

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ**

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО**

**ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ДГТУ)**

Факультет «Автоматизация производственных процессов»

Кафедра «Автоматизация производственных процессов»

Задание для выполнения контрольной работы

**«Автоматизированный электропривод»**

Ростов-на-Дону

2022

УДК 62-192

Составитель: Туркин И.А.

Методические указания. – Ростов-на-Дону:Донской гос.

техн. ун-т, 2022. – 13с

Задание для выполнения контрольной работы

«Автоматизированный электропривод» предназначены для студентов заочной формы обучения по направлению 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профиль «Промышленное программирование».

УДК 62-192

Печатается по решению редакционно-издательского совета

Донского государственного технического университета

ВВЕДЕНИЕ

Электроприводом называется электромеханическое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в механическую энергию поступательного либо вращательного движения и включающее электромеханический преобразователь (двигатель) и устройство управления двигателем. По роду тока электропривод разделяется на привод переменного и постоянного тока. В электроприводе постоянного тока в качестве электромеханического преобразователя используется двигатель постоянного тока (ДПТ). ДПТ имеет различные схемы включения: с независимым, параллельным и последовательным возбуждением. В данной работе исследуется двигатель постоянного тока с независимым возбуждением при управлении по цепи якоря.

Цель работы: разработка модели двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в Simulink и исследование механических и динамических характеристик.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основные уравнения для двигателя постоянного тока независимого возбуждения (рис.1) при управлении по цепи якоря в динамическом режиме могут быть записаны в виде:

|  |  |
| --- | --- |
| ; | (1) |
| ; | (2) |
| ; | (3) |
| , | (4) |

где *Uя* - напряжение на якорной обмотке двигателя, В;

*Е* - электродвижущая сила (ЭДС) якоря, В;

*Iя* - ток якоря, А;

*Ф* - поток, создаваемый обмоткой возбуждения, Вб;

*M* - электромагнитный момент двигателя, Н м;

*MС* - момент сопротивления движению, Н۬ м;

*ω* - скорость вращения вала двигателя, с-1;

*RЯ* - активное сопротивление якорной цепи, Ом;

*LЯ* - индуктивность якорной цепи, Гн;

*J* - суммарный момент инерции якоря и нагрузки, кг м2;

*се* - конструктивный коэффициент ЭДС двигателя,

*см* - конструктивный коэффициент момента двигателя.

|  |  |
| --- | --- |
| Обмотка возбуждения | Якорь |

Рис.1. Схема включения ДПТ с независимым возбуждением

При использовании управления по цепи якоря магнитный поток Ф следует считать постоянным. Введем обозначение:

|  |  |
| --- | --- |
| ; | (5) |
| , | (6) |

где *ke* – коэффициент ЭДС, В с;

*kм* – коэффициент момента, Н м А-1.

Данные коэффициенты ЭДС *ke* и момента *kм* являются либо справочными величинами, либо рассчитываются по нижеприведенным формулам, исходя из номинальных параметров двигателя:

|  |  |
| --- | --- |
| ; | (7) |
| . | (8) |

Запишем уравнения (1)-(4) с учетом (5), (6) в операторной форме:

|  |  |
| --- | --- |
| ; | (9) |
| ; | (10) |
| ; | (11) |
| . | (12) |

С точки зрения будущей модели выделим следующие переменные:

1. Входные воздействия:

- напряжение якоря *Uя*;

- момент сопротивления движению *MС*.

2. Выходные переменные:

- электромагнитный момент двигателя *M*;

- скорость вращения вала двигателя *ω*.

3. Переменные состояния (переменные, стоящие под знаком производной):

- ток якоря *IЯ*, который из (9) может быть выражен следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
| ; | (13) |

- скорость вращения вала двигателя *ω*, которая может быть выражена из уравнения (10) следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (14) |

Остальные переменные, входящие в состав уравнений (9)-(12), кроме ЭДС *Е,* являются параметрами, численные значения которых необходимо задавать при проведении расчетов.

В паспортных данных на электродвигатели приводятся основные параметры, такие как: мощность на валу РН (кВт); частота вращения nН (об/мин); напряжение питания UН (В); ток якоря IЯН (А); сопротивление обмотки якоря RЯ (Ом); момент номинальный МН (Н·м); момент инерции J (кг·м2), на основе которых рассчитываются дополнительные.

Номинальная угловая скорость вращения вала *ωН,*с-1

|  |  |
| --- | --- |
| . | (15) |

Индуктивность цепи якоря *LЯ*, Гн

|  |  |
| --- | --- |
| , | (16) |

где *р* – число пар полюсов двигателя.

Коэффициент ЭДС ke, В с

|  |  |
| --- | --- |
| . | (17) |

Коэффициент момента kМ, Н м А-1

|  |  |
| --- | --- |
| . | (18) |

СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ

На основании уравнений (9)-(12) с учетом выражений (13), (14) строится Simulink-модель двигателя (рис.2) с использованием стандартной библиотеки пакета.

В процессе моделирования часто возникает задача замены группы блоков на один (создание подсистемы), с целью повышения наглядности, разгрузки рабочей области окна. При двойном нажатии на подсистему в отдельном окне можно увидеть ее структуру. Изменение параметров возможно при непосредственном редактировании отдельных блоков. Если же модель сложна и (или) необходима в дальнейшем, то следует ее реализация в виде маскированной подсистемы. Маскирование подсистемы – это, по сути, блок Simulink, имеющий собственное окно настройки параметров, иконку, помощь и (или) описание. Прямого пути включения ее в состав стандартных библиотек не найдено.

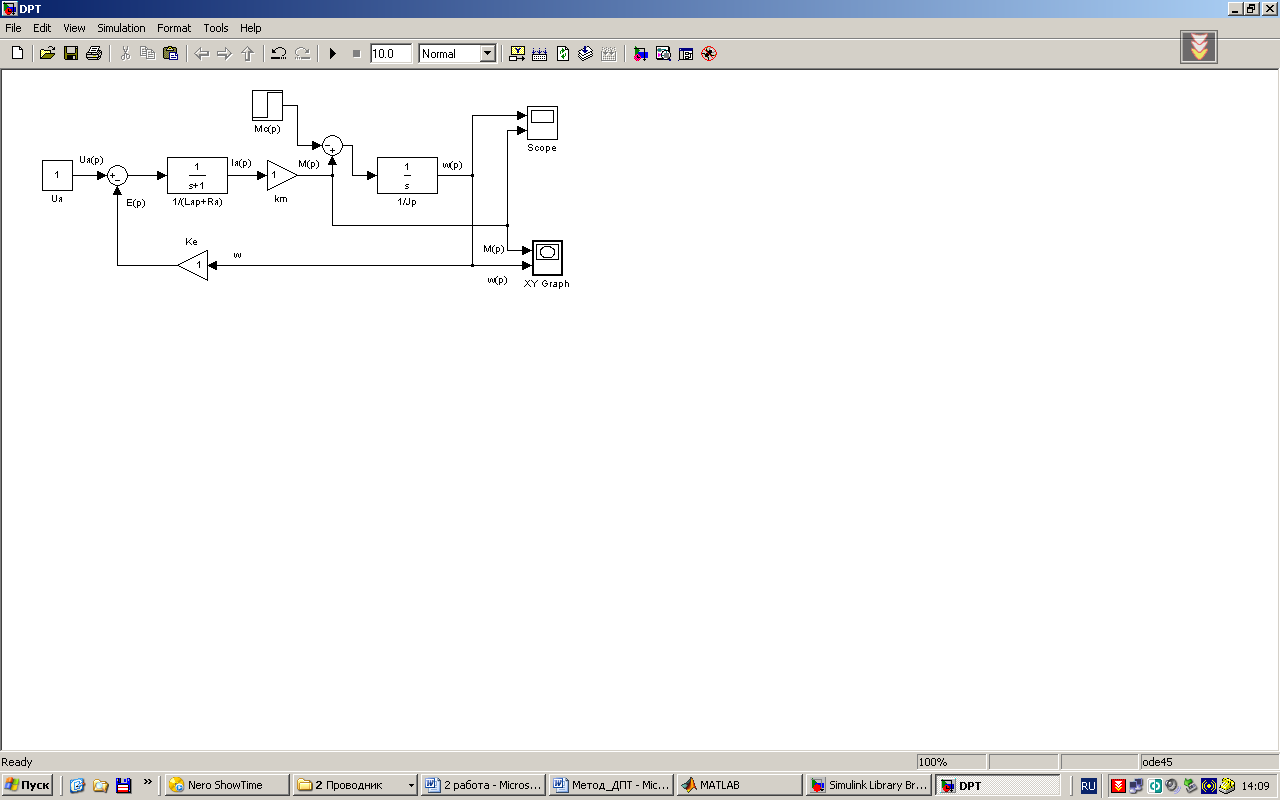


Рис.2. Simulink-модель двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Входные и выходные координаты представим в виде элементов In и Out, соответственно. Переменные величины (для разных вариантов систем) зададим в буквенном виде (рис.3).

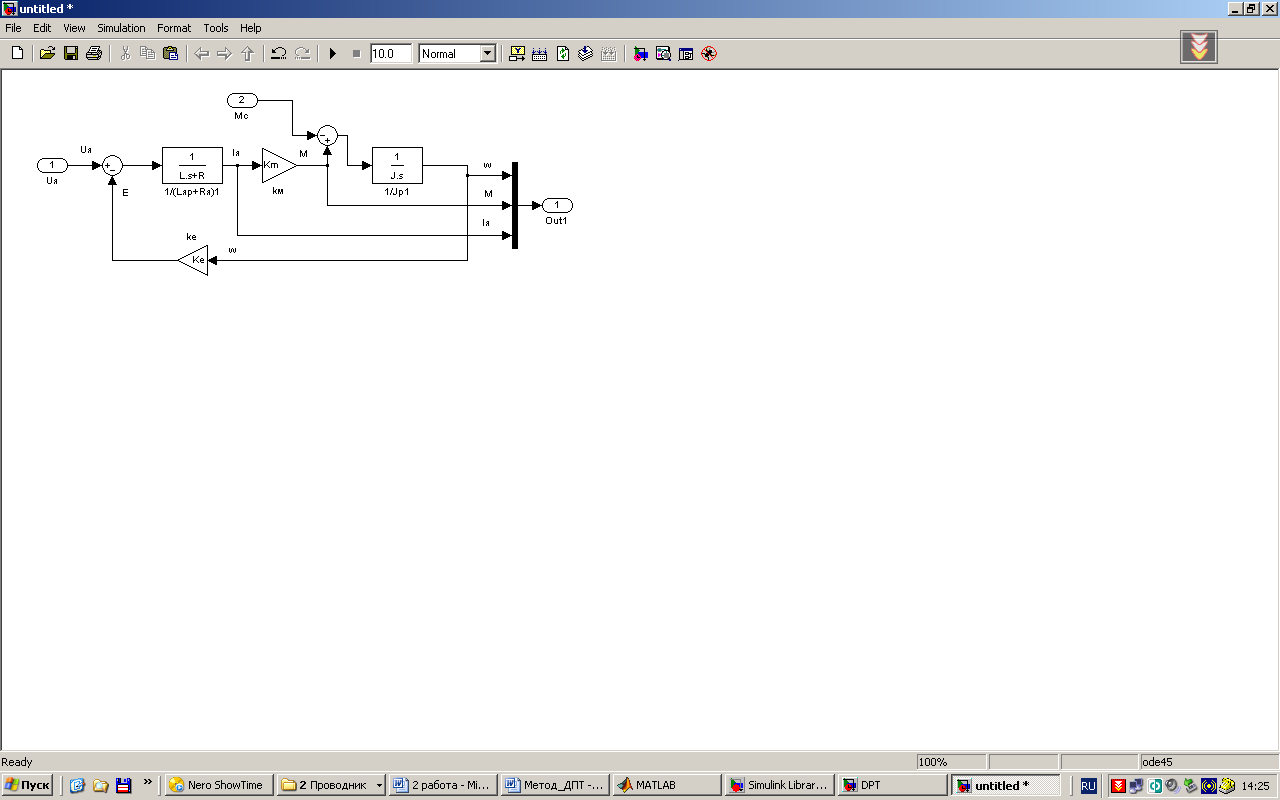


Рис.3. Simulink-модель ДПТ перед использованием маскирования

Координаты на входах системы – напряжение, приложенное к якорной цепи, статический момент. Координаты на выходе – скорость, момент и ток якоря. Выходная величина разделяется на составляющие путем вставки элемента **Demux**. Выделив все элементы, вызываем контекстное меню, выбираем пункт, создание подсистемы (**Create subsystem**). Результатом выполнения команды является блок, представленный на рис.4.

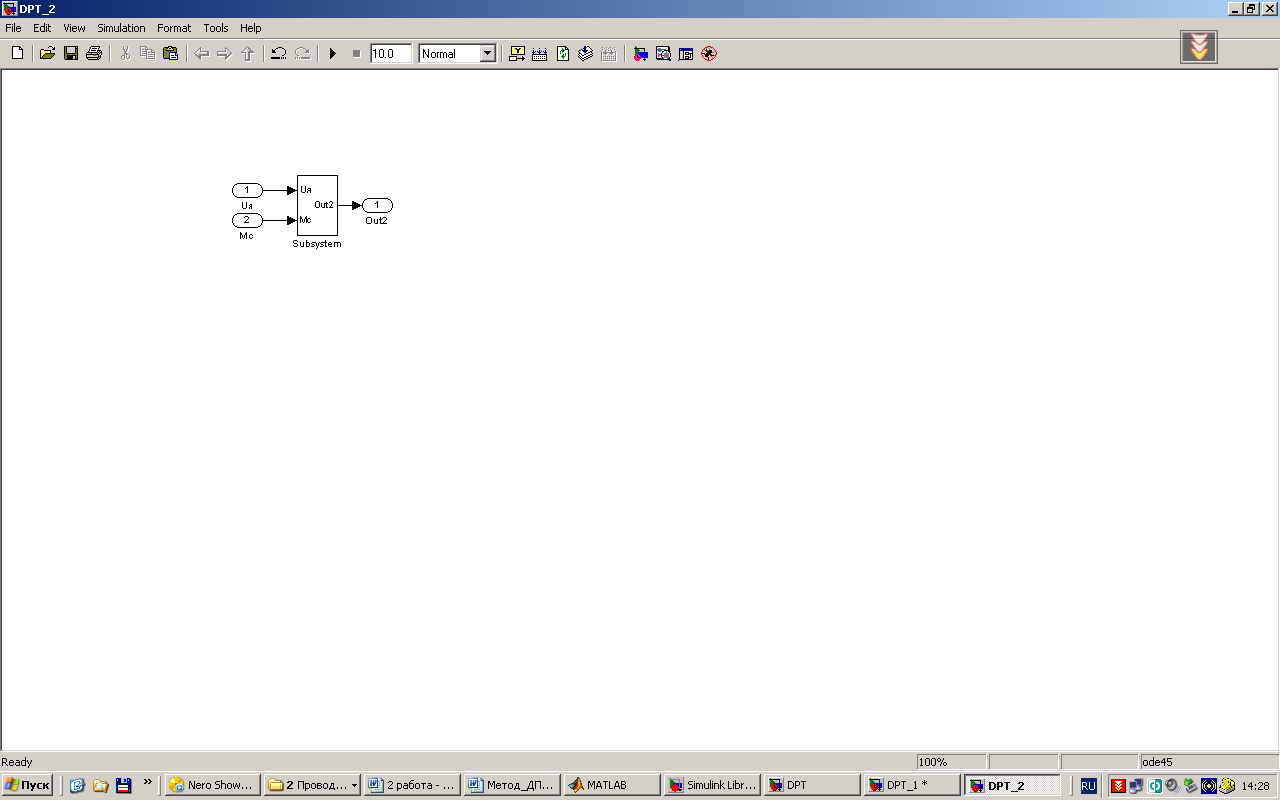


Рис.4. Блок, созданный командой Create subsystem

Для редактирования созданного блока необходимо создать диалоговое окно с помощью редактора маски (**Mask Editor**), при запуске которого на экран выводится форма, содержащая 4 вкладки:

**Icon** (пиктограмма) отвечает за прорисовку пиктограммы блока;

**Parameters** (параметры) позволяет создать окно диалога для ввода необходимых параметров;

**Initialization** (инициализация) содержит команды инициализации;

**Documentation** (документация) создает справочную систему к модели.

На рис.5 представлено окно **Mask Editor** с активной вкладкой **Icon**, которая в свою очередь содержит несколько групп элементов.

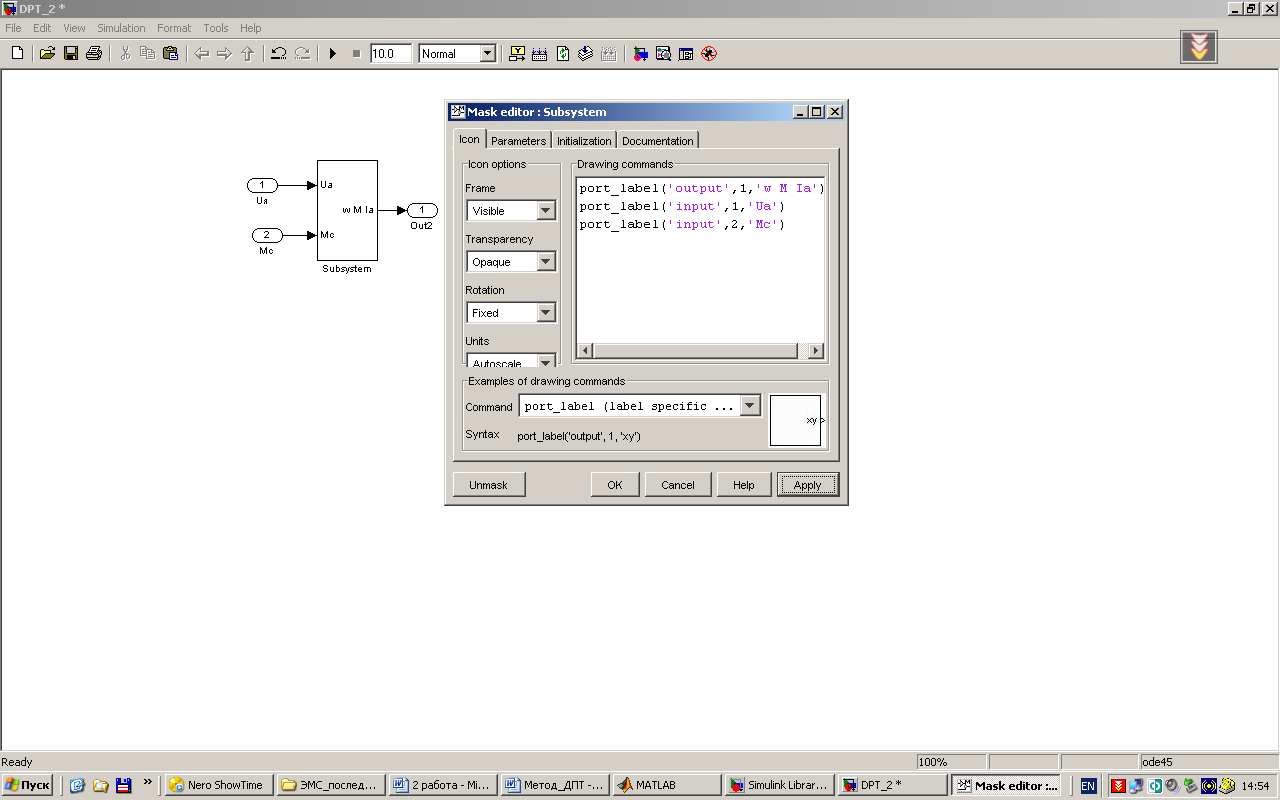


Рис.5. Окно **Mask Editor** с активной вкладкой **Icon**

Группа **Icon Options**:

**Icon frame** – список, позволяющий выбрать способ отображения рамки пиктограммы (Visible – рамка видна, Invisible – рамка не видна);

**Icon transparency** – список, позволяющий установить прозрачность пиктограммы (Opaque – пиктограмма не прозрачна, Transparent – пиктограмма прозрачна);

**Icon rotation** – список, позволяющий задать возможность вращения пиктограммы (Fixed – положение пиктограммы фиксировано, Rotates – пиктограмма может вращаться вместе с блоком).

Группа **Examples of drawing commands** по сути носит справочный характер и не влияет на отображение пиктограммы.

Группа **Drawing commands** отвечает за прорисовку пиктограммы блока. Из множества возможных команд использованы следующие:

**port\_label** – отображение на пиктограмме метки порта;

**port\_label('input',1,'Ua')** – вход номер 1 получит метку «Ua».

**text** – вывод на пиктограмму (определенные координаты) текста;

**plot** – отображает рисунок с координатным заданием позиций линий.

На рис.6 представлено окно **Mask Editor** с активной вкладкой **Parameters**, которая в свою очередь содержит несколько групп элементов.

Группа **Dialog parameters** служит для добавления переменных, каждая из которых содержит пять полей:

**Promt** – имя переменной в окне параметров модели;

**Variable** – буквенное обозначение переменной в маскируемой модели;

**Type** – тип задания переменной (edit – численное значение, checkbox - флаг, popup – всплывающее меню);

**Evaluate** – параметр обладает свойством «вычисляемый», а при отсутствии выделения - «текстовый»;

**Tunable** – позволяет переменной изменять свое значение в процессе моделирования.

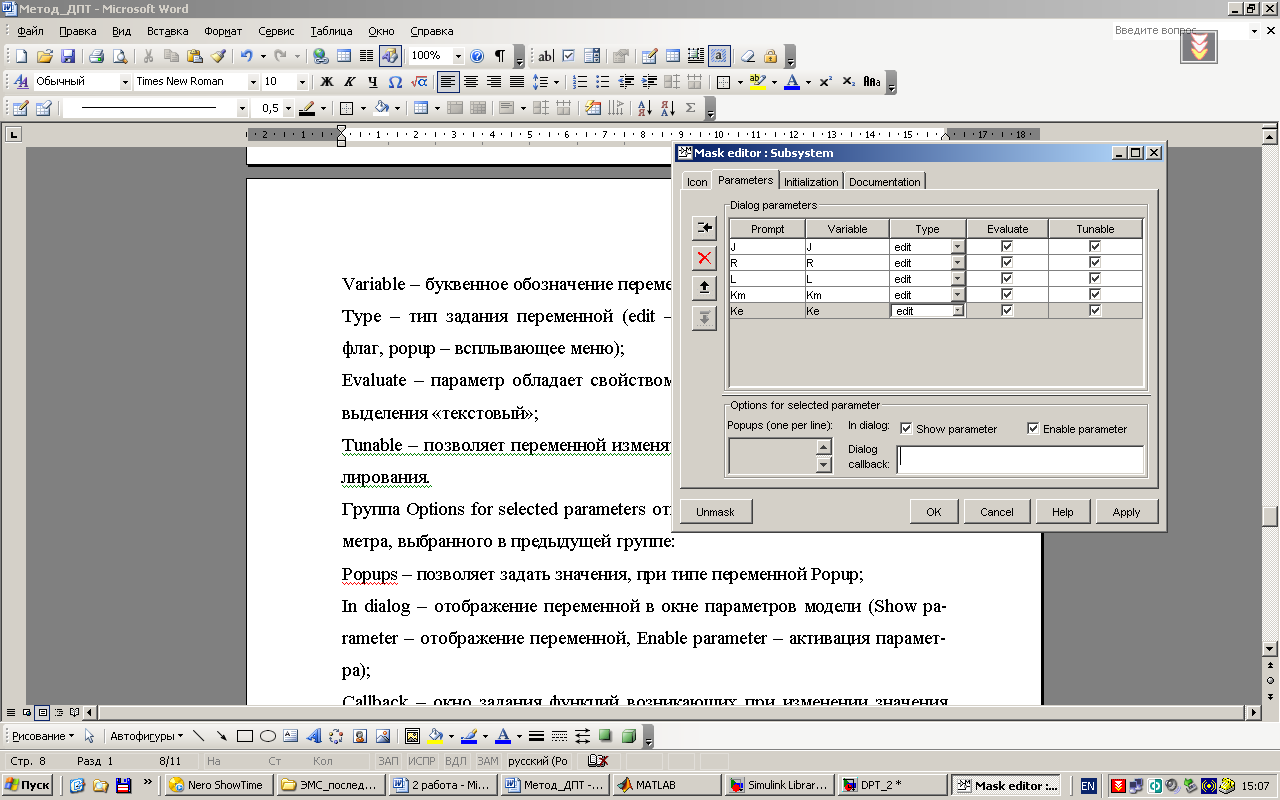


Рис.6. Окно **Mask Editor** с активной вкладкой **Parameters**

Группа **Options for selected** parameters отвечает за изменение свойств параметра, выбранного в предыдущей группе:

**Popups** – позволяет задать значения, при типе переменной Popup;

**In dialog** – отображение переменной в окне параметров (Show parameter – отображение переменной, Enable parameter – активация параметра);

**Callback** – окно задания функций, возникающих при изменении значения переменной в окне параметров модели.

На рис.7 представлено окно **Mask Editor** с активной вкладкой **Initialization**, которая в свою очередь содержит несколько групп элементов.

**Dialog variables** – список доступных переменных.

**Initialization commands** – область для ввода команд на языке Matlab. Функции могут задавать переменные, которые доступны и могут использоваться внутри подсистемы, или для изменения пиктограммы блока.

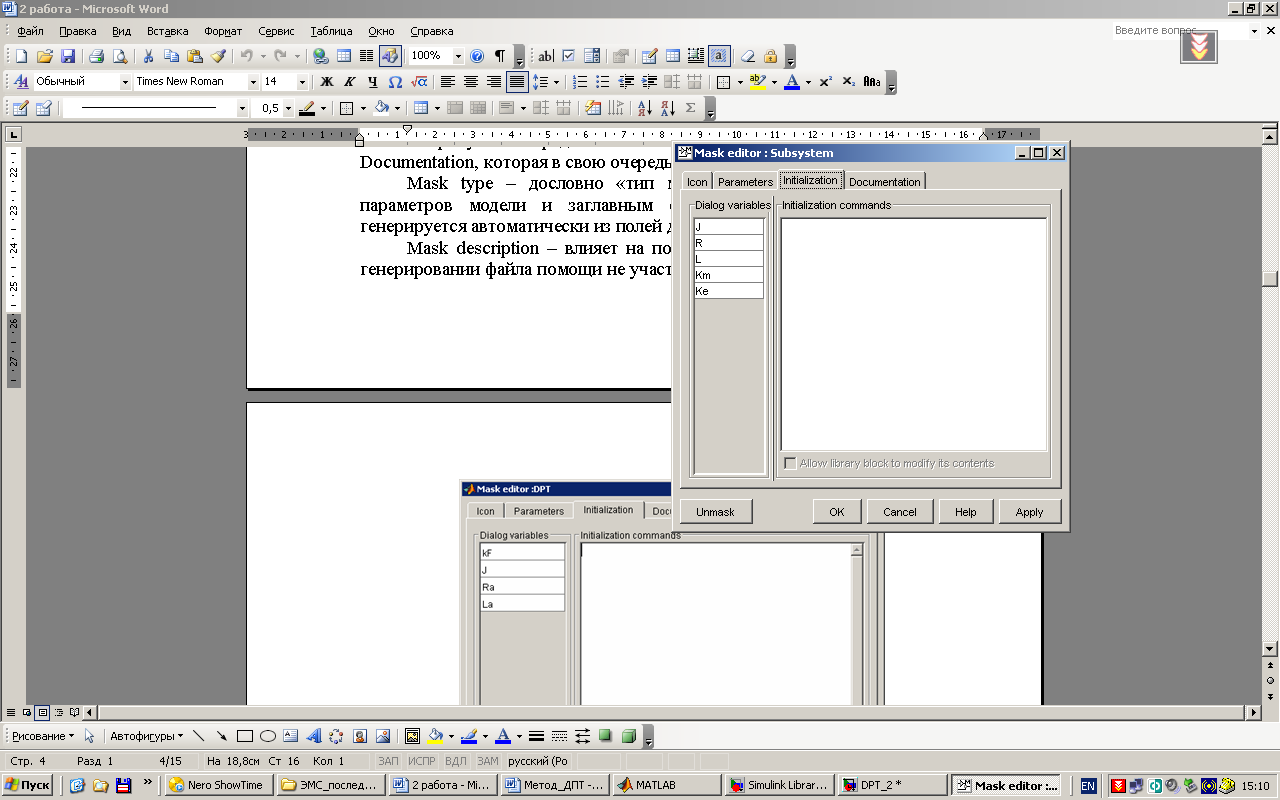


Рис.7. Окно **Mask Editor** с активной вкладкой **Initialization**

Активация функций происходит при открытии окна модели, при запуске модели на выполнение, при выполнении команды Edit/Update diagram, при вращении блока маскированной подсистемы (в этом случае команды инициализации обеспечивают перерисовку пиктограммы), при автоматическом изменении пиктограммы, зависящей от параметров блока.

На рис.8 представлено окно **Mask Editor** с активной вкладкой **Documentation**, которая, в свою очередь, содержит несколько групп элементов.

**Mask type** – дословно «тип маски» служит названием для окна параметров модели и заглавным словом в файле помощи, который генерируется автоматически из полей данной вкладки.

**Mask description** – влияет на пояснение в окне параметров модели, в генерировании файла помощи не участвует.

**Mask help** – собственно содержание файла помощи - допускает вставку html-тегов. Для примера теги выравнивания текста, тег перевода строки, тег гиперссылки.

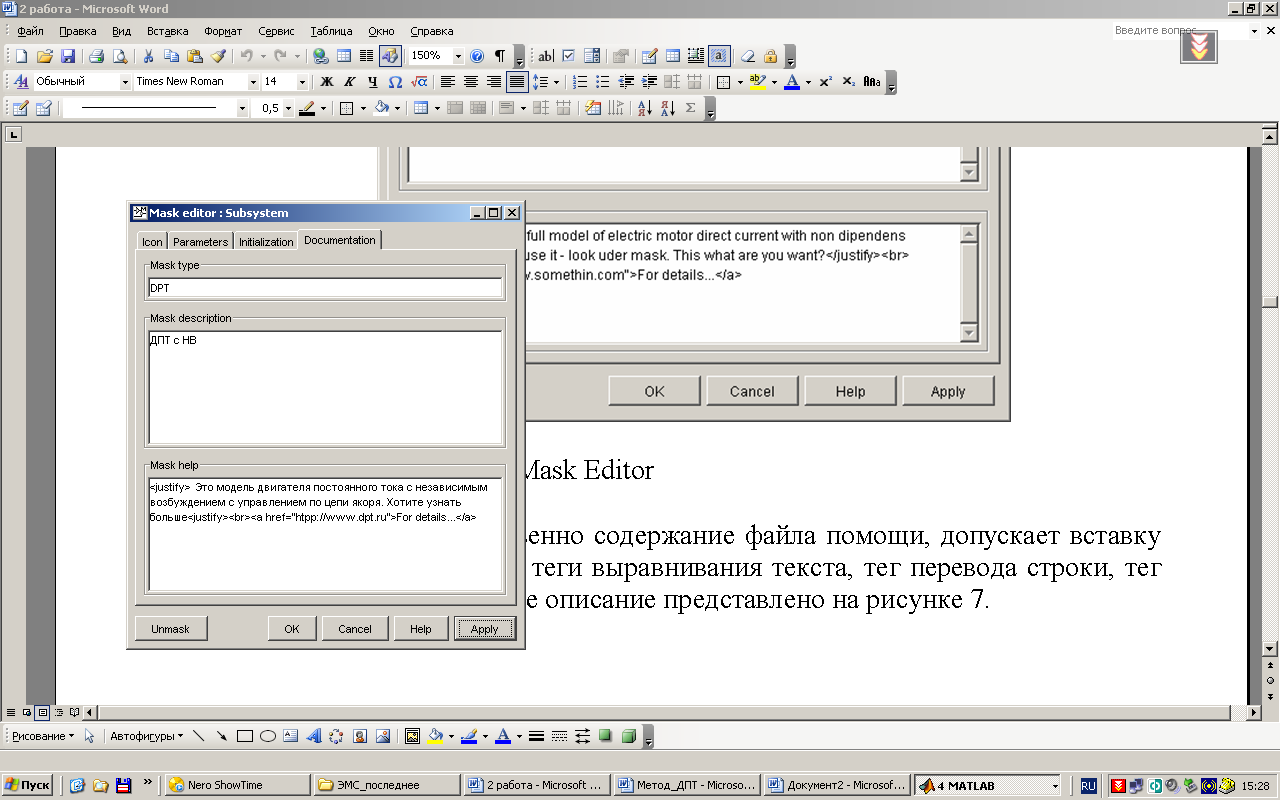


Рис.8. Окно **Mask Editor** с активной вкладкой **Documentation**

Полученное описание представлено на рис.9.

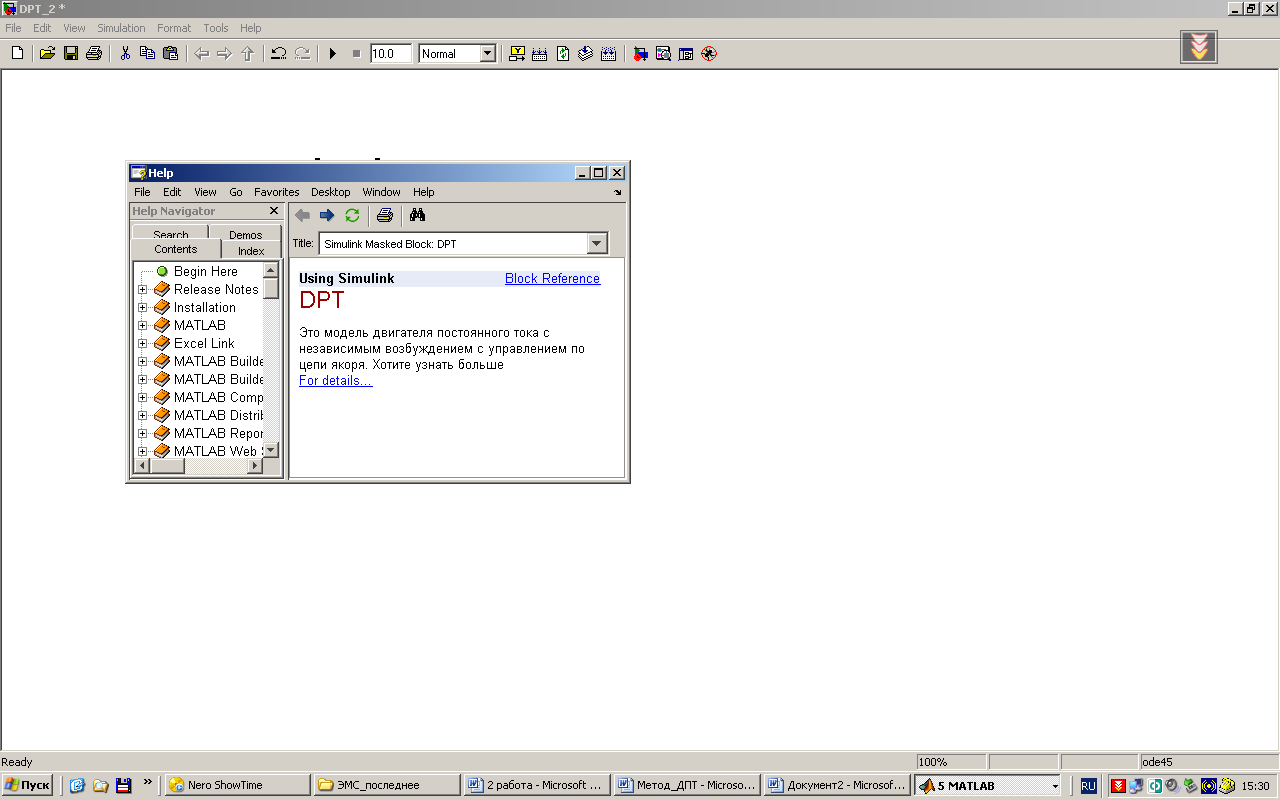


Рис.9. Файл справки блока ДПТ

Результатом выполнения команд, представленных на рис.7,8 является (рис.10) окно, возникающее при двойном нажатии по созданному блоку.

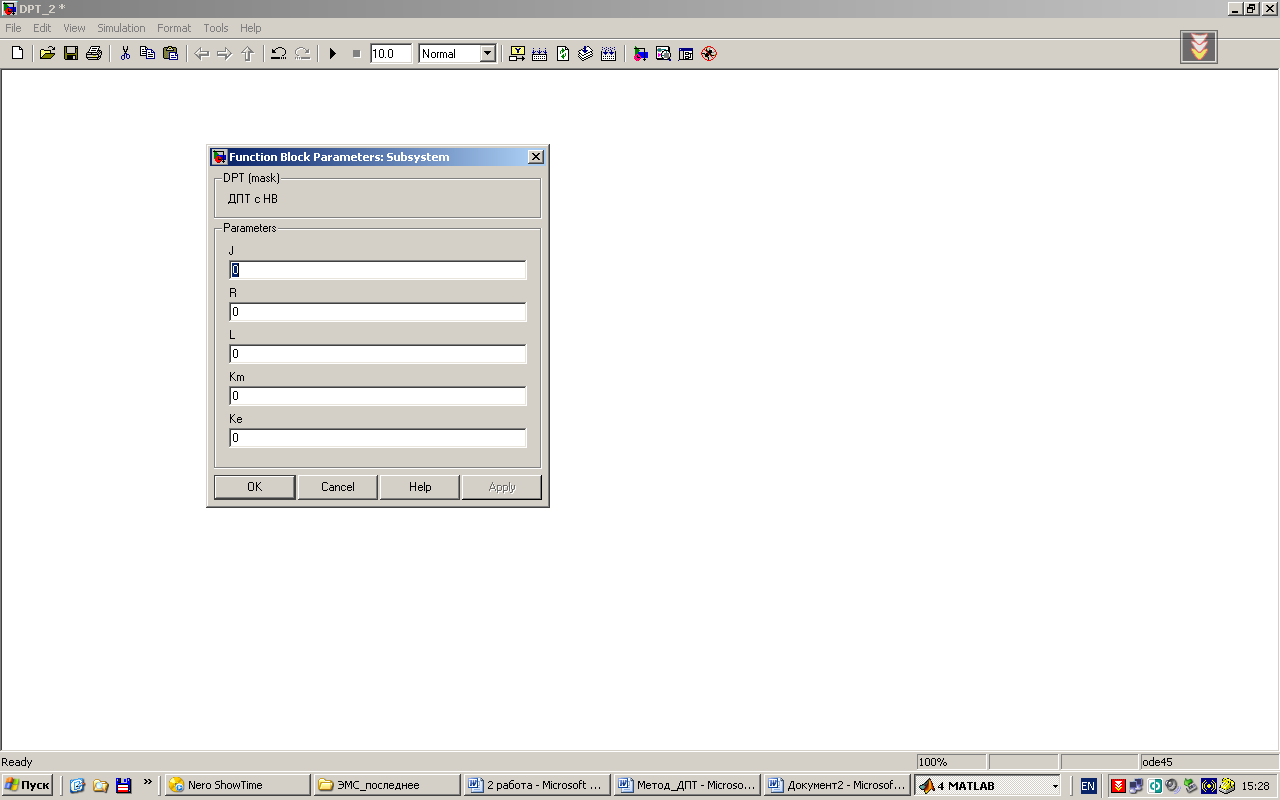


Рис.10. Окно **Function Block Parameters**

Механизм создания библиотек для хранения созданных подсистем:

1. Предварительно созданную схему оформить в виде подсистемы.
2. Создать файл библиотеки: **File/New/Library**.
3. Скопировать в файл библиотеки подсистему и сохранить этот файл.
4. Поместить в папку с файлом новой библиотеки файл **slblocks.m** (например, из папки **...\toolbox\simulink\blocks**).
5. Отредактировать файл **slblocks.m**, указав имя библиотеки и отображаемое имя:

**Browser(1).Library = "My\_lib";**

**Browser(1).Name = "My Library";**

1. Добавить в MATLAB путь с папкой, где находится файл библиотеки и файл **slblocks.m**
2. Перезапустить MATLAB.

Форматирование графиков в окне **Scope** осуществляется после выполнения в командной строке Matlab следующих команд:

**set(0,'ShowHiddenHandles','On')**

**set(gcf,'menubar','figure')**

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с теоретическим материалом и маскированием систем в Simulink.

2. На основании исходных данных составить Simulink-модель ДПТ и провести построение динамических и механической характеристик двигателя.

3. Используя маскирование систем, создать блок, выполнив редактирование диалогового окна на основании материала, изложенного в сведениях о программном продукте.

4. Повторить построение характеристик ДПТ на основе созданного блока.

5. Составить отчет по работе.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Исследуется ДПТ марки МИ-11 со следующими характеристиками: мощность на валу Рном, 0,12кВт; частота вращения nном, 3000 об/мин; напряжение питания Uном, 60В; ток якоря IЯ, 2,86 А; сопротивление обмотки якоря RЯ, 0,46Ом; момент номинальный Мном, 0,39 Н·м; момент инерции Jд·104, 15,3 кг·м2 . Осуществим расчет недостающих параметров двигателя.

Номинальная угловая скорость вращения вала *ωН,*с-1

|  |  |
| --- | --- |
| . |  |

Индуктивность цепи якоря *LЯ*, Гн

|  |  |
| --- | --- |
| . |  |

Число пар полюсов принимаем равным *р*=2.

Коэффициент ЭДС ke, В·с

|  |  |
| --- | --- |
| . |  |

Коэффициент момента kМ, Н·м·А-1

|  |  |
| --- | --- |
| . |  |

Модель ДПТ с заданными и рассчитанными параметрами представлена на рис.11. Момент сопротивления движению задается в виде ступенчатой функции в момент времени 0,2 с (**Step time**), значение МС=0,3 Н·м (**Final value**).

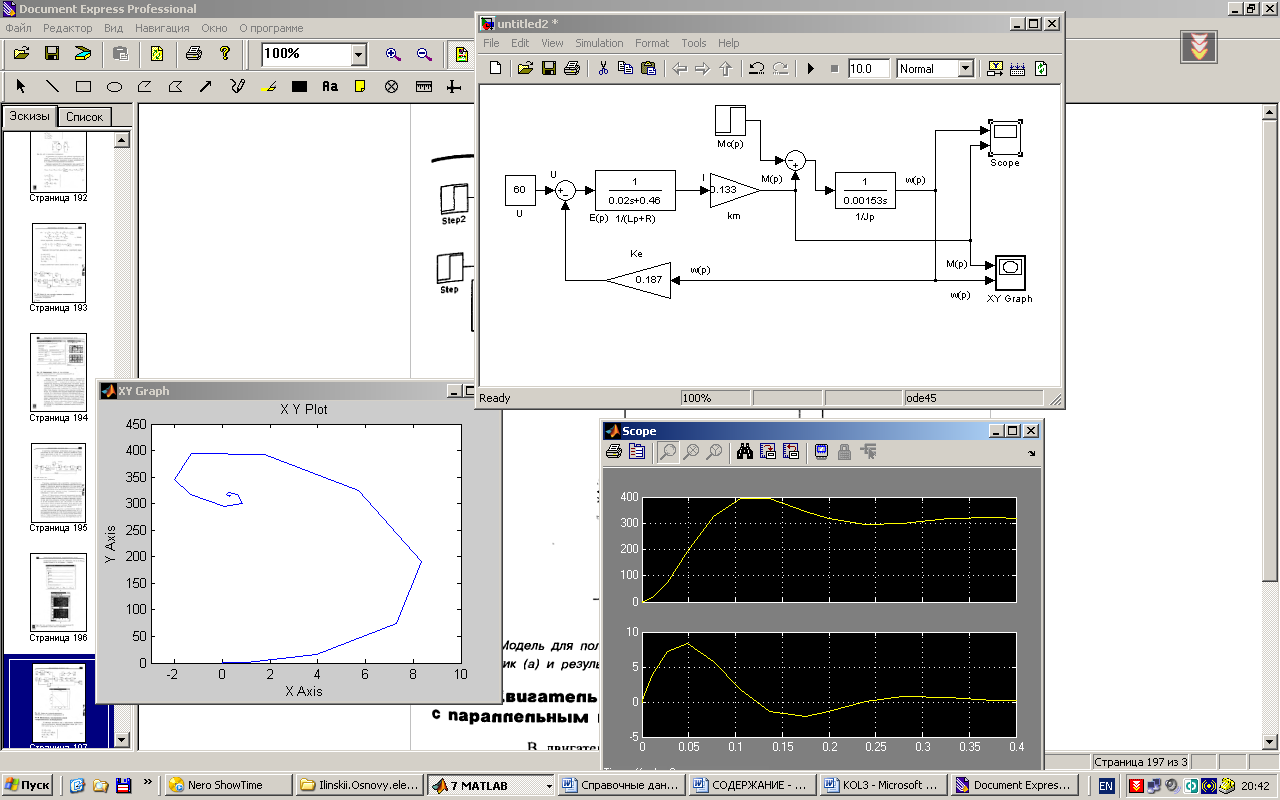


Рис.11. Simulink-модель двигателя МИ-11

Механическая и динамические характеристики, полученные с помощью Simulink-модели, представлены на рис.12 и 13 соответственно.

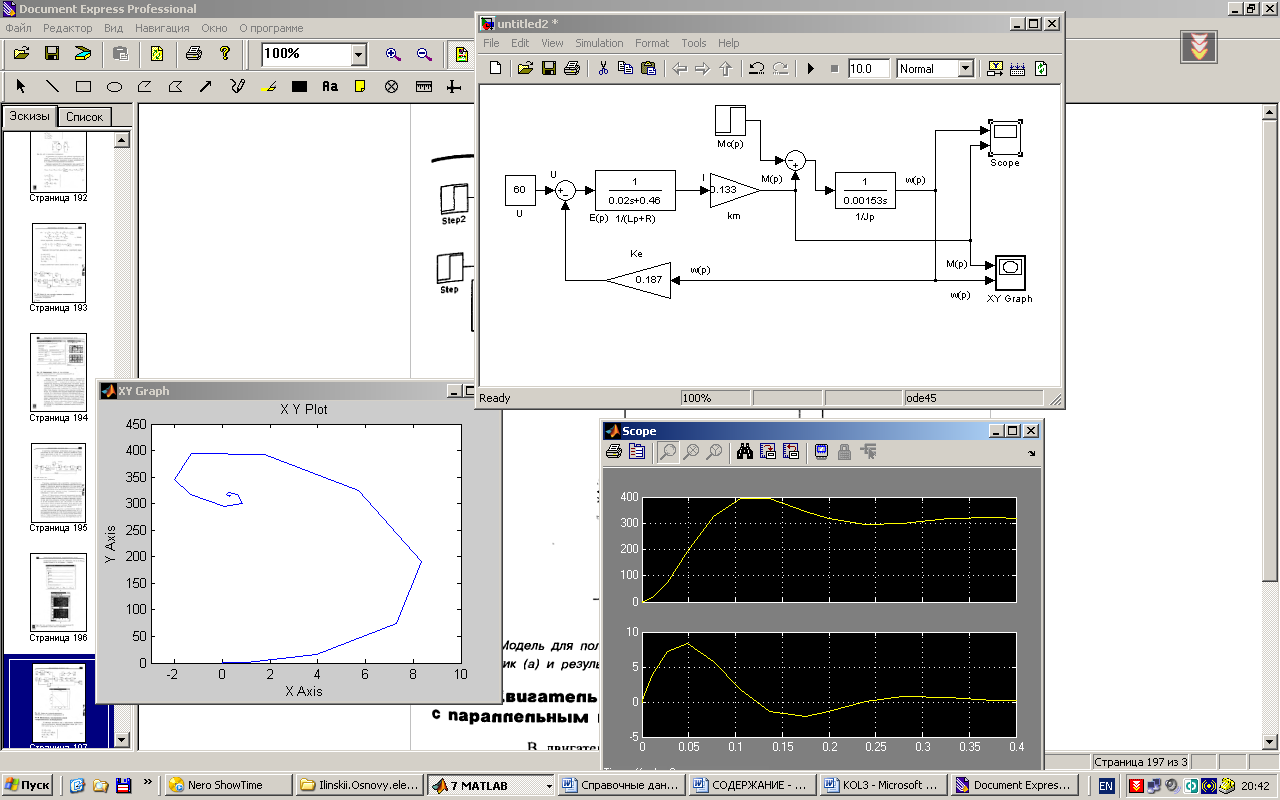


Рис.12. Механическая характеристика двигателя МИ-11

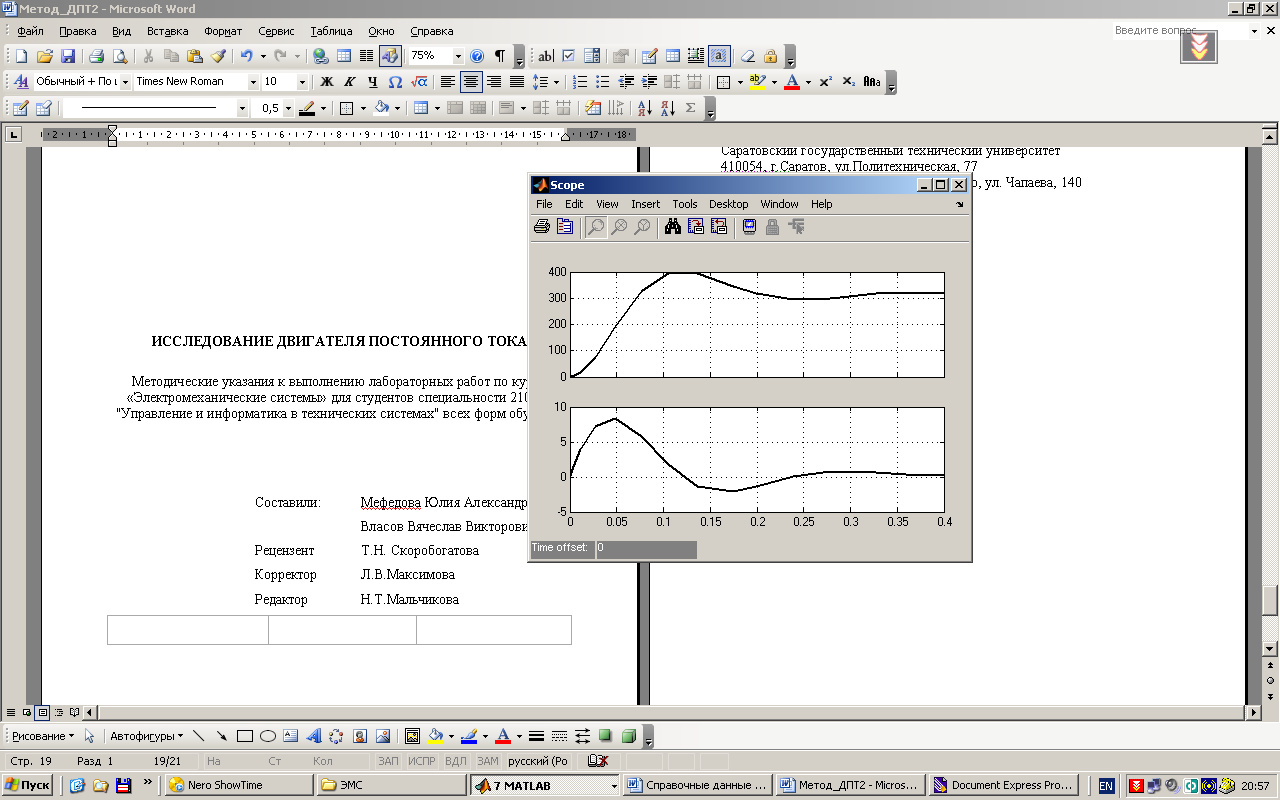


Рис.13. Динамические характеристики двигателя МИ-11

Блок, созданный при помощи маскирования на рис.14.

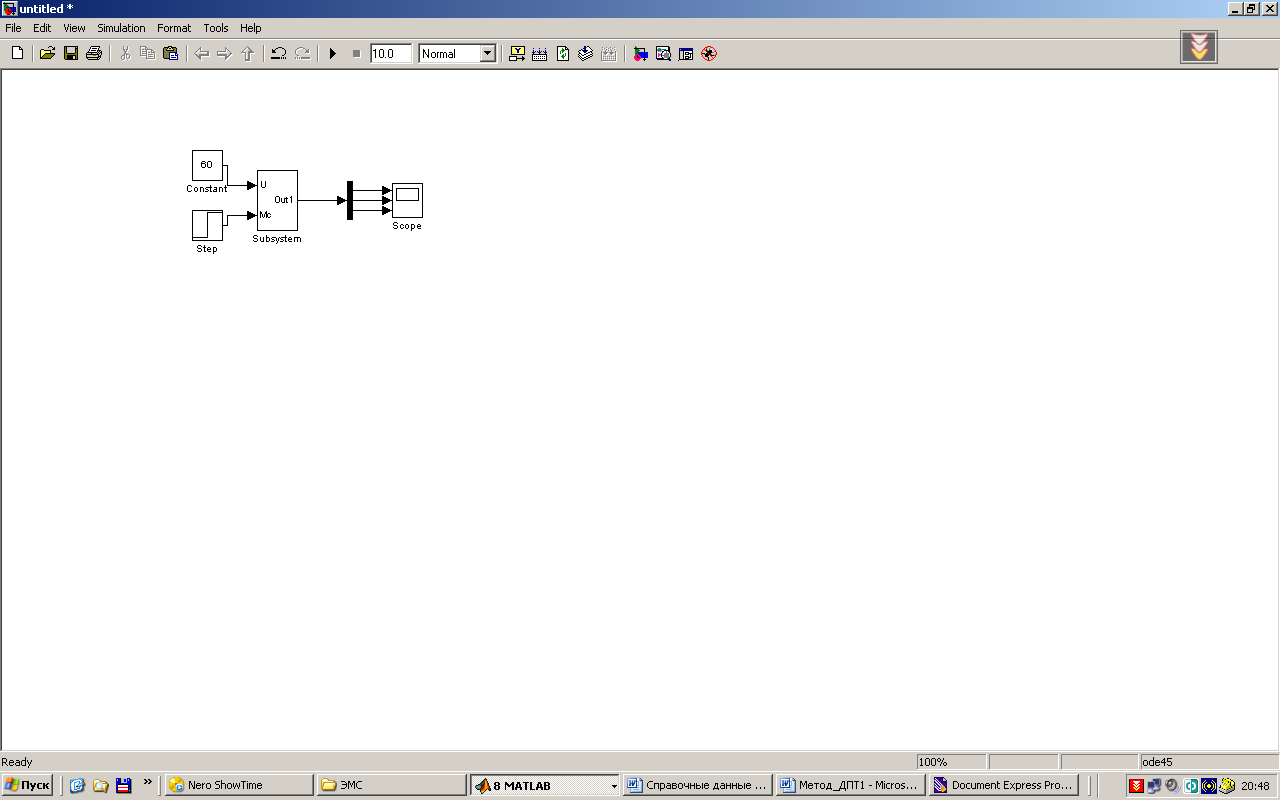


Рис.14. Блок двигателя МИ-11

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Параметры двигателей выбрать согласно вариантам из таблицы 1.

Таблица 1

Двигатели постоянного тока серии МИ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Тип  двигателя | Мощность  на валу  РН, кВт | Частота  вращения  nН, об/мин | Напряжение  питания  UН,В | Ток  якоря  IЯН, А | Сопротивление обмотки якоря  RЯ, Ом | Момент  номинальный  МН, Н·м | Момент инерции  J·104кг·м2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Окончание табл.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1  2 | МИ-11 | 0,12  0,1  0,12  0,1 | 3000  2000  3000  2000 | 60 | 2,86  2,27  1,53  1,22 | 0,46  0,94  1,48  3,0 | 0,39  0,49  0,39  0,49 | 15,3 |
| 3  4 | 110 |
| 5  6 | МИ-12 | 0,2  0,12  0,2  0,12 | 3000  2000  3000  2000 | 60 | 4,57  2,72  2,46  1,46 | 0,23  0,52  0,765  1,74 | 0,65  0,585  0,65  0,585 | 20,4 |
| 7  8 | 110 |
| 9  10 | МИ-21 | 0,25  0,2  0,25  0,2 | 3000  2000  3000  2000 | 60 | 5,6  4,3  3,05  2,33 | 0,284  0,645  0,945  2,2 | 0,81  0,97  0,81  0,97 | 35,7 |
| 11  12 | 110 |
| 13  14  15 | МИ-32 | 0,76  0,45  0,37  0,76  0,45  0,37 | 2500  1500  1000  2500  1500  1000 | 110 | 8,2  5,0  4,2  4,1  2,5  2,1 | 0,237  0,605  1,46  0,85  2,38  5,27 | 2,96  2,92  3,6  2,96  2,92  3,6 | 135 |
| 16  17  18 | 220 |
| 19  20  21 | МИ-41 | 1,6  1,1  0,76  1,6  1,1  0,76 | 2500  1500  1000  2500  1500  1000 | 110 | 19,2  13,0  9,0  9,5  6,4  4,5 | 0,147  0,42  1,5  0,58  1,7  3,32 | 6,25  7,15  7,4  6,25  7,15  7,4 | 408 |
| 22  23  24 | 220 |
| 25  26  27 | МИ-42 | 3,2  1,6  1,1  3,2 | 2500  1500  1000  2500 | 110 | 36,3  18,2  12,6  18,2 | 0,06  0,192  0,435  0,239 | 12,5  10,4  10,7  12,5 | 662 |
| 28 | 220 |
| 29  30  31 | МИ-51 | 5,0  3,2  1,6 | 2500  1500  1000 | 220 | 27,2  17,1  8,7 | ––  ––  –– | 19,4  20,8  15,6 | 127 |
| 32  33  34 | МИ-52 | 7,0  4,5  2,5 | 2500  1500  1000 | 220 | 37,0  24,0  13,1 | 0,065  0,162  0,392 | 27,2  29,2  24,2 | 153 |

Момент сопротивления нагрузки МС взять согласно выражению МС=0,7МН и определить время включения нагрузки 0,2 с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Варианты управления двигателем постоянного тока.

2. Уравнения, описывающие работу двигателя постоянного тока с независимым возбуждением при управлении по цепи якоря.

3. Принцип создания Simulink-модели на основе уравнений динамики.

4. Механизм использования маскирования в Simulink.

5. Механические и динамические характеристики ДПТ.

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Название контрольной работы.

2. Цель работы.

3. Задание.

4. Краткие теоретические сведения.

5. Рисунки с пояснениями.

6. Выводы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карнаухов Н.Ф. Электромеханические и мехатронные системы /

Н.Ф.Карнаухов. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 320с.

1. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие / С.Г. Герман-Галкин - СПб.: КОРОНА принт, 2001.- 320 с.
2. Кацман М.М. Электрический привод: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования / М.М.Кацман. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 384 с.
3. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учеб. пособие для вузов / И.И.Алиев. – 3-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2002 – 255с.: ил.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 2

Цель работы 2

Основные теоретические сведения 2

Сведения о программном продукте 5

Порядок выполнения работы 13

Пример выполнения задания 13

Варианты заданий 15

Вопросы для самопроверки 17

Время, отведенное на выполнение работы 17

Порядок оформления отчета 17

Литература 17