

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Кафедра Систем Управления и Информатики Группа Р3340

Лабораторная работа №10  
“Исследование математической модели  
электромеханического объекта управления”  
Вариант - 02

Выполнил \_\_\_\_\_ (подпись)  
(фамилия, и.о.)

Проверил \_\_\_\_\_ (подпись)  
(фамилия, и.о.)

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_г. Санкт-Петербург, 20\_\_г.

Работа выполнена с оценкой \_\_\_\_\_

Дата защиты "\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_г.

## Цель работы

Изучение математических моделей и исследование характеристик электромеханического объекта управления, построенного на основе электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения.

## Исходные данные

Функциональная схема исследуемого электромеханического объекта и исходные данные к нему представлены на рисунке 1 и таблице 1

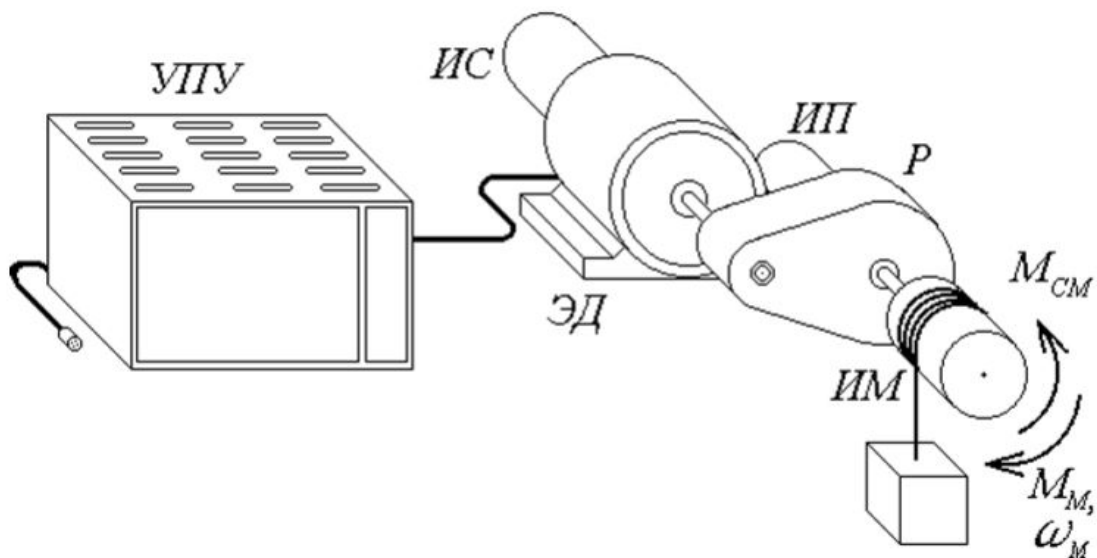


Рисунок 1 – Функциональная схема ЭМО

Таблица 1 – Исходные данные

$U_H,$ В	$n_0,$ об/мин	$I_H,$ А	$M_H,$ Н·м	$R,$ Ом	$T_{Я},$ мс	$J_d,$ кг·м <sup>2</sup>	$T_y,$ мс	$i_P$	$J_M,$ кг·м <sup>2</sup>
48	1000	12	5,5	0,75	5	$1,6 \cdot 10^{-3}$	6	16	2,75

# 1 Расчет параметров математической модели двигателя

Рассчитаем по исходным данным дополнительные параметры моделирования.

$$K_y = \frac{U_H}{U_m} = 4.8 \quad (1)$$

$$w_0 = n_0 \frac{\pi}{30} = 104.72 \quad (2)$$

$$K_e = \frac{U_H}{w_0} = 0.4584 \quad (3)$$

$$K_d = \frac{1}{R} = 1.33 \quad (4)$$

$$K_M = \frac{M_H}{I_H} = 0.4583 \quad (5)$$

$$J_\Sigma = 1.2J_d + \frac{J_M}{i_p^2} = 0.0127 \quad (6)$$

Коэффициенты передачи измерительных устройств  $K_U, K_I, K_\omega, K_\alpha$  выбираются таким образом, чтобы обеспечить соответствие максимального значения измеряемого сигнала уровню 10 В на выходе измерительного устройства. В итоге получим следующие значения коэффициентов:

$$K_U = \frac{\hat{U}_{y_{max}}}{U_H} = \frac{10}{24} = 0.4167 \quad (7)$$

$$K_I = \frac{\hat{I}_{max}}{I_{max}} = \frac{10}{34.18} = 0.4168 \quad (8)$$

$$K_\omega = \frac{\hat{\omega}_{max}}{\omega_0} = \frac{10}{52.36} = 0.1910 \quad (9)$$

$$K_\alpha = \frac{\hat{\alpha}_{max}}{\alpha_{max}} = \frac{10}{32.55} = 0.3071 \quad (10)$$

## 2 Вывод моделей ВСВ для полной схемы моделирование ЭМО

Запишем уравнения, описывающие работу ЭМО.

$$\begin{cases} k_M I - M_c = J_\Sigma \dot{\omega} \\ T_\pi \dot{I} + I = k_d U_y - k_d k_e \omega \\ T_y \dot{U}_y + U_y = k_y U \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \dot{\omega} = \frac{k_M}{J_\Sigma} I - \frac{1}{J_\Sigma} M_c \\ \dot{I} = -\frac{k_d k_e}{T_\pi} \omega - \frac{1}{T_\pi} I + \frac{k_d}{T_\pi} U_y \\ \dot{U}_y = -\frac{1}{T_y} U_y + \frac{k_y}{T_y} U \end{cases} \quad (11)$$

Примем вектор состояния  $X = \begin{bmatrix} \alpha & \omega & I & U_y \end{bmatrix}^T$  и  $\dot{\alpha} = \omega$ , получим следующую модель вход состояние выход (ВСВ)

$$\begin{bmatrix} \dot{\alpha} \\ \dot{\omega} \\ \dot{I} \\ \dot{U}_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{k_M}{J_\Sigma} & 0 \\ 0 & -\frac{k_d k_e}{T_\pi} & -\frac{1}{T_\pi} & \frac{k_d}{T_\pi} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \omega \\ I \\ U_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J_\Sigma} \\ 0 & 0 \\ \frac{k_y}{T_y} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U(t) \\ M_c(t) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \omega \\ I \\ U_y \end{bmatrix} \quad (13)$$

### 3 Моделирование электромеханического объекта

На рисунке 2 представлена структурная схема моделирования электромеханического объекта, а на рисунке 3 - функциональная.

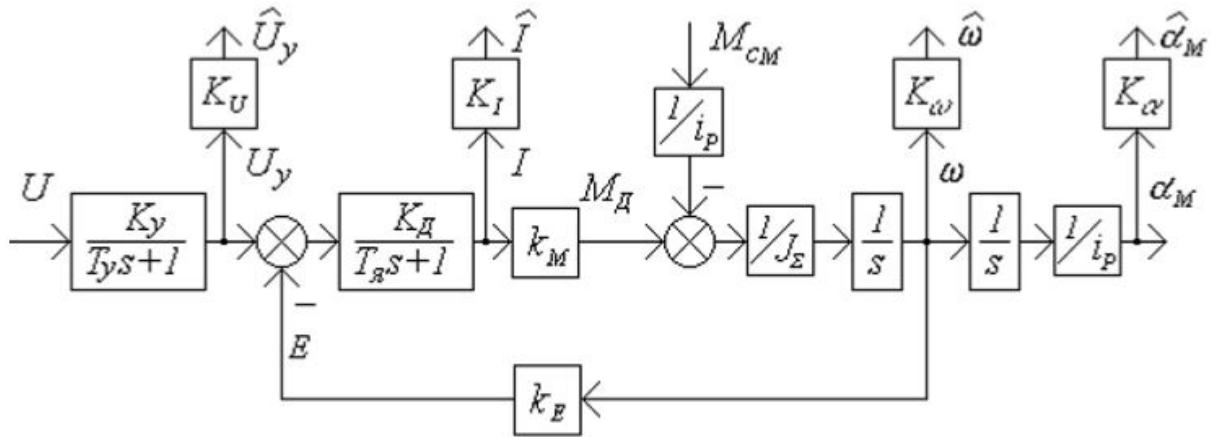


Рисунок 2 – Структурная схема ЭМО

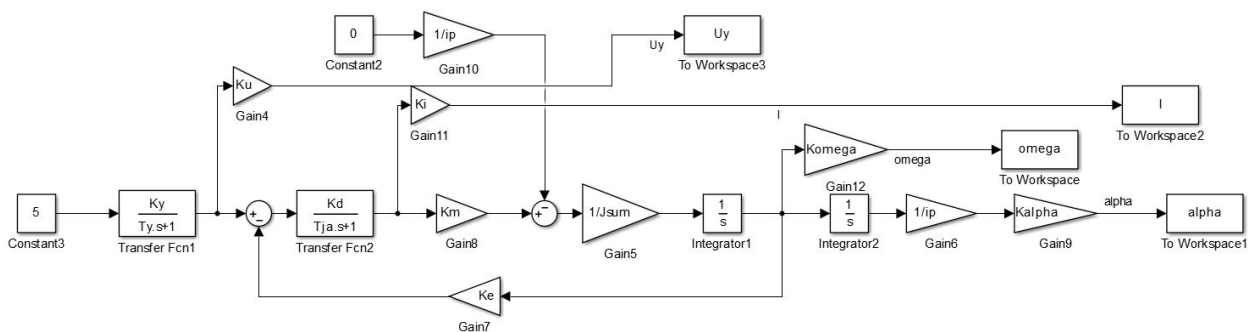


Рисунок 3 – Функциональная схема ЭМО

Рассмотрим переходные процессы полной модели ЭМО. На рисунке 4 изображены графики напряжения  $U_y$ , тока  $I$ , скорости  $\omega$  и угла  $\alpha$ .

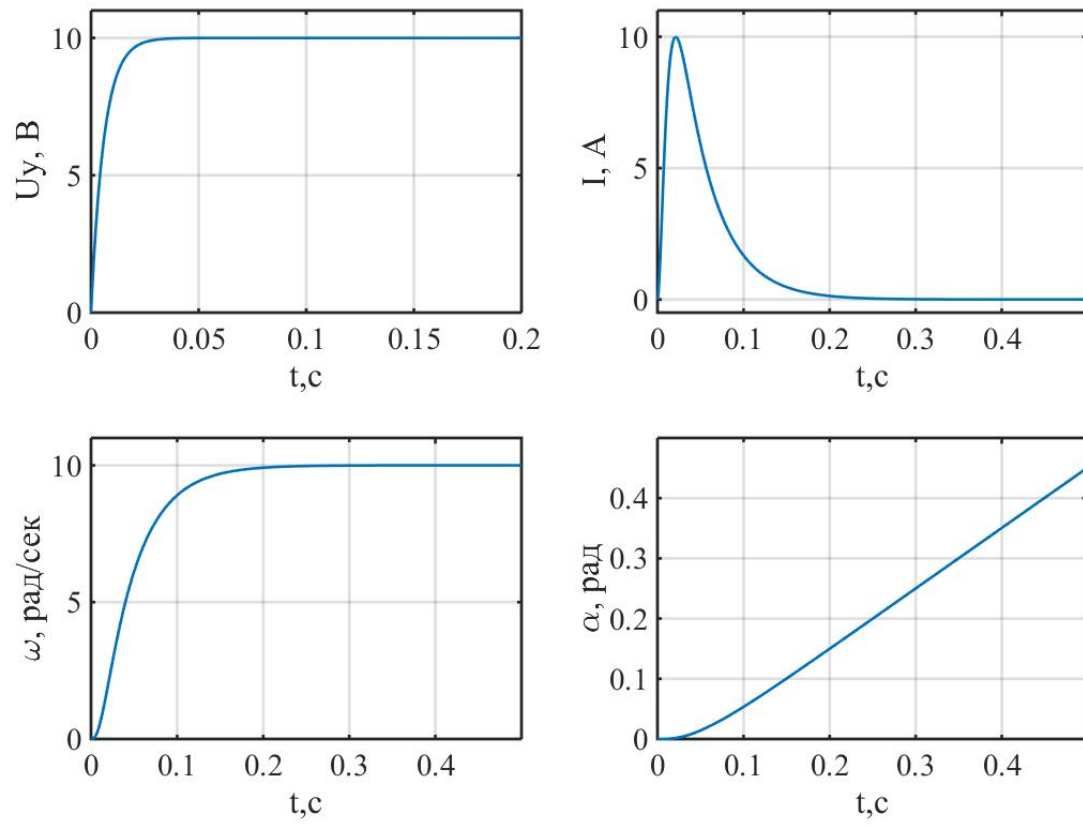


Рисунок 4 – Графики переходных процессов при  $M_{cm} = 0$  Нм и  $U = 5$  В

## 4 Исследование влияния момента сопротивления на вид переходных процессов

Для исследования влияния момента сопротивления на ЭМО необходимо изменять момент сопротивления  $M_{cm} = 0$  от 0 до  $i_p * M_n = 88$ . Полученные графики приведены на рисунке 5

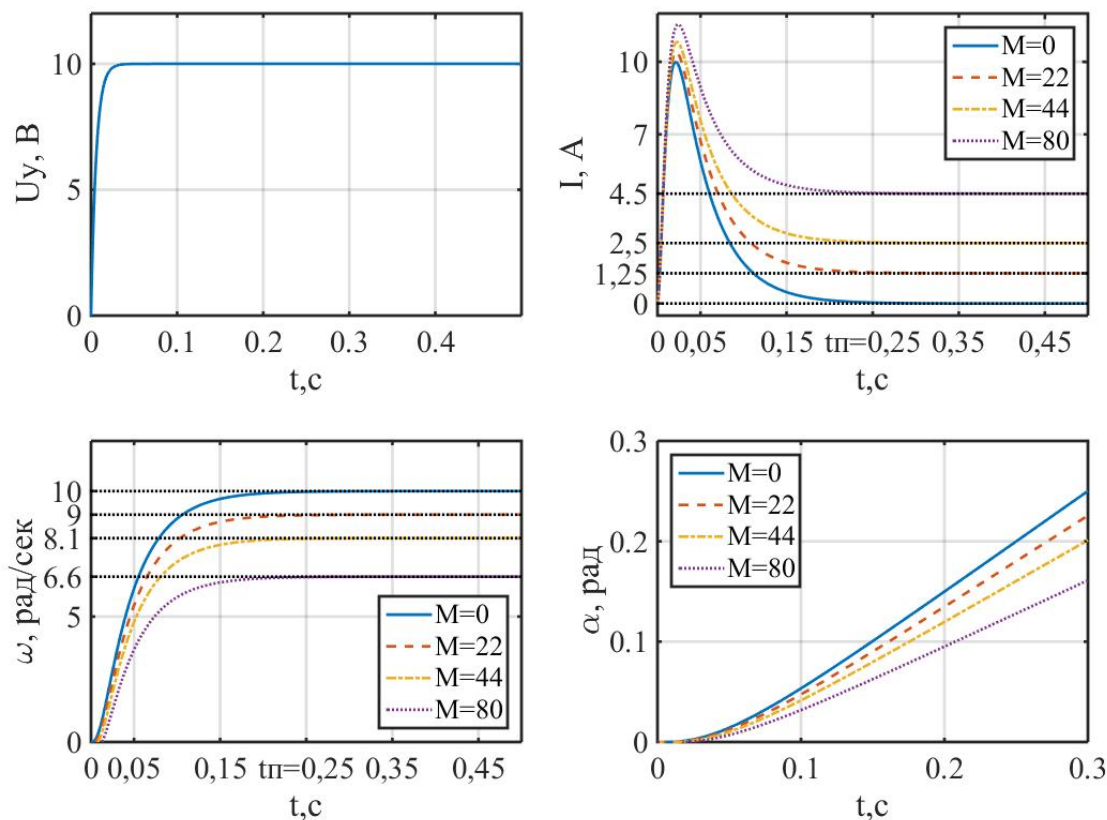


Рисунок 5 – Графики переходных процессов при изменении момента

В ходе эксперимента, изменяя нагрузочный момент, мы получили различные значения времени, установившиеся значения тока, угловой скорости переходного процесса, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Установившихся значения при  $M_{cm}$

$M_{cm}$ , НМ	$t_n$ , с	$\omega_y$ , рад/сек	$I_y$ , А
0	0.25	10	0
22	0.25	9	1.25
44	0.25	8.1	2.5
80	0.25	6.6	4.5

## 5 Исследование влияния момента инерции нагрузки $J_M$

На рисунке 6 представлены графики переходных процессов при различных значениях момента инерции нагрузки  $J_M$ .

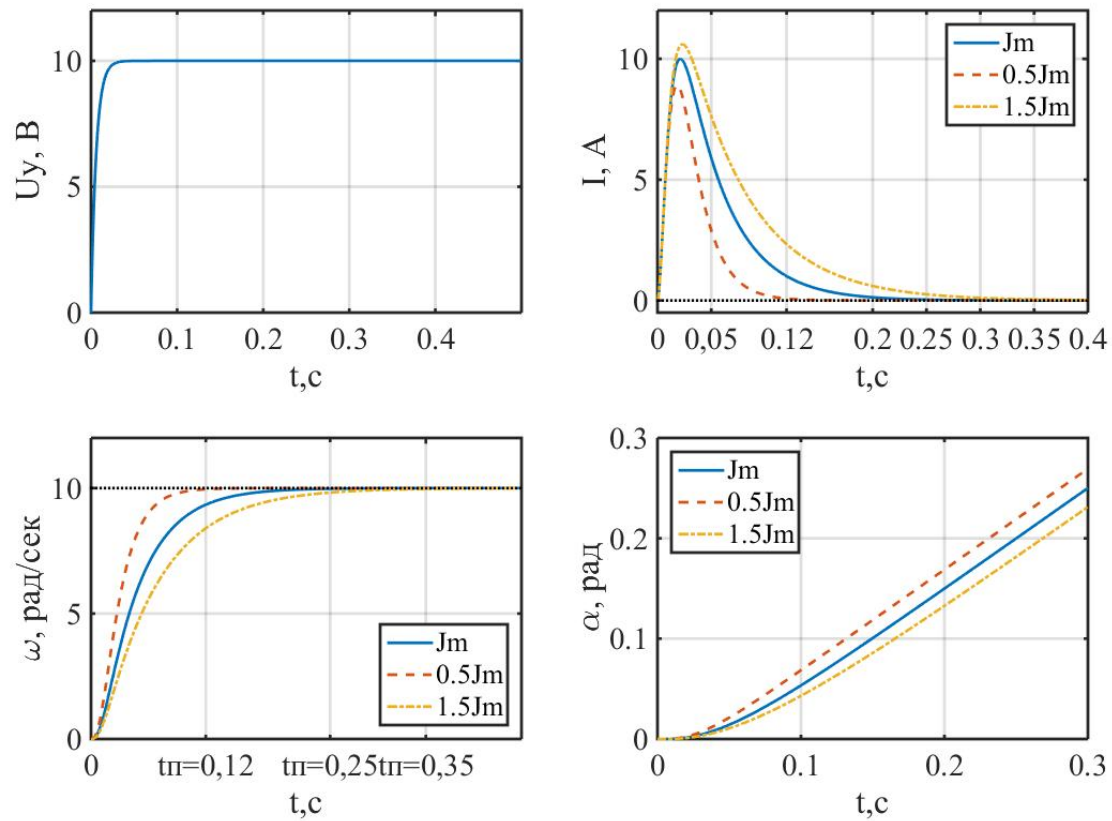


Рисунок 6 – Графики переходных процессов при различных  $J_M$

В ходе эксперимента, изменяя момент инерции нагрузки, мы получили различные значения времени, установившиеся значения тока, угловой скорости переходного процесса, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Установившихся значения при  $J_M$

$J_M$ , Нм	$t_{\pi}$ , с	$\omega_y$ , рад/сек	$I_y$ , А
$1.37 = 0.5J_M$	0.12	10	0
$2.75 = J_M$	0.25	10	0
$4.12 = 1.5J_M$	0.35	10	0



## 6 Исследование влияния передаточного отношения $i_p$

На рисунках 7 и представлены графики переходных процессов при различных значениях передаточного отношения и нулевом моменте нагрузки  $M_{CM} = 0$  и при  $M_{CM} = 44$ .

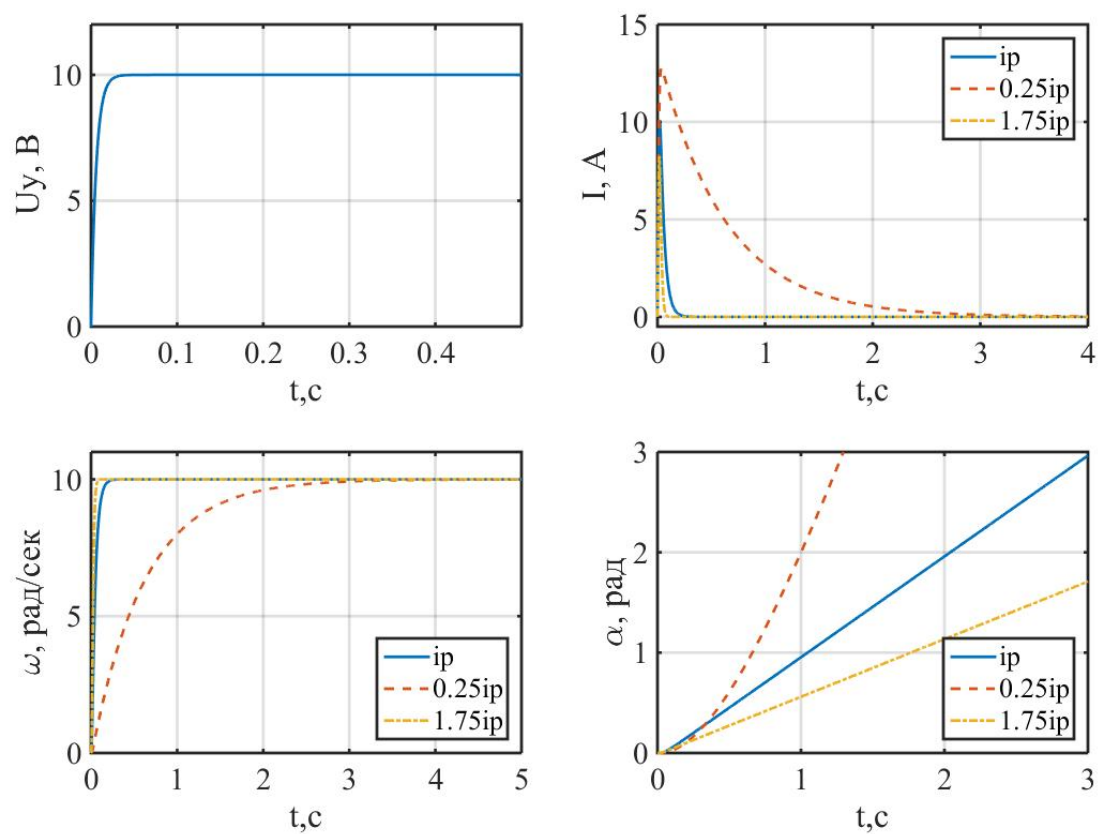


Рисунок 7 – Графики прехеходных процессов при различных  $i_p$  и  $M_{CM} = 0$  Нм

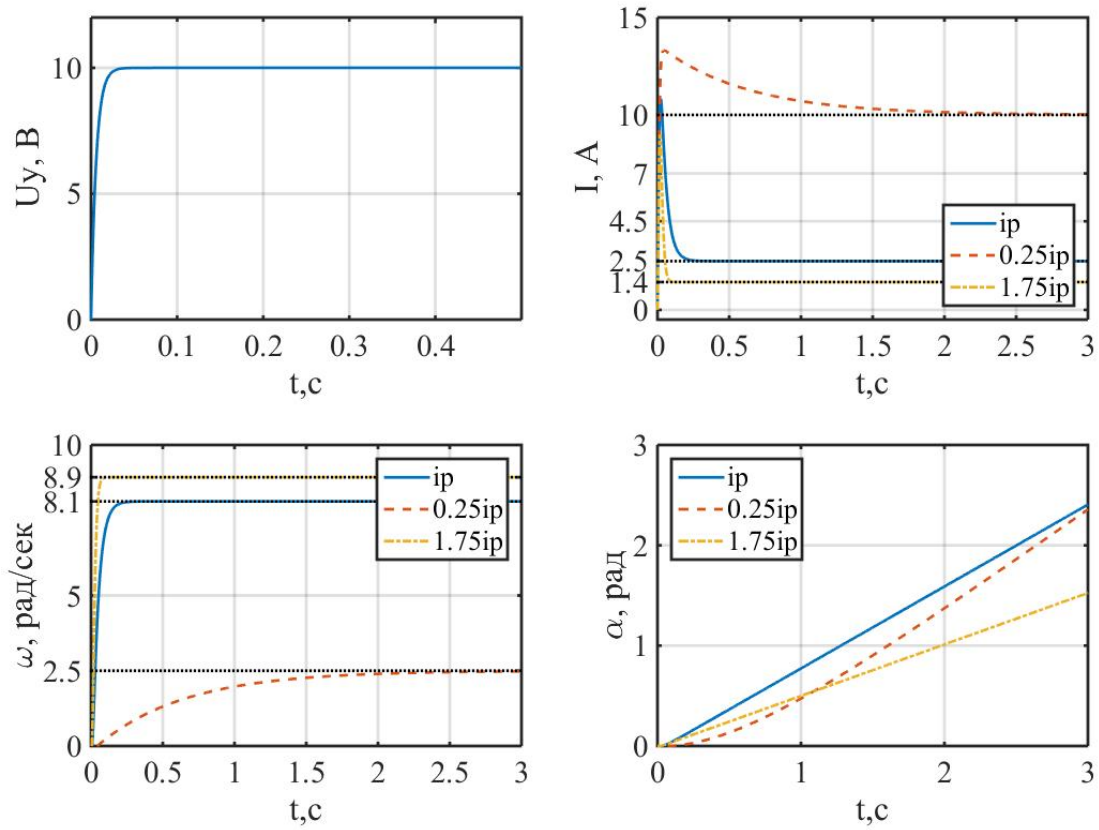


Рисунок 8 – Графики прехеходных процессов при различных  $i_p$  и  $M_{CM} = 44$  Нм

## 7 Вывод модели ВСВ для упрощенной схемы моделирования ЭМО

Для составления упрощенной модели ЭМО приравниваем постоянные времени  $T_y$  и  $T_\omega$  к 0, так как их значения существенно меньше  $T_m$ . Получим следующие выражения:

$$\begin{cases} \dot{\alpha} = \omega \\ \dot{\omega} = -\frac{k_m k_d k_e}{J_\Sigma} \omega + \frac{k_m k_d k_y}{J_\Sigma} U - \frac{1}{J_\Sigma} M_c \end{cases} \quad (14)$$

Исходя из данной системы можно построить модель ВСВ.

$$\begin{bmatrix} \dot{\alpha} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{k_m k_d k_e}{J_\Sigma} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{k_m k_d k_y}{J_\Sigma} & -\frac{1}{J_\Sigma} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U(t) \\ M_c(t) \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \omega \end{bmatrix} \quad (16)$$

## 8 Моделирование упрощенной моделей ЭМО

На рисунке 9 представлена структурная схема упрощенной модели ЭМО, а на рисунке 10 - функциональная.

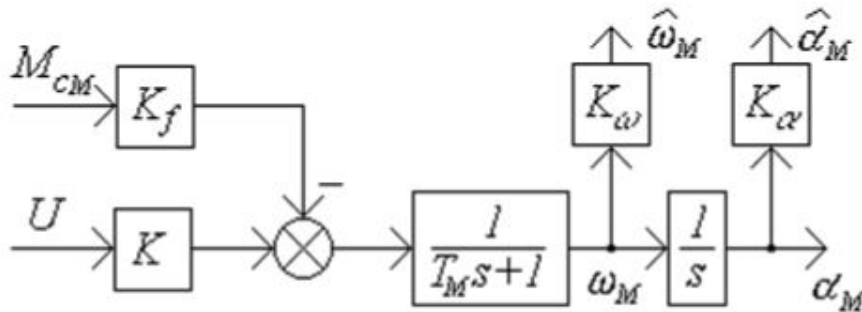


Рисунок 9 – Структурная схема упрощенной модели ЭМО

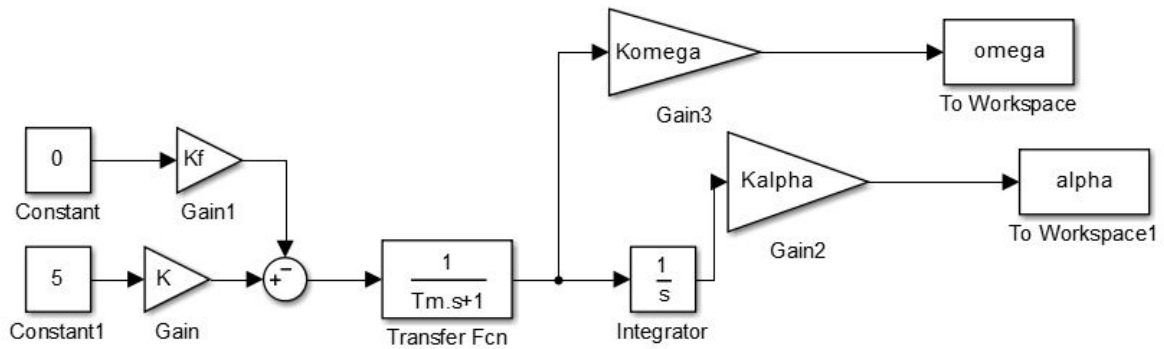


Рисунок 10 – Структурная схема упрощенной модели ЭМО

Сравним переходные характеристики полной и упрощенной модели на рисунке 11

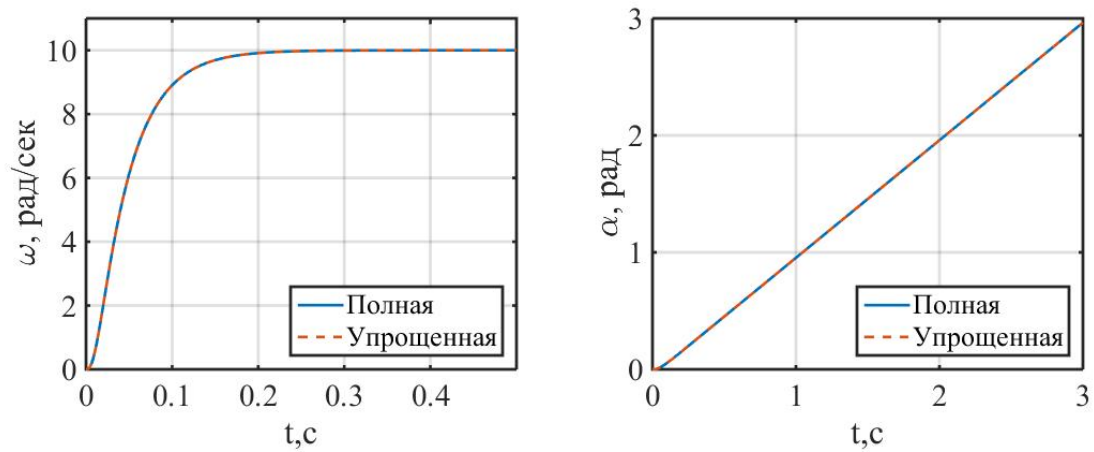


Рисунок 11 – Структурная схема упрощенной модели ЭМО

## Вывод

В ходе работы было исследовано различное влияние моментов нагрузки, инерции, передаточных моментов редуктора и постоянных времени на модель электромеханического объекта.

Было выявлено, что, при увеличении момента инерции, увеличивается время переходных процессов, при увеличении момента сопротивления, увеличивается установившееся значение тока якоря и уменьшается установившееся значение угловой скорости, а изменение передаточного момента редуктора влияет только при наличии нагрузочного момента.

Так же была исследована упрощенная модель ЭМО, которая подтверждает, что при достаточно малых постоянных времени у электрических процессов по сравнению с механическими можно использовать упрощенную модель ЭМО.