

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт информационных технологий  
и управления в технических системах

Кафедра  
«Информатика и управление в технических системах»

**ОТЧЕТ**  
по лабораторной работе №4  
по дисциплине «Теория автоматического управления»

**Вариант № 3**

**Выполнил:**  
ст. группы УТС/б-19-2-о  
Димин М.Э.

**Принял:**  
доцент кафедры ИУТС  
Карапетьян В.А.

Севастополь  
2021

## 1 Цель работы

Исследование методов и средств пакета имитационного моделирования Simulink для формирования, анализа и моделирования различных типов моделей линейных стационарных систем автоматического управления.

## 2 Постановка задачи

### Первая часть работы:

а) ознакомиться с содержанием второго раздела методических указаний и выполнить все иллюстративные примеры, приведенные в нём;

б) при выполнении примеров необходимо научиться использовать различные источники и приёмники сигналов; сформировать векторные сигналы из скалярных и извлекать скалярные сигналы из векторных; изменять точность расчётов и т.д.

### Вторая часть работы:

№ вар.	R Ом	L мГн	$k_e$ $B \cdot c$	$J_{к2} \cdot м^2$	$k_m H \cdot м / A$
3	0.945	45.9	0.341	0.14	0.261

а) сформировать Simulink-модель ДПТ по скорости и провести моделирование отдельно при управляющем воздействии, отдельно при возмущающем воздействии и при их совместном действии. Выполнить данный пункт для двух форм моделей ДПТ в виде ПФ. Графически сравнить результаты моделирования;

б) провести моделирование САУ скоростью ДПТ с П- и ПИД-регулятором. Определить характер реакций системы на входные воздействия по графикам, построенным на основе данных, переданных из пакета Simulink в рабочую область MatLab (Workspace) через блок «To Workspace» библиотеки «Sinks»;

в) провести моделирование следящей САУ с ПД-регулятором по углу по схеме. В качестве задающего воздействия принять угол в 5 градусов. Определить время отработки задающего воздействия. Проанализировать влияние внешнего возмущения  $M_H$  на качество и точность отработки задающего воздействия.

г) привести последовательность графо-аналитических (структурных) преобразования и получить ПФ рассматриваемой САУ по управлению и возмущению. Решить аналогичную задачу с помощью средства MatLab;

д) построить Simulink-модель ДПТ в форме пространства состояний на основе уравнений (3.9 методических указаний). Уравнение выхода сформировать с учётом возможности измерения всех переменных состояния: угла поворота  $\theta(t)$  вала, угловой скорости вращения  $\omega(t)$  вала и тока в якорной цепи  $i(t)$ . Управляющее  $u(t)$  и возмущающее  $M_H(t)$  воздействия организовать в один вектор внешних воздействий. Провести моделирование следящей САУ ДПТ по углу, начальные условия принять нулевыми. Дополнительно провести моделирование данной САУ и построить собственное движение системы для случая начального отклонения по углу, равного 2 градусам.

### 3 Ход работы

#### 3.1 ЧАСТЬ 1

Таблица 3.1.1 – Код программы первой части работы.

```
% Вариант 3
clc; clear; close;
%%
Y_s=[0 1; 2 2];

a = 6;
b = 1;
c = 0.2;
```

Иллюстративный пример пункта 2.1 методических указаний представляет собой схему, изображённую на рисунке 3.1.2. Для схемы изменено время моделирования, параметры передаточной функции (ПФ), шаг выдачи результата.

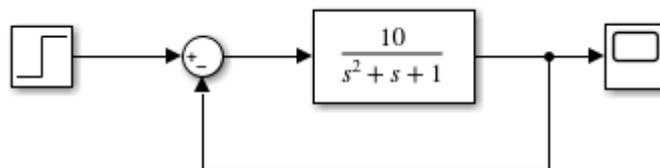


Рисунок 3.1.1 – Simulink-модель иллюстративного примера 2.1.

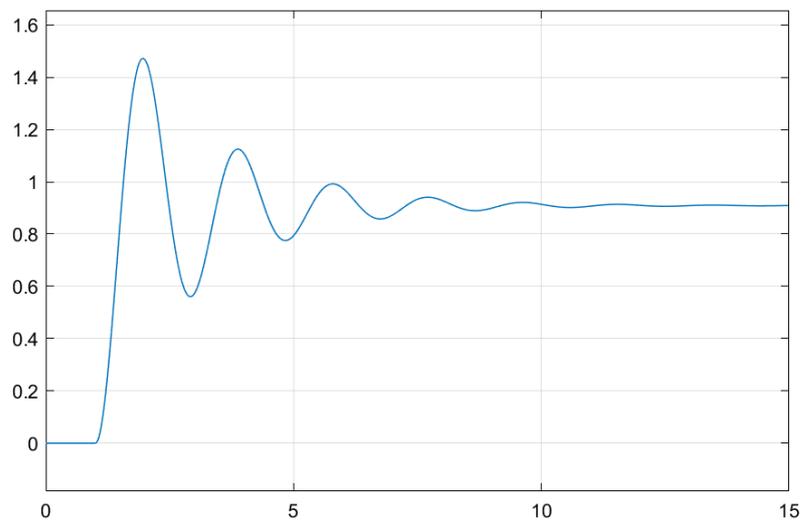


Рисунок 3.1.2 – Реакция модели на функцию Хэвисайда.

Для схемы 3.1.1 посредством блока «To file» библиотеки Simulink сделан вывод в mat-файл «Dimin\_data», из которого блоком «From file» производится изъятие значений.

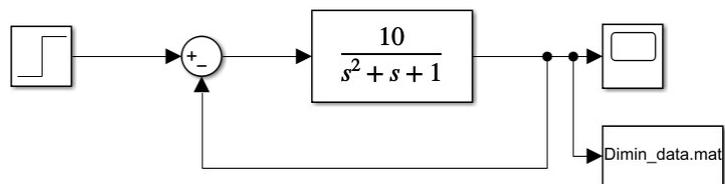


Рисунок 3.1.3 – Simulink-модель с записью значений в mat-файл.

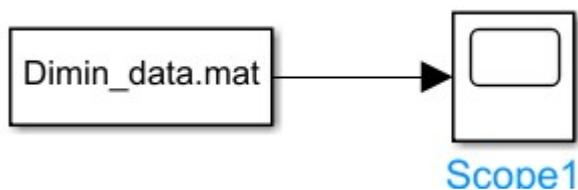


Рисунок 3.1.4 – Simulink-модель с чтением значений из mat-файл.

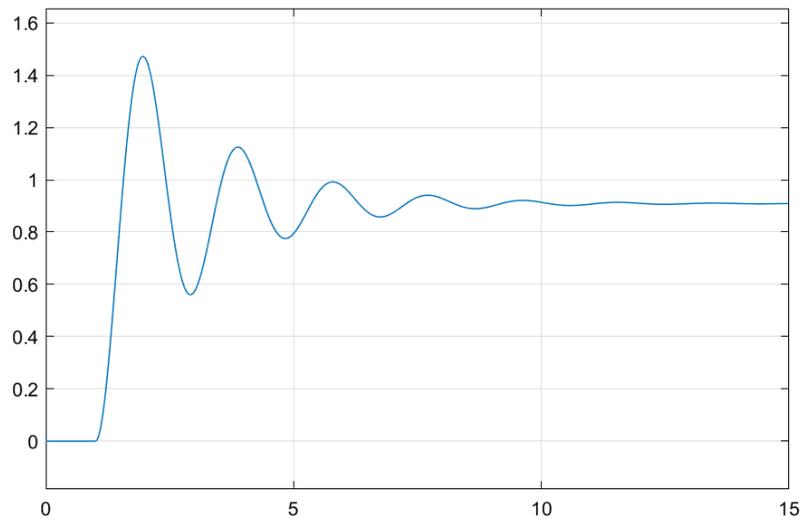


Рисунок 3.1.5 – График, построенный по значениям, взятым из файла.

В иллюстративном примере выше график результата моделирования был построен с помощью осциллографа. В примере пункта 2.5.2 построение графика происходит с помощью блока XY Graph.

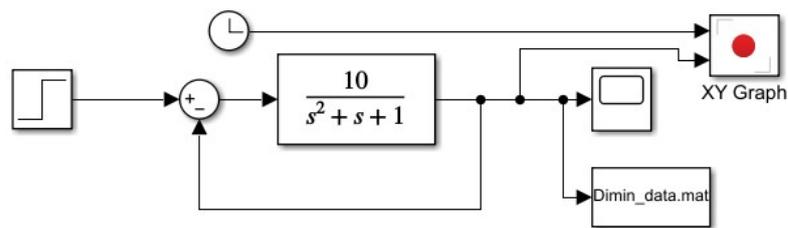


Рисунок 3.1.6 – Simulink-модель с выводом в XY Graph.

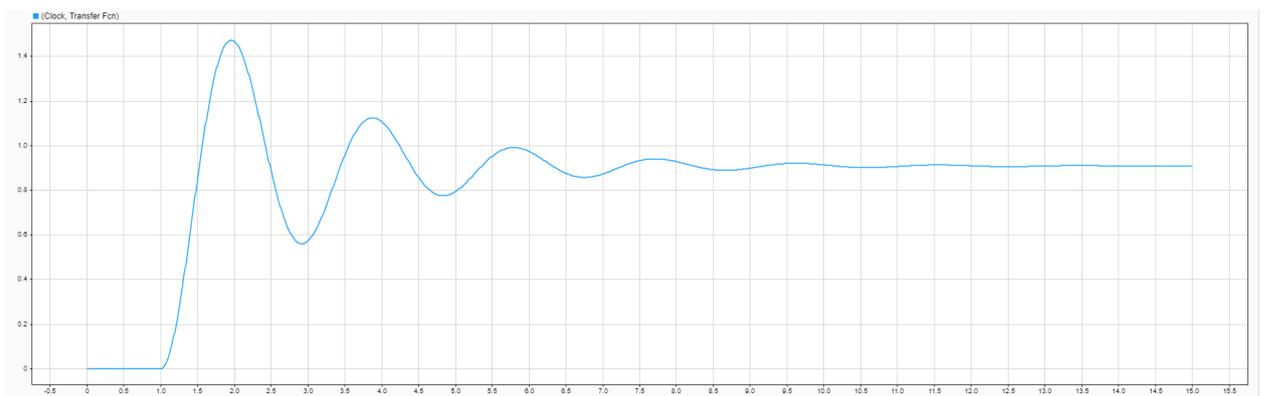


Рисунок 3.1.7 – График, созданный блоком XY Graph.

Пример интегрирования ступенчатого сигнала при интеграторах с подачей начального значения через внутренний параметр -2.2 (рис. 3.1.8(a)) и внешний порт (рис. 3.1.8 (b)).

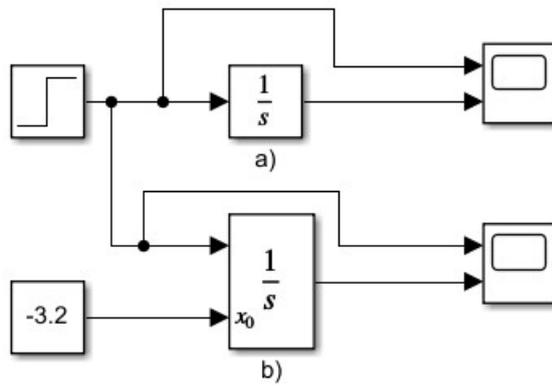


Рисунок 3.1.8 – Simulink-модель с интеграторами: а) с внутренним значением начальных условий; б) с внешним.

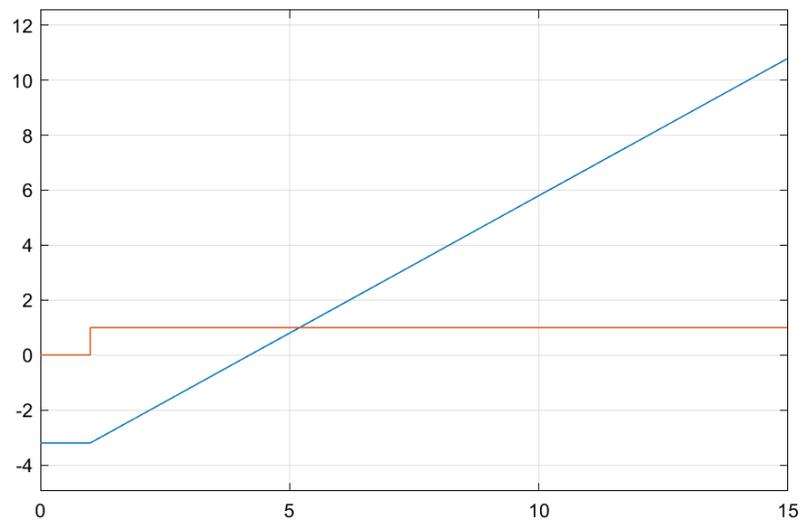
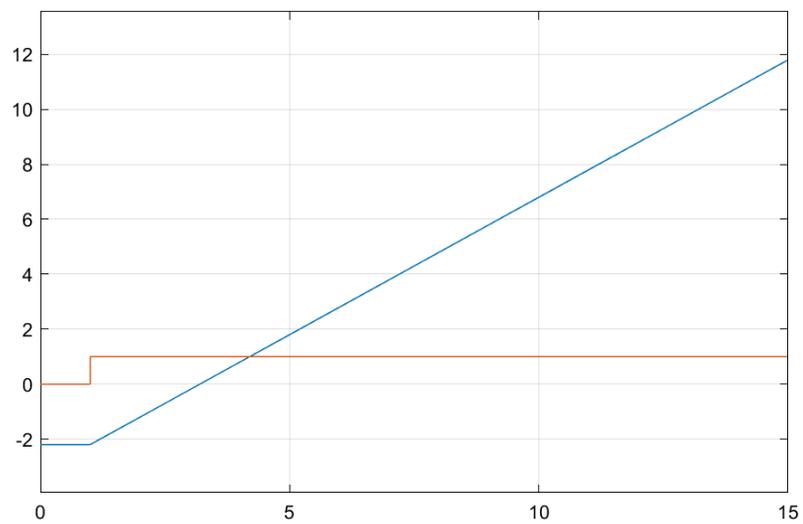


Рисунок 3.1.9 – Результаты работы схемы с внутренним, внешним интеграторами соответственно.

Передаточные функции:

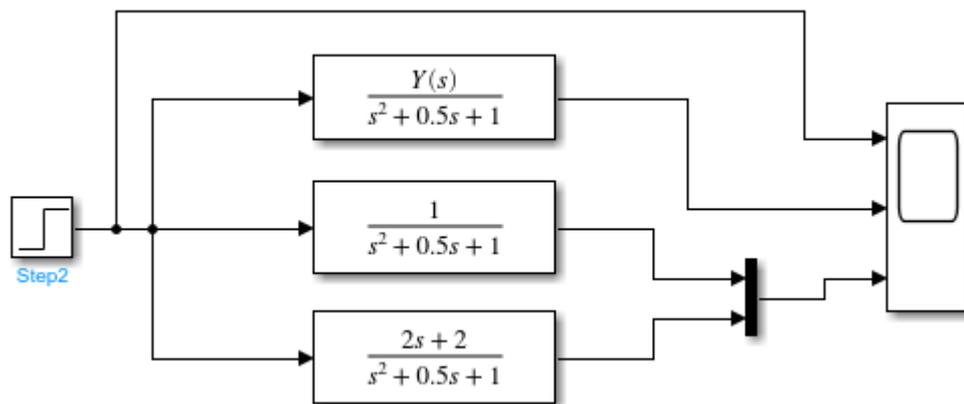


Рисунок 3.1.10 – Simulink-модель ПФ и её скалярного варианта.

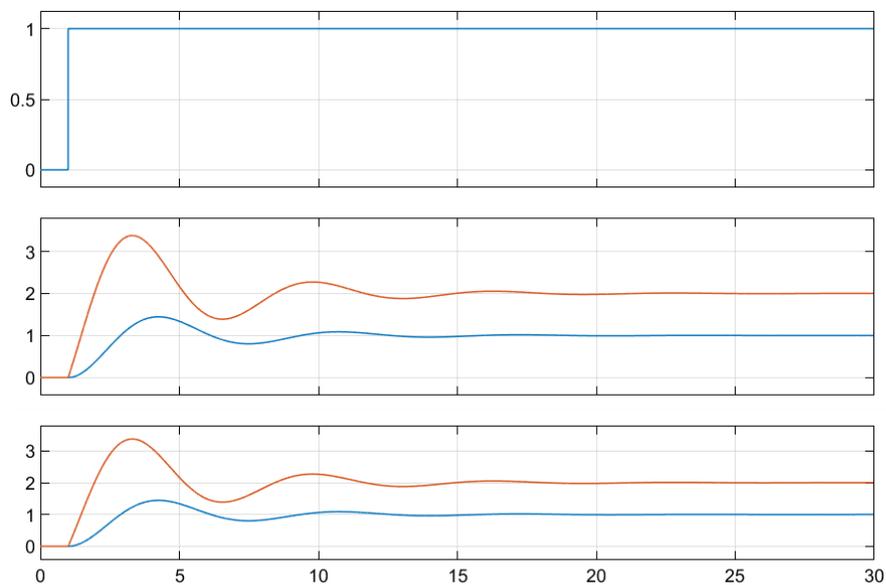


Рисунок 3.1.11 – Результаты моделирования ПФ и её скалярного варианта.

Использование переменных для задания параметров блоков. Вывод результатов моделирования в Workspace (рис. 3.1.12).

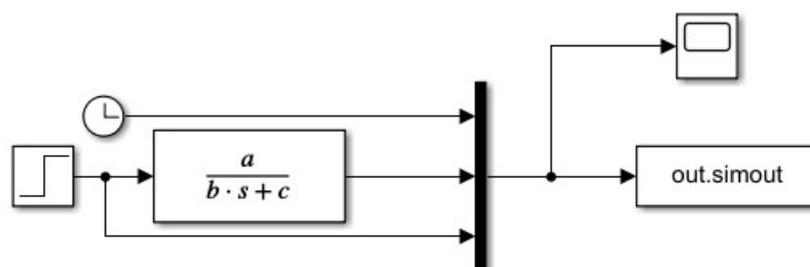


Рисунок 3.1.12 – Simulink-модель и вывод её значений в Workspace.

Name	Value
a	6
b	1
c	0.2000
out	1x1 SimulationOutput
Y_s	[0,1;2,2]

Рисунок 3.1.13 – Переменная out, созданная в Workspace.

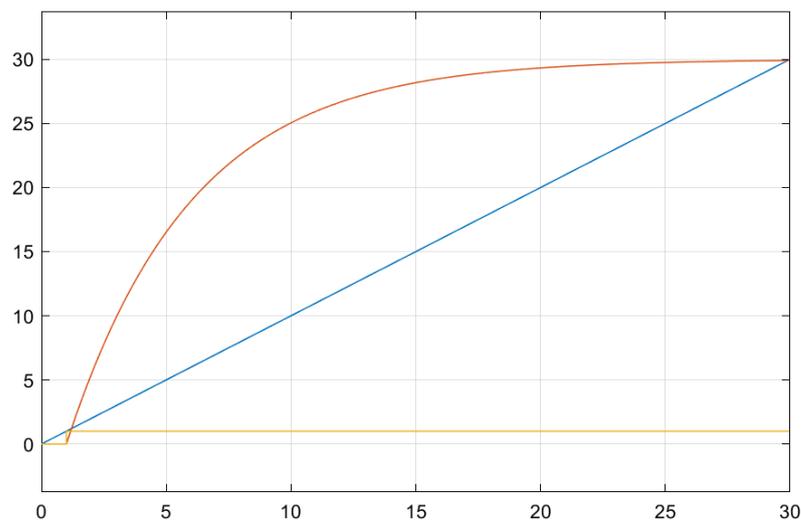


Рисунок 3.1.14 – Результаты моделирования ПФ и её скалярного варианта

## 3.2 ЧАСТЬ 2

Таблица 3.2.1 – Код программы второй части работы.

```

% Вариант 3
clc; clear; close;
%% Part 1
Y_s=[0 1; 2 2];

a = 6;
b = 1;
c = 0.2;

%% Part 2
% a)

L = 0.0459;
R = 0.945;
km = 0.261;
ke = 0.341;
J = 0.14;

```

```

% б)
Kp = 30,9;
Ki = 94,7;
Kd = 1,4;
%%
subplot(2,1,1);
plot(out.P_regular); title('График моделирования ДПТ с P-регулятором'); grid
on;
xlabel('Время'); ylabel('Угловая скорость вращения вала');
subplot(2,1,2);
plot(out.PID_regular); title('График моделирования ДПТ с PID-регулятором');
grid on;
xlabel('Время'); ylabel('Угловая скорость вращения вала');

%% в)
L = 0.0459;
R = 0.945;
km = 0.261;
ke = 0.341;
J = 0.14;

Kp = 1.03;
Kd = 2.46;
%%
subplot(2,1,1);
plot(out.nP_regular); title('График моделирования следящей САУ ДПТ с P-
регулятором'); grid on;
xlabel('Время'); ylabel('Угловая скорость вращения вала');
subplot(2,1,2);
plot(out.PD_regular); title('График моделирования следящей САУ ДПТ с PD-
регулятором'); grid on;
xlabel('Время'); ylabel('Угловая скорость вращения вала');

%% г)
[A,B,C,D] = linmod('TAU_Lab4_sim_Part_II_g',[0 0]);
tf(ss(A,B,C,D))

```

а) Формирование Simulink-модель ДПТ по скорости и моделирование отдельно при управляющем, возмущающем и совместном воздействии.

Общее уравнение, описывающее модель ДПТ, имеет вид:

$$\omega(s) = W_{\omega u}(s) \cdot u(s) + W_{\omega M_H}(s) \cdot M_H(s),$$

где

$$W_{\omega u}(s) = \frac{k_m}{J \cdot L \cdot s^2 + J \cdot R \cdot s + k_m k_e} - \text{ПФ ДПТ по управляющему воздействию};$$

$$W_{\omega M_H}(s) = \frac{L \cdot s + R}{J \cdot L \cdot s^2 + J \cdot R \cdot s + k_m k_e} - \text{ПФ ДПТ по возмущению}.$$

Или в одном из стандартных видов:

$$W_{\omega_{ou}}(s) = \frac{\frac{1}{k_e}}{\frac{L}{R} \cdot \frac{J \cdot R}{k_m k_e} s^2 + \frac{J \cdot R}{k_m k_e} s + 1} = \frac{k_u}{T_{\text{я}} T s^2 + T s + 1} \approx \frac{2.93}{0.07 s^2 + 1.49 s + 1};$$

$$W_{\omega_{M_H}}(s) = \frac{\frac{R}{k_m k_e} \left( \frac{L}{R} s + 1 \right)}{\frac{L}{R} \cdot \frac{J \cdot R}{k_m k_e} s^2 + \frac{J \cdot R}{k_m k_e} s + 1} = \frac{k_M (T s + 1)}{T_{\text{я}} T s^2 + T s + 1} \approx \frac{10.62 (1.49 s + 1)}{0.07 s^2 + 1.49 s + 1}.$$

В выше представленных выражениях для ПФ ДПТ по управлению и возмущению введены параметры:

$$T_{\text{я}} = \frac{L}{R} = \frac{0.0459}{0.945} = 0.049;$$

$$T = \frac{J \cdot R}{k_m k_e} = \frac{0.14 \cdot 0.945}{0.261 \cdot 0.341} = 1.49;$$

$$k_u = \frac{1}{k_e} = \frac{1}{0.341} = 2.93;$$

$$k_M = \frac{R}{k_m k_e} = \frac{0.945}{0.261 \cdot 0.341} = 10.62.$$

Соответственно Simulink-модель ДПТ в терминах ПФ приведена на рисунке 3.2.1.

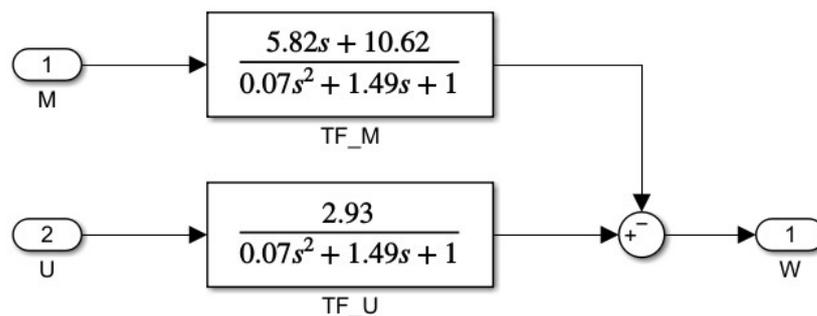


Рисунок 3.2.1 – Simulink-модель ДПТ в терминах ПФ.

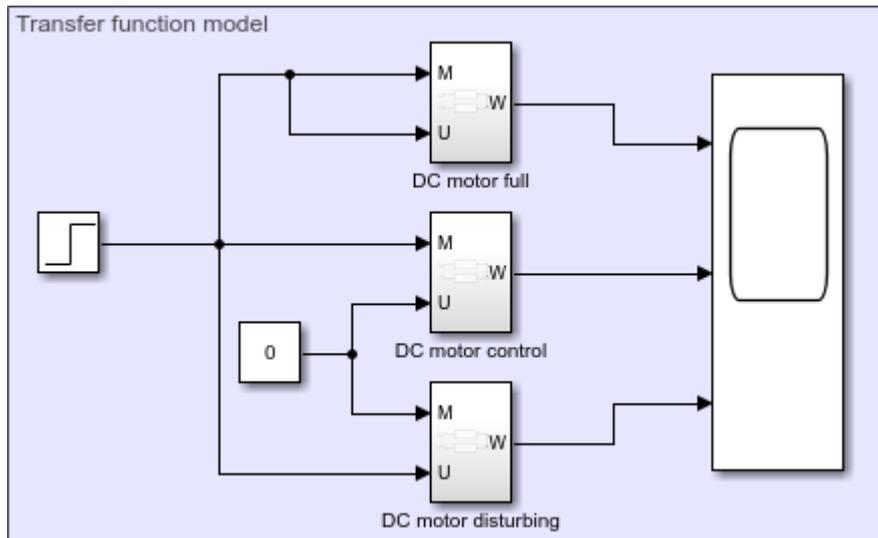


Рисунок 3.2.2 – Simulink-модель ДПТ в терминах ПФ для общего, возмущающего и управляющего воздействий.

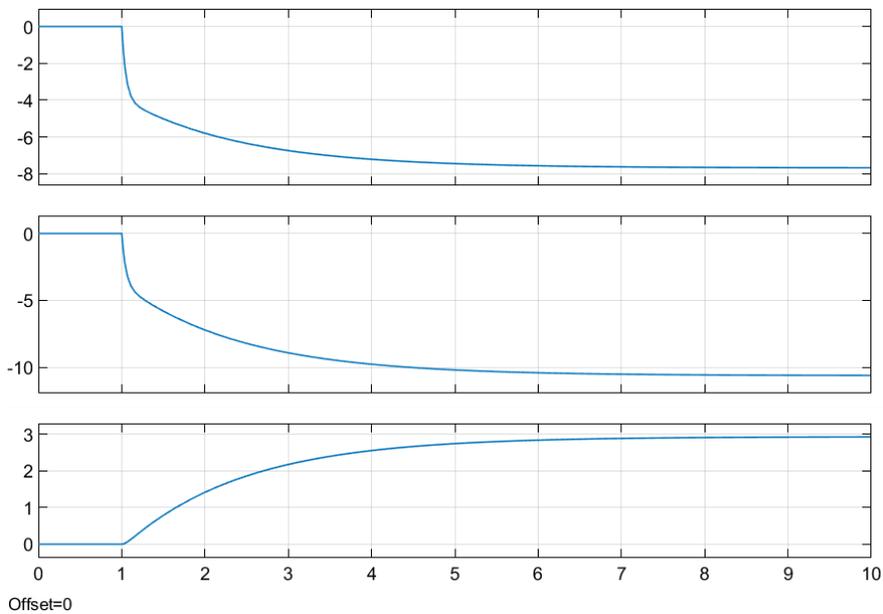


Рисунок 3.2.3 – Результаты моделирования модели в виде ПФ.

Модель ДПТ в терминах изображений переменных пространства состояний представлена на рисунке 3.2.4.

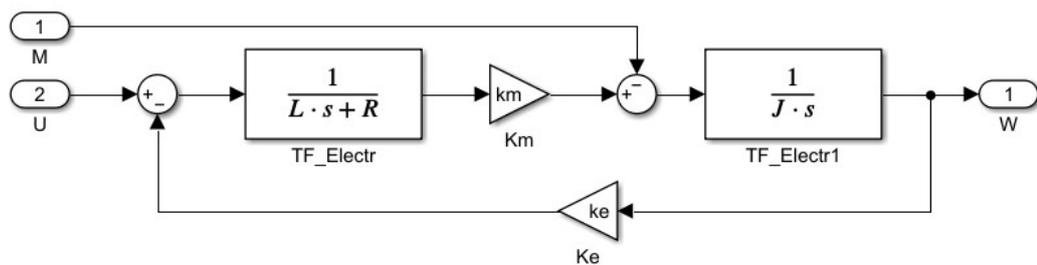


Рисунок 3.2.4 – Simulink-модель ДПТ скоростного контура.

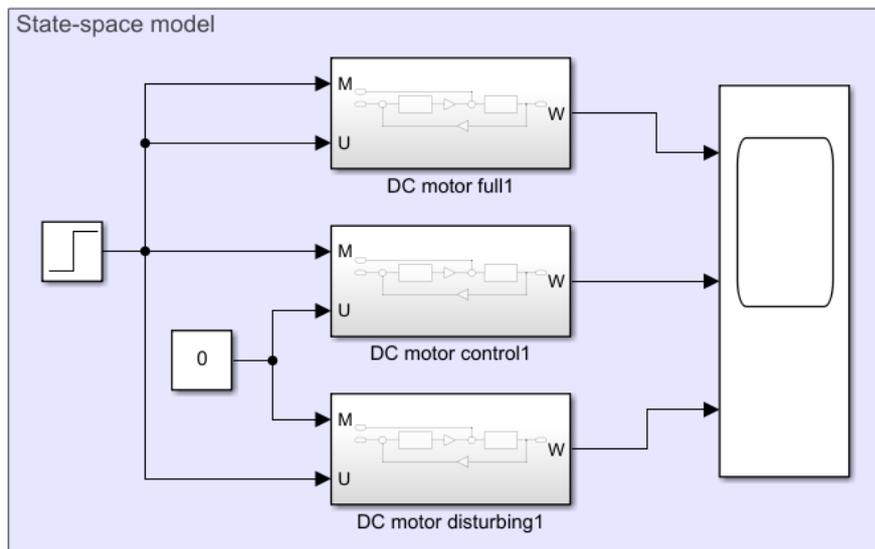


Рисунок 3.2.5 – Simulink-модель ДПТ в терминах пространства состояний для общего, возмущающего и управляющего воздействий.

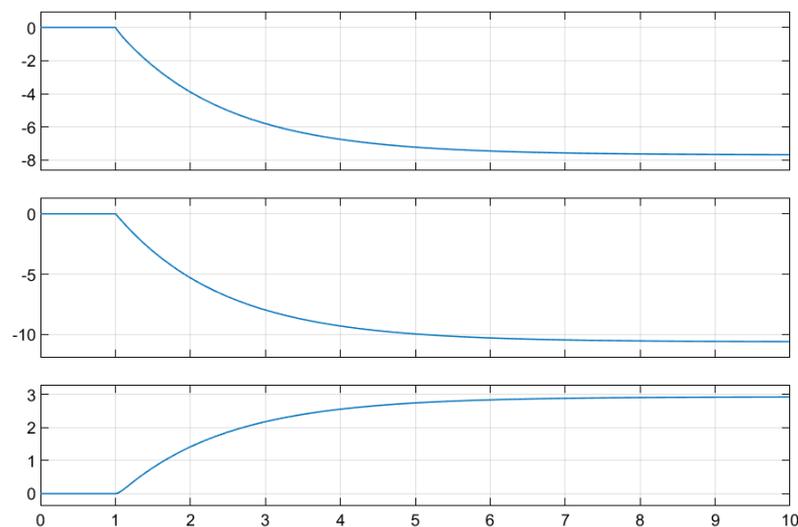


Рисунок 3.2.6 – Результаты моделирования модели в пространстве состояний.

б) Моделирование САУ скоростью ДПТ с П- и ПИД-регулятором. Определение характера реакций системы на входные воздействия по графикам, построенным на основе данных, переданных из пакета Simulink в рабочую область MatLab (Workspace) через блок «To Workspace» библиотеки «Sinks».

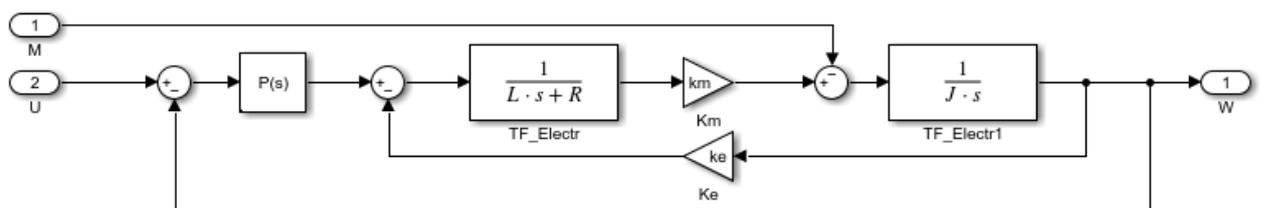


Рисунок 3.2.7 – Simulink-схема САУ скорости с P-регулятором.

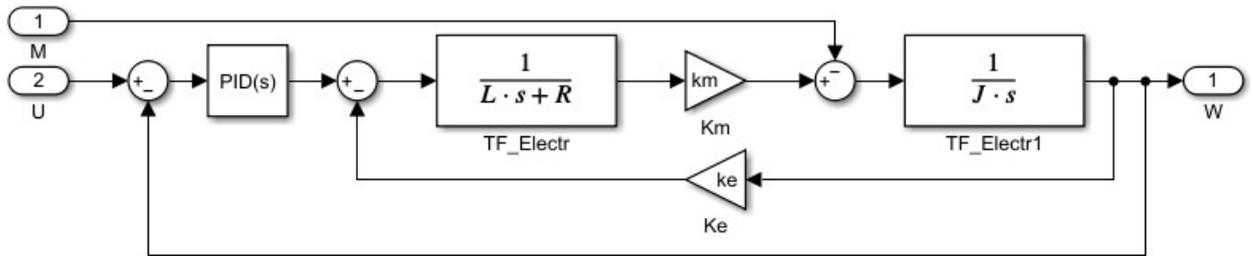


Рисунок 3.2.8 – Simulink-схема САУ скорости с PID-регулятором.

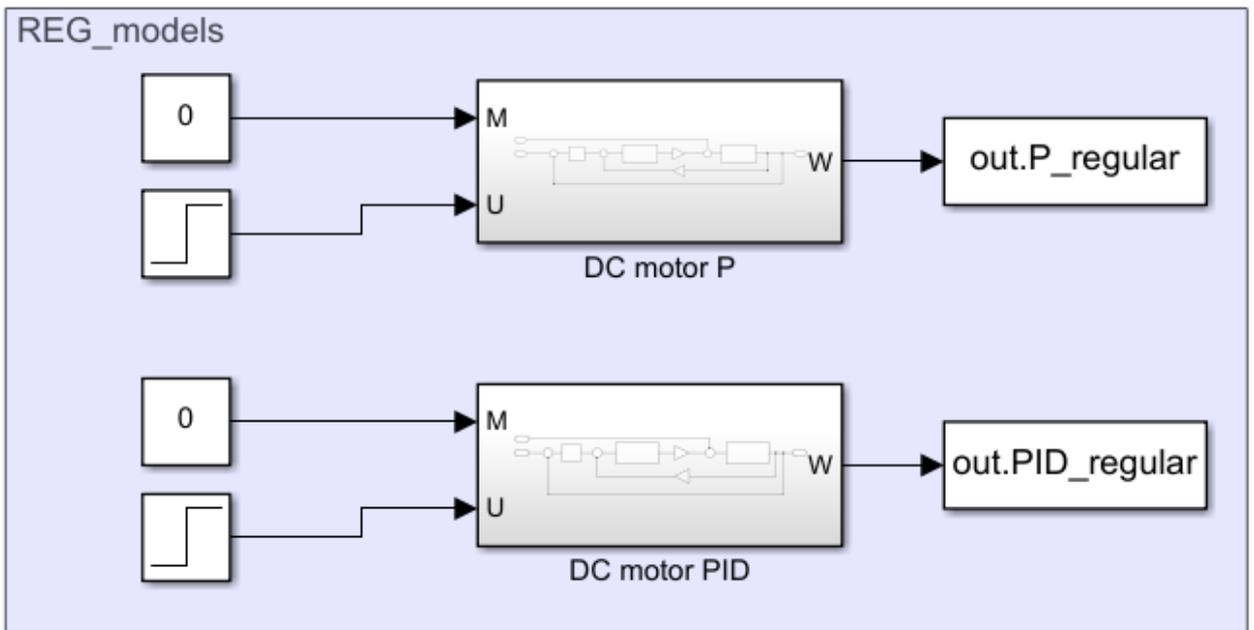


Рисунок 3.2.9 – Simulink-схема САУ скорости с P- и PID-регуляторами с выводом значений в Workspace.

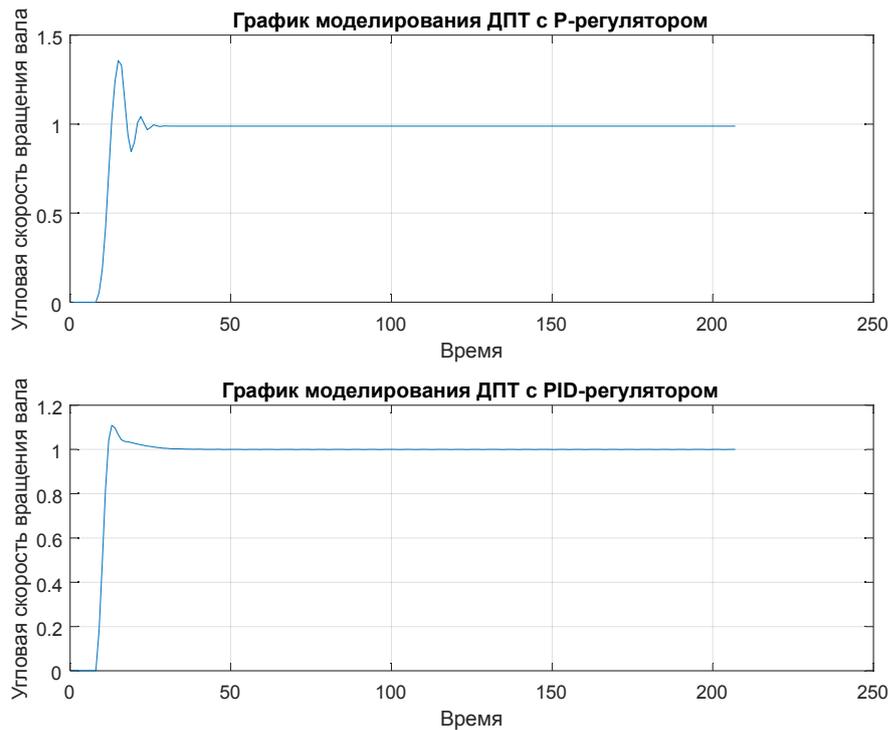


Рисунок 3.2.10 – Результаты моделирования модели с P- и PID-регуляторами.

в) Моделирование следящей САУ с ПД-регулятором по углу по схеме. В качестве задающего воздействия принят угол в 5 градусов.

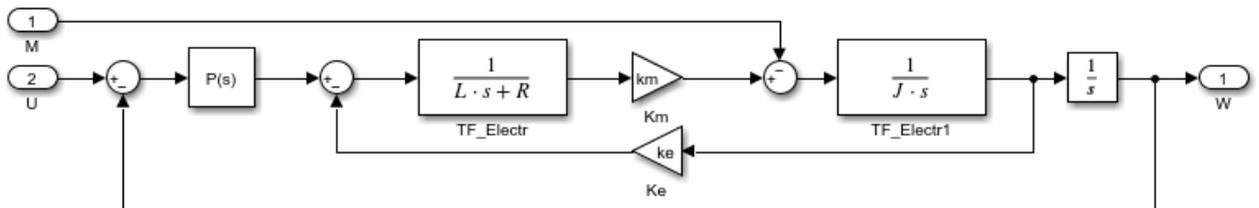


Рисунок 3.2.11 – Simulink-схема следящей САУ ДПТ с P-регулятором.

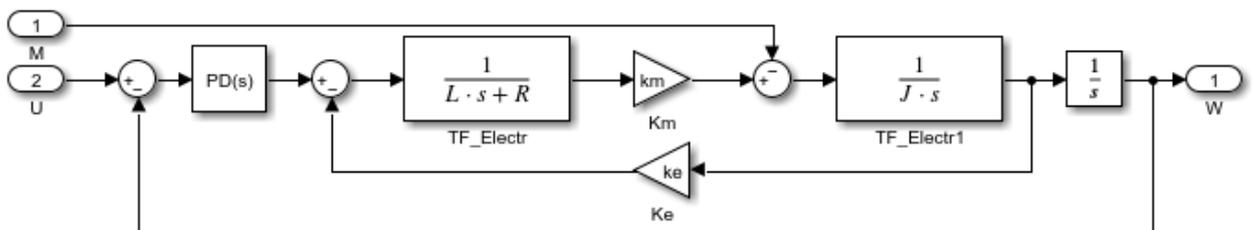


Рисунок 3.2.12 – Simulink-схема следящей САУ ДПТ с PD-регулятором.

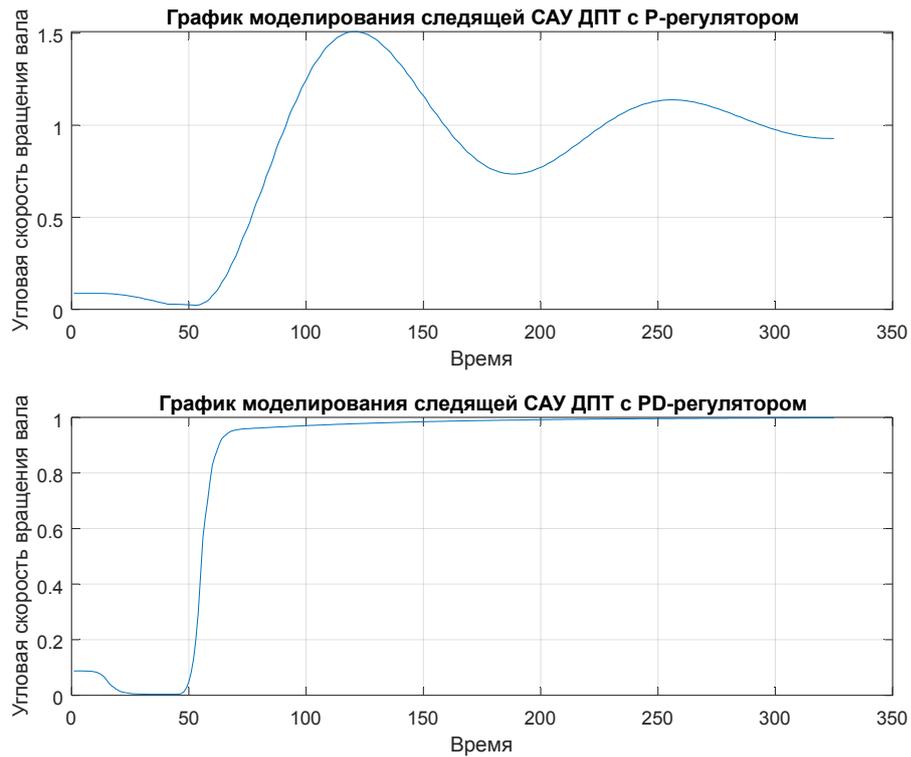


Рисунок 3.2.13 – Результаты моделирования следящей САУ ДПТ с P- и PD-регуляторами при отсутствии внешнего воздействия ( $M_H = 0$ ).

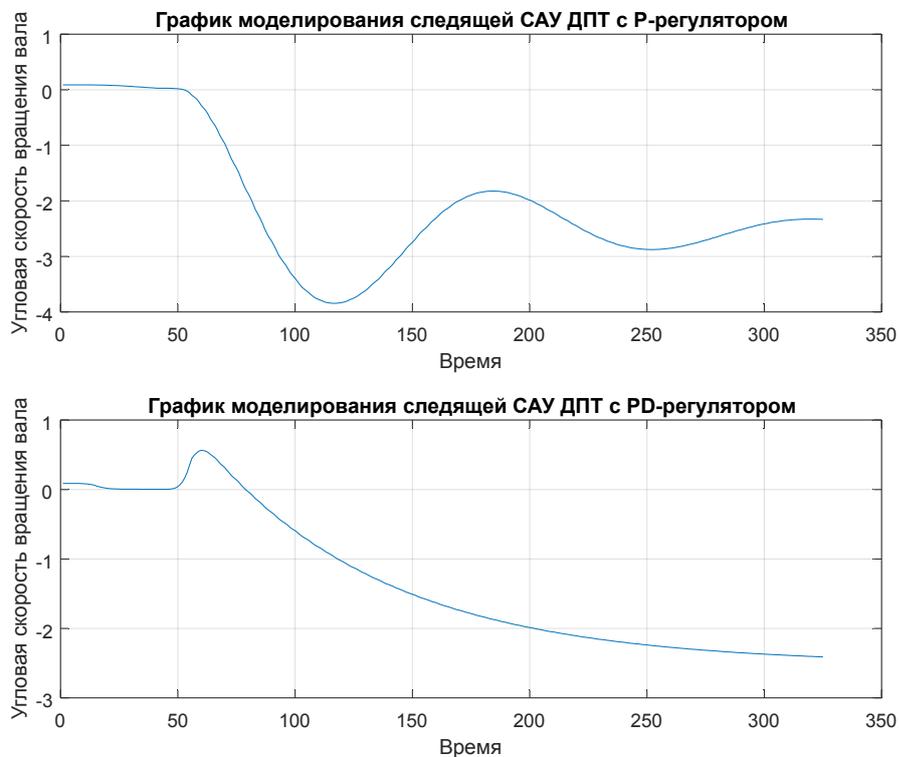


Рисунок 3.2.14 – Результаты моделирования следящей САУ ДПТ с P- и PD-регуляторами при отсутствии внешнего воздействия ( $M_H = u(t)$ ).

г) Проведение графо-аналитических (структурных) преобразований и получение ПФ рассматриваемой САУ по управлению и возмущению. Решение аналогичной задачи с помощью средства MatLab.

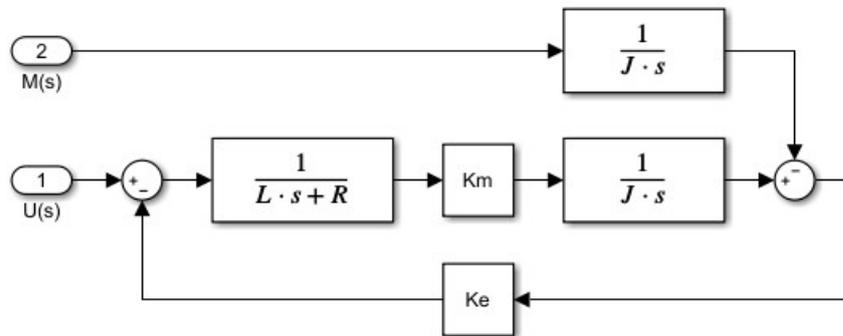


Рисунок 3.2.16 – Перенос сумматора вправо от передаточной функции.

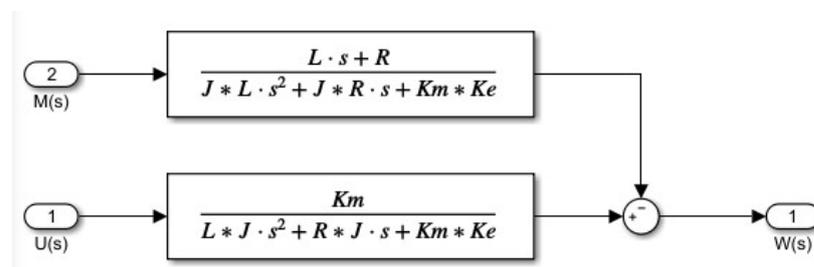


Рисунок 3.2.17 – Произведение последовательных звеньев и звеньев с ОС.

$$W_{ou}(s) = \frac{\frac{k_m}{J \cdot L}}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{k_m \cdot k_e}{JL}} = \frac{\frac{0.261}{0.14 \cdot 0.0459}}{s^2 + \frac{0.945}{0.0459}s + \frac{0.261 \cdot 0.341}{0.14 \cdot 0.0459}} = \frac{40,62}{s^2 + 20,59s + 13,85}$$

$$W_{\omega M_n}(s) = \frac{-\frac{s}{J} + \frac{R}{J \cdot L}}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{k_m \cdot k_e}{J \cdot L}} = \frac{-7,14s + 147,06}{s^2 + 20,59s + 13,85}$$

Решение Matlab:

ans =

From input 1 to output:

$$-7.143 s - 147.1$$

-----

$$s^2 + 20.59 s + 13.85$$

From input 2 to output:

-----

$$s^2 + 20.59 s + 13.85$$

Continuous-time transfer function.

**Вывод:** данная лабораторная работа состояла из двух частей. В первой части лабораторной работы были повторены, изучены и закреплены основные сведения о пакете Simulink, исследованы блоки, осуществляющие вывод значений в файлы, в workspace среды Matlab, а также изучены различные блоки библиотек «Sink» и «Source».

Вторая часть лабораторной была посвящена моделированию САУ ДПТ с использованием знаний, обретенных и/или актуализированных в первой части. В ходе работы проводился анализ САУ ДПТ по угловой скорости, САУ скоростью с П- и ПИД-регуляторами, а также следящей САУ с ПД-регулятором по углу. При анализе внимание уделялось точности регулирования, времени отработки задающего воздействия, определению характера реакции системы на входные воздействия.