

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Факультет систем управления и робототехники



**Электрический привод**  
**Лабораторная работа №1**

**Выполнил студент:**

Мысов М.С.

Группа № R33372

**Руководитель:**

Маматов А.Г.

г. Санкт-Петербург

2023

## Вариант – 10

### 1. Задание

1. Определить скорость вращения, момент на валу и мощность двигателя, необходимого для привода домкрата, предназначенного для подъёма груза массой  $m$  со скоростью  $v$ , и произвести его выбор из серии 5А. Скорректировать ременную передачу изменением диаметра шкива двигателя  $d_1$
2. Определить параметры расчётных схем (а-в) и резонансные частоты пяти-, трёх- и двухмассовой системы тел.
3. Составить модели 2-, 3- и 5- массовых систем в Simulink и Simscape с учетом рассчитанных активных моментов нагрузки.

### 2. Данные для расчета

№	$m$ [кг]	$v$ [м/с]	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	$J_2$	$J_3$	$J_4$	$J_5$	$J_6$	$J_7$	$J_8$	$J_9$
										кгм <sup>2</sup>						
10	2500	0,010	20	40	26	58	26	47	0,1500	0,3467	0,0867	0,3467	0,1127	0,5027	0,1300	0,6203

Диаметры шкивов ременной передачи  $d_1=150$  мм,  $d_2=200$  мм.

Число заходов и шаг гайки винтовой передачи  $z=1$ ,  $s=0,01$ м

КПД

ременной передачи: 0,95

зубчатой пары: 0,9

винтовой пары: 0,6

цепной передачи: 0,97

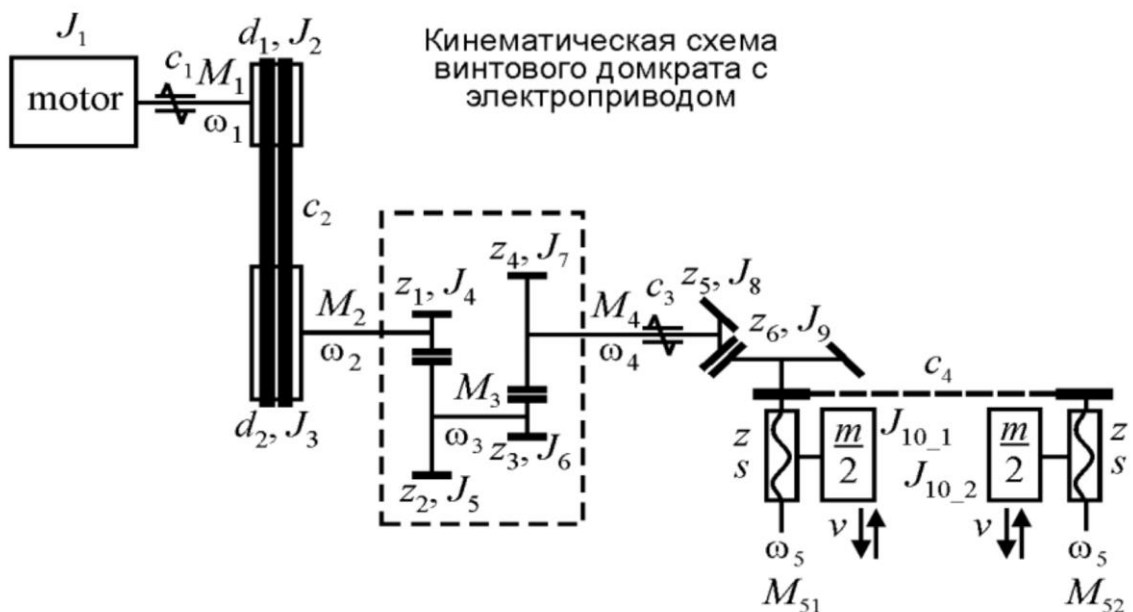
Передаточное отношение цепной передачи  $i=1$

Жёсткость

соединительных муфт:  $15 \times 10^6$  Нм/рад

ременной передачи:  $3 \times 10^6$  Нм/рад

цепной передачи:  $12 \times 10^6$  Нм/рад



### 3. Расчет

#### Задание 1

Передаточное число системы

$$W_d = \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_6}{z_5} = 67.566$$

Приведенный статический момент на валу двигателя

$$M_d = \frac{\frac{m}{2} \cdot 10 \cdot v}{w_d \cdot n_r \cdot n_z \cdot n_v} + \frac{\frac{m}{2} \cdot 10 \cdot v}{w_d \cdot n_r \cdot n_z \cdot n_v \cdot n_c} =$$
$$= \frac{\frac{m}{2} \cdot 10 \cdot v}{w_d \cdot n_r \cdot n_z \cdot n_v} \left( 1 + \frac{1}{n_c} \right) = 9.04 \text{ Нм}$$

Мощность

$$P_d = M_d \cdot w_d = 610.94 \text{ Вт}$$

Угловая скорость в об/мин

$$n_d = \frac{60 \cdot w_d}{2 \cdot \pi} = 645.2 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Выберем ближайший по мощности АД - **5A80MA6**

Таблица 22.3

Технические данные двигателей основного исполнения, степень защиты IP54, класс нагревостойкости изоляции «F», 2p=6; n = 1000 об/мин

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности	Номинальный ток при 380 В, А	Номинальный момент, Нм	Индекс механической характеристики	Отношение пускового момента к номинальному моменту	Отношение пускового тока к номинальному току	Отношение максимального момента к номинальному моменту	Динамический момент инерции ротора, кг·м²	Масса, кг	Сервис-фактор
5A80MA6	0.75	930	70,0	0,68	2,4	7,7	I	2,0	4,5	2,3	0,0033	14	1,15

Номинальная мощность  $p_{nom} = 750 \text{ Вт}$

Номинальная частота вращения  $n_{nom} = 930 \text{ об/мин}$

Номинальный момент  $M_{nom} = 7.7 \text{ Нм}$

$$w_{nomh} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1000}{60} = 104.7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Теперь определим новый диаметр шкива, а именно найдем новое передаточное число:

$$j_{new} = \frac{w_{nomh}}{2 \cdot w_2} \left( 1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot M_2 \cdot n_2}{n_r \cdot h \cdot w_{nomh}}} \right) = 1.9504$$

Найдем диаметр шкива **d1**

$$d_1 = \frac{d_2}{j_{new}} = 0.1025 \text{ м}$$

$$d_1 = 0.104 \text{ м}$$

### Новое передаточное число системы

$$W_d = \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_4} \cdot \frac{z_6}{z_5} = 97.45$$

В итоге

Скорость вращения двигателя

$$n_d = \frac{60 \cdot w_d}{2 \cdot \pi} = 930.6 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Момент на валу

$$M_d = \frac{\frac{m}{2} \cdot 10 \cdot v}{w_d \cdot n_r \cdot n_z \cdot n_z \cdot n_v} \left( 1 + \frac{1}{n_c} \right) = 6.27 \text{ Нм}$$

Мощность

$$P_d = M_d \cdot w_d = 610.94 \text{ Вт}$$

### Задание 2

Динамический момент инерции двигателя  $J_d = 0.0033 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

$$J_{10} = \frac{m}{2} \cdot \left( \frac{v}{w_d} \right)^2 = 0.0000132 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведение маховых масс

$$J_{3-7} = \frac{J_3 + J_4}{j_{23}^2} + \frac{J_5 + J_6}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2} + \frac{J_7}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2 \cdot j_{67}^2} = 0.3226 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{8-10} = \frac{J_8}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2 \cdot j_{67}^2} + \frac{J_9}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2 \cdot j_{67}^2 \cdot j_{89}^2} + \frac{J_{10}}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2 \cdot j_{67}^2} = 0.0091 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{10_2} = \frac{J_{10}}{j_{23}^2} = 1.14 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_a = J_d + J_2 + J_{3-7} + J_{8-10} + J_{10_2} = \mathbf{0.485} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{1-7} = J_d + J_2 + \frac{J_3 + J_4}{j_{23}^2} + \frac{J_5 + J_6}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2} + \frac{J_7}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2 \cdot j_{67}^2} = 0.4759 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_6 = J_{1-7} + J_{8-10} + J_{10_2} = \mathbf{0.485} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{8-10_2} = \frac{J_8}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2 \cdot j_{67}^2} + \frac{J_9}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2 \cdot j_{67}^2 \cdot j_{89}^2} + 2J_{10_2} = 0.0091 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_c = J_{10} + J_{8-10} = \mathbf{0.485} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

## Приведение жесткости

$$c_2 = cr = 3 \cdot 10^6 \text{ Нм/рад}$$

$$c_3 = \frac{cm}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2 \cdot j_{67}^2} = 4.24 \cdot 10^5 \text{ Нм/рад}$$

$$c_4 = \frac{cc}{j_{23}^2 \cdot j_{45}^2 \cdot j_{67}^2 \cdot j_{89}^2} = 1.04 \cdot 10^5 \text{ Нм/рад}$$

$$c_a = \frac{1}{cm} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_4} = 80674 \text{ Нм/рад}$$

$$c_b = \left( \frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_4} \right)^{-1} = 83364 \text{ Нм/рад}$$

## Резонансная частота

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1/J_{17} \\ 0 & 0 & 1/J_{8-10x2} \\ c_{34} & -c_{34} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -0.0002 \\ 0 & 0 & 0.11 \\ 8.336 & -8.336 & 0 \end{bmatrix}$$

### Собственные числа матрицы $A_2$ и резонансные частоты

$$\lambda_{1,2} = \pm 3064i$$

$$\lambda_3 = 0$$

$$\Omega_1 = 3064 \text{ Гц}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1/J_{17} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/J_4 & -1/J_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/J_5 \\ c_3 & -c_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_4 & -c_4 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

### Собственные числа матрицы $A_3$ и резонансные частоты

$$\lambda_{1,2} = \pm 3460i$$

$$\lambda_{3,4} = \pm 1364i$$

$$\lambda_5 = 0$$

$$\Omega_1 = 3460 \text{ Гц}$$

$$\Omega_2 = 1364 \text{ Гц}$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/J_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/J_2 & -1/J_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/J_3 & -1/J_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/J_4 & -1/J_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/J_5 \\ c_1 & -c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & -c_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_4 & -c_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

**Собственные числа матрицы  $A_5$  и резонансные частоты**

$$\lambda_{1,2} = \pm 30482i$$

$$\Omega_1 = 30482 \text{ Гц}$$

$$\lambda_{3,4} = \pm 2000i$$

$$\Omega_2 = 2000 \text{ Гц}$$

$$\lambda_{5,6} = \pm 6941i$$

$$\Omega_3 = 6941 \text{ Гц}$$

$$\lambda_{7,8} = \pm 9548i$$

$$\Omega_4 = 9548 \text{ Гц}$$

### Задание 3

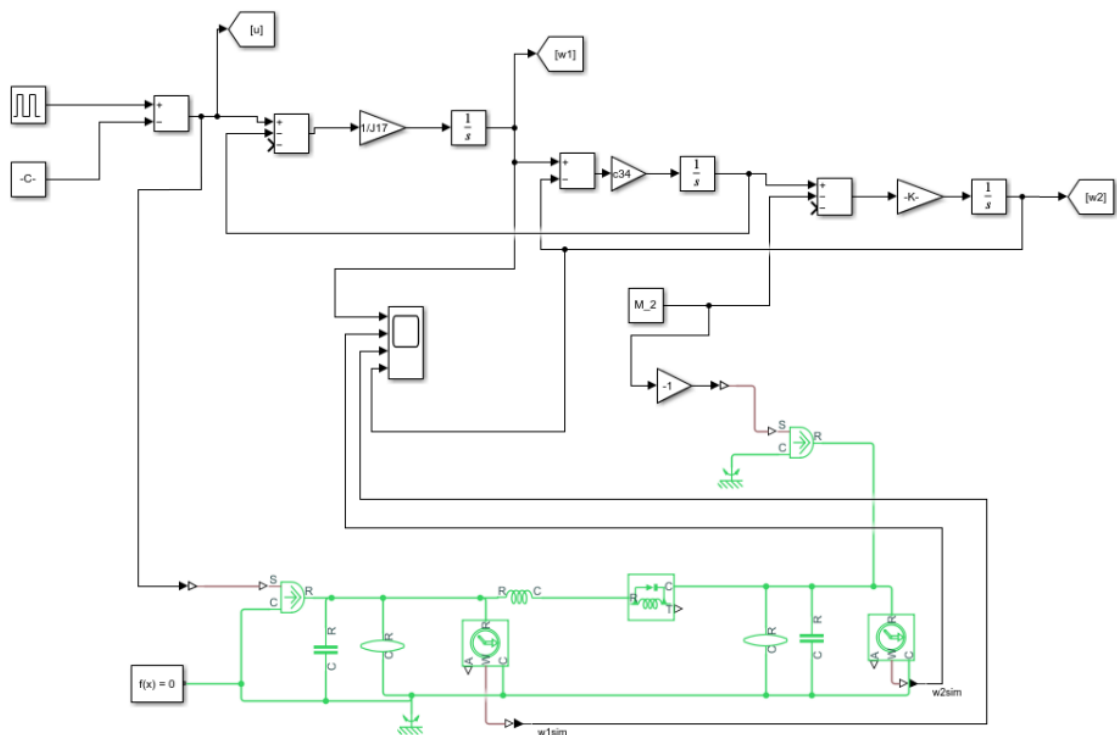


Рисунок 1 – схема для двухмассовой системы

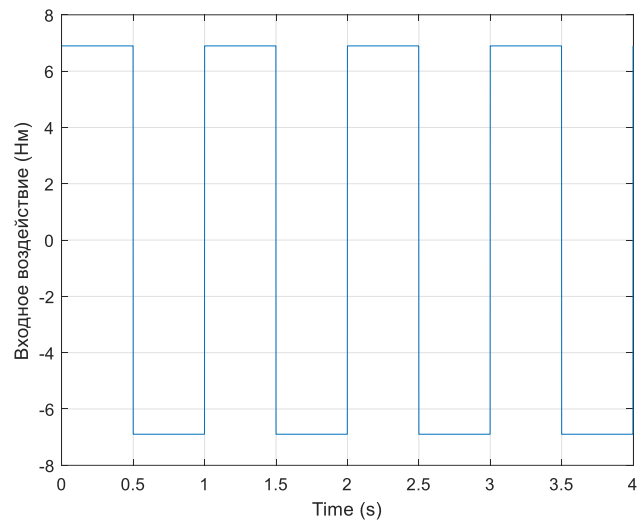


Рисунок 2 – входное воздействие

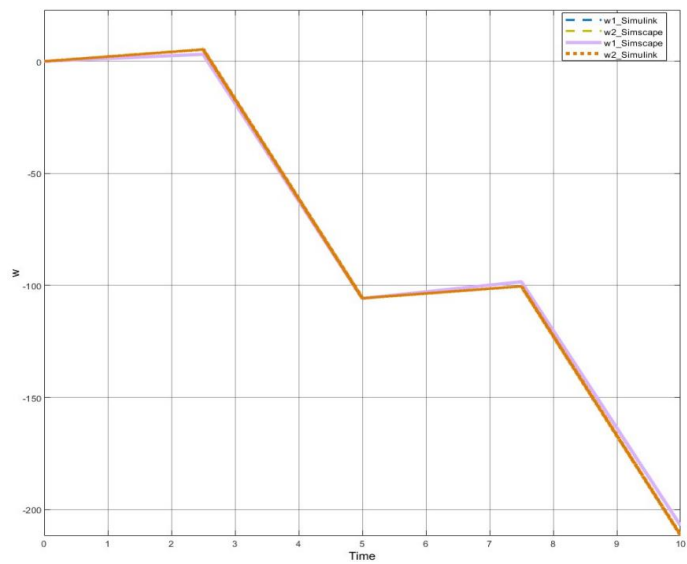


Рисунок 3 – график угловой скорости от времени

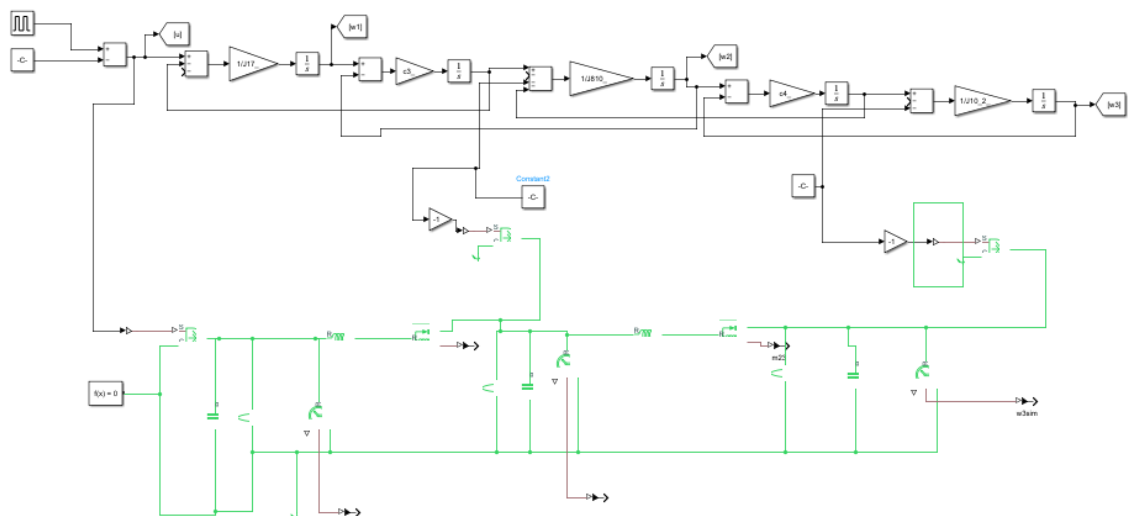


Рисунок 4 – схема для трехмассовой системы

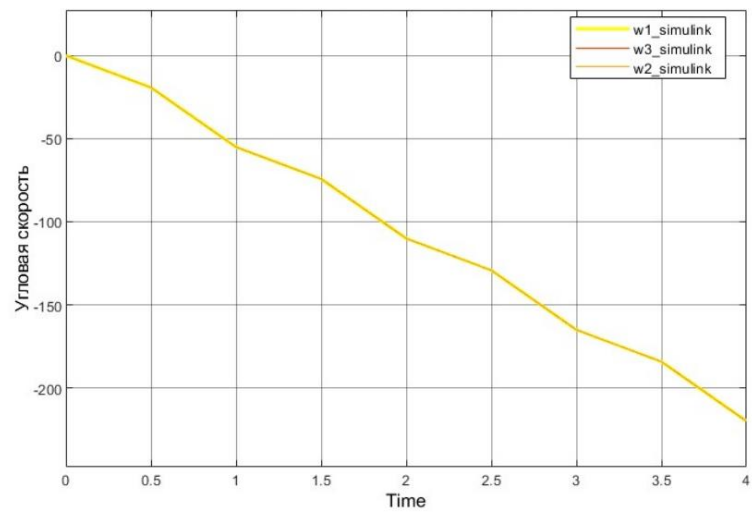


Рисунок 5 – график угловой скорости от времени Simulink

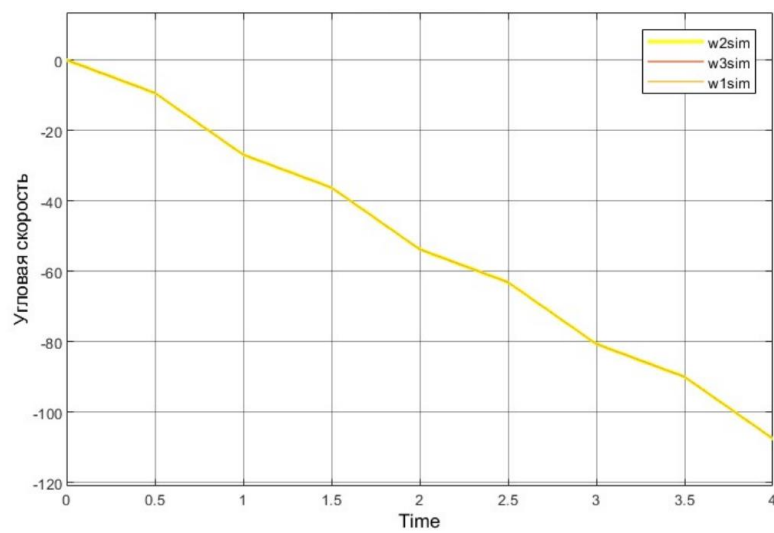


Рисунок 6 – график угловой скорости от времени Simscape

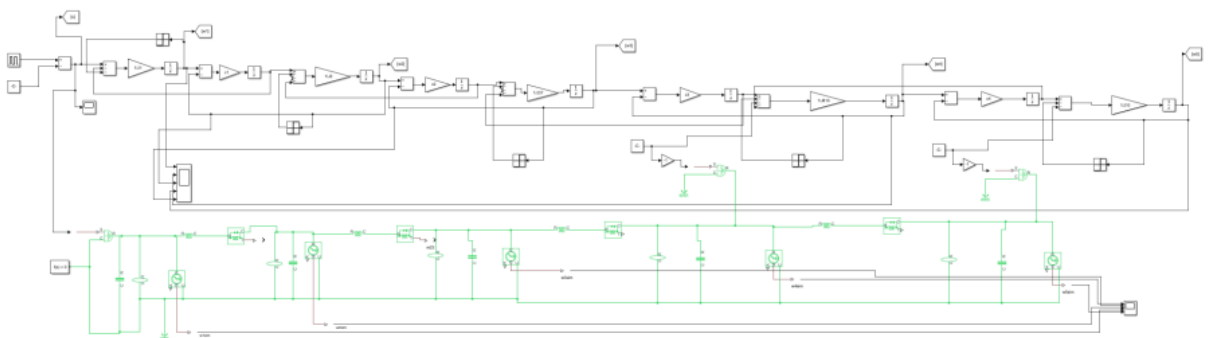


Рисунок 7 – схема для пятимассовой системы



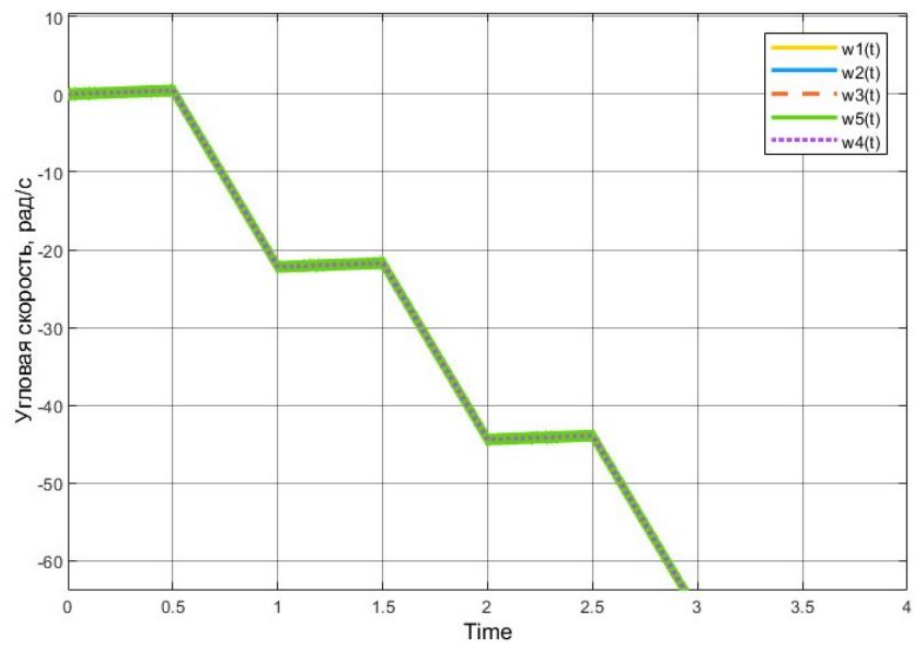


Рисунок 8 – график угловой скорости от времени Simulink

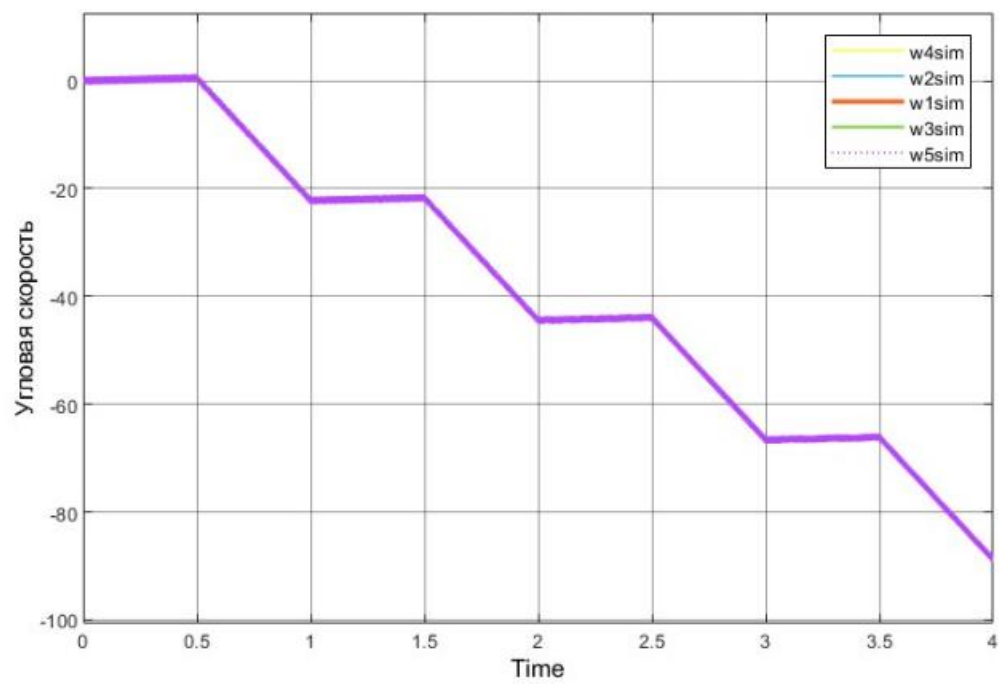


Рисунок 9 – график угловой скорости от времени Simscape

**Трение**

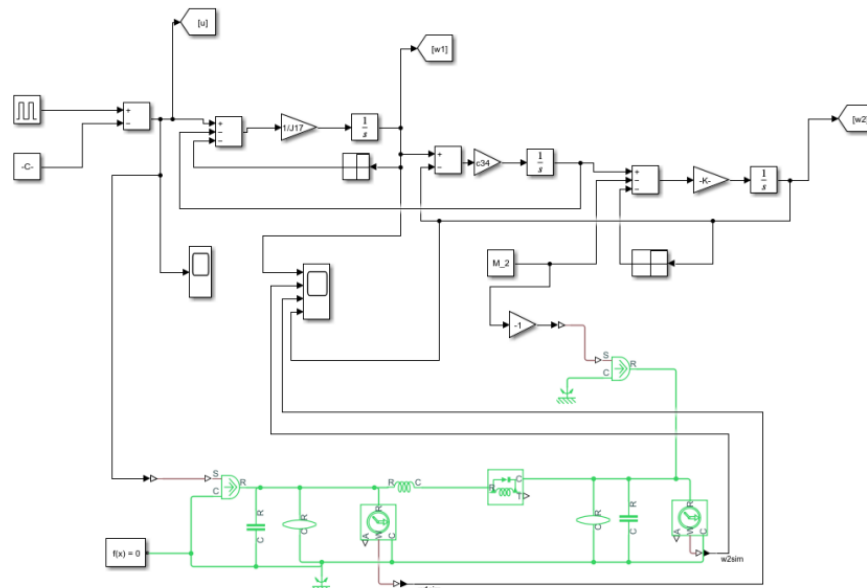


Рисунок 10 – схема для трехмассовой системы с трением

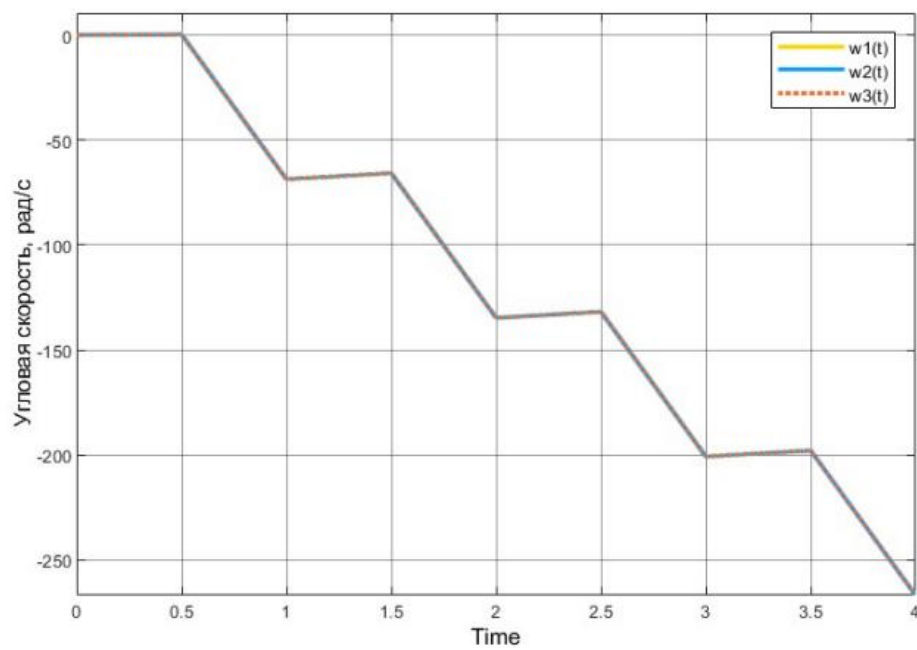


Рисунок 11 – график угловой скорости от времени для трехмассовой системы с трением Simulink

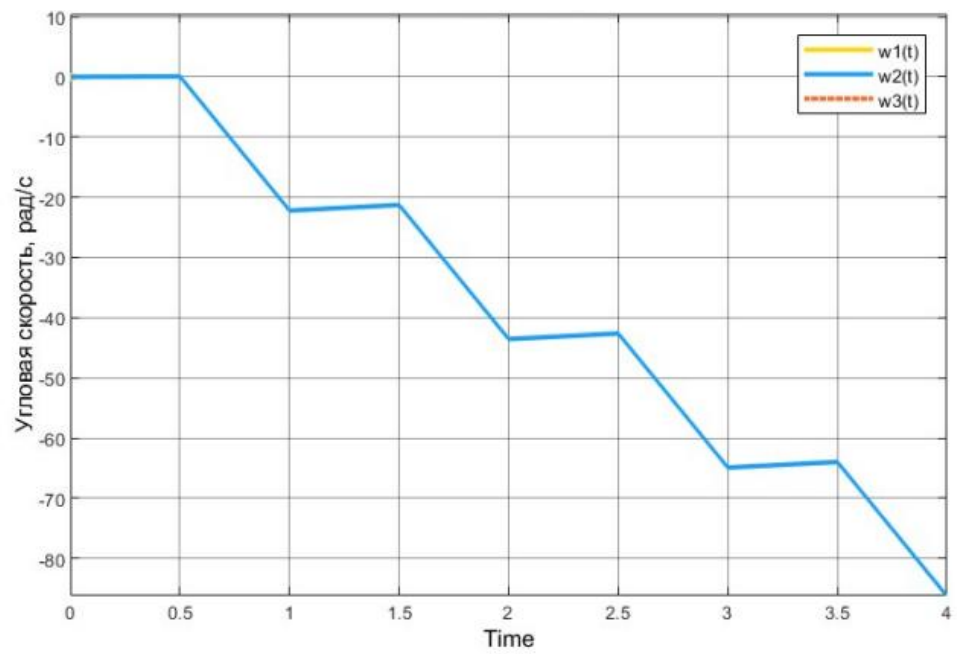


Рисунок 12 – график угловой скорости от времени для трехмассовой системы с трением Simscape

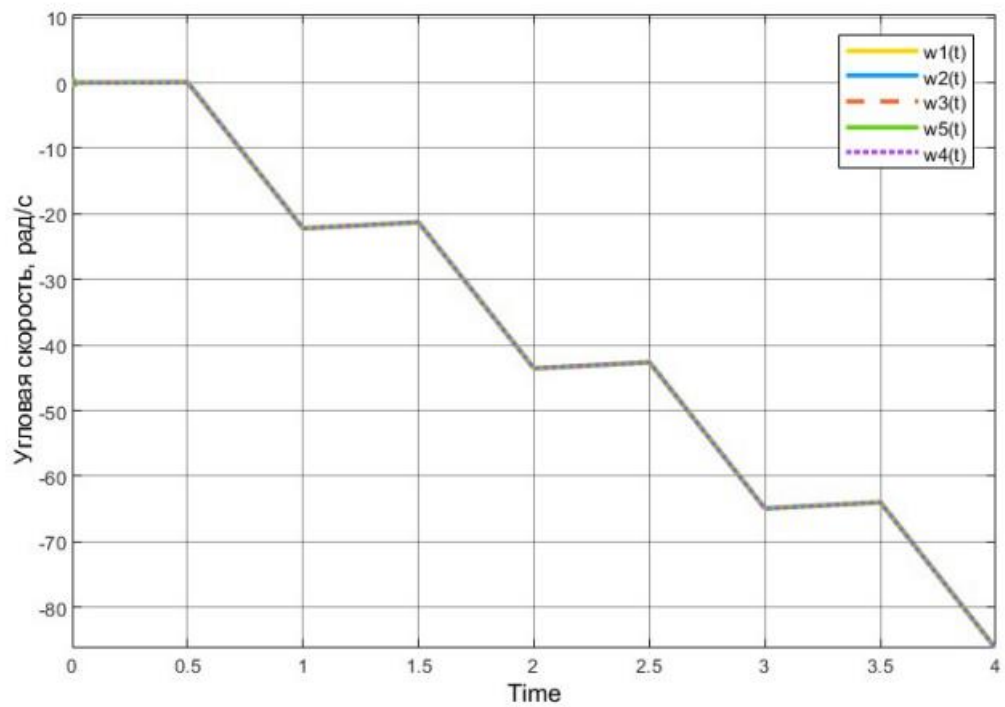


Рисунок 13 – график угловоой скорости от времени для пятимассовой системы с трением Simulink

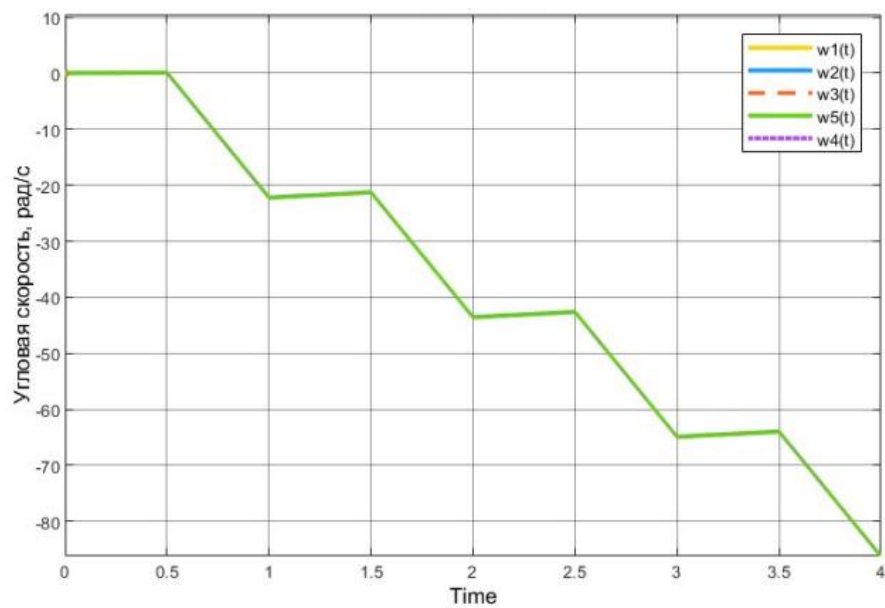


Рисунок 14 – график угловой скорости от времени для пятимассовой системы с трением Simscape

## Вывод

После длительных расчетов мы смогли произвести выбор двигателя, определить параметры расчетных схем и провести моделирование систем.