

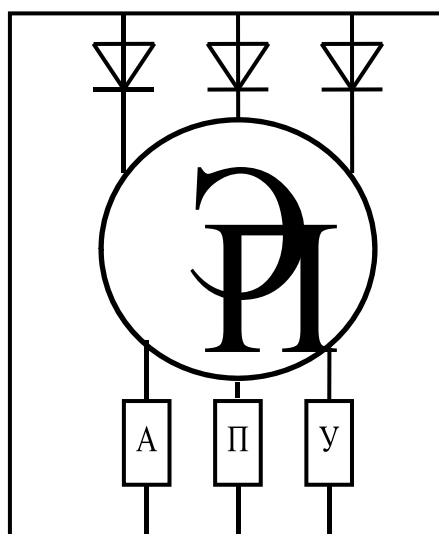
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и АПУ»

КОМПЬЮТЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для магистрантов специальности 1-43 80 01
«Электроэнергетика и электротехника»
очной и заочной форм обучения*

Часть 2



Могилев 2022

УДК 621.3: 004.9
ББК 32.965.3
К63

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой ЭПиАПУ «б» января 2021 г., протокол № 6

Составитель В. Н. Абабурко

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Цель издания методических рекомендаций – регламентация практических занятий по дисциплине «Компьютерные расчеты режимов работы электроэнергетических сетей и схем электроснабжения» для магистрантов специальности 1-43 80 01 «Электроэнергетика и электротехника».

Методические рекомендации содержат состав курса практических работ № 5–8 по указанной дисциплине. Они включают: цель, описание задания, ход выполнения работ, требования к содержанию отчета и контрольные вопросы.

Учебно-методическое издание

КОМПЬЮТЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Ответственный за выпуск

Г. С. Ленеvский

Корректор

А. А. Подошеvко

Компьютерная верстка

Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60 × 84 /16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 16 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2022

Содержание

5 Практическая работа № 5. Использование среды MATLAB/Simulink для расчета динамических аварийных режимов электроэнергетических сетей и схем электроснабжения	4
5.1 Ход выполнения работы	6
5.2 Содержание отчета	17
6 Практическая работа № 6. Расчет технико-экономических показателей режимов ЭС и СЭ в среде MS Excel	18
6.1 Ход выполнения работы	21
6.2 Содержание отчета	28
7 Практическая работа № 7. Оптимизация режимов ЭС и СЭ в среде MATLAB/ Optimization Toolbox	29
7.1 Ход выполнения работы	30
7.2 Содержание отчета	35
8 Практическая работа № 8. Автоматизация представления результатов расчета в документах ЕСКД	36
8.1 Ход выполнения работы	37
8.2 Содержание отчета	45
Список литературы	46

Часть 2

5 Практическая работа № 5. Использование среды MATLAB/Simulink для расчета динамических аварийных режимов электроэнергетических сетей и схем электроснабжения

Цель работы:

- изучение методов расчета динамических характеристик элементов электроэнергетических сетей (ЭС) и схем электроснабжения (СЭ) при аварийных режимах;
- получение практических навыков расчетов динамических характеристик аварийных режимов (обрыва цепи и короткого замыкания) элементов ЭС и СЭ в среде MATLAB/Simulink.

Задание

Обучающийся получает номер варианта для исследования аварийных режимов работы электроэнергетической системы, состоящей из параллельно работающего трехфазного асинхронного двигателя (АД) и трансформатора на основе данных таблиц 5.1 и 5.2.

При выполнении работы следует:

- 1) сформировать в среде MATLAB m-файл исходных данных на основе заданного варианта из таблиц 5.1 и 5.2;
- 2) в среде MATLAB/Simulink создать SimPowerSystem-модель (SPS-модель) системы энергоснабжения прямого пуска АД с короткозамкнутым ротором, в одну фазу которого поставить подмодель силового выключателя (Breaker);
- 3) выполнить моделирование прямого пуска АД при номинальном трехфазном напряжении с целью определения длительности пуска и максимального мгновенного значения пускового тока в фазе. При этом можно зафиксировать конечные значения переменных модели: фазные токи и напряжения, скорость и электромагнитный момент;
- 4) провести вычислительный эксперимент для определения динамических характеристик при обрыве одной фазы напряжения. При этом следует экспериментально определить предельное значение момента нагрузки, которое АД способен выдержать;
- 5) создать SPS-модель, состоящую из трехфазного двухобмоточного трансформатора и трехфазной активно-индуктивной нагрузки. Используя блок трехфазного замыкания (*Three-Phase Fault*) выполнить вычислительный эксперимент по исследованию динамических характеристик режима короткого замыкания одной фазы на землю во вторичной обмотке трансформатора;

б) отредактировать модель и выполнить вычислительный эксперимент по исследованию динамических характеристик режима короткого замыкания между всеми фазами вторичной обмотки.

Таблица 5.1 – Параметры вариантов асинхронного двигателя

Вариант	Тип АД	U_{1mf} , В	f_{1n} , Гц	P_{2n} , кВт	s_n	η_n , %	$\cos\varphi_n$	R_1 , Ом	L_1 , Гн	R'_2 , Ом	L'_2 , Гн	L_m , Гн	J_p , кг · м ²
1	4A50A4Y3	314	50	0,06	0,078	50	0,687	152,9	3,175	192	3,095	2,66	0,0002
2	4A56A4Y3	314	50	0,12	0,076	63	0,693	97,72	2,046	72,48	2,155	1,91	0,0003
3	4A71A4Y3	314	50	0,55	0,075	70,5	0,737	16,39	0,663	15,08	0,715	0,624	0,0011
4	4A80A4Y3	314	50	1,1	0,056	75	0,822	9,53	0,484	5,619	0,476	0,477	0,0026
5	4A112M4Y3	314	50	5,5	0,035	85,5	0,882	1,32	0,169	0,922	0,1715	0,164	0,0206
6	4A132M4Y3	314	50	11	0,027	87,5	0,876	0,462	0,9030	0,312	0,0916	0,0876	0,0463
7	4A180M4Y3	314	50	30	0,019	89,5	0,91	0,16	0,05	0,078	0,051	0,0489	0,2245
8	4A200L4Y3	314	50	45	0,015	91	0,911	0,091	0,033	0,045	0,0334	0,0322	0,434
9	4A225M4Y3	314	50	55	0,014	92,5	0,908	0,067	0,0294	0,032	0,0297	0,0287	0,621
10	4A250M4Y3	314	50	90	0,013	93	0,921	0,032	0,022	0,019	0,022	0,0215	1,142
11	4AH225M4Y3	314	50	110	0,015	93	0,908	0,030	0,158	0,0172	0,0158	0,0154	0,948
12	4A280M4Y3	314	50	132	0,014	93	0,891	0,028	0,151	0,0154	0,0114	0,0112	0,897

Таблица 5.2 – Варианты заданий по исследованию режимов короткого замыкания

Вариант	$S_{нпр}$, кВ·А	$U_{1пр}$, кВ	$R_{1пр}$, Ом	$L_{1пр}$, Гн	$U_{2пр}$, кВ	$R_{2пр}$, Ом	$L_{2пр}$, Гн	$R_{нпр}$, Ом	$L_{нпр}$, Гн	R_n , Ом	L_n , Гн
1	160	12	27,06	212,3	0,4	0,03	0,236	592200	206,6	100	0,1
2	250	12	41,569	103,7	0,4	0,046	0,115	164500	100,0	100	0,1
3	315	12	41,789	87,19	0,4	0,046	0,097	135600	84,28	100	0,1
4	400	12	37,239	77,88	0,4	0,041	0,087	118900	75,59	100	0,1
5	500	12	37,412	66,86	0,4	0,042	0,074	98120	65,03	100	0,1
6	630	12	35,191	56,94	0,4	0,039	0,063	92110	55,49	100	0,1
7	800	12	35,507	53,24	0,4	0,039	0,059	75660	51,53	100	0,1
8	1000	12	30,484	46,8	0,4	0,034	0,052	68510	45,43	100	0,1
9	400	17,5	60,62	166,3	0,4	0,032	0,087	225100	159,1	100	0,1
10	630	17,5	54,528	121,6	0,4	0,028	0,064	172900	117,0	100	0,1
11	800	17,5	50,518	113,9	0,4	0,026	0,059	144300	110,2	100	0,1
12	1000	17,5	47,487	100,5	0,4	0,025	0,053	121000	97,6	100	0,1

В таблицах 5.1 и 5.2 введены следующие обозначения:

- U_{1mf} – амплитудное значение фазного напряжения статора АД;
- f_{1n} – номинальная частота питающей сети АД;
- P_{2n} – номинальная мощность на валу;
- s_n – номинальное скольжение;
- η_n – номинальное значение коэффициента полезного действия (КПД);
- $\cos\varphi_n$ – номинальное значение коэффициента мощности;
- R_1 – активное сопротивление цепи статора АД;
- L_1 – полная индуктивность цепи статора АД;

- R_2' – приведенное активное сопротивление цепи ротора АД;
- L_2' – приведенная полная индуктивность цепи ротора АД;
- L_m – взаимная индуктивность между цепями статора и ротора АД;
- J_p – момент инерции ротора АД;
- $S_{нтр}$ – номинальная полная мощность трансформатора;
- U_{1mp} – фазное напряжение первичной обмотки трансформатора;
- U_{2mp} – фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора;
- R_{1mp} – активное сопротивление первичной обмотки трансформатора;
- L_{1mp} – полная индуктивность первичной обмотки трансформатора;
- R_{2mp} – активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора;
- L_{2mp} – полная индуктивность вторичной обмотки трансформатора;
- R_{2mp} – активное сопротивление фазы нагрузки трансформатора;
- L_{2mp} – полная индуктивность фазы нагрузки трансформатора.

5.1 *Ход выполнения работы*

5.1.1 *Загрузка среды MATLAB/Simulink.*

Первоначально следует запустить среду математической системы MATLAB. После окончания загрузки MATLAB следует установить в качестве рабочего свой каталог. Далее с помощью команды ***simulink*** или одноименной кнопки загрузить интерфейс среды визуального моделирования Simulink.

5.1.2 *Создание m-файла исходных данных расчетов.*

В окне среды MATLAB клавишами *Ctrl + N* создается и сразу сохраняется (*Ctrl+S*) под уникальным именем m-файл для исходных данных. В начале m-файла вызываются команды очистки окна, удаления предыдущих данных рабочей области и закрытия окон графиков. Исходные данные объявляются в отдельной строке в виде переменных, используя оператор присваивания (=). Вычисляются номинальная и синхронные скорости, а также номинальный момент аналогично п. 3.1.4. Рекомендуется вставлять комментарии после символа **%**.

Пример вызова команд подготовки расчетов:

```
clc           % очистка командного окна
clear all    % удаление данных из рабочей области
close all    % закрытие всех окон графиков
P2n=15       % Номинальная мощность
p=2          % число пар полюсов
U1n=220      % номинальное фазное напряжение
U1m=311      % амплитудное значение напряжения
sn=0.03      % номинальное скольжение
R1=0.35      % активное сопротивление статора
```

$L1=0.02$ % индуктивность статора
 $R2_=0.18$ % приведенное активное сопротивление ротора
 $L2_=0.03$ % приведенная индуктивность ротора
 $f1n=50$ % номинальная частота сети
 $Jp=0.24$ % момент инерции, приведенный к валу АД
 $w0=2*f1n*pi/p$ % синхронная номинальная скорость
 $wn=w0*(1-sn)$ % номинальная скорость
 $Mn=P2n*1000/wn$ % номинальный момент
 $S2n=250$ % полная мощность трансформатора
 $U1tv=735000$ % напряжение первичной обмотки трансформатора
 $R1tv=9339$ % активное сопротивление первичной обмотки
 $L1tv=2.6284$ % индуктивность первичной обмотки трансформатора
 $U2tv=315000$ % напряжение первичной обмотки трансформатора
 $R2tv=315.06$ % активное сопротивление вторичной обмотки
 $L2tv=0.088673$ % индуктивность вторичной обмотки
 $Rmtv=2.3349e+09$ % сопротивление магнитной цепи трансформатора
 $Lmtv=16428$ % индуктивность магнитной цепи трансформатора
 $Pn=10000$ % активная мощность нагрузки
 $Qn=100$ % номинальная индуктивная мощность нагрузки

5.1.3 Создание файла SPS-модели прямого пуска АД.

Для создания новой SPS-модели в окне Simulink кликается изображение *Blank Model* или *Ctrl + N*. Создание модели выполняется с использованием визуальных моделирующих блоков *SimPowerSystems* (в новых версиях среды ветка *Simscape/Power Systems/Specialized Technology*) для представления силовых цепей и блоков *Simulink* для цепей управления и фиксации результатов моделирования.

5.1.4 Формирование SPS-модели источника питания.

Для всех вариантов в качестве источника питания используется сеть трехфазного переменного тока напряжением 380 В частоты 50 Гц, которая моделируется блоком *Three-Phase Programmable Voltage Source* (SPS-библиотека *Fundamental Blocks/Electrical Sources*). К выходу *N* модельного блока подключается элемент заземления *Neural* (SPS-библиотека *Elements*). Настройка параметров блока выполняется в диалоговом окне, вызываемого кликом по изображению элемента. На закладке *Parameters* в поле *Positive-sequence* указываются в квадратных скобках переменные из m-файла: амплитудное значение фазного напряжения (311 В), фазовый сдвиг в градусах 0, циклическая частота (50 Гц). Значение выпадающего списка в поле *Time variation of* устанавливается в значение *None*.

Пример настроек блока источника напряжения показан на рисунке 5.1.

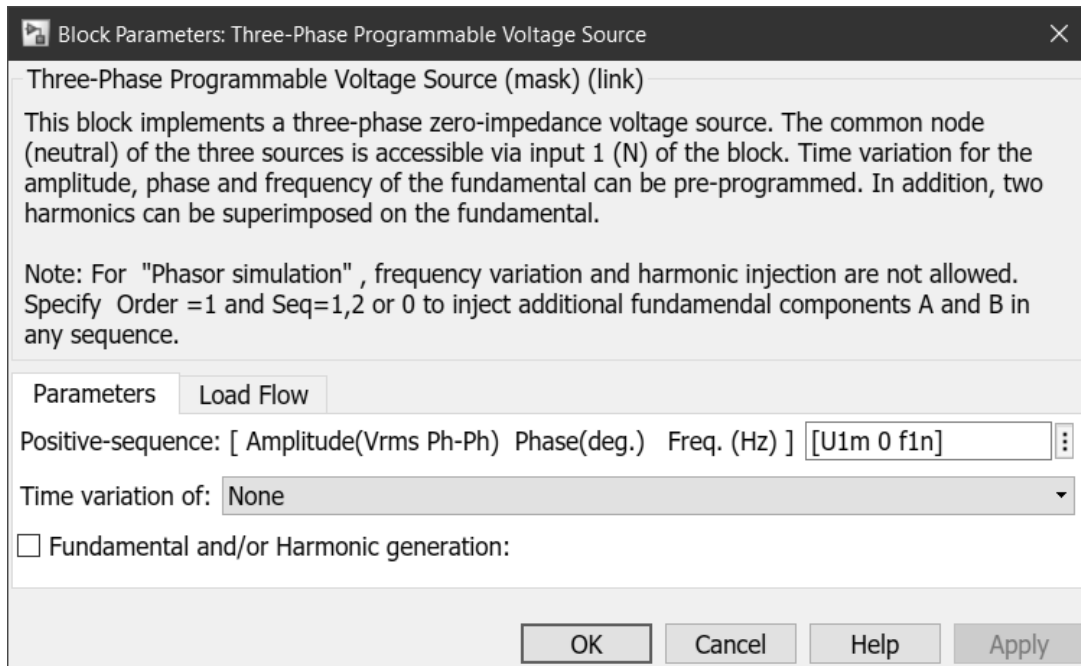


Рисунок 5.1 – Настройка модели трехфазного источника напряжения

5.1.5 Моделирование асинхронного двигателя.

В качестве SPS-модели АД выбирается блок *Asynchronous Machine SI Units* (из библиотеки *Fundamental Blocks/Machines*). Настройка параметров блока АД выполняется в диалоговом окне добавлением в поля имен переменных и численных константа аналогично примеру, показанному на рисунке 5.2.

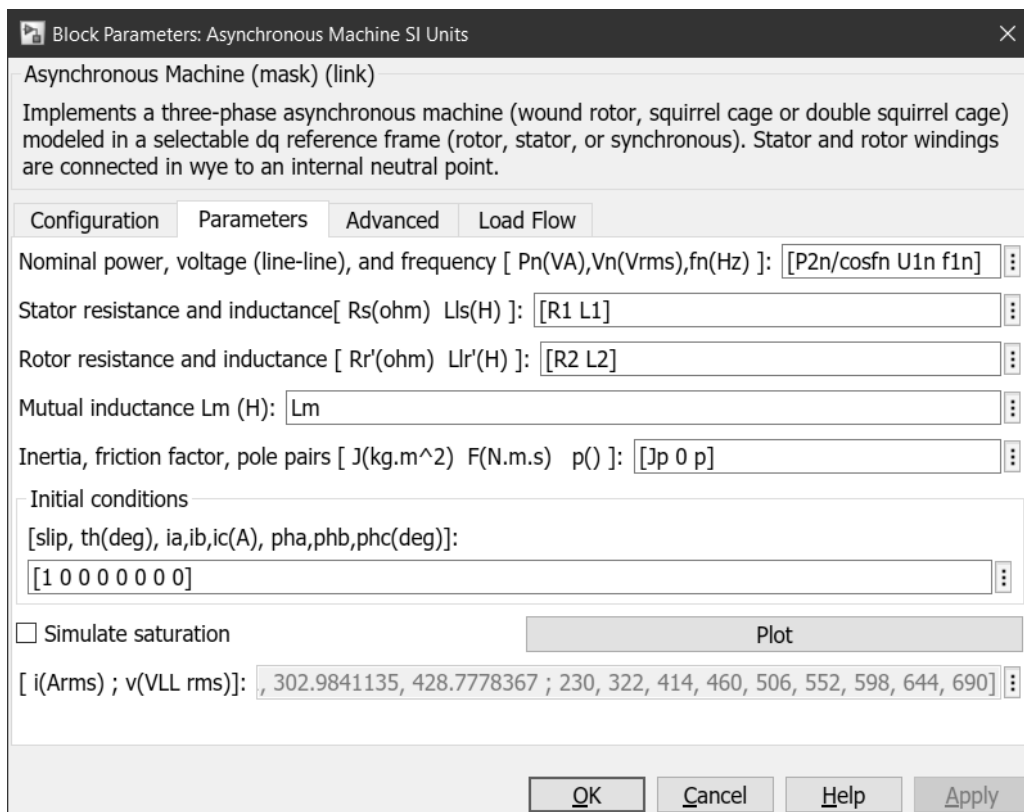


Рисунок 5.2 – Пример настроек блока модели АД

5.1.6 Моделирование цепи питания АД.

Порты силовых цепей SPS-моделей источника энергии и АД, обозначенные символами А, В, С, соединяются между собой. При этом одна из фаз подключается через блок однофазного выключателя *Breaker* (библиотека *Elements*). При настройке параметров моделирования блока указывается значение 1 в поле *Initial status*, которое обозначает закрытое положение контактов в начальный момент времени. Рекомендуется установить внешний сигнал переключения контакта, указав маркер в позиции *External*. Значение сопротивления контакта в поле *Breaker resistance Ron* следует указать равным 0,001 Ом. Значение сопротивления шунтирующей цепи задается в поле *Snubber resistance Rs* равным 1000 или более, а шунтирующая емкость в поле *Snubber capacitance Cs* – равной бесконечности (*inf*).

Пример настройки блока *Breaker* показан на рисунке 5.3.

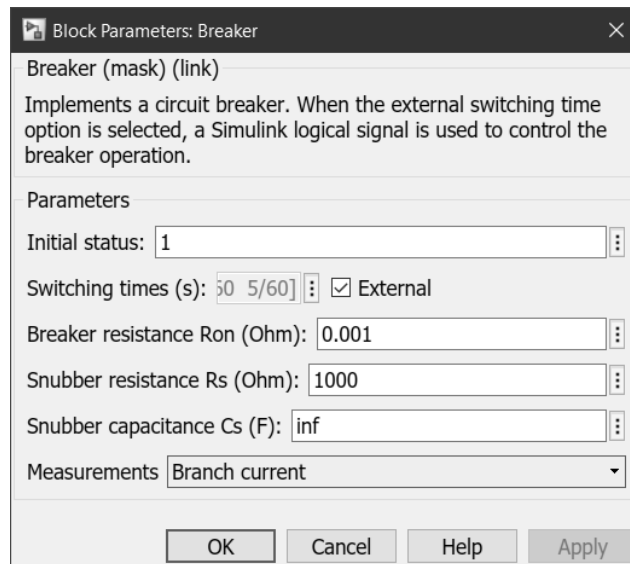


Рисунок 5.3 – Пример настройки блока моделирования выключателя *Breaker*

На вход С блока *Breaker* подается сигнал включения с выхода блока задания ступенчатого сигнала *Step (Simulink/Sources)*, который будет управлять заданием отключения фазы. В поле *Step time* устанавливается время переключения изначально большее, чем время первого эксперимента с прямым пуском АД, а далее – время обрыва фазы. В поле *Initial value* устанавливается 1, а в поле *Final value* – 0. При этом SPS-модель силовой части системы примет вид, представленный на рисунке 5.4.

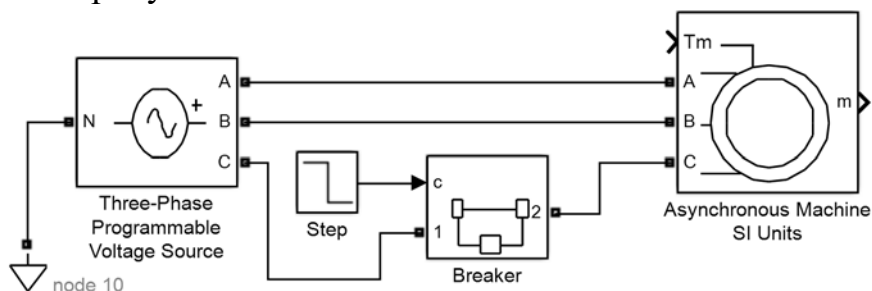


Рисунок 5.4 – Пример SPS-модели силовой части цепи АД

5.1.7 Установка измерителей динамических характеристик силовой цепи.

Для измерения динамических характеристик АД к порту m его моделирующего блока подключается элемент выделения данных из массива *Bus Selector* из *S*-библиотеки *Signal Routing*. Кликом мыши по блоку вызывается окно настройки параметров блока. В левой части окна из поля *Parameters* выбираются для отображения (кнопкой *Select* передаются в правое окно *Selected signals*) следующие переменные модели АД: мгновенное значение фазного тока, составляющие проекций вектора действующего значения тока статора *Stator current is_d* и *Stator current is_q*, которые находятся в группе *Stator measurements*; скорость *Rotor speed (wm)* и электромагнитный момент *Electromagnetic torque Te* из группы *Mechanical*.

Пример выбора показан на рисунке 5.5.

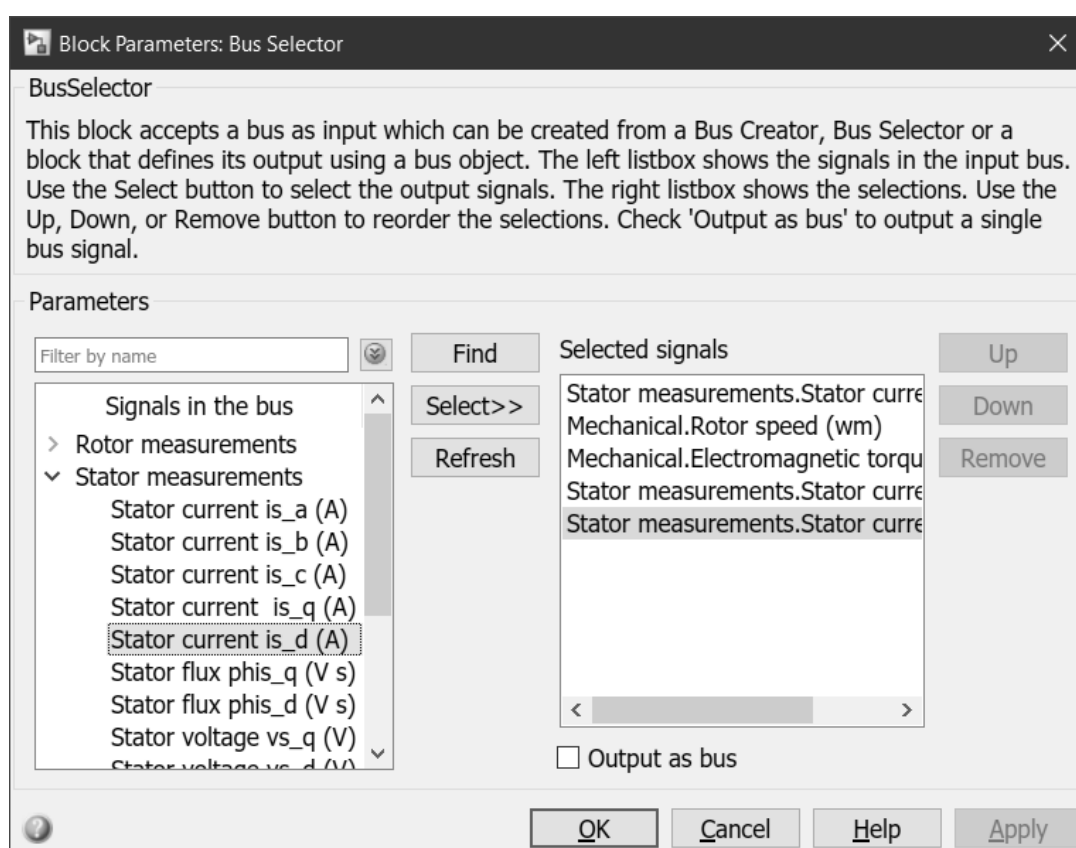


Рисунок 5.5 – Настройка отображения динамических переменных модели АД

Выходы блока *Bus selector* с данными фазного тока, скорости и момента подаются на блок фиксации динамических графиков *Scope* из библиотеки *Simulink/Measurement*. Для измерения действующего значения тока статора выходы проекций составляющих тока подаются на блок смешения сигналов в вектор *Mux* из *Simulink/Signal Routing* с двумя входами. Выход блока *Mux* подключается к блоку MATLAB функции *Fcn* (*Simulink/User Defined functions*). В указанном блоке записывается выражение извлечения корня суммы квадратов двух проекций, как это показано на рисунке 5.7. К выходу блока *Fcn* подключается вход блока *Scope*. Модель при этом примет вид, представленный на рисунке 5.6.

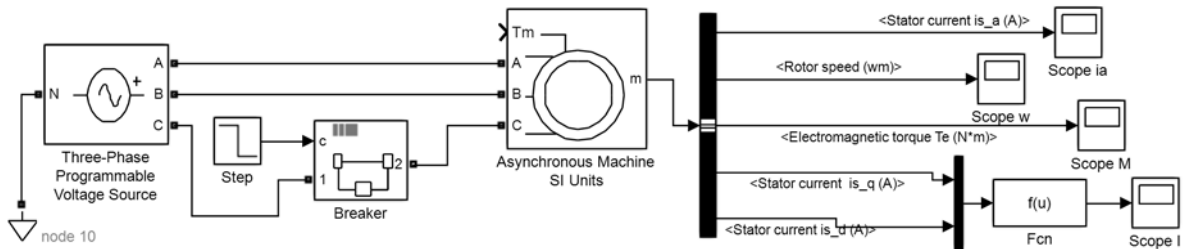


Рисунок 5.6 – Модель системы с блоком фиксации динамических характеристик

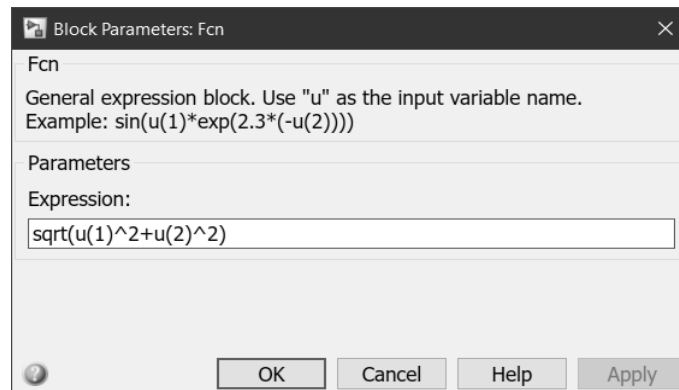


Рисунок 5.7 – Настройка блока *Fcn* вычисления действующего значения тока статора

5.1.8 Моделирование реактивной нагрузки АД.

Нагрузка на валу АД носит реактивный характер. Для моделирования величины момента нагрузки используется задающий элемент *Constant* из *Simulink*-библиотеки *Sources*. Значение момента нагрузки задается как четверть от номинального внутри поля *Constant value*, как это показано на рисунке 5.8. Для установки реактивного характера нагрузки используется блок перемножения *Product* из *Simulink/Math Operations*, который перемножает два сигнала: задания величины нагрузки и знак сигнала скорости (выделяемый блоком *Sign* из *Simulink/Math Operations*) и подает результат на вход *Tm*.

Пример моделирования момента нагрузки показан на рисунке 5.8.

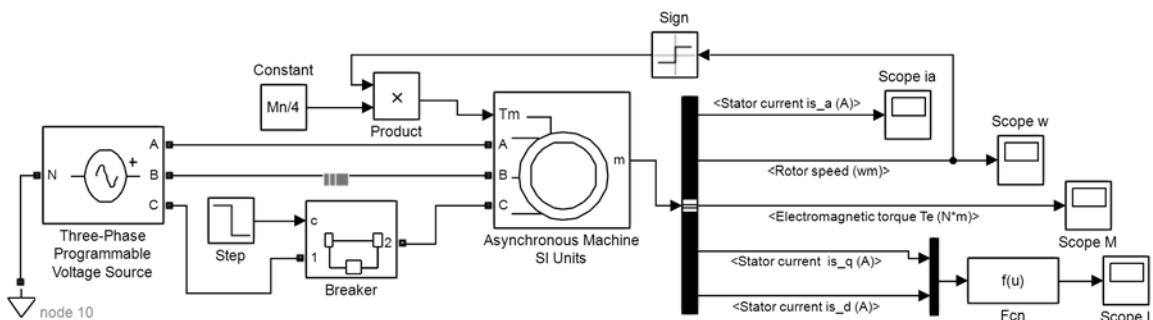


Рисунок 5.8 – Пример моделирования реактивного момента

5.1.9 Фиксация максимального значения тока.

Для оперативного контроля величины максимального действующего значения тока статора следует использовать блок *Display* (*Simulink/*

Measurement), на вход которого подается сохраненное значение из блока *Memory* (*Simulink/Discrete*). Вход последнего элемента подключается к блоку *MinMax* (*Simulink/Math Operations*), который настроен на определение максимума, установкой поля *Function* в значение *Max*. Число входов этого блока устанавливается равным двум заданием значения 2 в поле *Number of input ports*. Входы блока *MinMax* подключаются к сигналу действующего значения тока статора и к выходу блока *Memory*.

Пример фиксации максимума показан на рисунке 5.9.

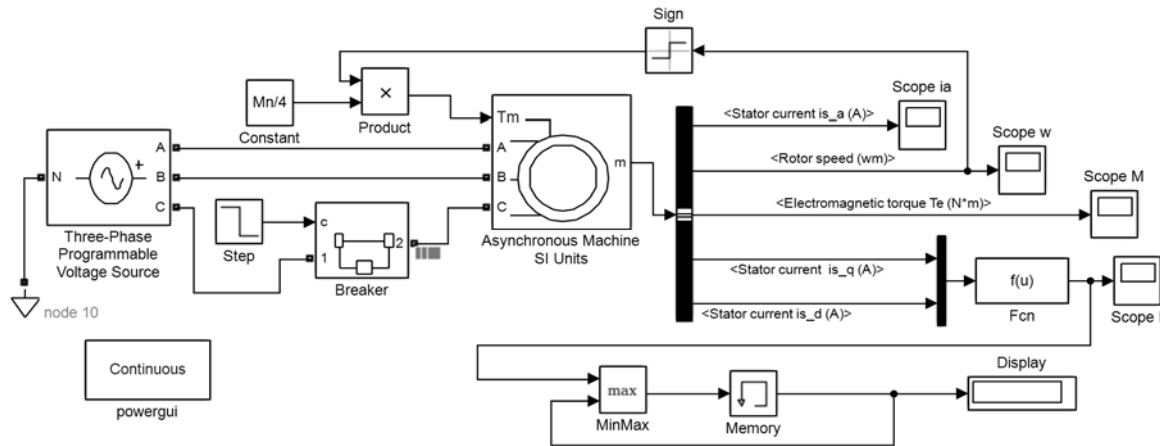


Рисунок 5.9 – SPS-модель для контроля характеристик прямого пуска АД

5.1.10 Установка блока *powergui* и оптимизация SPS-модели.

Для работы с SPS-моделями в среде Simulink следует также установить в любое место модели интерфейсный блок *powergui*, который расположен в составе основной SPS-библиотеки *Fundamental Blocks*.

5.1.11 Настройка параметров численного интегрирования.

Так как в модели использовались нелинейные элементы, то следует произвести настройку параметров численного решения (интегрирования). Это выполняется выбором пункта меню *Simulation/Model Configuration Parameters* или клавишами *Ctrl + E*. В окне *Configuration Parameters* задается начальное время моделирования *Start Time*, равное 0. Значение времени моделирования в поле *Stop Time* подбирается экспериментально, таким образом, чтобы двигатель разогнался до установившегося значения скорости.

В разделе *Solve options* выполняется задание следующих параметров:

- в списке *Type* выбирается тип численного метода с фиксированным шагом интегрирования (*Fixed-step*);
- в списке *Solve* указывается наименование численного метода интегрирования второго или третьего порядка точности (*ode2* или *ode4*);
- в поле *Fixed-step size* задается значение шага интегрирования, которое должно быть на порядок меньше, чем самая малая постоянная времени модели.

5.1.12 Выполнение численного эксперимента с прямым пуском АД.

Запуск модели на выполнение выполняется нажатием кнопки *Run* или клавиш *Ctrl + T*. По результатам эксперимента фиксируются данные прямого пуска: динамические характеристики скорости, момента и действующего

значения тока статора. Также записывается максимальное значение пускового тока.

Пример графиков скорости и момента в MATLAB показан на рисунке 5.10.

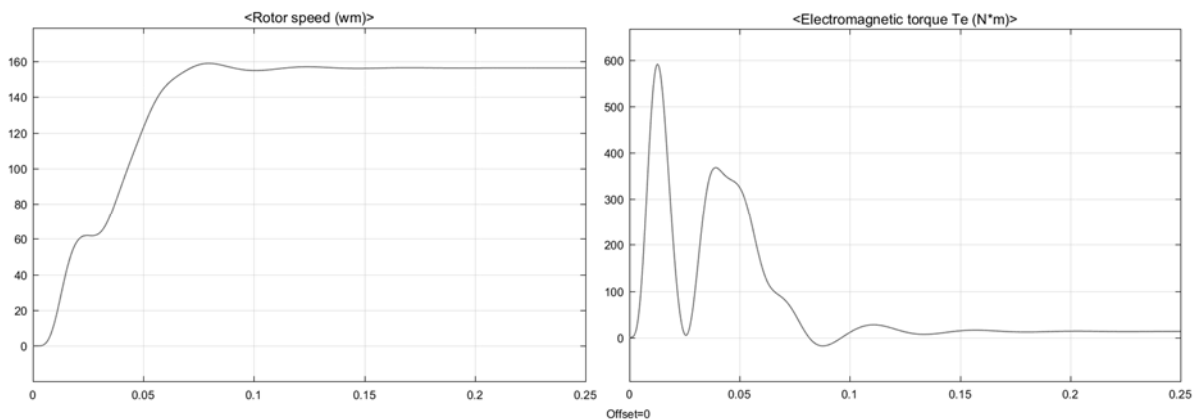


Рисунок 5.10 – Графики скорости и момента прямого пуска АД

5.1.13 Модификация модели для контроля тока при обрыве фазы.

Для того чтобы проконтролировать максимальное значение действующего тока статора, возникающего при обрыве одной из фаз, следует добавить элемент переключения *Switch (Simulink/Signal Routing)* и *Constant*. Первый вход подключается к блоку *Constant* с установленным значением 0, второй – к блоку *Step*, а третий – к сигналу действующего тока статора. Следует установить поле *Criteria for passing first input* в значение $u2 > Treshhold$, а в поле *Treshhold* указать 0.

Пример модификации модели показан на рисунке 5.11.

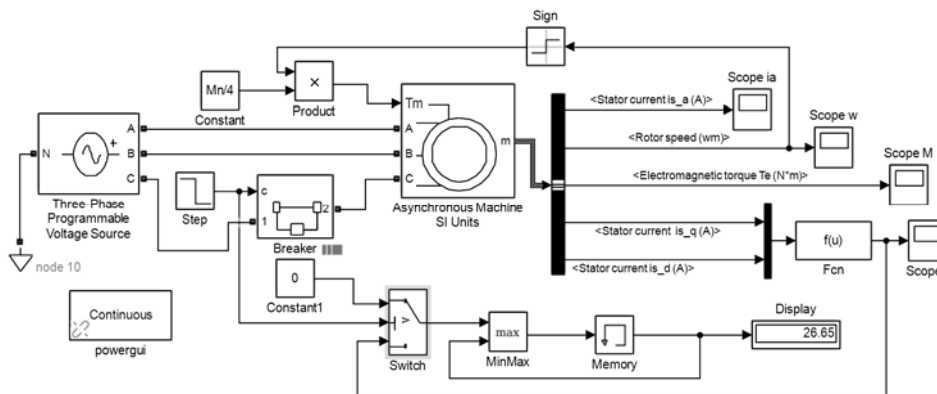


Рисунок 5.11 – Модификация измерения максимального значения тока при обрыве

Следует увеличить время расчета в поле *Stop time* и указать значение времени переключения, которое было бы больше времени пуска на установившуюся скорость. Следует зафиксировать повторно динамические характеристики скорости, момента и действующего значения тока статора, а также указать максимальное значение тока после обрыва фазы.

Пример характеристик показан на рисунке 5.12.

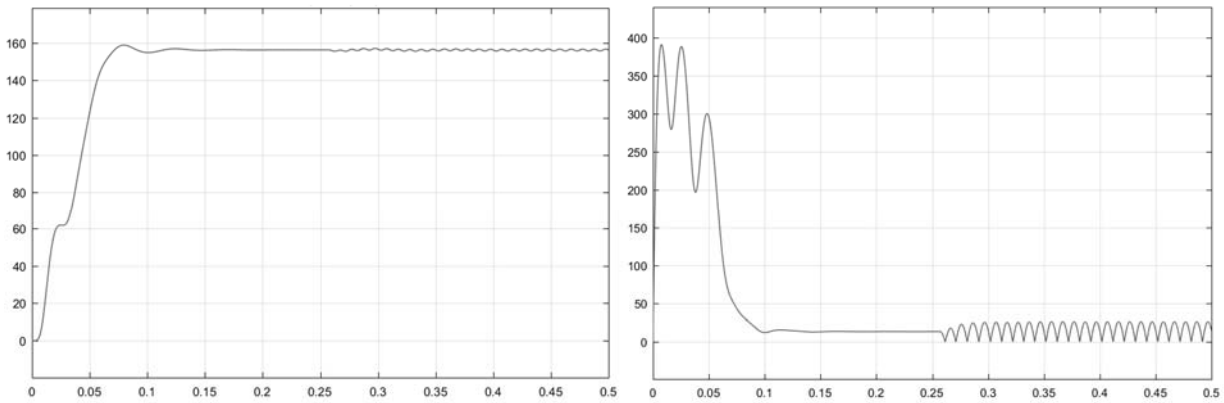


Рисунок 5.12 – Графики скорости и момента при обрыве фазы после пуска АД

5.1.14 Создание SPS-модели исследования замыкания трансформатора.

Для исследования аварийного режима короткого замыкания вторичной обмотки трансформатора создается новая SPS-модель выбором пункта меню *File/New/Blank model* или нажатием *Ctrl + N*.

Создание модели начинается с формирования модели силовой части с установки блока *Three-Phase Programmable Voltage Source (Fundamental Blocks/Electrical Sources)* с подключением ко входу *N* блока *Neural (Elements)*. Настройка параметров блока выполняется аналогично п. 5.1.4: в поле *Positive-sequence* указываются переменные из m-файла: амплитудное значение фазного напряжения трансформатора, фазовый сдвиг (0), циклическая частота (50 Гц).

Для SPS-модели трансформатора используется блок *Three-Phase Transformer (Two Windings)* из SPS-библиотеки *Elements*. В окне параметров закладки *Parameters* указываются: в поле *Nominal power and frequency* номинальная мощность и частота (в виде вектора), в поле *Winding 1 parameters [V1 Ph-Ph (Vrms), R1(Ohm), L1(H)]* – вектор с номинальными параметрами первичной обмотки (линейное напряжение, активное сопротивление и индуктивность), в поле *Winding 2 parameters [V2 Ph-Ph (Vrms), R2(Ohm), L2(H)]* – вектор с номинальными параметрами вторичной обмотки (линейное напряжение, активное сопротивление и индуктивность), в поле *Magnetization resistance Rm (Ohm)* – активное сопротивление магнитной цепи, в поле *Magnetization inductance Lm (H)* – индуктивность магнитной цепи. На закладке *Configuration* указываются типы схем соединений фаз обмоток трансформатора – «звезда» (*Yg*). Пример настроек модели трансформатора показан на рисунке 5.13. Входы первичной обмотки *A, B, C* блока SPS-модели трансформатора соединяются с одноименными выходами блока источника энергии.

К выходам *a, b, c* вторичной обмотки модели трансформатора подключается с одноименным входом блока измерителя параметров трехфазной сети *Three-Phase V-I Measurement* из библиотеки *Fundamental Blocks/Measurement*.

Параметры блока измерения устанавливаются аналогично рисунку 5.14.

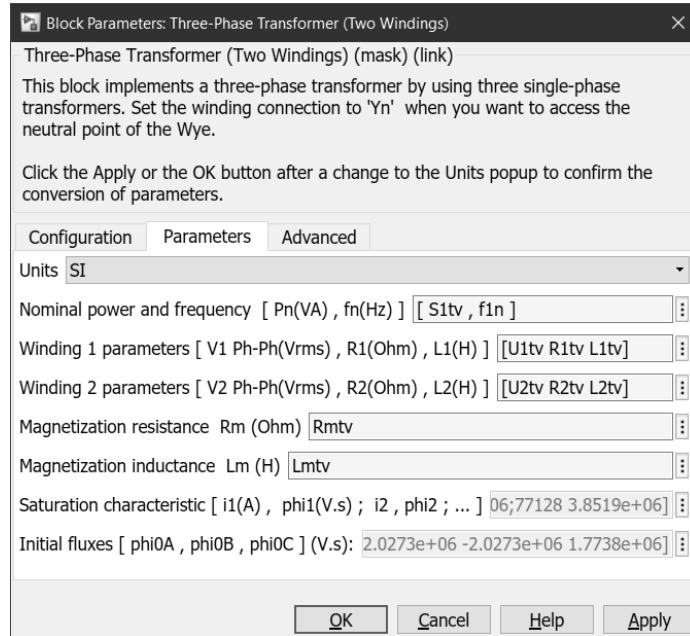


Рисунок 5.13 – Пример настроек параметров SPS-модели трансформатора

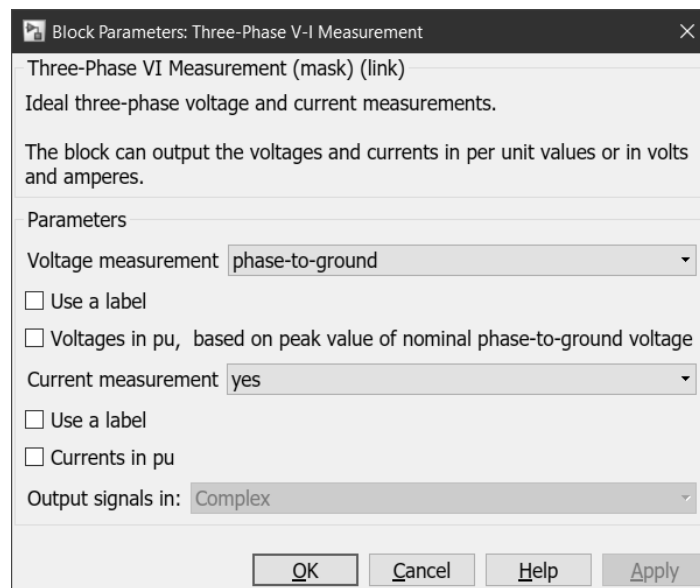


Рисунок 5.14 – Настройка параметров блока измерителя

К выходам a , b , c SPS-модели трехфазного измерителя подключается с одноименным входом блока симметричной трехфазной нагрузки *Three-Phase Series RLC Load* из SPS-библиотеки *Elements*. В параметрах блока указываются: в поле *Configuration* – схема соединения «звезда с глухозаземленной нейтралью» – Y (*grounded*), в поле *Nominal phase-to-phase voltage V_n* – m -переменная номинального напряжения вторичной обмотки, в поле *Nominal frequency f_n* – переменная номинальной частоты, в поле *Active power P* – переменная активной мощности нагрузки, в *Inductive reactive power Q_L (positive var)* – переменная индуктивной мощности нагрузки, а в поле *Capacitive reactive power Q_c (negative var)* – значение 0.

Пример настройки блока показан на рисунке 5.15.

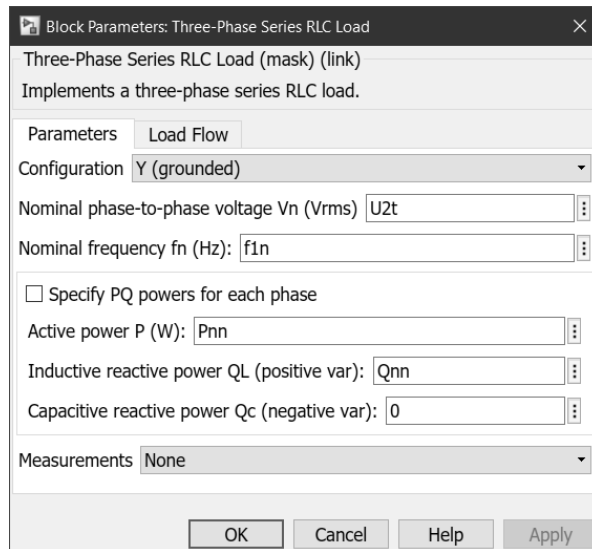


Рисунок 5.15 – Пример настроек SPS-модели трехфазной последовательной нагрузки

Для моделирования режимов короткого замыкания используется SPS-блок *Three-Phase Fault (Elements)*. Для исследования короткого замыкания в поле *Fault between* устанавливаются маркеры напротив обозначения фазы, которая должна замкнуться (для однофазного замыкания – фаза A, а для многофазного – все три). В поле *Initial status* указывается значение 0 (разомкнут в начальный момент). В поле *Switching times* указывается интервал времени, когда выполняется замыкание. В поле *Fault resistance Ron (Ohm)* задается значение активного сопротивления цепи замыкания. В поле *Ground resistance Rg (Ohm)* задается значение сопротивления заземления. В полях *Snubber resistance Rs (Ohm)* и *Snubber capacitance Cs (F)* указываются значения шунтирующих замыкания сопротивления и индуктивности, равные бесконечности (*inf*).

Пример настроек показан на рисунке 5.16.

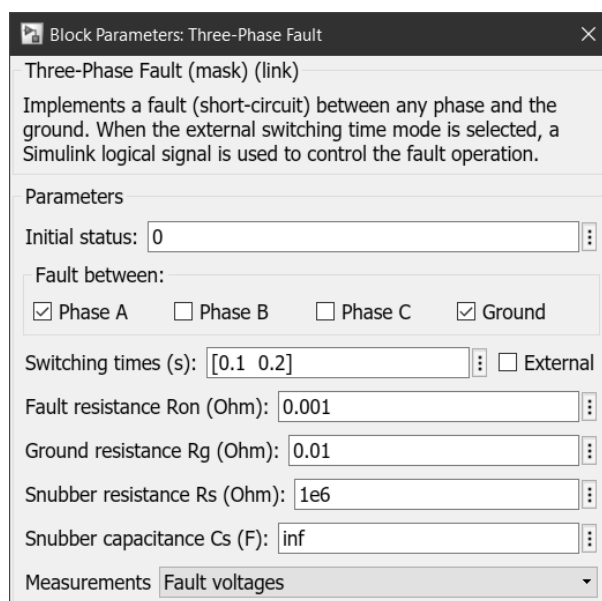


Рисунок 5.16 – Пример настроек блока SPS-модели трехфазного короткого замыкания

Для фиксации результатов моделирования тока и напряжения только одной фазы А к выходам напряжений и тока трехфазного измерителя подключается через блок *Selector* (настроенные на выборку первого сигнала из тройного вектора) из S-библиотеки *Signal Routing* фиксаторы *Scope*.

Итоговая SPS-модель короткого замыкания трехфазного трансформатора показана на рисунке 5.17.

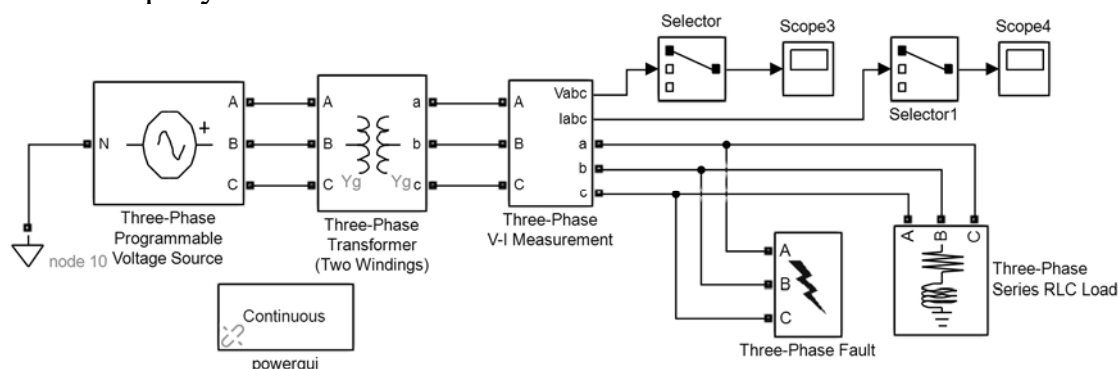


Рисунок 5.17 – Пример SPS-модели исследования режима короткого замыкания

5.1.15 Расчет токов короткого замыкания трансформатора.

Выполняется расчет составленной модели для двух случаев: однофазного короткого замыкания фазы А и трехфазного замыкания на землю. Динамические характеристики токов и напряжений фиксируются и копируются в отчет. При этом определяется максимальное мгновенное значение тока короткого замыкания.

5.2 Содержание отчета

Отчет по практической работе № 5 оформляется на листах формата А4 в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32 на бумажном или электронном носителе в соответствии со следующим содержанием:

- титульный лист;
- текст индивидуального задания;
- исходные данные задания;
- m-файл данных моделирования;
- SPS-модель для исследования обрыва фазы АД;
- графики динамических характеристик тока статора, момента и скорости при моделировании обрыва фазы АД;
- SPS-модель исследования процессов короткого замыкания трехфазного трансформатора;
- графики динамических характеристик тока и напряжения при однофазном и трехфазном замыкании во вторичной обмотке трансформатора;
- максимальное значение во вторичной обмотке токов при коротком замыкании трехфазного трансформатора.

Контрольные вопросы

- 1 Дать определение понятия «аварийный режим».
- 2 Какие основные аварийные режимы характерны для электромеханических систем?
- 3 Каким образом в среде *MATLAB/Simulink/SimPowerSystems* моделируется асинхронный электродвигатель?
- 4 Каким образом в *MATLAB/Simulink/SimPowerSystems* выполняется моделирование источника трехфазного напряжения?
- 5 Как выполнить в среде *MATLAB/Simulink/SimPowerSystems* моделирование выключателя силовой цепи?
- 6 Как в среде *MATLAB/Simulink/SimPowerSystems* моделируется обрыв фазы питания асинхронного электродвигателя?
- 7 Каким образом в среде *MATLAB/Simulink/SimPowerSystems* моделируется трехфазный трансформатор?
- 8 Как в среде *MATLAB/Simulink* фиксируется максимальное значение динамической характеристики?
- 9 Как в среде *MATLAB/Simulink/SimPowerSystems* моделируется реактивная нагрузка на валу электродвигателя?
- 10 Каким образом в среде *MATLAB/Simulink/SimPowerSystems* выполняется фиксация динамических характеристик модели асинхронного электродвигателя?
- 11 Каким образом фиксируются динамические характеристики токов и напряжений вторичной обмотки трехфазного трансформатора?
- 12 Каким образом определяется максимальное значение динамической характеристики в S-модели?
- 13 Каким образом в среде *MATLAB/Simulink/SimPowerSystem* реализуется моделирование трехфазного короткого замыкания?
- 14 Каким образом настраиваются параметры моделирования в среде *MATLAB/Simulink*?

6 Практическая работа № 6. Расчет технико-экономических показателей режимов ЭС и СЭ в среде MS Excel

Цель работы:

- изучение методов расчета технико-экономических характеристик элементов ЭС и СЭ;
- получение практических навыков работы в среде MS Excel при оптимизации плана выпуска элементов ЭС и СЭ.

Задание

Обучающийся получает у преподавателя номер варианта, согласно которому выбираются параметры исходных данных из таблиц 6.1–6.12.

Таблица 6.1 – Исходные данные (вариант 1)

Комплектующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	10	9	14	12	1	400
Катушки (L)	6	4	9	8	4	310
Конденсаторы (C)	3	6	2	4	3	200
ОУ (DA)	2	3	1	2	6	90
Транзисторы (VT)	6	7	12	4	4	170
Диоды (VD)	7	5	4	6	2	190
Цена продажи	124	130	145	130		

Таблица 6.2 – Исходные данные (вариант 2)

Комплектующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	8	11	12	10	1	350
Катушки (L)	4	6	5	4	4	290
Конденсаторы (C)	3	6	2	4	3	220
ОУ (DA)	3	2	2	3	6	110
Транзисторы (VT)	4	6	8	5	4	160
Диоды (VD)	9	6	5	7	2	150
Цена продажи	120	135	130	125		

Таблица 6.3 – Исходные данные (вариант 3)

Комплектующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	9	10	11	8	1	320
Катушки (L)	3	5	4	4	4	180
Конденсаторы (C)	5	4	4	6	3	200
ОУ (DA)	4	3	3	2	6	90
Транзисторы (VT)	5	4	6	8	4	150
Диоды (VD)	6	4	6	8	2	190
Цена продажи	130	120	125	135		

Таблица 6.4 – Исходные данные (вариант 4)

Комплектующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	10	8	12	14	1	340
Катушки (L)	4	6	3	2	4	120
Конденсаторы (C)	5	4	4	6	3	140
ОУ (DA)	3	4	2	3	6	100
Транзисторы (VT)	6	8	12	6	4	180
Диоды (VD)	6	8	4	3	2	210
Цена продажи	130	150	140	125		

Таблица 6.5 – Исходные данные (вариант 5)

Комплекующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	12	10	14	8	1	290
Катушки (L)	4	5	4	6	4	90
Конденсаторы (C)	6	8	7	10	3	140
ОУ (DA)	2	3	2	4	6	70
Транзисторы (VT)	5	6	10	4	4	190
Диоды (VD)	5	6	6	8	2	150
Цена продажи	120	140	150	150		

Таблица 6.6 – Исходные данные (вариант 6)

Комплекующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	18	12	10	10	1	320
Катушки (L)	5	6	5	6	3	90
Конденсаторы (C)	8	10	5	12	4	210
ОУ (DA)	6	4	4	5	5	80
Транзисторы (VT)	6	4	8	5	4	100
Диоды (VD)	12	4	8	6	3	180
Цена продажи	180	140	150	160		

Таблица 6.7 – Исходные данные (вариант 7)

Комплекующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	10	8	12	14	1	280
Катушки (L)	3	4	6	5	2	100
Конденсаторы (C)	10	12	3	6	3	220
ОУ (DA)	4	6	5	4	5	90
Транзисторы (VT)	8	6	10	6	4	100
Диоды (VD)	4	8	3	4	2	120
Цена продажи	130	150	130	120		

Таблица 6.8 – Исходные данные (вариант 8)

Комплекующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	11	10	12	8	1	280
Катушки (L)	5	6	6	4	2	100
Конденсаторы (C)	9	8	3	8	3	220
ОУ (DA)	3	4	5	4	6	90
Транзисторы (VT)	9	8	10	8	3	100
Диоды (VD)	6	10	3	8	2	120
Цена продажи	140	150	130	135		

Таблица 6.9 – Исходные данные (вариант 9)

Комплекующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	10	8	12	10	1	250
Катушки (L)	4	8	5	6	2	110
Конденсаторы (C)	12	10	8	12	2	230
ОУ (DA)	6	5	4	4	5	100
Транзисторы (VT)	8	10	12	8	3	150
Диоды (VD)	4	8	6	10	2	130
Цена продажи	130	140	130	135		

Таблица 6.10 – Исходные данные (вариант 10)

Комплекующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	14	12	10	18	1	270
Катушки (L)	8	6	10	9	2	100
Конденсаторы (C)	14	8	10	9	2	240
ОУ (DA)	5	6	8	6	5	90
Транзисторы (VT)	6	8	4	6	2	120
Диоды (VD)	8	12	4	6	2	140
Цена продажи	140	140	130	130		

Таблица 6.11 – Исходные данные (вариант 11)

Комплекующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	15	12	16	18	1	320
Катушки (L)	5	6	8	3	3	180
Конденсаторы (C)	10	6	8	12	2	200
ОУ (DA)	5	6	4	6	6	90
Транзисторы (VT)	5	3	8	6	3	150
Диоды (VD)	10	6	8	12	2	190
Цена продажи	140	120	145	150		

Таблица 6.12 – Исходные данные (варианта 12)

Комплекующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
Резисторы (R)	20	18	15	16	1	300
Катушки (L)	2	12	5	4	3	190
Конденсаторы (C)	15	6	10	8	2	210
ОУ (DA)	5	4	5	4	6	75
Транзисторы (VT)	10	12	5	12	3	120
Диоды (VD)	5	4	10	6	2	110
Цена продажи	150	160	140	140		

Необходимо создать электронную таблицу, в которой следует:

- 1) сформировать электронную таблицу определения стоимости изготовления четырех вариантов электронных плат, которые включают определенное число комплектующих компонентов: резисторов (R), конденсаторов (C), катушек индуктивности (L), диодов (VD), транзисторов (VT), операционных усилителей (ОУ или DA) с учетом цены каждого элемента;
- 2) определить прибыль от продажи каждого варианта платы, если известна цена их продажи;
- 3) дополнить таблицу столбцом с количеством имеющихся в наличии компонентов;
- 4) определить оптимальную программу выпуска электронных изделий, позволяющих максимизировать прибыль или минимизировать остатки компонентов на складе комплектующих.

6.1 Ход выполнения работы

6.1.1 Загрузка среды Microsoft Excel. Создание электронной таблицы.

Первоначально производится на ПК запуск среды Microsoft Excel. После раскрытия шаблона электронной таблицы следует сразу сохранить ее под

уникальным именем в своем рабочем каталоге (папке), используя кнопку *Сохранить* или раздел ленты *Файл/Сохранить*. Запрещается сохранять файл электронной таблицы на рабочем столе Windows. Также настоятельно не рекомендуется сохранить заготовку электронной таблицы непосредственно на внешний мобильный накопитель и работать с ним далее.

Используя раздел ленты *Файл/Сведения*, следует в распахнувшемся окне в выпадающем списке *Свойства* выбрать пункт *Дополнительные свойства*. В распахнувшемся диалоговом окне следует обязательно заполнить поля *Наименование*, *Автор*, *Руководитель* и *Организация*. Остальные заполняются по желанию.

6.1.2 Заполнение исходной таблицы.

В начале таблицы записывается наименование практической работы. В строке, расположенной ниже формируется заголовок таблицы, включающий следующие столбцы: «Комплектующие», «Плата 1», «Плата 2», «Плата 3», «Плата 4», «Стоимость элемента» и «В наличии».

Ниже добавляются строки по каждому элементу комплектации (R, C, L, DA, VT, VD), а далее «Стоимость», «Цена продажи» и «Прибыль». Заполнение колонок по каждой плате выполняется указанием числа определенных компонентов.

Расчет стоимости каждой платы находится как сумма произведений указанного числа конкретных комплектующих на их стоимость. Прибыль определяется как разность от указанной цены платы за вычетом ее стоимости.

Пример таблицы показан на рисунке 6.1.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Решение задачи оптимизации						
2	Комплектующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
3	R	12	9	10	11	2	450
4	C	6	10	9	7	3	330
5	L	2	1	1	2	1	250
6	DA	2	3	2	2	8	170
7	VT	4	5	4	6	4	210
8	VD	6	8	7	6	1	390
9	Стоимость	82	101	87	91		
10	Продажа	120	135	130	140		
11	Прибыль	38	34	43	49		

Рисунок 6.1 – Пример выполнения исходной таблицы

6.1.3 Создание таблицы плана выпуска.

Ниже таблицы исходных данных формируется таблица плана выпуска. Колонками таблицы являются следующие данные: «Выпуск», «Число», «Прибыль», «Затраты». Строками – данные по каждой плате, последняя строка – итог. Прибыль от партии плат определяется как число плат, умноженное на прибыль, полученную от единичной платы (см. рисунок 6.1).

Пример выполнения таблицы плана выпуска показан на рисунке 6.2.

	A	B	C	D
13	Выпуск	Число	Прибыль	затраты
14	Плата 1	0	0	0
15	Плата 2	0	0	0
16	Плата 3	0	0	0
17	Плата 4	0	0	0
18	Итого		0	0

Рисунок 6.2 – Пример задания таблицы плана выпуска

6.1.4 Задание таблицы остатков.

Далее в составе электронной таблицы создается таблица расчета остатков комплектующих на складе. Первым столбцом является наименование комплектующих, вторым – число использованных элементов, третьим – число единиц их остатка, четвертым – стоимость остатка комплектующих.

Пример таблицы расчета остатков показан на рисунке 6.3.

	A	B	C	D
19				
20	Расход комплектующих	Остаток	сумма	
21	R	450	0	0
22	C	330	0	0
23	L	69	181	181
24	DA	101	69	555
25	VT	210	0	0
26	VD	286	104	104
27	Остаток			839

Рисунок 6.3 – Пример таблицы остатка

6.1.5 Подключение надстройки Поиск решения.

Для расчета параметров задач минимизации или максимизации используется лента *Данные*, в конце которой расположена группа *Анализ* с пунктом *Поиск решения*. Если данный пункт отсутствует, то следует выполнить настройку Microsoft Excel самостоятельно или обратиться к системному администратору.

При самостоятельной настройке следует вызвать окно параметров Microsoft Excel с помощью раздела ленты *Файл/Параметры*. В распахнувшемся окне *Параметры* следует выбрать категорию *Настройки*. Далее в поле *Управление* задать значение *Настройка Excel* и нажать кнопку *Перейти*. Затем в поле

Доступные надстройки установить маркер в позиции *Поиск решения* и нажать кнопку *ОК*.

6.1.6 Оптимизация плана выпуска по максимальной прибыли.

Для решения задачи максимизации прибыли вызывается окно поиска решения с ленты *Данные*.

В группе *До* следует установить маркер-точку в позицию *Максимум*.

В поле *Изменяя ячейки переменные* следует задать диапазон ячеек числа плат из таблицы (рисунок 6.4).

В поле *В соответствии с ограничениями* прописываются условия для количества каждой платы из таблицы (рисунок 6.5, больше или равно), а также расход комплектующих не должен превышать их наличия в соответствующих ячейках таблицы рисунка 6.4. Обязательным является то, что все найденные решения должны быть целыми числами. Для добавления условия используется кнопка *Добавить*, которая вызывает диалоговое окно *Добавление ограничения*, в полях которого указываются условия.

Рисунок 6.4 – Пример решения задачи максимизации прибыли

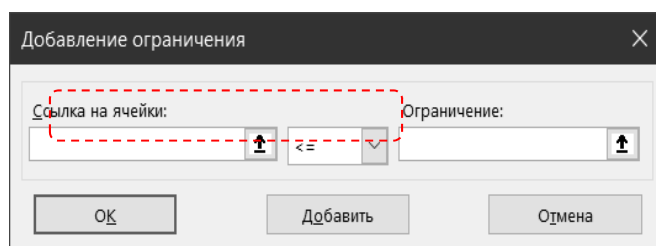


Рисунок 6.5 – Окно добавления ограничений

Следует поставить маркер в позицию *Сделать переменные без ограничений не отрицательными*.

В списке *Выберите метод решения* следует установить вариант *Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ*.

Пример настроек поиска решения задачи максимизации прибыли показан на рисунке 6.4.

Результаты поиска решения следует в одноименном окне, установив маркер-точку в позицию *Сохранить найденное решение* (рисунок 6.6).

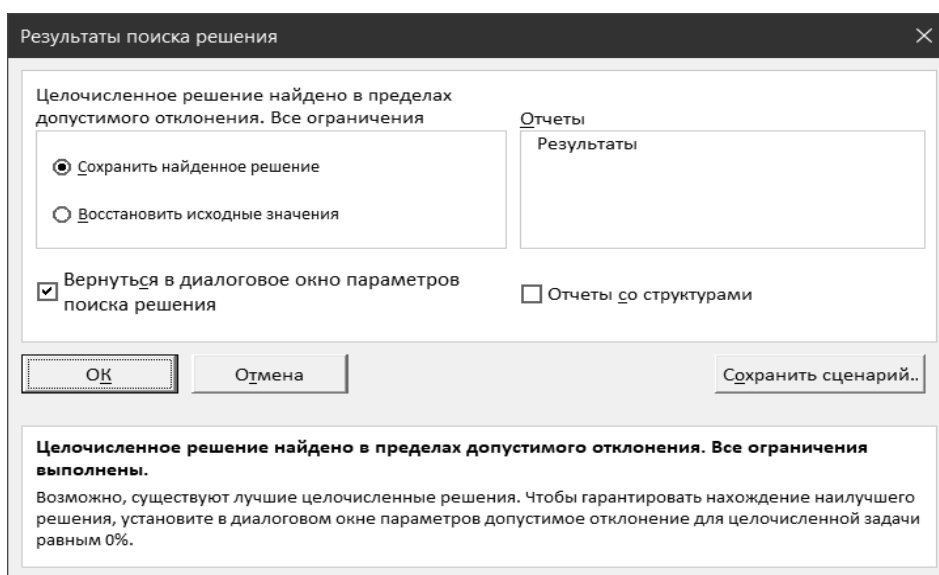


Рисунок 6.6 – Пример фиксации поиска решения

6.1.7 Фиксация результатов решения задачи максимизации прибыли.

Следует зафиксировать созданный вариант электронной таблицы для решения задачи максимизации прибыли вместе с номерами строк и символами колонок. Для переноса данных в отчет можно использовать экранные ножницы (*Ctrl + Windows + S*) или одноименное стандартное приложение.

Пример показан на рисунке 6.7.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Решение задачи оптимизации						
2	Комплектующие	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Стоимость	В наличии
3	R	12	9	10	11	2	450
4	C	6	10	9	7	3	330
5	L	2	1	1	2	1	250
6	DA	2	3	2	2	8	170
7	VT	4	5	4	6	4	210
8	VD	6	8	7	6	1	390
9	Стоимость	82	101	87	91		
10	Продажа	120	135	130	140		
11	Прибыль	38	34	43	49		
12							
13	Выпуск	Число	Прибыль	затраты			
14	Плата 1	3	125,4	270,6			
15	Плата 2	0	0	0			
16	Плата 3	19	799,8	1618,2			
17	Плата 4	20	999,6	1856,4			
18	Итог		1924,8	3745,2			
19							
20	Расход комплектующих		Остаток				
21	R	450	0				
22	C	330	0				
23	L	66	184				
24	DA	85	85				
25	VT	210	0				

Рисунок 6.7 – Пример вида ЭТ при решении задачи максимизации прибыли

6.1.8 Минимизация остатков на складе.

Для выполнения задачи максимизации рекомендуется сохранить созданную ЭТ при выполнении п. 6.1.7 в отдельном файле, используя пункт меню *Файл/Сохранить как*.

Минимизация остатков на складе выполняется аналогично п. 6.1.6 с параметрами решения, указанными на рисунке 6.8.

Настраивается в качестве целевой функции значение ячейки суммарной стоимости остатков комплектующих на складе. Указывается значение маркера в позиции *Минимум*.

Имена ячеек переменных (числа выпущенных плат) и условия ограничения оставляются без изменений. Полученные результаты расчета фиксируются аналогично п. 6.1.7.

Пример ЭТ при минимизации складских запасов комплектующих, оставшихся после производства плат, показан на рисунке 6.9.

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: Максимум Минимум Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Рисунок 6.8 – Пример поиска решения при минимизации

	A	B	C	D	E	F	G
5	L	2	1	1	2	1	250
6	DA	2	3	2	2	8	170
7	VT	4	5	4	6	4	210
8	VD	6	8	7	6	1	390
9	Стоимость	82	101	87	91		
10	Продажа	120	135	130	140		
11	Прибыль	38	34	43	49		
12							
13	Выпуск	Число	Прибыль	затраты			
14	Плата 1	14	551	1188			
15	Плата 2	16	536	1592			
16	Плата 3	0	0	0			
17	Плата 4	12	598	1111			
18	Итог		1685	3891			
19							
20	Расход комплектующих		Остаток	сумма			
21	R	450	0	0			
22	C	330	0	0			
23	L	69	181	181			
24	DA	101	69	555			
25	VT	210	0	0			
26	VD	286	104	104			
27	Остаток			839			

Рисунок 6.9 – Пример выполнения

6.1.9 Формирование отчета.

В среде текстового редактора создается электронный документ отчета, содержание которого описывается в подразделе 6.2. Результаты расчетов электронной таблицы копируются из среды Microsoft Excel в файл отчета через буфер обмена. Рекомендуется делать графическую копию с наименованиями колонок и столбцов. Созданный файл отчета сохраняется в рабочем каталоге.

6.1.10 Окончание работы со средой Microsoft Excel.

После выхода из среды Microsoft Excel следует с помощью файлового менеджера удалить ненужные файлы и произвести резервное копирование остальных файлов на мобильное устройство внешней памяти или смартфон.

6.2 Содержание отчета

Отчет по практической работе № 6 оформляется на листах формата А4 в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32 на бумажном или электронном носителе следующего содержания:

- титульный лист;
- текст индивидуального задания;
- копия электронной таблицы с данными расчета плана выпуска при максимизации прибыли;
- копия таблицы с данными расчета минимизации остатков на складе.

Контрольные вопросы

- 1 Дать определение понятия «оптимизация».
- 2 Дать определение понятия «целевая функция».
- 3 Как в Microsoft Excel задается таблица исходных данных?
- 4 Каким образом в среде Microsoft Excel выполняется расчет максимизации прибыли?
- 5 Каким образом формируется целевая функция в среде Microsoft Excel?
- 6 Каким образом в среде Microsoft Excel выполняется расчет минимизации складских запасов?
- 7 Каким образом задаются ограничения при оптимизации?
- 8 Каким образом выполняется построение расчетных выражений в Excel?
- 9 Каким образом экспортируются результаты расчетов из среды Microsoft Excel в текстовые документы?
- 10 Каким образом выполняется активизация надстройки *Анализ решения* в среде Microsoft Excel?
- 11 Для решения каких задач электроэнергетических систем и систем энергоснабжения может использоваться среда Microsoft Excel?
- 12 Каким образом выполняется настройка вида электронных таблиц в среде Microsoft Excel?

7 Практическая работа № 7. Оптимизация режимов ЭС и СЭ в среде MATLAB/ Optimization Toolbox

Цель работы:

- ознакомление с методами оптимизации в среде MATLAB;
- получение практических навыков по составлению целевых функций, определяющих заданный показатель качества электромеханической системы (ЭМС), а также определения налагаемых на параметры целевых функций ограничений;
- практическое определение экстремумов целевых функций в среде *MATLAB/ Optimization Toolbox*;
- получение практических навыков по расчету показателей ЭМС в точке экстремума.

Задание

Заданием является поиск глобального экстремума длины линий при определении координат расположения трансформаторной подстанции для энергопитания трех потребителей (точки 1, 2 и 3 из таблицы 7.1) с указанным значением весового коэффициента (нагрузки) при условии максимального удаления от жилого помещения (точка 4 из таблицы 7.1) в зависимости от заданного варианта в среде MATLAB/Optimization Toolbox. После определения точки экстремума целевой функции следует выполнить построение трехмерных графиков в виде оврагов и трехмерной плоскости, показывающее распределения суммарной длины кабельных линий в зависимости от расположения координат подстанции.

Таблица 7.1 – Варианты исходных данных

Вариант	Координаты расположения объектов				Весовые коэффициенты объектов			
	x_1, y_1	x_2, y_2	x_3, y_3	x_4, y_4	w_1	w_2	w_3	w_4
1	-20, -10	15, 25	30, 20	0, 0	3	2	1	-2
2	-30, -20	10, 15	20, 30	0, 0	2	3	2	-4
3	-15, -15	15, 20	25, 20	0, 0	1	2	3	-3
4	-25, -30	20, -10	30, 15	0, 0	2	1	1	-4
5	-10, -25	25, 15	30, 25	0, 0	1	2	1	-2
6	-20, -15	15, 15	30, 30	0, 0	3	1	2	-3
7	-20, -20	10, 10	20, 30	0, 0	1	3	3	-2
8	-25, -25	15, 10	30, 20	0, 0	2	2	1	-4
9	-25, -20	20, 10	30, 25	0, 0	1	2	2	-3
10	-20, -25	15, 5	25, 30	0, 0	3	1	3	-4

7.1 Ход выполнения работы

7.1.1 Проектирование целевой функции.

Целевая функция для поиска оптимального решения описывает суммарную длину линий энергоснабжения через двухмерные координаты, как это показано на рисунке 7.1.

$$f(x) = \sum_{i=1}^N w_i \sqrt{(x_n - x_i)^2 + (y_n - y_i)^2} ,$$

где N – число потребителей;
 x_n, y_n – координаты установки трансформаторной подстанции;
 x_i, y_i – координаты i -го потребителя;
 w_i – весовой коэффициент (коэффициент загрузки) потребителя.

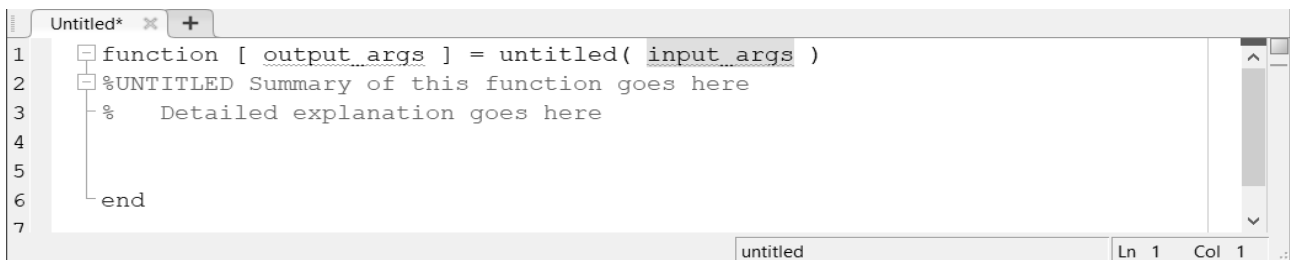
Рисунок 7.1 – Выражение расчета длины линии энергоснабжения

7.1.2 Загрузка среды MATLAB.

Выполняется запуск среды MATLAB с помощью ярлыка или стартового меню Windows. Следует сразу перейти в свой рабочий каталог (*Current Folder*) на компьютере, используя строку навигации окна среды MATLAB.

7.1.3 Создание m-файла целевой функции.

В основном меню MATLAB выбирается раздел *New/Function*, который распахнет текстовый редактор с шаблоном функции, показанным на рисунке 7.2.



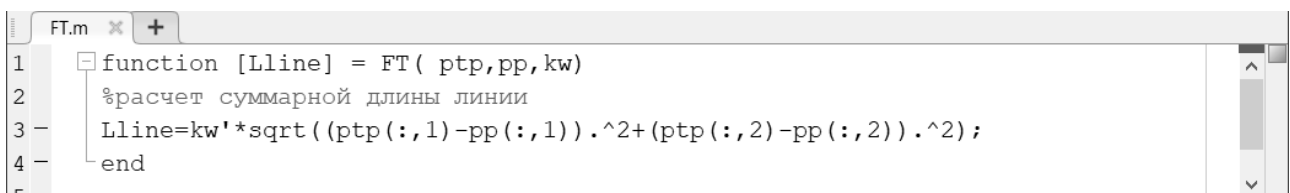
```

1 function [ output_args ] = untitled( input_args )
2 %UNTITLED Summary of this function goes here
3 % Detailed explanation goes here
4
5
6 end
7

```

Рисунок 7.2 – Вид шаблона m-файла для задания целевой функции

Сначала следует задать имя функции, которое должно совпасть с именем файла. Далее указываются параметры в виде векторов: координаты подстанции, координаты потребителей и массив весовых коэффициентов, как это показано на рисунке 7.3. Выражение расчетной функции строится на основе матричных преобразований с выделением из матриц координат первого столбца для значения x и второго – для y . Возведение в степень должно быть поэлементным.



```

1 function [Lline] = FT( ptp,pp,kw)
2 %расчет суммарной длины линии
3 Lline=kw'*sqrt((ptp(:,1)-pp(:,1)).^2+(ptp(:,2)-pp(:,2)).^2);
4 end
5

```

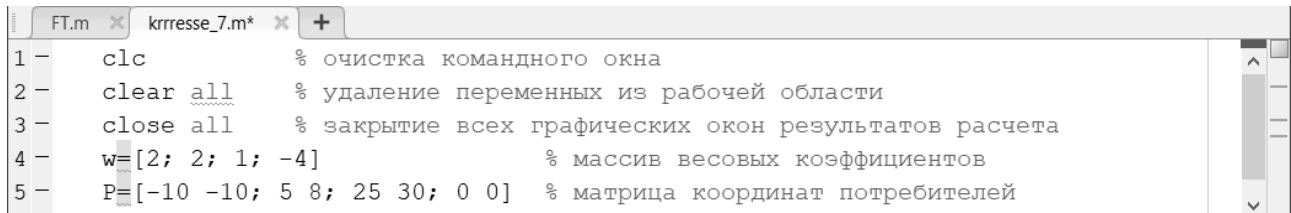
Рисунок 7.3 – Вид m-файла расчета целевой функции

7.1.4 Создание m-файла исходных данных оптимизации.

В главном окне MATLAB выбирается пункт меню *New/Script* и вызывается новая вкладка для файла исходных данных расчетов. В начале файла выполняется вызов трех команд: очистки командного окна MATLAB, удаления всех предыдущих результатов расчетов и закрытия всех графических окон.

Далее формируется одномерный массив весовых коэффициентов и матрица с координатами потребителей.

Пример показан на рисунке 7.4.



```

1 - clc           % очистка командного окна
2 - clear all    % удаление переменных из рабочей области
3 - close all    % закрытие всех графических окон результатов расчета
4 - w=[2; 2; 1; -4]           % массив весовых коэффициентов
5 - P=[-10 -10; 5 8; 25 30; 0 0] % матрица координат потребителей

```

Рисунок 7.4 – Пример выполнения m-файла исходных данных

Нажатием кнопки *Run* или клавиши *F5* m-файл выполняется в MATLAB.

7.1.5 Вызов пакета окна Optimization Toolbox.

Для запуска пакета оптимизации следует в окне MATLAB перейти на страницу (вкладку) *APPS* и нажать пиктограмму *Optimization*, или выполнить в командном окне команду *optimtool*. После чего распахнется окно (рисунок 7.5).

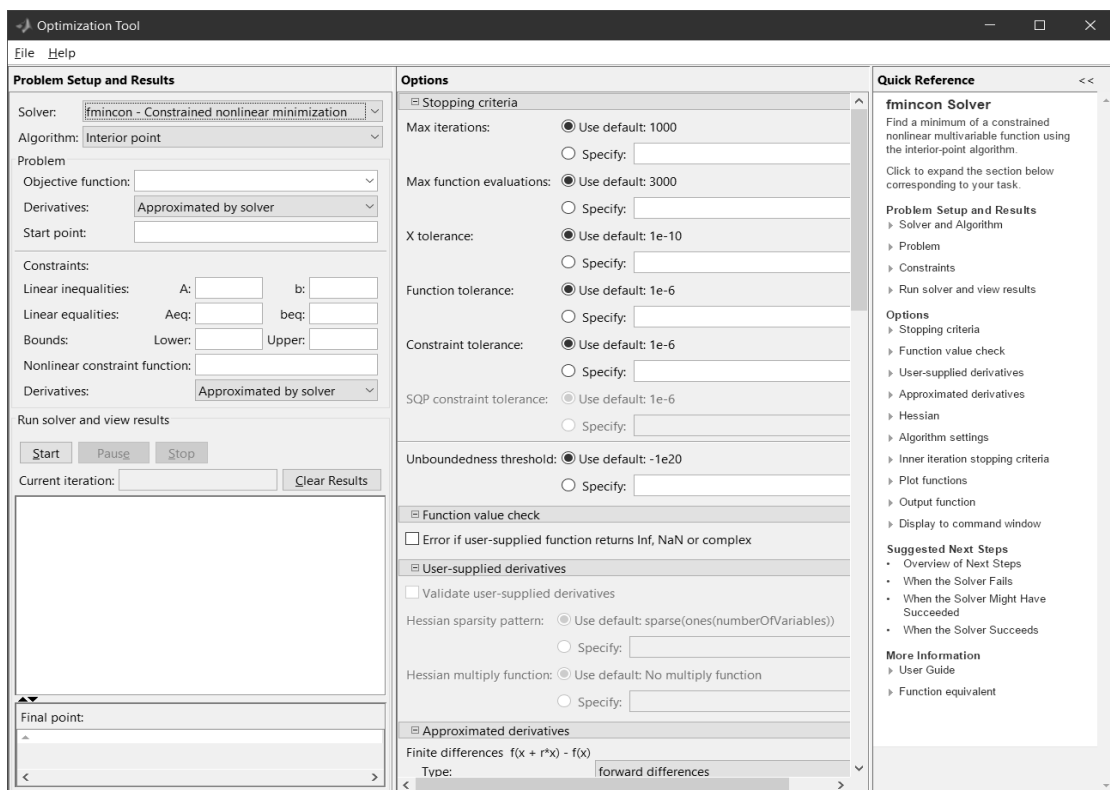


Рисунок 7.5 – Первоначальный вид окна пакета оптимизации

Следует в поле *Solver* установить метод оптимизации *patternsearch* – *Pattern Search*. Выражение созданной целевой функции с параметрами из файла

исходных данных записывается в группе *Problem* в поле *Objective function*. Пример вызова функции дан на рисунке 7.6. В этой группе в поле *Start Point* указывается начальная точка поиска: [-100 -100]. Для запуска расчетов оптимальных параметров нажимается кнопка *Start*.

Пример выполнения расчетов показан на рисунке 7.6.

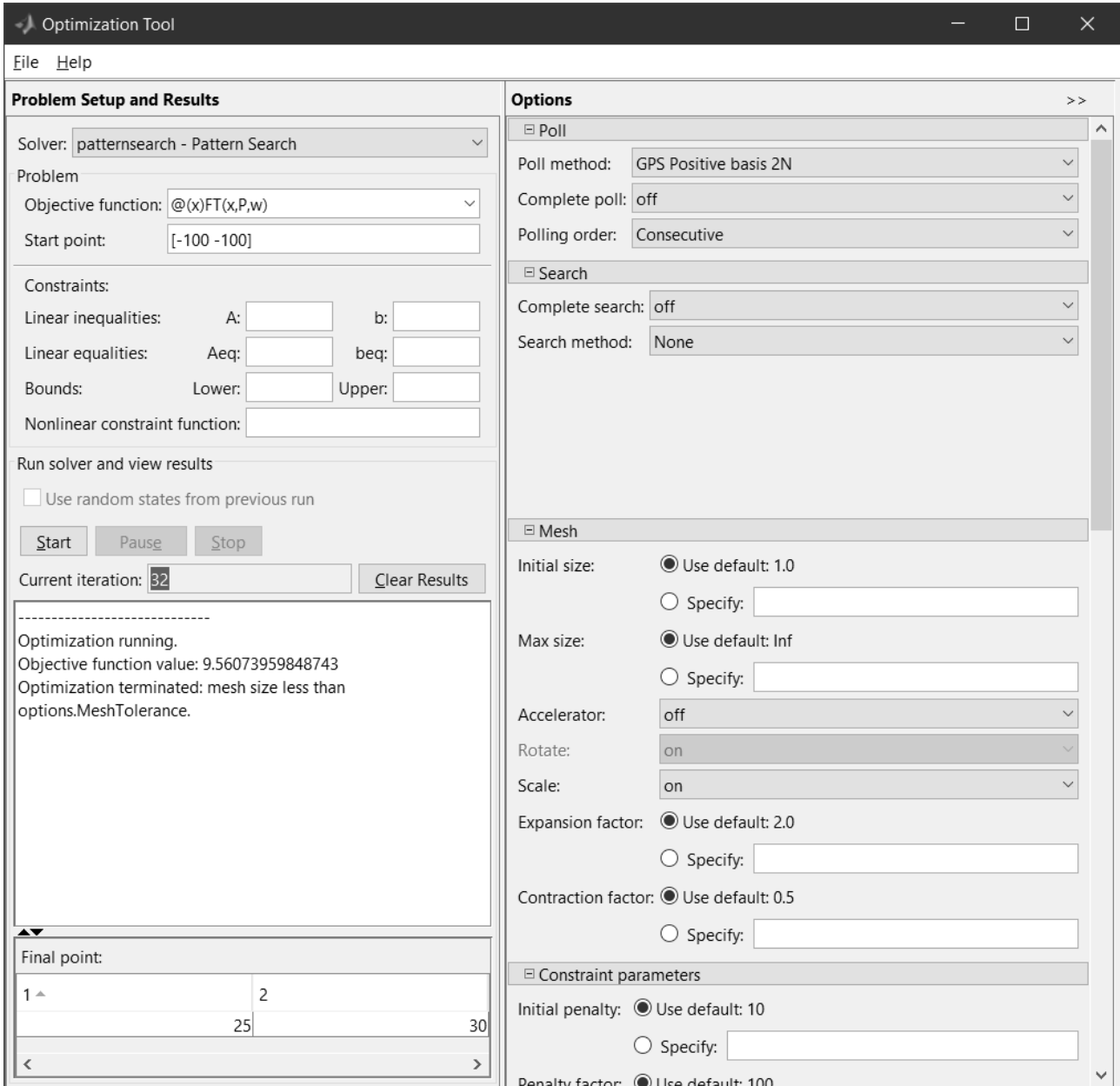


Рисунок 7.6 – Пример результатов выполнения расчетов в пакете *Optimization Toolbox*

При этом в группе *Final Point* отобразятся искомые координаты, а в поле *Current iteration* указывается число выполненных итераций. Ниже в поле многострочного редактора отобразится заключение об результатах оптимизации с указанием значения целевой функции в точке экстремума.

В случае ошибки или коррекции исходных данных следует повторить расчет, предварительно сбросив результаты кнопкой *Clear Result*.

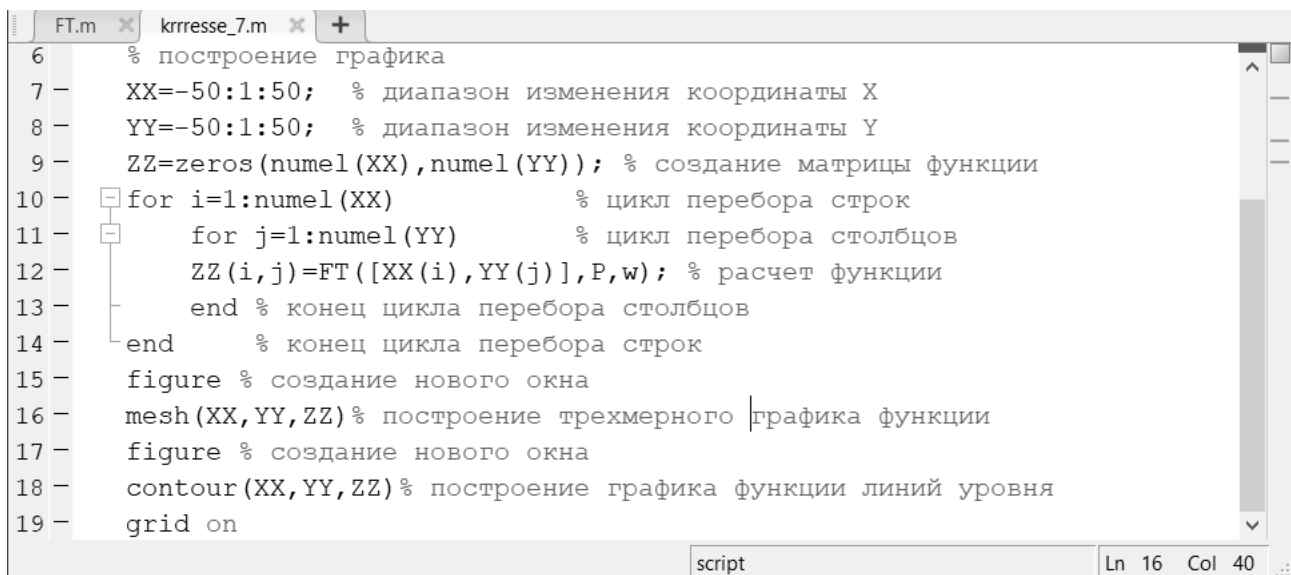
7.1.6 Построение графиков целевой функции.

Для проверки правильности выполнения минимизация следует построить два графика целевой функции овражного типа и в виде трехмерной поверхности.

Для этого в файл исходных данных добавляется вызов следующих команд:

- 1) создания двух массивов для изменения координат на плоскости;
- 2) создание командой **zeros** матрицы с данными расчета целевой функции, у которой размер матрицы равен числу элементов изменения координат, получаемых функцией **numel**;
- 3) задание двух вложенных циклов **for** для изменения номера строки *i* и столбца *j* матрицы результатов;
- 4) внутри цикла расчет значения целевой функции с использованием *m*-файла, созданного в п. 7.1.3. В качестве параметров координат подстанции передается вектор из двух значений соответствующих координат;
- 5) командой **figure** выполняется построение окна графика;
- 6) командой **mesh** строится график целевой функции в виде трехмерной поверхности;
- 7) повторно командой **figure** выполняется создание окна второго графика;
- 8) командой **contour** строится график целевой функции в виде линий уровня на плоскости;
- 9) командой **grid on** включается отображение координатной сетки на графике.

Пример дополнения *m*-файла для построения графика целевой функции показан на рисунке 7.7.



```

6      % построение графика
7      XX=-50:1:50; % диапазон изменения координаты X
8      YY=-50:1:50; % диапазон изменения координаты Y
9      ZZ=zeros(numel(XX),numel(YY)); % создание матрицы функции
10     for i=1:numel(XX) % цикл перебора строк
11         for j=1:numel(YY) % цикл перебора столбцов
12             ZZ(i,j)=FT([XX(i),YY(j)],P,w); % расчет функции
13         end % конец цикла перебора столбцов
14     end % конец цикла перебора строк
15     figure % создание нового окна
16     mesh(XX,YY,ZZ) % построение трехмерного графика функции
17     figure % создание нового окна
18     contour(XX,YY,ZZ) % построение графика функции линий уровня
19     grid on
  
```

Рисунок 7.7 – Пример модификации *m*-файла исходных данных

Модифицированный *m*-файл с расчетными данными запускается повторно на выполнение с помощью кнопки *Run* или клавиши *F5*.

Примеры построения графиков целевой функции в виде трехмерной поверхности и линий уровня показаны на рисунках 7.8 и 7.9 соответственно.

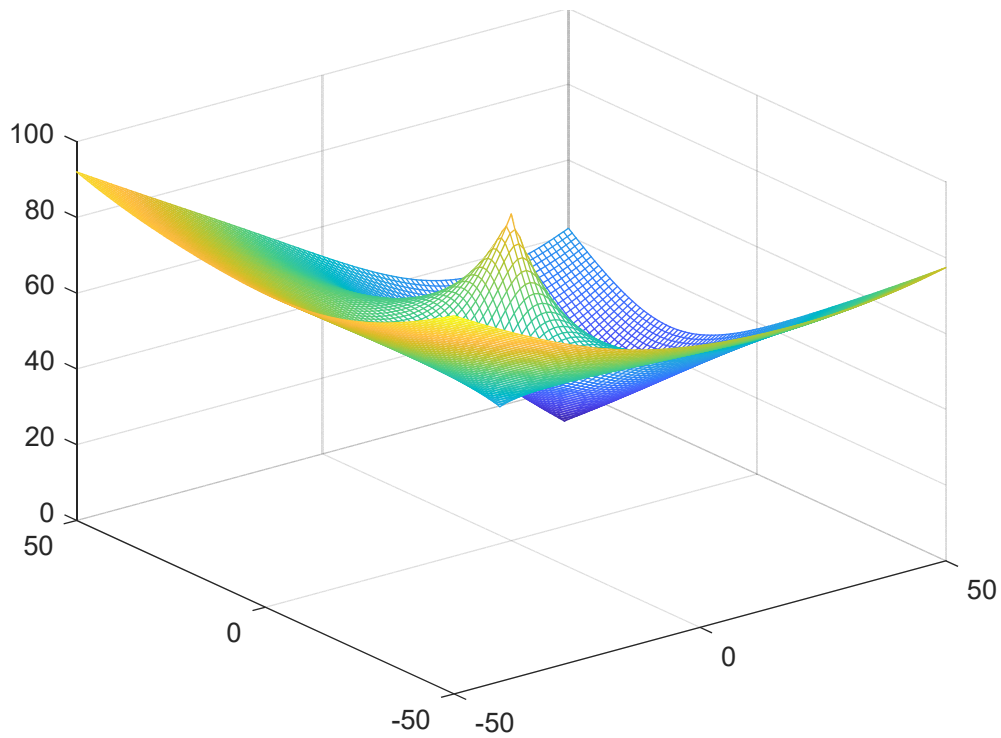


Рисунок 7.8 – Пример графика целевой функции в виде трехмерной поверхности

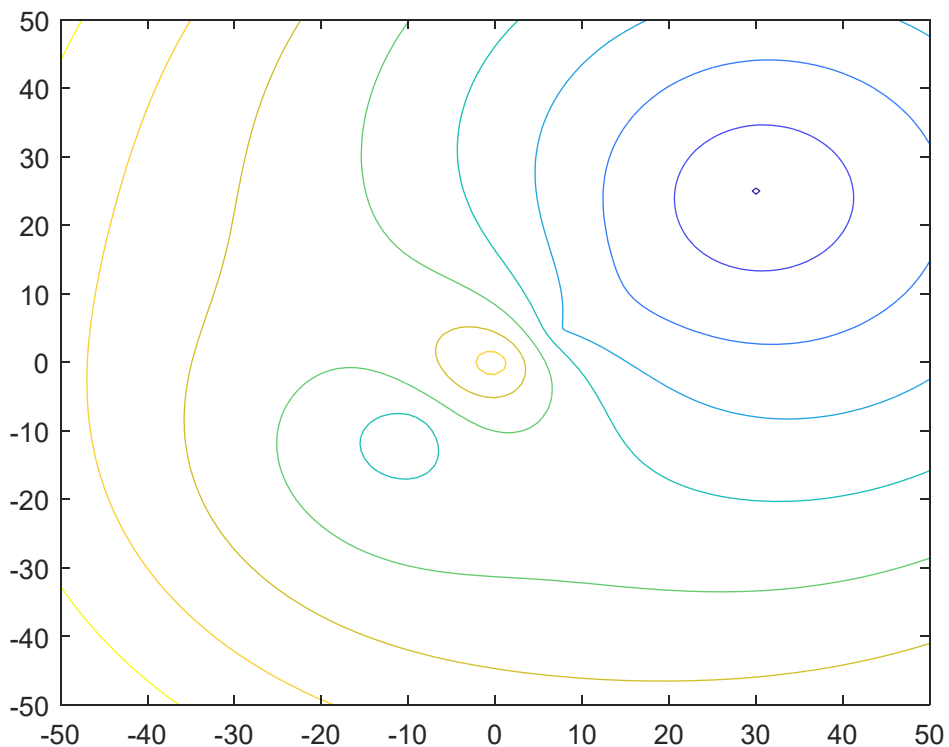


Рисунок 7.9 – Пример графика целевой функции в виде линий уровня на плоскости

При необходимости можно изменить диапазон расчета или точность представления целевой функции. Отображение графика в виде трехмерной поверхности также можно повернуть с помощью кнопки *Rotate3D* из панели инструментов окна графика для большей наглядности.

7.1.7 Формирование отчета.

В среде текстового редактора создается электронный документ отчета. Состав отчета выполняется в соответствии с требованиями подраздела 7.2. Результаты оптимизации копируются в виде окна *MATLAB/Optimization* в файл отчета через буфер обмена комбинацией клавиш *Alt + PrnScr*. Графики из MATLAB копируются в отчет выбором раздела *Edit/Copy Figure* соответствующего графического окна. Состав созданных m-файлов копируется через буфер обмена в отчет. Документ отчета сохраняется в рабочем каталоге.

7.1.8 Завершение работы с MATLAB.

Среда MATLAB закрывается после сохранения всех созданных файлов и графиков. Нужно удалить лишние файлы и произвести резервное копирование на мобильный накопитель или сервер.

7.2 Содержание отчета

Отчет по практической работе № 7 оформляется на листах формата А4 в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32 на бумажном или электронном носителе в соответствии с приведенным ниже содержанием:

- титульный лист;
- текст индивидуального задания;
- исходные данные варианта задания работы;
- m-файл с выражением целевой функции;
- m-файл с исходными данными и командами построения графиков;
- копия окна *MATLAB/Optimization* с результатами поиска экстремума целевой функции;
- график целевой функции в виде трехмерной поверхности;
- график целевой функции в виде линий уровня на плоскости.

Контрольные вопросы

- 1 Какие группы методов оптимизации используются для синтеза ЭС?
- 2 Каким образом формируется целевая функция при оптимизации?
- 3 Какие ограничения могут накладываться на целевую функцию?
- 4 Каким образом в среде MATLAB задать целевую функцию?
- 5 Каким образом можно использовать в MATLAB ресурсы пакета *Optimization Toolbox*?
- 6 Какие виды оптимизаций можно исследовать с помощью *MATLAB/Optimization Toolbox*?
- 7 Каким образом задаются параметры оптимизации в окне *MATLAB/Optimization Toolbox*?

8 Каким образом в среде MATLAB выполняется построение графиков функций двух переменных?

9 Каким образом определяются диапазоны изменения координат для построения графиков?

10 Как выполняется настройка отображения трехмерного графика в графическом окне?

11 Какие функции MATLAB используются для создания матриц?

12 Каким образом в среде MATLAB можно определить размеры и число элементов матриц?

8 Практическая работа № 8. Автоматизация представления результатов расчета в документах ЕСКД

Цель работы:

– изучение способов обмена данными между математическими средами Mathcad и MATLAB;

– получение практических навыков в передаче результатов расчетов из математических систем Mathcad и MATLAB в документы Microsoft Word в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105–95;

– рассмотрение способов экспорта графических данных из математических систем Mathcad и MATLAB в документы Microsoft Word и Microsoft Excel, а также редактор AutoCAD в соответствии с требованиями ЕСКД.

Задание

1 На основе данных варианта из таблицы 8.1 выполнить расчет параметров ПИ-регулятора скорости ЭМС в среде Mathcad, построить статическую характеристику замкнутой системы с полученными параметрами регулятора.

2 Передать рассчитанные параметры регулятора в среду MATLAB через внешние файлы.

3 Рассчитать динамические характеристики тока статора, момента и скорости при пуске ЭМС в среде *MATLAB/Simulink*.

4 В среде MATLAB сформировать матрицу с данными указанных характеристик.

5 Экспортировать таблицу данных динамических характеристик в среду Microsoft Excel.

6 Создать на основе специального шаблона файл отчета в среде Microsoft Word и заполнить его основную надпись.

7 Импортировать расчеты регулятора и таблицу результатов расчета статических и динамических характеристик системы и результаты в документ Microsoft Word.

8 Создать на основе специального шаблона чертеж формата А3 в среде Autocad и заполнить его основную надпись.

9 Импортировать графики из среды Mathcad и MATLAB.

Таблица 8.1 – Параметры вариантов асинхронного двигателя

Вариант	$P_{2н},$ кВт	$n_n,$ об/мин	$\eta_n,$ %	$\cos\varphi_n$	$R_1,$ Ом	$X_1,$ Ом	$R'_2,$ Ом	$X'_2,$ Ом	$X_0,$ Ом	$J_p,$ кг·м ²	$K_{дс},$ Вс	$T_m,$ с	$K_n,$ (В·с) ⁻¹
1	1,1	2800	77,5	0,87	11,6	4,8	6,1	7,5	254	0,0011	0,032	0,01	31,4
2	2,2	2870	83	0,87	3,4	2,3	2,2	4,0	125	0,0021	0,032	0,01	31,4
3	3,0	2870	84,5	0,88	2,6	2,1	1,7	3,6	124	0,0035	0,032	0,01	31,4
4	5,5	2900	87,5	0,91	1,1	1,14	0,76	2,3	81,1	0,0075	0,032	0,01	31,4
5	7,5	2920	87,5	0,88	0,7	0,57	0,42	2,1	55,7	0,01	0,032	0,01	31,4
6	11,0	2930	88	0,90	0,42	0,64	0,26	1,26	44,5	0,023	0,032	0,01	31,4
7	15,0	2940	88	0,91	0,40	0,71	0,17	0,93	31,7	0,048	0,032	0,01	31,4
8	22,0	2940	88,5	0,92	0,21	0,49	0,11	0,59	19,8	0,07	0,032	0,01	31,4
9	30,0	2945	90,5	0,90	0,15	0,29	0,071	0,43	15,3	0,085	0,032	0,01	31,4
10	37,0	2945	90	0,89	0,075	0,26	0,066	0,38	14,1	0,15	0,032	0,01	31,4
11	55,0	2945	91	0,92	0,057	0,20	0,042	0,27	14,8	0,17	0,032	0,01	31,4
12	75,0	2960	91	0,89	0,033	0,125	0,024	0,20	7,65	0,47	0,032	0,01	31,4

Описание параметров аналогично практической работе № 3, за исключением:

- коэффициента передачи датчика скорости $K_{дс}$;
- коэффициента передачи преобразователя частоты K_n ;
- малой некомпенсированной постоянной времени T_m .

8.1 Ход выполнения работы

8.1.1 Загрузка среды и создание документа Mathcad.

Запуск на компьютере среды Mathcad выполняется аналогично п. 1.1.1 из практической работы № 1. Рекомендуется использовать ранее созданный документ Mathcad, чтобы исключить повторное определение номинальных характеристик АД, или выполнить из него копирование исходных данных и части расчетных формул.

8.1.2 Расчет параметров регулятора в среде Mathcad.

Определение параметров ПИ-регулятора скорости в документе Mathcad выполняется на основе паспортных данных АД аналогично рисунку 8.1. Данные добавляются в конец документа после ранее выполненных расчетов.

Малая некомпенсированная постоянная времени	$T_m := 0.01$
Коэффициент передачи преобразователя частоты	$K_{п} := 314$
Коэффициент передачи датчика скорости	$K_{дс} := 0.032$
Эквивалентная постоянная времени электрической цепи АД:	$T_{э} := \frac{1}{\omega_0 \cdot S_K} = 0.02$
Коэффициент демпфирования второго рода	$\alpha_c := 2$
Пропорциональная составляющая регулятора скорости	$K_{рс} := \frac{\left(T_{э} + \frac{J\Delta\omega}{\beta}\right) \cdot \beta}{2\alpha_c \cdot T_m \cdot K_{п} \cdot K_{дс}} = 27.69$
Постоянная времени интегрирующей части регулятора скорости	
	$T_{рс} := \frac{\alpha_c \cdot T_m \cdot K_{п} \cdot K_{дс}}{\beta} = 0.0017$
Дифференцирующая составляющая регулятора	$K_{рсд} := T_{э} \cdot \frac{J\Delta\omega}{\beta \cdot \alpha_c \cdot T_m \cdot K_{п} \cdot K_{дс}} = 0.08$

Рисунок 8.1 – Пример расчета параметров регулятора в среде Mathcad

8.1.3 Расчет статических характеристик замкнутой системы.

Расчет статических характеристик замкнутой системы выполняется на основе полученных настроек регулятора скорости для двух значений напряжения задания скорости 5 и 10 В при изменении момента нагрузки M_c от 0 до номинального значения.

Пример расчета показан на рисунке 8.2.

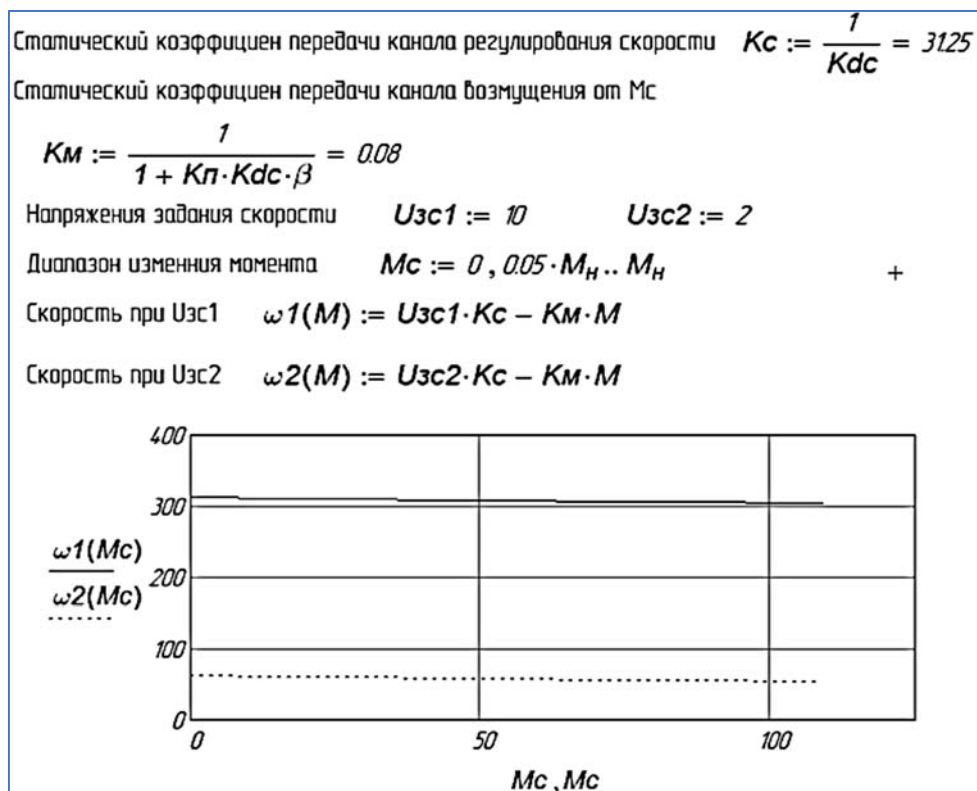


Рисунок 8.2 – Пример построения статических характеристик ЭМС

8.1.4 Экспорт данных из Mathcad в MATLAB.

Для экспорта численных данных расчета статической характеристики удобно поместить результаты расчета в единую переменную матрицу, у которой в первом столбце будут находиться данные статического момента M_c , а во втором и третьем – значения скорости ω_1 и ω_2 соответственно. Для экспорта матрицы в текстовый файл используется функция **WRITEPRN**.

Пример формирования матрицы и записи данных расчетов показан на рисунке 8.3.

Индекс строки	$i := 0..10$				
Первый столбец	$D_{i,0} := i \cdot 0.01 M_H$				
Второй столбец	$D_{i,1} := \omega_1(D_{i,0})$				
Третий столбец	$D_{i,2} := \omega_2(D_{i,0})$				
	Матрица результатов $D =$				
	Запись матрицы в текстовый файл				
	WRITEPRN ('result.txt') := D				
		0	1	2	
		0	312.5	62.5	
		1	1.09	312.42	62.42
		2	2.19	312.33	62.33
		3	3.28	312.25	62.25
		4	4.38	312.17	62.17
		5	5.47	312.09	62.09
		6	6.57	312	62
		7	7.66	311.92	61.92
		8	8.75	311.84	61.84
		9	9.85	311.75	61.75
		10	10.94	311.67	61.67

Рисунок 8.3 – Пример экспорта данных характеристик в текстовый файл

Для передачи данных с параметрами двигателя и регулятора из Mathcad в MATLAB необходимо сформировать текстовый файл. Каждая экспортируемая в этот файл переменная помещается на отдельную строку специального вектора и далее записывается с помощью **WRITEPRN**. При этом следует четко определить последовательность записи данных в массив. Экспортироваться должны следующие данные: коэффициент пропорциональной части, постоянная интегрирующей части и коэффициент дифференцирующей части регулятора, коэффициент передачи преобразователя, некомпенсируемая постоянная времени, коэффициент передачи датчика скорости, жесткость, эквивалентная постоянная времени электрической цепи, момент инерции, номинальный момент и напряжение задания скорости (рекомендуется задать в последний элемент).

Пример выполнения экспорта данных в m-файл показан на рисунке 8.4.

ORIGIN := 1	- установка первого индекса номеров столбцов и строк				
Экспортируемый массив					
$A_1 := K_{pc}$	$A_2 := T_{pc}$	$A_3 := K_{pcd}$	$A_4 := K_{п}$	$A_5 := T_m$	$A_6 := K_{dc}$
$A_7 := \beta$	$A_8 := T_{\omega}$	$A_9 := J_{\omega}$	$A_{10} := M_H$	$A_{11} := 10$	
WRITEPRN ('mlab.txt') := A экспорт параметров регулятора и двигателя в текстовый файл					

Рисунок 8.4 – Пример экспорта параметров системы из Mathcad в текстовый файл

8.1.5 Построение динамической модели в среде MATLAB/Simulink

Запуск среды *MATLAB/Simulink* выполняется аналогично п. 4.1.1. Для построения модели используются результаты, выполненные в п. 4.1.6. На вход системы следует добавить сумматор, выход которого поступает на ПИД-регулятор, выполненный из трех составляющих:

- 1) пропорциональной – блок *Gain* (из S-библиотеки *Math Operation*);
- 2) интегрирующей – последовательное соединение блоков *Gain* и *Integral* (библиотека *Continuous*);
- 3) дифференцирующей – соединение блоков *Gain* и *Derivative* (библиотека *Continuous*).

После регулятора вставляется модель преобразователя на основе блока *Transfer Fcn* (библиотека *Continuous*).

С выхода системы подается сигнал через модель датчика скорости (блок *Gain*) на отрицательный вход сумматора перед регулятором. В качестве задающего воздействия используется блок *Constant* (*Sources*) с данными напряжения задания скорости. Входы блоков *Scope* должны получаться к выходу системы (скорости вращения ротора), сигналу момента и сигналу частоты с выхода преобразователя. При необходимости можно смоделировать насыщение регулятора на уровне свыше 10 и ниже -10 с помощью блока *Saturation* (*Discontinuities*).

Пример модели системы показан на рисунке 8.5.

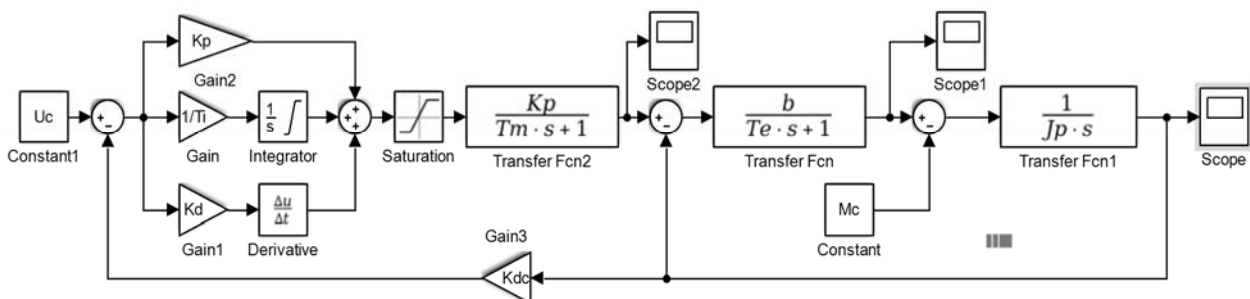


Рисунок 8.5 – Пример S-модели системы регулирования скорости АД

В параметрах блоков *Scope* следует указать на закладке *Logging* в поле *Variable name* имя переменной (например, ω , M , ω_0) и формат данных *Array*.

Пример настройки показан на рисунке 8.6.

Для импорта данных из файла, созданного в Mathcad, следует сформировать m-файл. В начале этого файла очищается командное окно и рабочая область MATLAB. Далее с помощью команды *load* из созданного в Mathcad файла загружаются расчетные данные в матрицу MATLAB. Далее элементы матрицы перераспределяются в переменные, использованные в параметрах S-модели.

Пример реализации m-файла показан на рисунке 8.7.

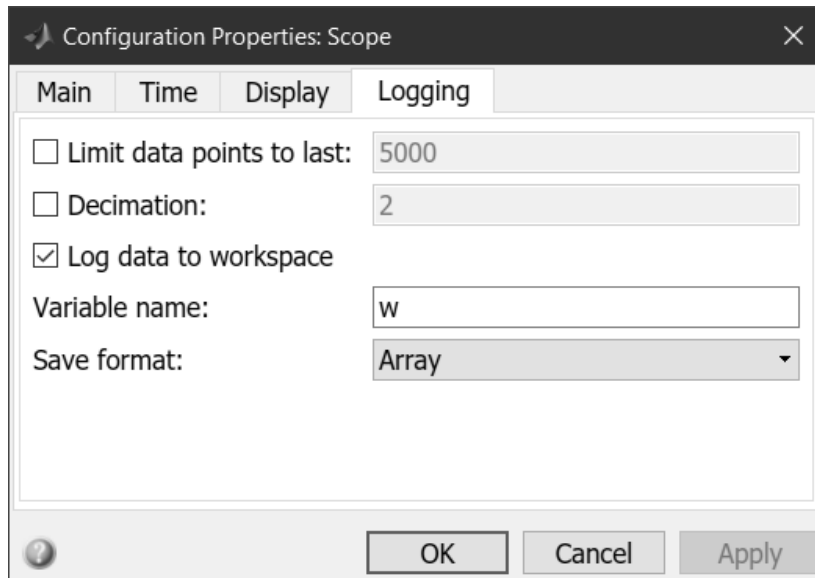


Рисунок 8.6 – Пример настройки параметров сохранения результатов в рабочей области

```

krrresse7.m x +
1 -   clc           % очистка командного окна
2 -   clear all    % удаление данных из рабочей области
3 -   A=load('mlab.txt') % загрузка данных в массив из внешнего файла
4 -   Kp=A(1)     % экспорт данных в переменные S-модели
5 -   Ti=A(2)
6 -   Kd=A(3)
7 -   Kp=A(4)
8 -   Tm=A(5)
9 -   Kdc=A(6)
10 -  b=A(7)
11 -  Te=A(8)
12 -  Jp=A(9)
13 -  Mc=A(10)
14 -  Uc=A(11)

```

Рисунок 8.7 – Пример содержание m-файла исходных данных

8.1.6 Проведение вычислительного эксперимента и экспорт данных из среды MATLAB.

Для проведения эксперимента выбирается время от 0,5 до 2 с в зависимости от параметров АД. Предварительно выполняется m-файл нажатием клавиши *F5*. Вычислительный эксперимент запускается нажатием кнопки *Run* в окне S-модели. Если результаты моделирования удовлетворительные, то выполняется их экспорт сохранения в виде графических *emf*-файлов следующим образом:

1) построить график в отдельном окне в командой ***plot*** в следующем формате:

`plot(переменная(:,1), переменная(:,2));`

- 2) включить сетку на графике командой **grid on**;
- 3) сохранить график в файл командой **saveas** в формате

```
saveas (gcf, 'имя_файла', 'emf')
```

Пример реализации записи графиков в командном окне MATLAB:

```
>> plot(w(:,1),w(:,2))
>> grid on
>> saveas(gcf,'f1','emf')
>> plot(M(:,1),M(:,2))
>> grid on
>> saveas(gcf,'f2','emf')
>> plot(w0(:,1),w0(:,2))
>> grid on
>> saveas(gcf,'f3','emf')
```

Для экспорта символьных данных в виде таблиц предварительно собираются данные в одну переменную матрицу группой команд:

```
матрица(:,1)=переменная_скорости(:,1);
матрица(:,2)=переменная_скорости(:,2);
матрица(:,3)=переменная_момента(:,2);
матрица(:,4)=переменная_частоты(:,2);
```

Пример записи численных данных в матрицу D в окне MATLAB:

```
>> D(:,1)=w(:,1);
>> D(:,2)=w(:,2);
>> D(:,3)=M(:,2);
>> D(:,4)=w0(:,2);
```

Экспорт численных данных матрицы может быть выполнен в текстовый файл командой **save**, а таблицу Microsoft Excel командой **xlswrite**.

Формат команды **save** имеет следующий вид:

```
save ('имя_файла', 'переменная', '-ascii', '-double', '-tabs').
```

Пример записи матрицы D в текстовый файл res.txt:

```
save ('res.txt', 'D', '-ascii', '-double', '-tabs')
```

Формат команды **xlswrite** имеет следующий вид:

```
xlswrite ('имя_файла', переменная)
```

Пример записи матрицы D в файл res.xls:

```
xlswrite('result',D)
```

8.1.7 Создание документа Microsoft Word в соответствии с требованиями ЕСКД.

Для создания документа Microsoft Word, соответствующего требованиям ЕСКД, используется специальный шаблон – файл explanatory_note.dot. На его основе создается новый документ, в составе которого основная надпись выполнена в колонтитулах листов. Следует сразу ее заполнить и отрегулировать,

при необходимости, параметры нумерации страниц. Также следует заполнить свойства документа.

Документ оформляется с учетом требований подраздела 8.2. При этом текст должен быть структурирован с использованием стилей шаблона.

8.1.8 Импорт данных в документ Microsoft Word.

Импорт таблиц результатов расчетов статической характеристики выполняется на отдельном листе, который оформляется как отдельное приложение (приложение А). Для вставки символьной таблицы используется лента Вставка. В правой части ленты используется пиктограмма *Вставить объект/Текст из файла*.

Аналогично выполняется вставка численных данных результатов расчета динамических характеристик в отдельное приложение (приложении Б). Можно предварительно открыть данные расчетов, экспортированные в формат *xls*-файлов в электронной таблице Microsoft Excel, или его аналога. Затем перенести их через буфер обмена Windows в документ Microsoft Word и вставить в виде объекта электронной таблицы.

При необходимости преобразовать вставленные численные данные из текстового файла в вид таблицы, затем выделить их. Далее используется на ленте *Вкладка* пиктограмма раздела *Таблица/Преобразовать в таблицу*. Затем в распахнувшемся диалоговом окне указать число столбцов и тип разделителя между столбцами.

При необходимости вставки графических данных в отдельных приложениях документа можно использовать буфер обмена (для импорта из Mathcad) или вставку из файла. В последнем случае используется раздел *Вставка/Рисунок* и указывается внешний графический файл. При вставке через буфер обмена следует использовать раздел *Вставить* на ленте *Главная*, с помощью которого выполняется выбор варианта вставки файла в векторном или растровом формате. Рекомендуется использовать векторный формат.

Согласно требованиям ГОСТ 2.105, каждый рисунок и каждая таблица имеет название и нумерацию. Для этого выполняется клик правой кнопкой мыши по рисунку или таблице. Далее в распахнувшемся всплывающем окне выбирается пункт *Вставить название*. Это вызовет раскрытие диалогового окна, показанного на рисунке 8.8.

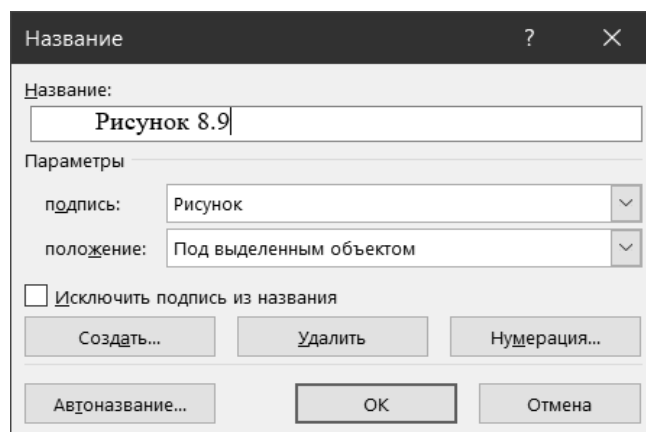


Рисунок 8.8 – Пример диалогового окна с параметрами наименования рисунка

В списке *подпись* выбирается вариант оформления: рисунок или таблица. В строке *наименование* записывается дополнительный текст наименования. Параметры нумерации можно скорректировать в специальном окне, нажав кнопку *Нумерация*.

При необходимости в начале документа вставляется его содержание, которое автоматически с помощью раздела *Ссылки/Оглавление*.

8.1.9 Создание чертежа в AutoCAD.

Для создания чертежа с основной надписью, соответствующей требованиям ГОСТ 2.104, используется специальный шаблон – *dwt*-файл для соответствующего формата. Следует вначале работы с чертежом AutoCAD заполнить данные основной надписи, выполненной в виде блока. Для этого вызывается специальное диалоговое окно редактирования параметров блока кликом мыши по его изображению на чертеже.

Вид окна редактирования атрибутов показан на рисунке 8.9.

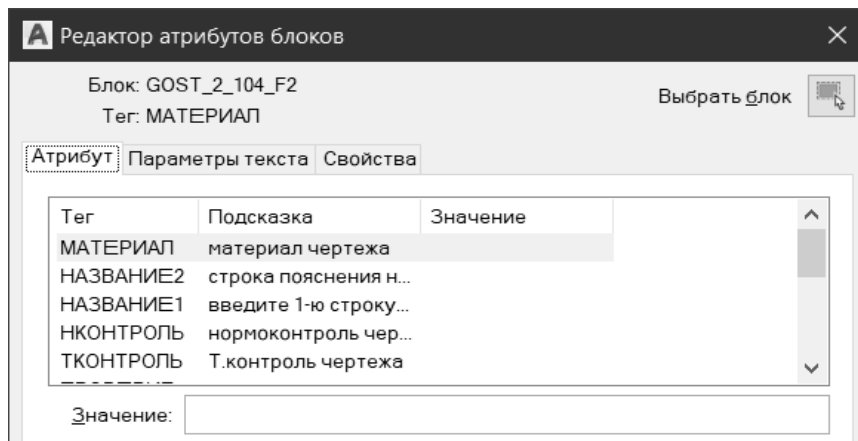


Рисунок 8.9 – Вид диалогового окна задания атрибутов блока AutoCAD

В поле *Тег* выбирается нужный атрибут, для которого в поле значение задается его текстовое содержание.

Скорректировать параметры шрифта отображаемого текста атрибута следует используя вкладку *Параметры текста* диалогового окна.

Пример настройки показан на рисунке 8.10.

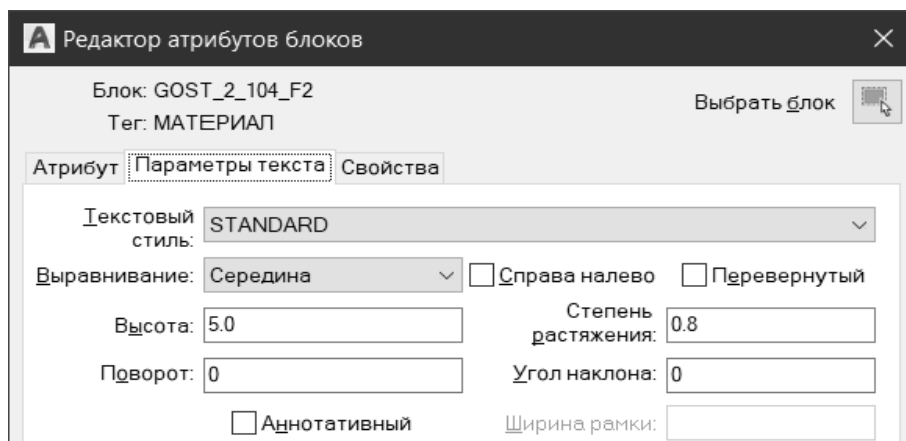


Рисунок 8.10 – Вид окна настройки параметров отображения текста атрибутов блока

Высота шрифта, коэффициент сжатия текста, углы поворота текста и наклона шрифта указываются в одноименных полях.

8.1.10 Импорт данных в чертеж из MATLAB.

Для импорта графиков из *emf*-файлов в чертеж используется команда ИМПОРТ или раздел *Файл/Импорт* классического меню AutoCAD. В распахнувшемся диалоговом окне указывается тип файла и его наименование. С помощью мыши указывается расположение и размеры изображения на чертеже. Если для вставки изображения в чертеж используется буфер обмена, то размещение изображения выполняется клавишами *Ctrl + V* с последующим указанием клавишей мыши расположения и размера изображения.

Каждый вставленный рисунок подписывается с помощью однострочного или многострочного текста.

8.1.11 Завершение работы с компьютером.

Перед завершением работы с компьютером сохраняются на мобильном устройстве или сети сформированные файлы расчетов и электронные документы Microsoft Word и AutoCAD. Ненужные файлы удаляются.

8.2 Содержание отчета

Отчет по практической работе № 8 оформляется на листах формата А4 в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105 и ГОСТ 2.104 на бумажном или электронном носителе в соответствии с приведенным ниже содержанием:

- титульный лист;
- текст индивидуального задания;
- основная надпись, выполненная в соответствии с требованиями ГОСТ 2.104;
- исходные данные задания работы;
- состав электронного документа с расчетами в среде Mathcad;
- состав *m*-файла с расчетами в среде MATLAB;
- рисунок расчета статических характеристик;
- таблица результатов расчетов динамических характеристик;
- копия содержания электронного документа AutoCAD с графиками динамических характеристик.

Контрольные вопросы

- 1 Каким образом экспортируются результаты расчетов из среды Mathcad в MATLAB?
- 2 Каким образом расчетные данные можно передать из среды MATLAB в

документы Microsoft Word?

3 Как передать таблицу результатов расчета из среды MATLAB в среду Microsoft Excel?

4 Какие методы передачи данных используются для импорта из среды MATLAB в системы компьютерной графики?

5 Какие способы импортирования табличных данных используются в среде MATLAB?

6 Какие форматы представления графических данных используются для экспорта из среды MATLAB?

7 Каким образом в среде MATLAB/Simulink настраиваются параметры блоков *Scope* для передачи данных в рабочую область MATLAB?

8 Какие способы создания новых документов используются в среде Microsoft Word?

9 Каким образом можно импортировать данные в среде Microsoft Excel?

10 Каким образом можно импортировать графические данные в среде Autodesk AutoCAD?

11 Как выполняется настройка формата графических данных при экспорте из графических окон среды MATLAB?

12 Каким образом в среде Microsoft Word выполняется настройка основной надписи, выполненной в соответствии с требованиями ГОСТ 2.104?

Список литературы

1 **Плохотников, К. Э.** Вычислительные методы. Теория и практика в среде MATLAB. Курс лекций: учебное пособие / К. Э. Плохотников. – 2-е изд., испр. – Москва: Горячая линия–Телеком, 2013. – 496 с.

2 **Гилат, А.** MATLAB. Теория и практика: пер. с англ. / А. Гилат. – 5-е изд. – Москва: ДМК Пресс, 2017. – 416 с.

3 **Тимохин, А. Н.** Моделирование систем управления с применением Matlab: учебное пособие / А. Н. Тимохин, Ю. Д. Румянцев; под ред. А. Н. Тимохина. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 256 с.

4 **Фадеева, Г. А.** Проектирование распределительных электрических сетей / Г. А. Фадеева, В. Т. Федин. – Минск: Вышэйшая школа, 2009. – 365 с.

5 **Хорольский, В. Я.** Техничко-экономические расчеты распределительных электрических сетей: учебное пособие / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов, Д. В. Петров. – Москва: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2019. – 96 с.

6 **Черных, И. В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – Москва: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.