



Факультет Систем Управления и Робототехники

## ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ EV3

**Аннотация** – В данной лабораторной работе были изучены основные принципы функционирования неотъемлемой части многих робототехнических устройств — электродвигателя постоянного тока, а также проанализированы зависимости различных величин друг от друга.

**Ключевые слова:** ДПТ; Идентификация модели; Python; Lego

### Выполнили

Котуранова М.С.<sup>1</sup>  
Охрименко А. Д.<sup>2</sup>  
Авраменко Е. А.<sup>3</sup>  
Комарова О. И.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>408879, @mariyka\_kot  
<sup>2</sup>408835, @eva0\_duduka  
<sup>3</sup>413083, @kate\_avr  
<sup>4</sup>409506, @O\_0lala

### Проверил

Овчаров А.О.

## Цель работы.

Целью данной лабораторной работы является изучение аппаратуры и программного обеспечения, которые необходимы для освоения содержания курса «Введение в профессиональную деятельность. Проектная деятельность». Перед нами стояли такие задачи как: экспериментальная проверка верности функций, описывающих функционирование электродвигателя постоянного тока без нагрузки, и выявление и анализ параметров  $k$  и  $T_m$ , входящих в эти функции.

## Описание работы.

Сбор экспериментальных данных:

- 1) Подключение двигателя постоянного тока к блоку EV3;
- 2) Включение блока и подключение его к компьютеру с помощью сети WI-FI;
- 3) Написание программы на языке Python, которая подает постоянное напряжение (при аргументе *duty\_cycle\_sp*, равному 100, с помощью метода *run\_direct*) на двигатель в течение одной секунды и записывающую в файл csv формата величины: прошедшее время в секундах (примерный промежуток - 0,01 секунда), угол поворота ротора в градусах и значение угловой скорости в градусах в секунду;
- 4) Загрузка программы в блок EV3;
- 5) Запуск программы на выполнение;
- 6) Перенос полученного текстового файла на компьютер;
- 7) Подставляем в программу в качестве аргумента значения из множества {-100, -80, -60, -40, -20, 20, 40, 60, 80}.
- 8) Отправка полученных файлов на компьютер для дальнейшей обработки.

Обработка экспериментальных данных в Matlab:

- 1) Получение данных из файлов, полученных с блока EV3.
- 2) Выделение столбцов «время», «угол поворота», «угловая скорость».
- 3) Выполняем аппроксимацию полученных зависимостей и получение параметров  $k$  и  $T_m$ .
- 4) Выполняем моделирование схемы работы двигателя с помощью MatLab Simulink.
- 5) Построение графиков зависимостей.

Код на Python, который мы использовали для получения экспериментальных данных о работе электродвигателя:

```
#!/usr/bin/env python3
f = open('lab1.csv', 'w')
import ev3dev2.motor as motor
import time

motor_a=motor.LargeMotor(motor.OUTPUT_A)
for vol in range(-100, 101, 20):
    startTime=time.time()
    while (True):
        currentTime=time.time()-startTime
        motor_pose=motor_a.position
        motor_vel=motor_a.speed
        motor_a.run_direct(duty_cycle_sp=vol)

        f.write('{}, {}, {}, {}\n'.format(vol, currentTime, motor_vel, motor_pose))

        if currentTime>1:
            motor_a.run_direct(duty_cycle_sp=0)
            break
    time.sleep(1)
```

## Код программы на языке MatLab

```
clear all;
files = ["data-100", "data-80", "data-60", "data-40", "data-20", "data20", "data40", "data60", "data80",
"data100"];

voltages = [-100, -80, -60, -40, -20, 20, 40, 60, 80, 100];

ax1 = axes;
k_all = [];
Tm_all = [];
w_all = [];
par0=[0.15;0.006];

for i=1:10
    data = readmatrix(files(i));
    angle=data(:,4)*pi/180;
    angle=angle-angle(1);
    time=data(:,2);
    omega=data(:,3)*pi/180;
    U_pr = voltages(i);

    figure(1)
    plot(time, angle)
    xlabel("Time, s")
    ylabel("Angle, rad")
    hold on;

    fun = @(par,time)U_pr*par(1)*(time - par(2)*(1 - exp(-time/par(2))));
    par = lsqcurvefit(fun,par0,time,angle);
    k = par(1);
    Tm = par(2);
    time_apr = 0:0.01:1;
    theta = U_pr*k*(time_apr - Tm*(1 - exp(-time_apr/Tm)));
    plot(time_apr, theta);
    legend('exp', 'approx');
```

```

figure(2);
plot(time, omega)
xlabel("Time, s");
ylabel("Andle Speed, rad/s");
hold on;

fun_w = @(par,time)U_pr*par(1)*(1 - exp(-time/par(2)));
par = lsqcurvefit(fun_w,par0,time,omega);
theta_w = U_pr*k*(1 - exp(-time_apr/Tm));
plot(time_apr, theta_w);
legend('exp', 'approx');

w = U_pr * k;
k_all = [k_all k];
Tm_all = [Tm_all Tm];
w_all = [w_all w];

end

figure("Name", "Tm/voltage");
plot(voltages, Tm_all);
xlabel("voltage, %");
ylabel("Tm, s");
hold on;

figure("Name", "w/voltage");
plot(voltages, w_all);
xlabel("voltage, %");
ylabel("w, rad/s");
hold on;

disp(Tm_all)
disp(k_all)
disp(w_all)

```

## Графики зависимостей

Рисунок 2. График зависимости угла поворота ротора и угловой скорости от времени при напряжении 100%.

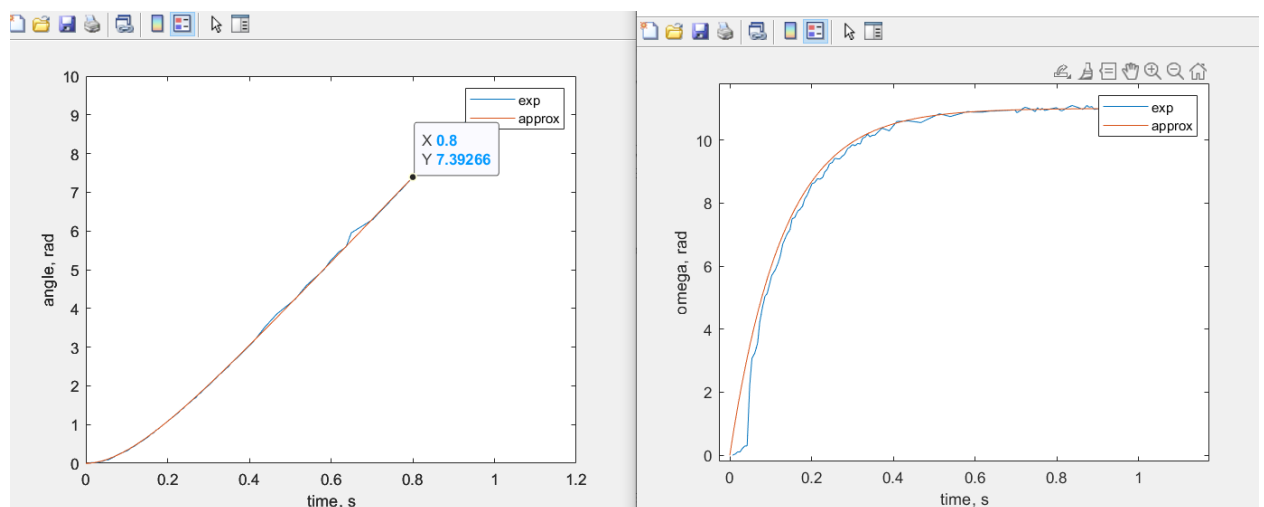


Рисунок 3. График зависимости угла поворота ротора и угловой скорости от времени при напряжении 80%.

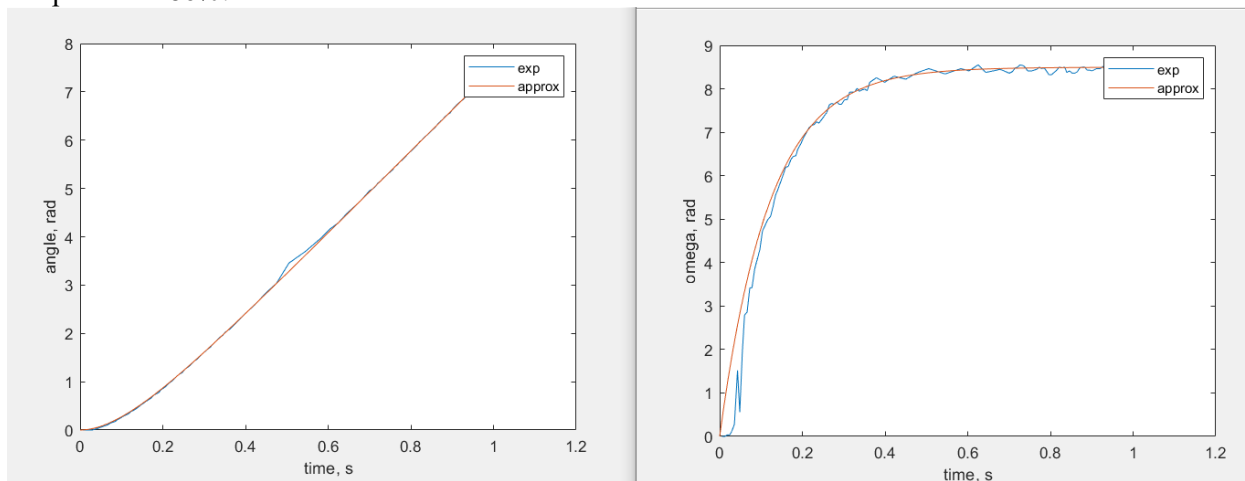


Рисунок 4. График зависимости угла поворота ротора и угловой скорости от времени при напряжении 60%.

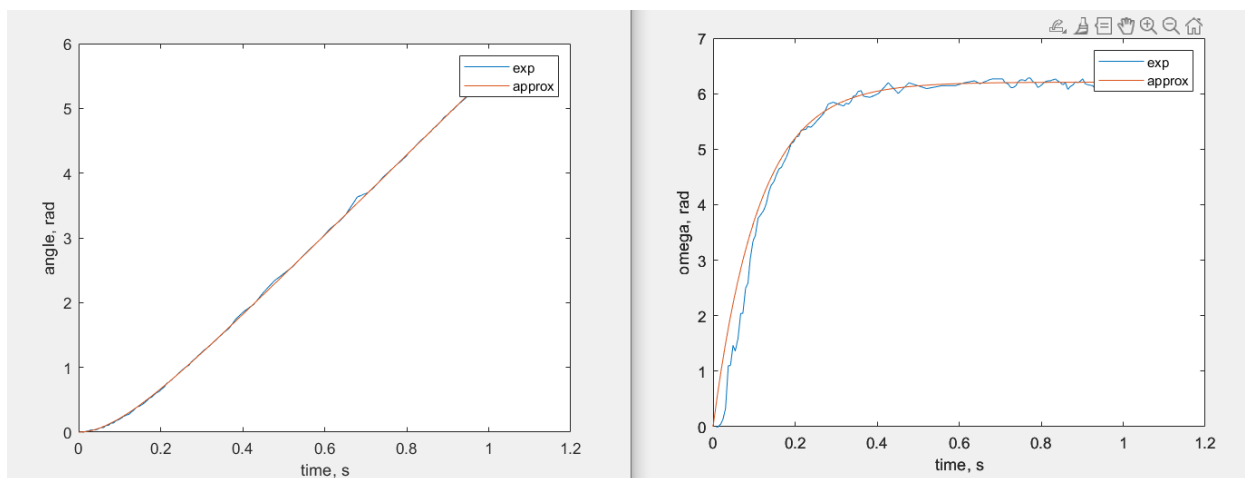


Рисунок 5. График зависимости угла поворота ротора и угловой скорости от времени при напряжении 40%.

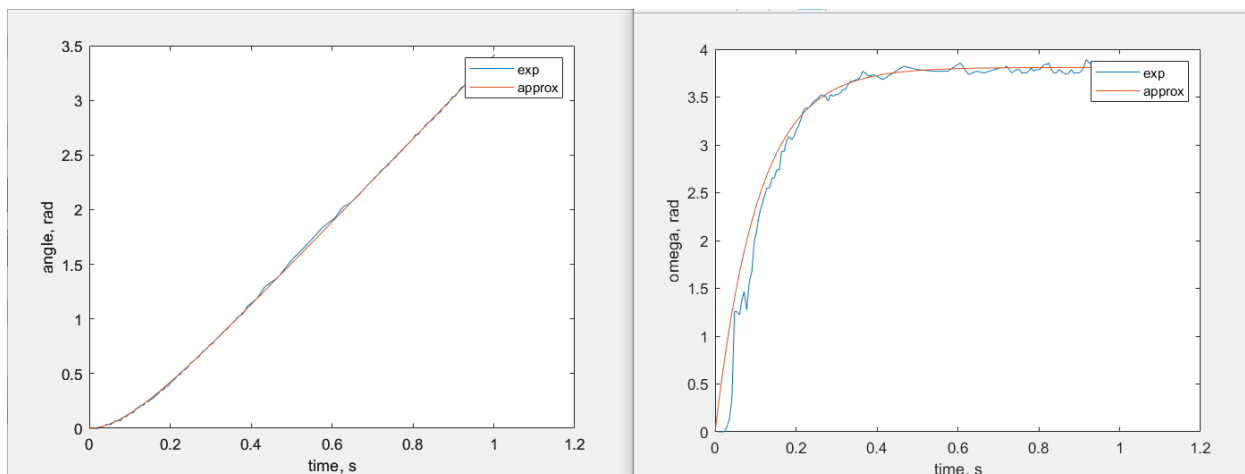


Рисунок 6. График зависимости угла поворота ротора и угловой скорости от времени при напряжении 20%.

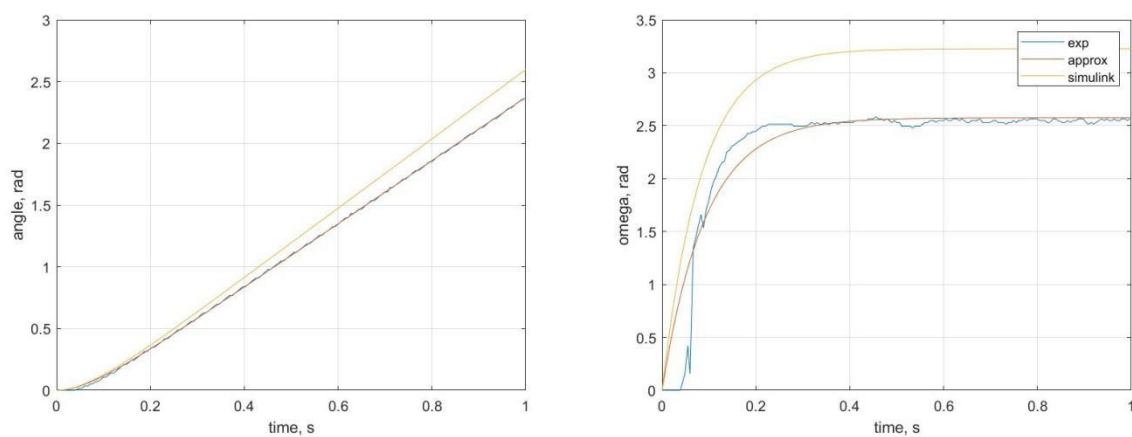


Рисунок 7. График зависимости угла поворота ротора и угловой скорости от времени при напряжении -20%.

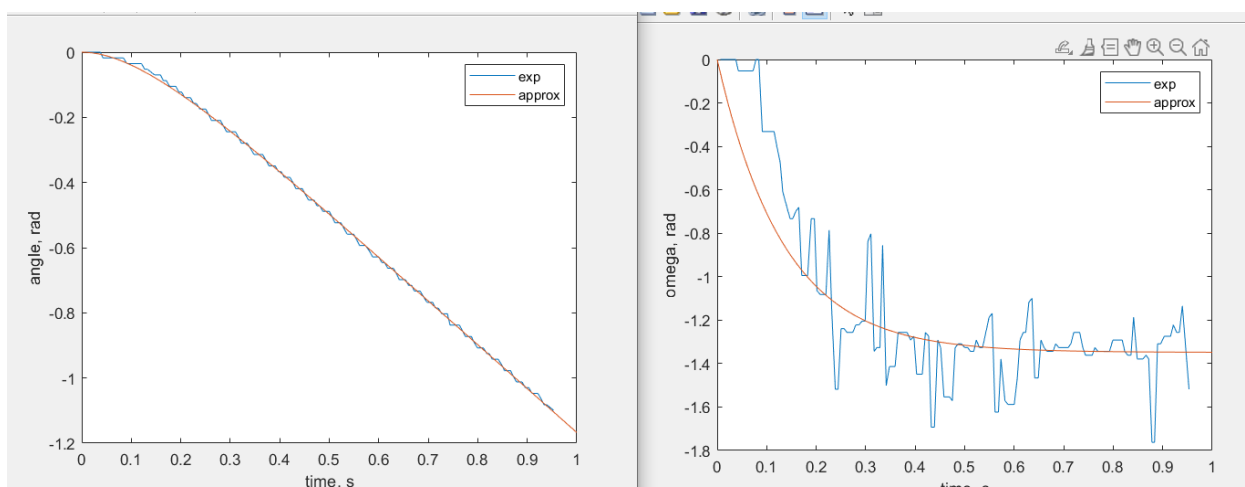


Рисунок 8. График зависимости угла поворота ротора и угловой скорости от времени при

напряжении -40%.

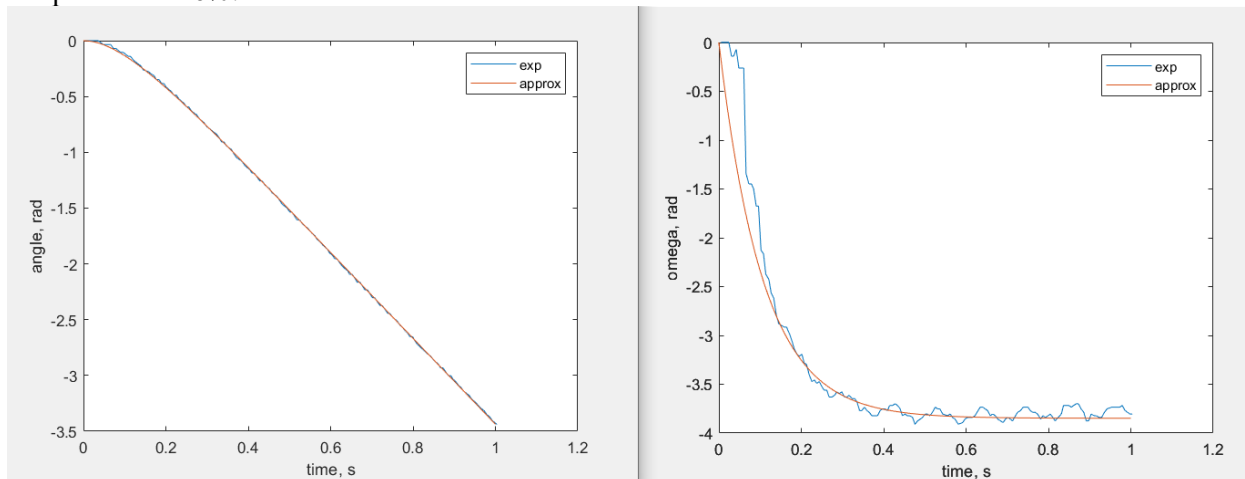


Рисунок 9. График зависимости угла поворота ротора и угловой скорости от времени при напряжении -60%.

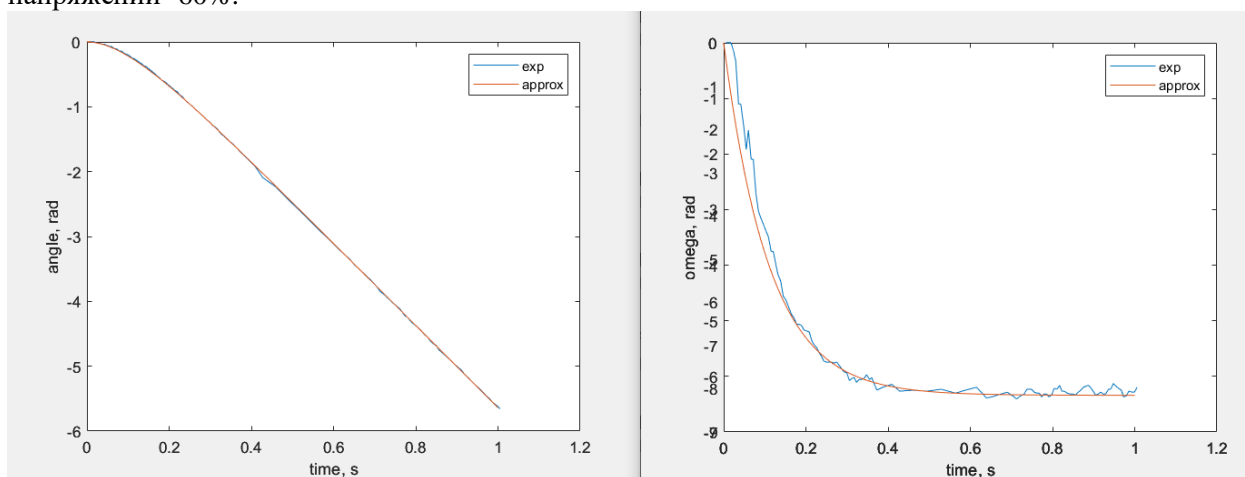


Рисунок 10. График зависимости угла поворота ротора и угловой скорости от времени при напряжении -80%.

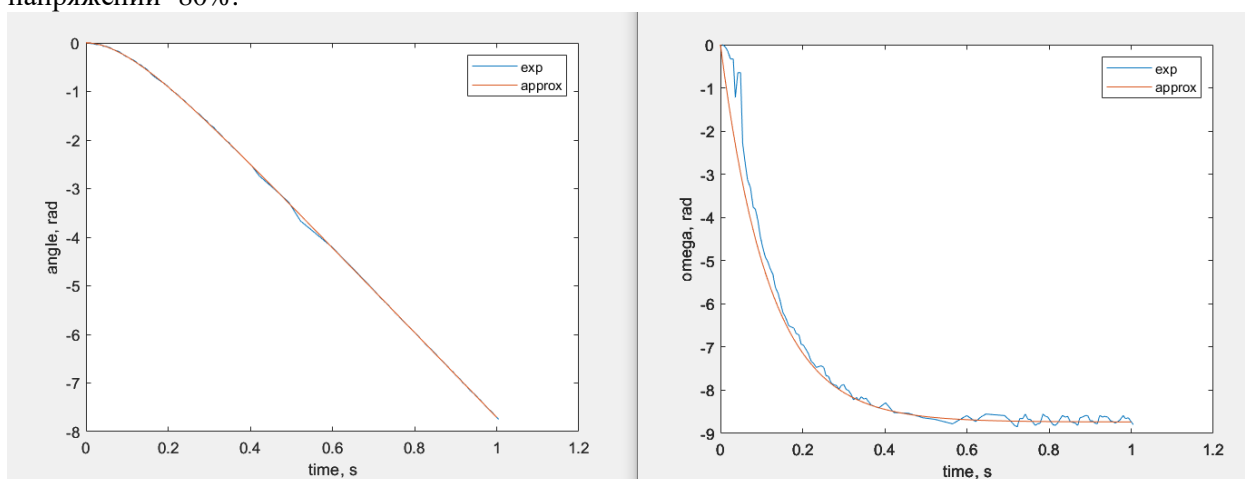


Рисунок 11. График зависимости угла поворота ротора и угловой скорости от времени при напряжении -100%.

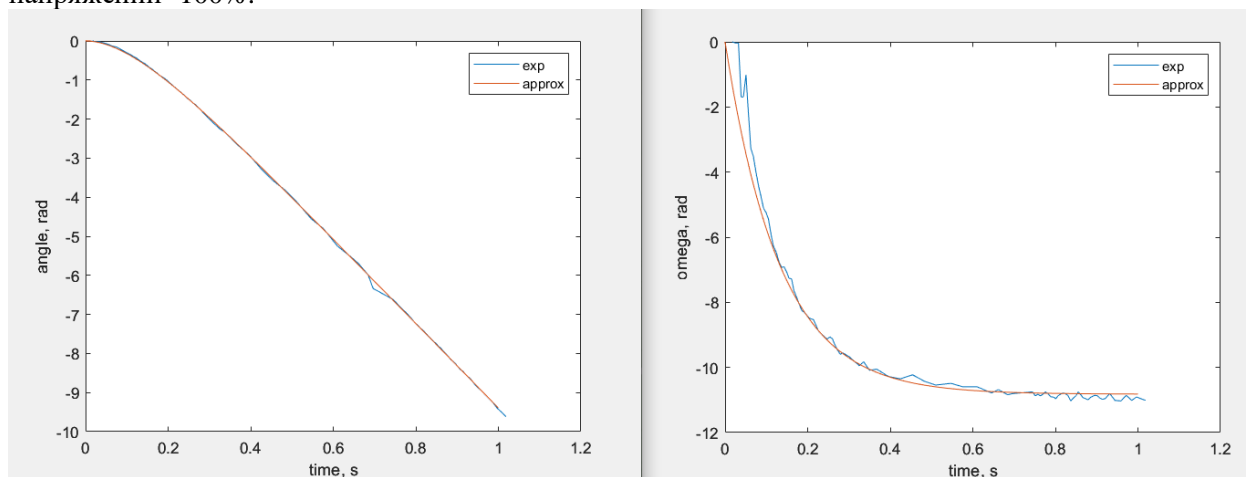


Рисунок 12. График зависимости углов поворота ротора от времени.

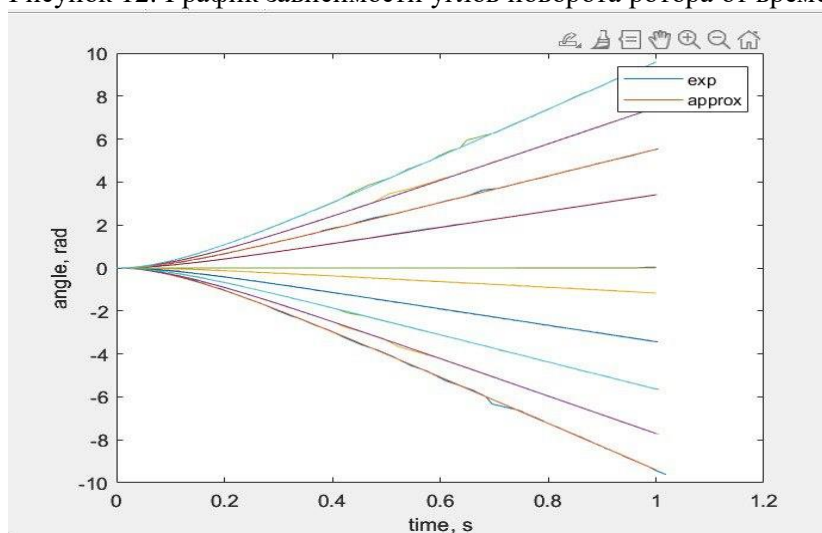


Рисунок 13. График зависимости угловой скорости поворота ротора от времени.

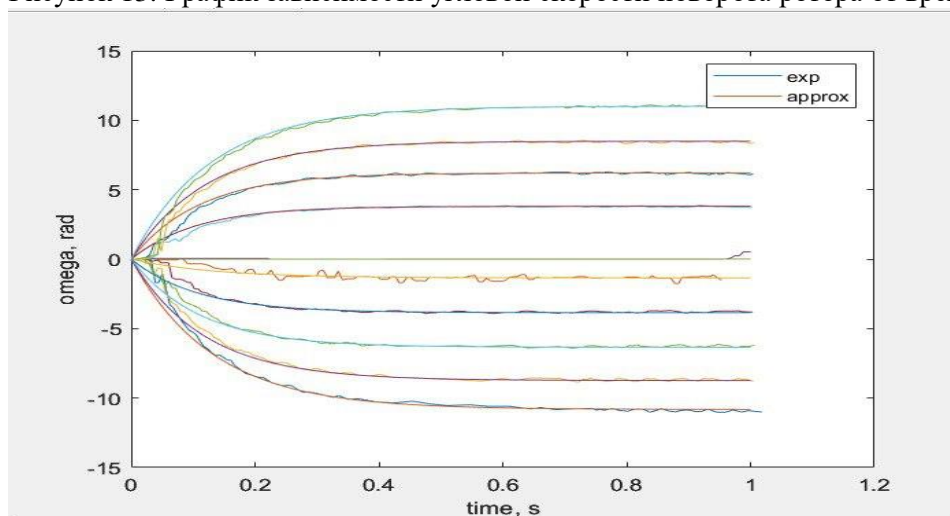




Рисунок 14. График зависимости  $T_m$  от напряжения.

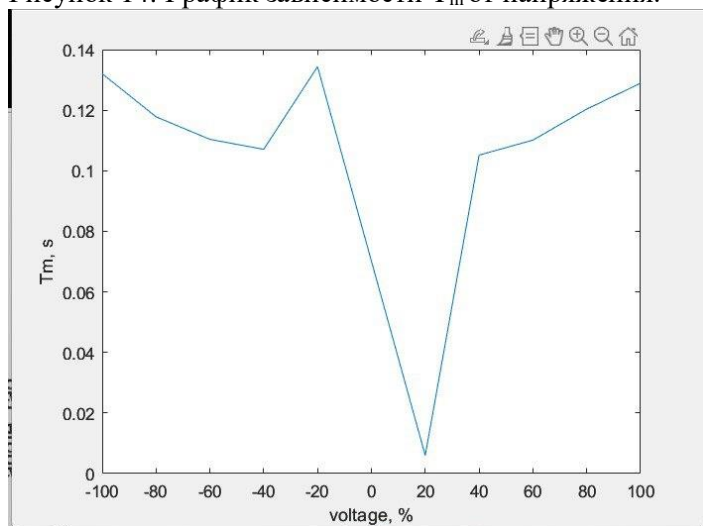
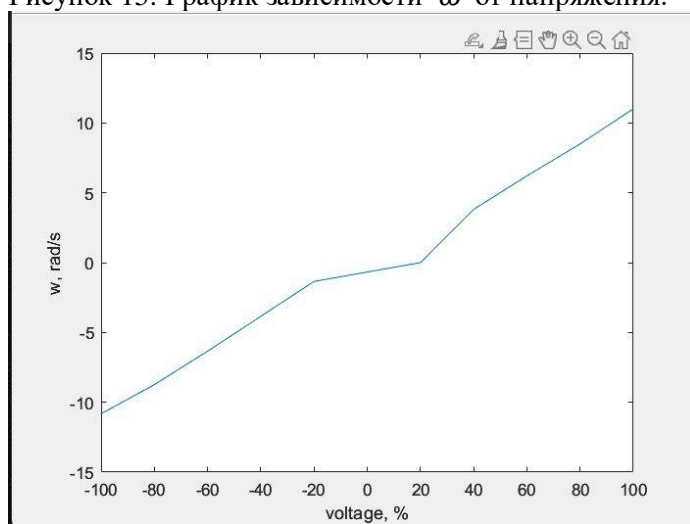


Рисунок 15. График зависимости  $\omega$  от напряжения.



## Результаты расчётов величин $T_m$ , $k$ и $\omega_{nls}$

Таблица 1. Результаты расчётов величин.

U, %	$T_m$ , с	$k$	$\omega_{nls}$ , rad/s
100	0.1320	0.1082	-10.8231
80	0.1178	0.1092	-8.7359
60	0.1104	0.1057	-6.3406
40	0.1071	0.0962	-3.8485
20	0.1344	0.0674	-1.3485
-20	0.1190	0.0813	1.231
-40	0.1052	0.0953	3.8102
-60	0.1101	0.1035	6.2075
-80	0.1204	0.1062	8.4965
-100	0.1289	0.1101	11.0115

## Вывод

Эксперимент позволил познакомиться с оборудованием и программным обеспечением, которые понадобятся нам в будущем для выполнения последующих лабораторных работ в данном курсе. Мы экспериментально проверили истинность найденных функций, описывающих работу ненагруженного двигателя постоянного тока, и определили значения входящих в них параметров  $k$  и  $T_m$ . Сравнение кривых ускорения, полученных из экспериментальных данных, теоретических расчетов и результатов моделирования в MatLab Simulink, показало точность и обоснованность функции, используемой для описания поведения двигателя без нагрузки.

Различия в расчетных константах, полученных в ходе эксперимента и при различных напряжениях, были незначительными. Они были обусловлены такими факторами, как погрешности измерений, алгоритмы управления двигателем и внешние условия, влияющие на результаты экспериментов.

Исследование способствовало лучшему пониманию принципов работы и моделирования двигателей постоянного тока, а также оценке влияния различных условий на характеристики двигателей. Знания, которые были получены при выполнении лабораторной работы, могут быть использованы для дальнейшей оптимизации работы двигателей и управления ими в различных системах.