

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра САУ

ОТЧЕТ
по практической работе № 2
по дисциплине «Модельно-ориентированное проектирование систем
управления»
ТЕМА: СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЕЙ В MATLAB/Simulink

Студент гр. 9492

Викторов А.Д.

Преподаватель

Игнатович Ю.В.

Санкт-Петербург

2023

Задание на работу:

1. Выбрать в соответствии с вариантом паспортные данные двигателя постоянного тока, представленные в лекции 2, табл. 1.
2. Составить математическую модель ДПТ всеми рассмотренными в лекции 2 методами.
3. Представить разработанные модели и результаты моделирования в отчете по практической работе.
4. Сделать выводы.

Ход работы

В таблице 1 представлены паспортные данные для двигателя, математическую модель которого необходимо построить.

Таблица 1

Паспортные данные двигателя постоянного тока

Номер варианта	Марка двигателя	P_n , Вт	ω_n , рад/с	U_n , В	I_n , А	M_n , Н·м	$J_{дв} \cdot 10^{-4}$, кг·м ²	R_a , Ом	L_a , мГн
9	СЛ-521	77	315	110	1,07	0,245	1,67	8,5	58

Создание математической модели в среде Simulink

Созданная структурная схема представлена на рис. 1.

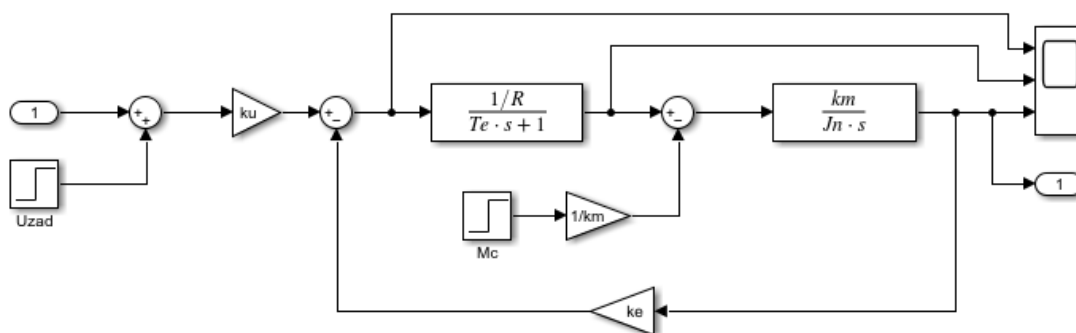


Figure 1 - Структурная схема системы

Для описания блоков в структурной схеме необходимо написать скрипт в Matlab содержащий все необходимые переменные, код этого скрипта представлен в листинге 1.

Листинг 1.

```
clc;
clear;
close all;

%СЛ-121 Вариант 9
Pn = 77; %Номинальная мощность, Вт
wn = 315; % Номинальная скорость вращения, рад/с
Un = 110; % Номинальное напряжение, В
In = 1.07; % Номинальный ток якоря, А
Mn = 0.245; % Номинальный момент, Н*м
Jd = 10^-4 * 1.67; % Момент инерции двигателя, кг*м^2
R = 8.5; % Сопротивление якоря, Ом
L = 10^-3 * 58; % Индуктивность якоря, Гн

Jn=2*Jd; % Приведенный момент инерции на валу двигателя
km=Mn/In % Коэффициент между током и моментом
ke=(Un-R*In)/wn; % Коэффициент противо-ЭДС
Te=L/R; % Постоянная времени якорной цепи
ku=20; % Коэффициент усиления усилителя
```

Результаты моделирования в виде графика переходного процесса по скорости представлены на рис. 2.

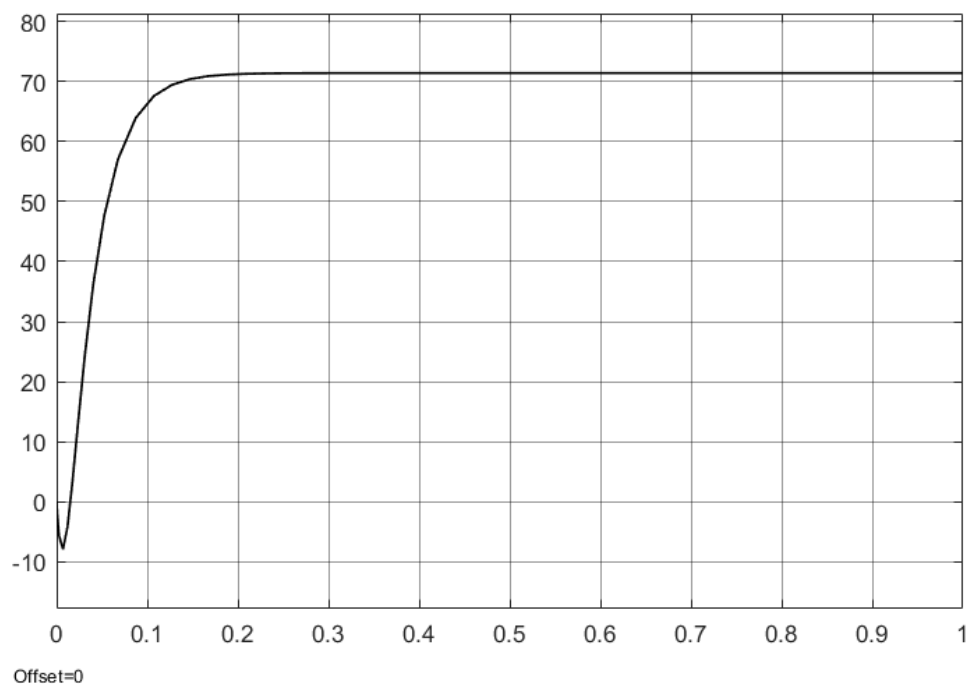


Figure 2 - График переходного процесса по скорости

Создание математической модели в среде MATLAB

Передаточная функция скоростной части ДПТ по управляющему воздействию может быть представлена выражением

$$W(s) = \frac{\omega(s)}{u(s)} = k_u \frac{1/k_e}{\frac{T_{\text{я}}}{k_1 k_2 k_e} s^2 + \frac{1}{k_1 k_2 k_e} s + 1}, \text{ где}$$

$$k_u - \text{коэффициент усилителя, } k_1 = \frac{1}{R_{\text{я}}}, \quad k_2 = \frac{k_{\text{м}}}{J}.$$

Для получения передаточной функции в файл скрипта с паспортными данными двигателя были введены дополнительно следующие команды:

```
k1=1/R;  
k2=km/Jn; % k1, k2 вспомогательные коэффициенты  
numdv=ku*1/ke; % Числитель ПФ  
dendv=[Te/(k1*k2*ke) 1/(k1*k2*ke) 1]; % Знаменатель ПФ  
Wdpt=tf(numdv,dendv)% Передаточная функция ДПТ по скорости  
step(Wdpt); %График переходного процесса ДПТ по скорости
```

График переходного процесса представлен на рис. 3.

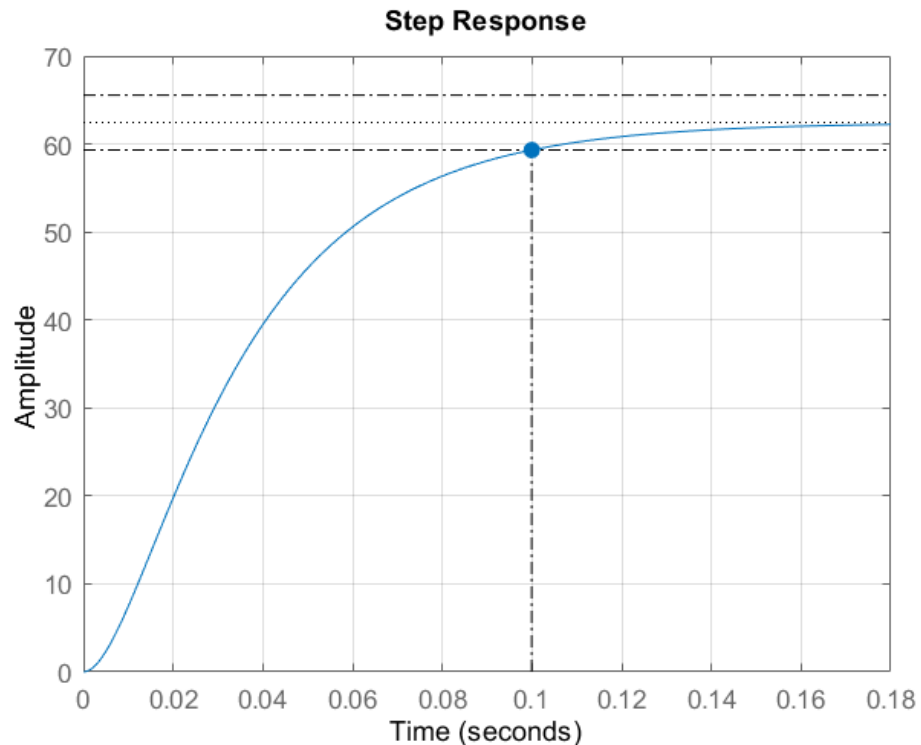


Figure 3 - График переходного процесса системы, описанной в Matlab

Полученная передаточная функция:

```
Wdpt =  
  
62.43  
-----  
0.0002641 s^2 + 0.03871 s + 1  
  
Continuous-time transfer function.
```

Математическая модель на языке Си в Matlab

Математическая модель ДПТ на языке программирования Си для среды Matlab была представлена в виде функции mexfunction написанной в соответствии с правилами синтаксиста mex-функций. В листинге 2 представлен код функции на языке Си.

Листинг 2 – код функции на языке Си

```
#include "mex.h"  
#define FILENAME "dpt_velocity.txt"  
void mexFunction(int nlhs, mxArray *plhs[], int nrhs, const mxArray *prhs[])  
{  
    //Параметры двигателя постоянного тока  
    const double R=8.5, // Сопротивление якоря, Ом  
        L=0.058, // Индуктивность якоря, Гн  
        Te=0.0068, // Постоянная времени якорной цепи L/R  
        J=3.34e-4, // Приведенный момент инерции на  
    // валу двигателя J=2*Jd  
        km=0.229, // Коэффициент между током и моментом  
        ke=0.3203, // Коэффициент противо-ЭДС  
        ku=20; // Коэффициент усиления усилителя  
    // Переменные математической модели двигателя постоянного тока  
    double U = 0, // управляющее воздействие  
        E = 0, // эдс двигателя  
        M = 0, // электромагнитный момент двигателя  
        // Mc = 0, // момент статического сопротивления  
        // в данном случае полагаем равным нулю  
        Ia = 0, // ток якоря  
        w = 0; // скорость вращения вала ДПТ  
    double dt = 1e-3; // шаг интегрирования  
    double t = 0; // текущее значение времени  
    double t1 = 0.3; // конечное значение времени расчета  
    unsigned int cnt = t1/dt; // количество точек  
    // Создаем временный файл, в который будем записывать  
    // текущие значения  
    FILE *fp = fopen(FILENAME, "w");  
    // цикл расчета  
    for (unsigned int i = 0; i < cnt; i++) {
```

```

// подача управляющего воздействия
if (t >= 0.0)
    U = ku ;
else
    U = 0.0;
// расчет мат модели двигателя пост тока
Ia = Ia + dt * (U - E - R * Ia)/(R*Te);
M = Ia * km;
E = w * ke;
w = w + dt * M/J;
// записываем точки во временный файл
fprintf(fp,"%f\t%f\t%f\n", t, Ia, w);
// увеличиваем переменную время
t = t + dt;
}
// Закрываем текстовый файл с текущими значениями
fclose(fp);
}

```

Исполняя команды по компиляции (*mex dpt_function.c*) и запуску (*dpt_function*) получаем в качестве результата работы файл в котором записаны дискретные значения времени, тока и скорости ДПТ. Построив график, получаем следующий график переходного процесса (рис. 4).

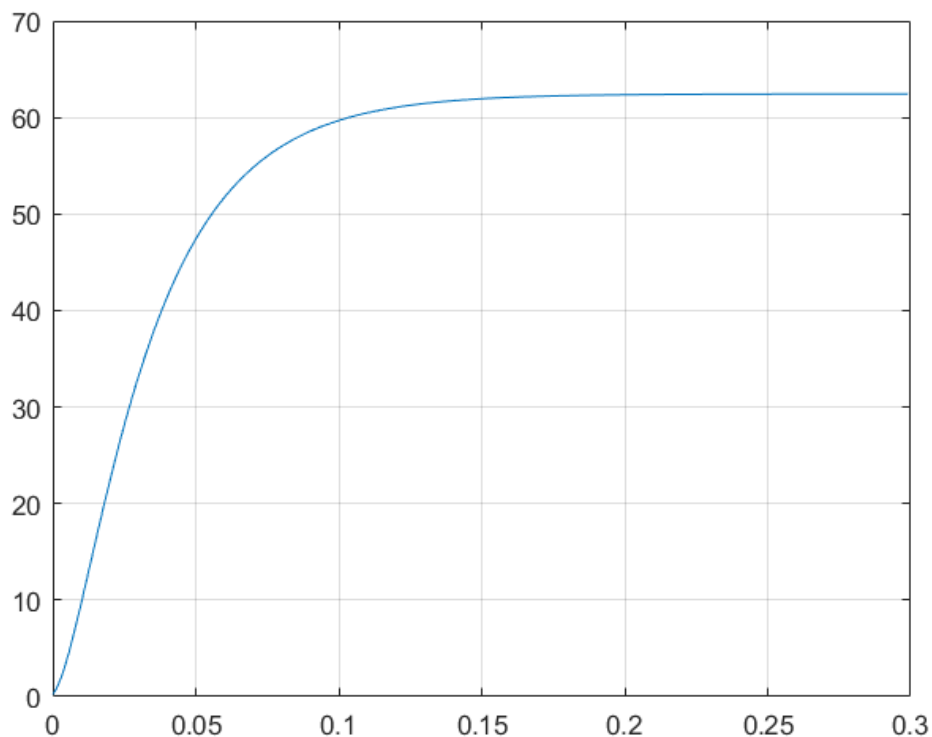


Figure 4 - График переходного процесса, рассчитанный с помощью функции на языке Си

Создание Simulink-модели в виде модели в пространстве состояний

В векторно-матричной форме стандартная система уравнений записывается в виде:

$$\frac{dx}{dt} = A \cdot x + B \cdot u ;$$

$$y = C \cdot x + D \cdot u ,$$

Тогда модель ДПТ в пространстве состояний будет выглядеть следующий образом:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} & -\frac{k_e}{L_{\text{я}}} \\ \frac{k_M}{J} & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_{\text{я}}} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} k_M & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрица D считается нулевой.

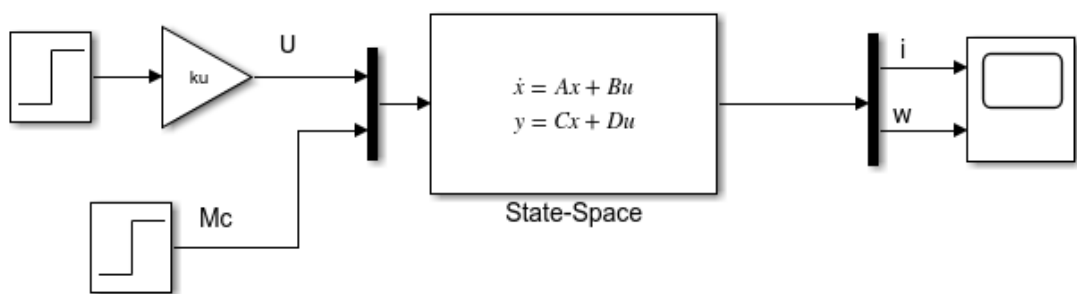


Figure 5 - Система в пространстве состояний

На рисунке 6 представлен график переходного процесса по скорости и углу для модели в пространстве состояний. Можно заметить, что данный график идентичен приведенным выше.

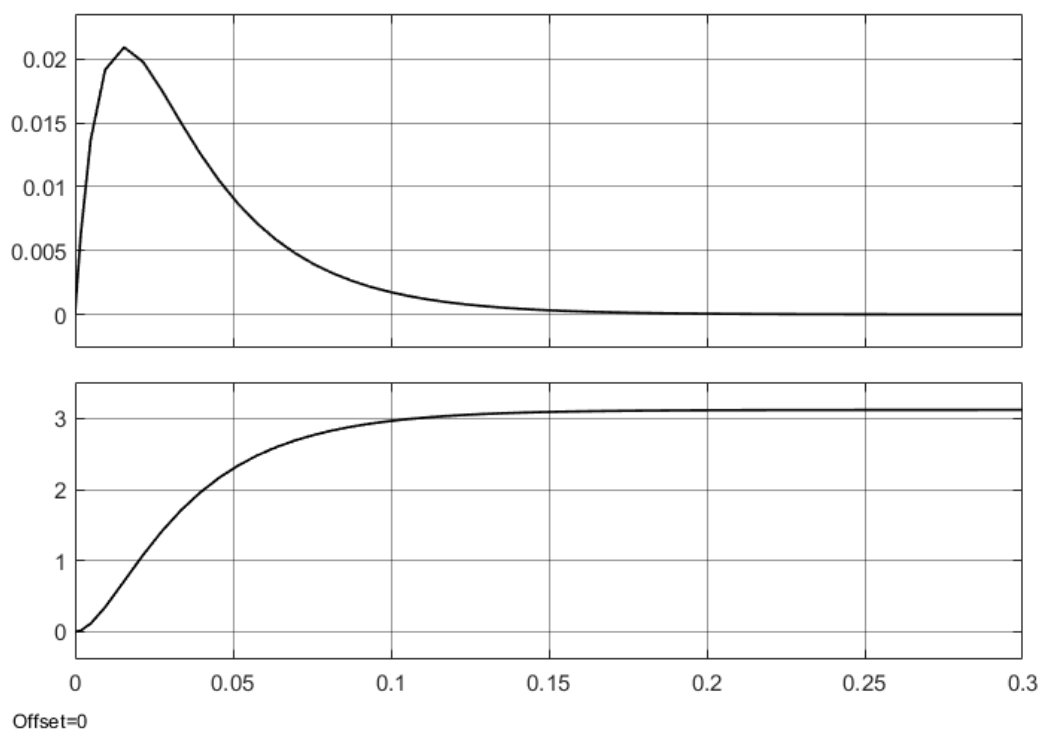


Figure 6 – Результат моделирования модели в виде блока State-Space

Создание физической модели с помощью библиотеки компонентов Simulink/Simscape

На рисунке 7 показана схема системы, собранная с помощью блоков библиотеки Simscape.

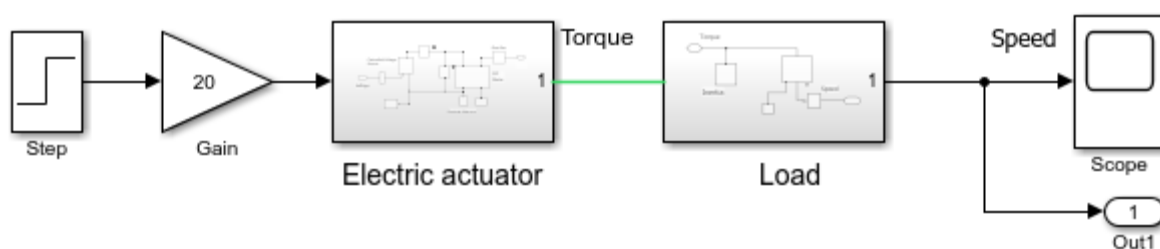


Figure 7 - Схема системы, составленная из блоков библиотеки Simscape

На рисунке 8 представлен график переходного процесса для такой системы.

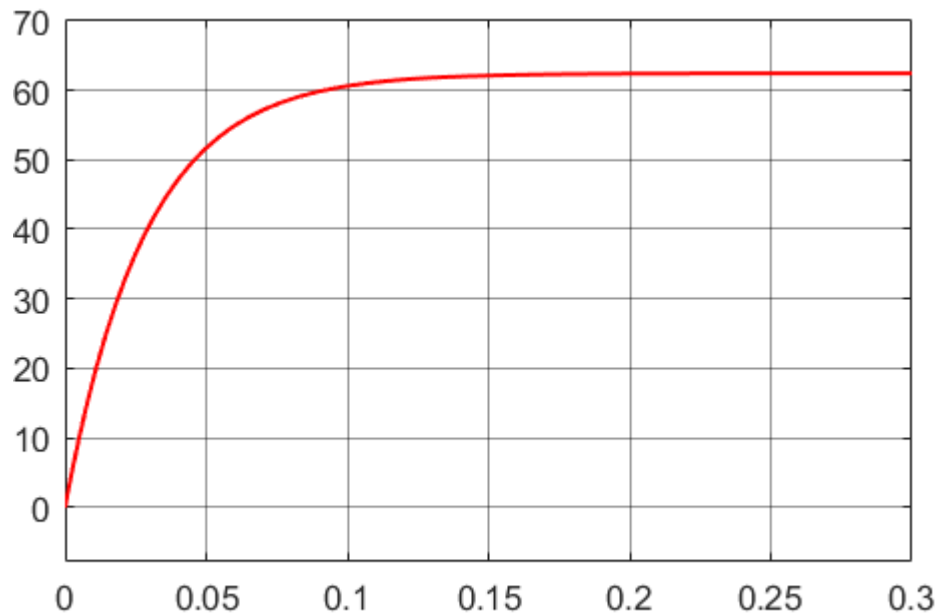


Figure 8 - График переходного процесса по скорости

Вывод

В данной практической работе были построены модели замкнутой системы с ДПТ различными способами. Из сравнения графиков переходных процессов можно увидеть, что получаемый результат идентичный. Различается только способ, подробность и удобство описания.