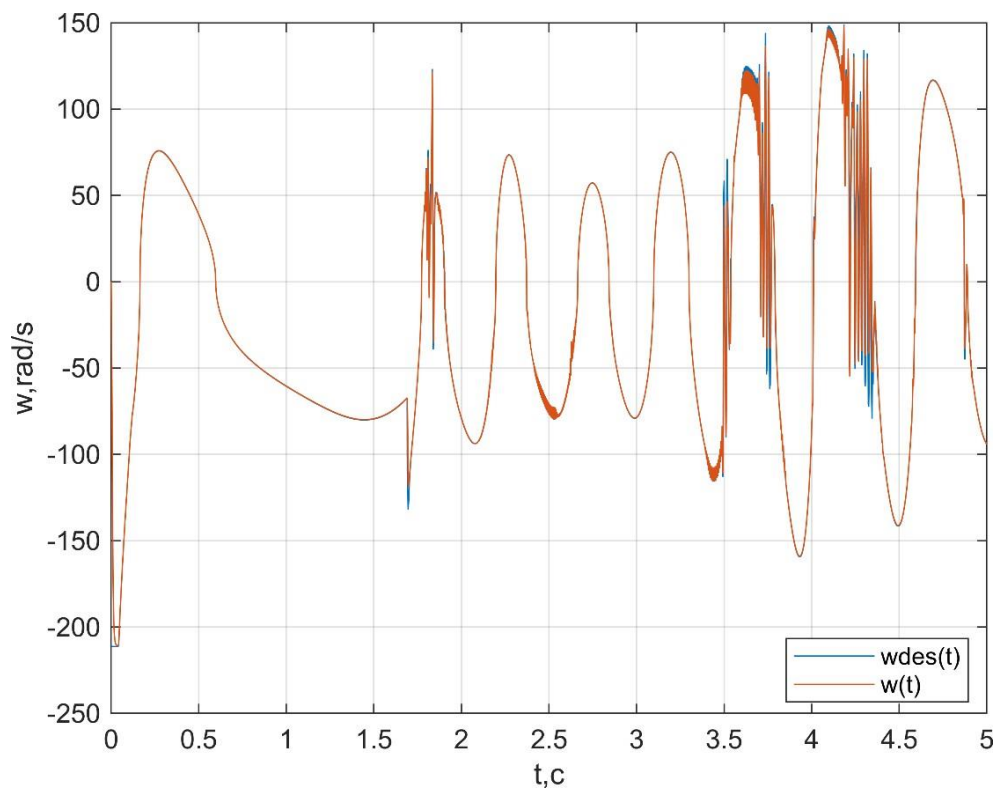


График 15. График $\omega_2(t)$ при выбранных мною коэффах ПИДа

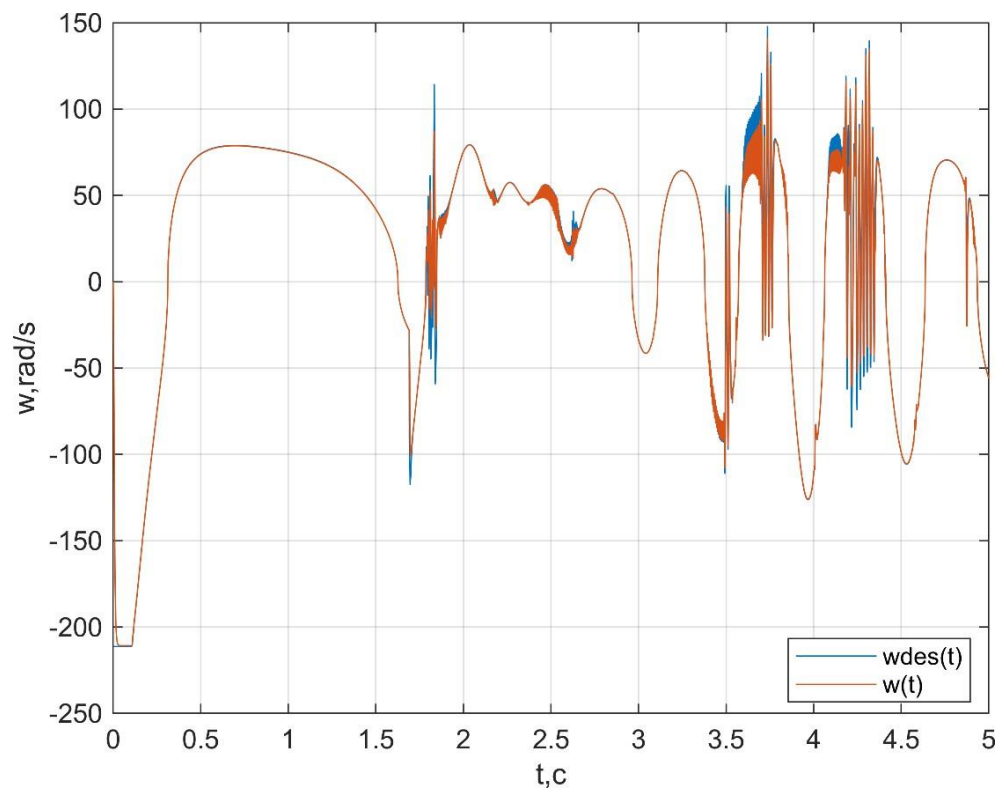


График 16. График $\omega_3(t)$ при выбранных мною коэффах ПИДа

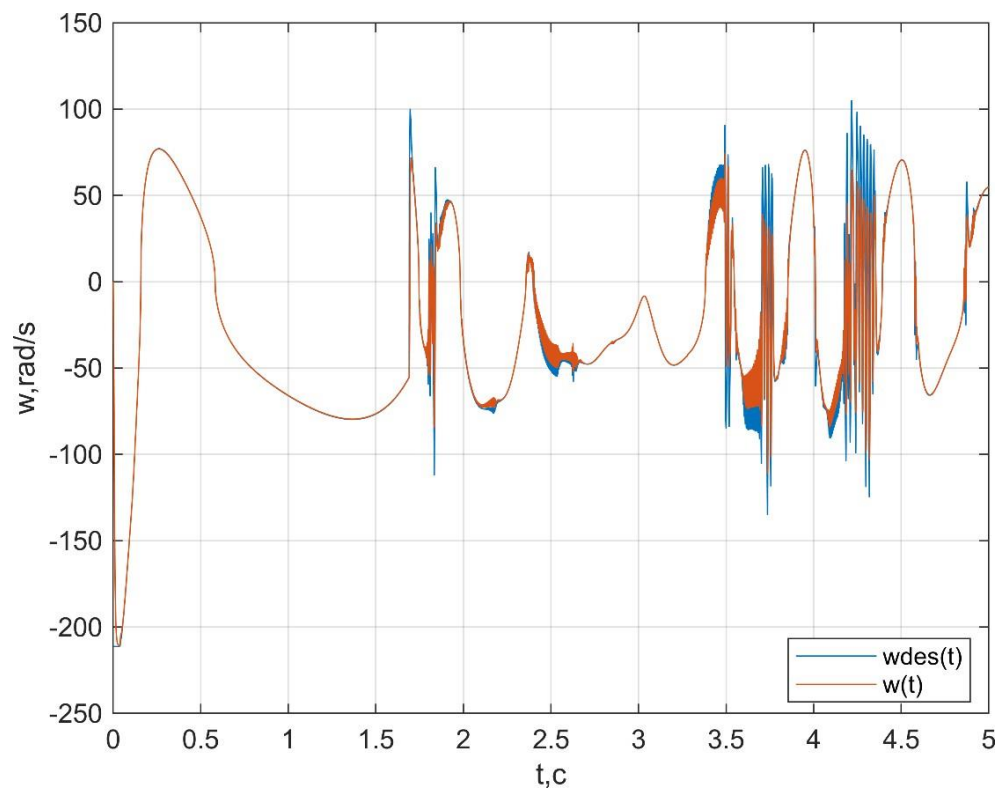


График 17. График $\omega_4(t)$ при выбранных мною коэффах ПИДа

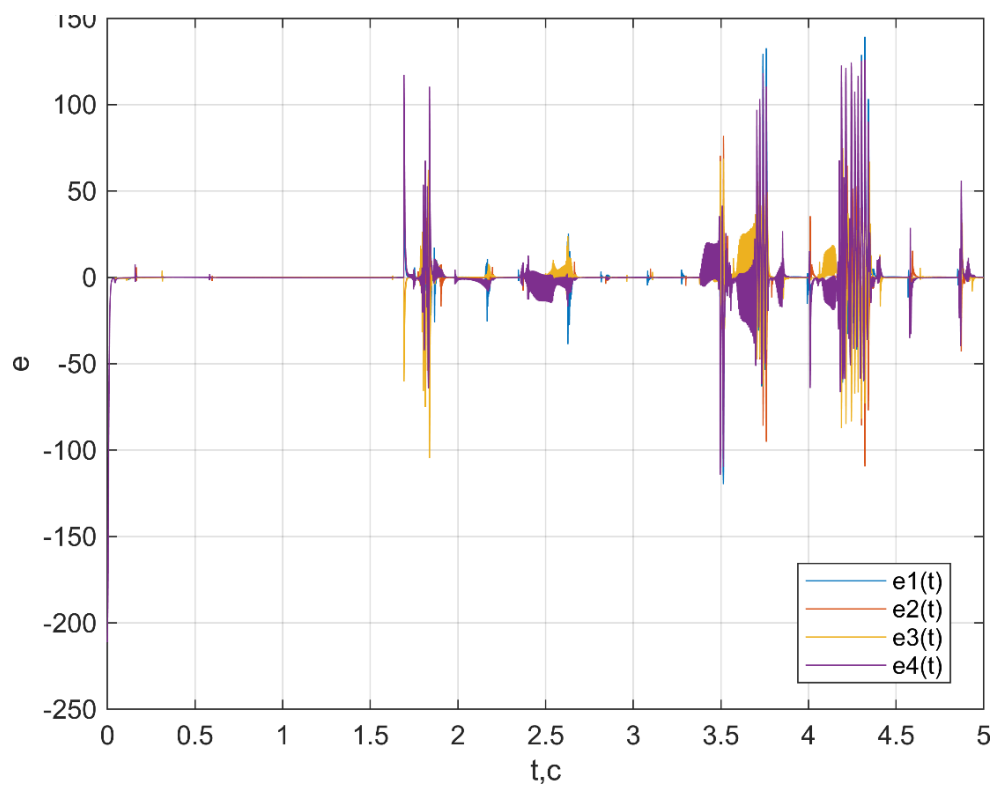


График 18. График $e(t)$ при выбранных мною коэффах ПИДа