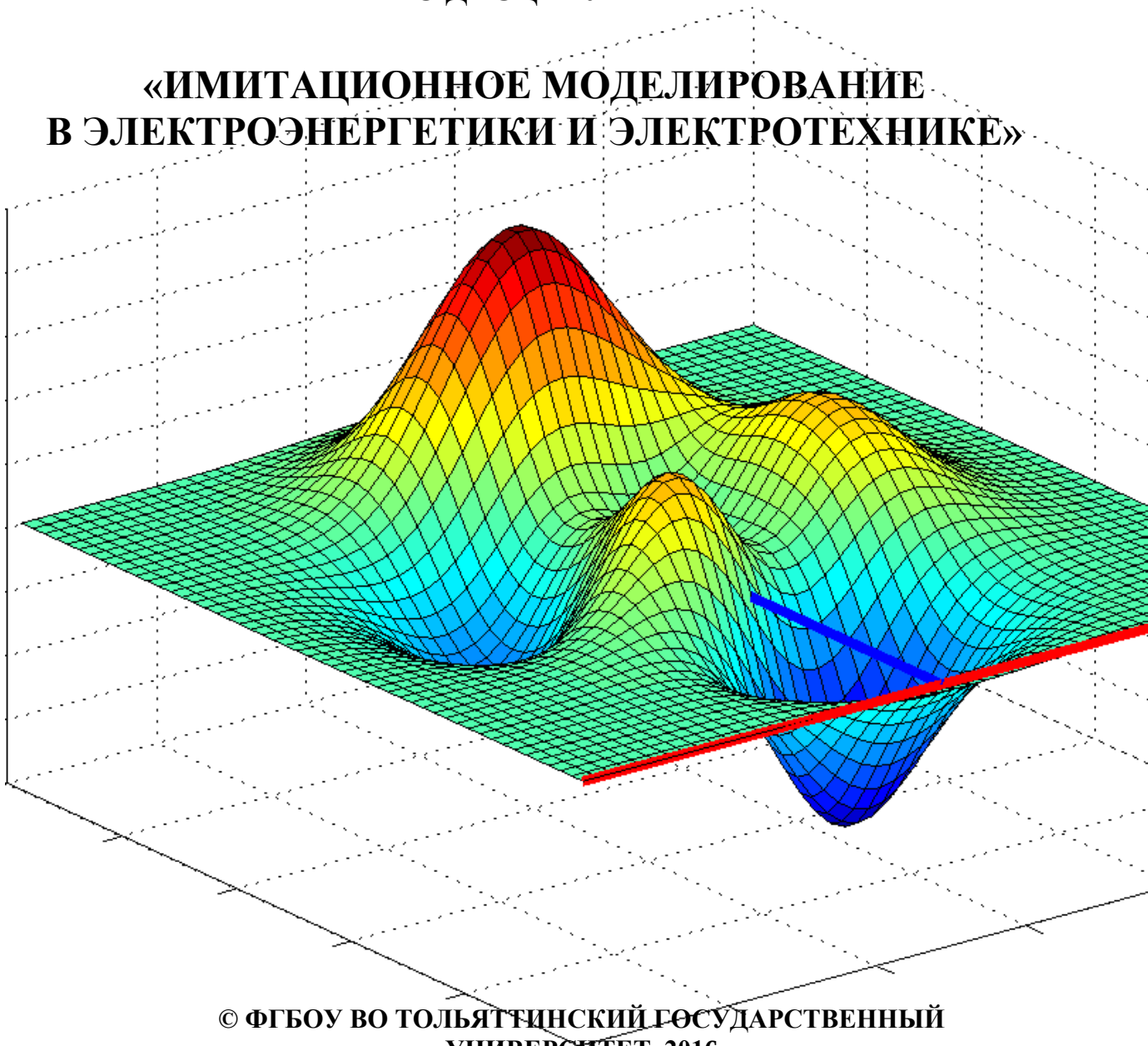
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

В. А. ДЕНИСОВ

**ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

«ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ»



© ФГБОУ ВО ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ, 2016

УДК 621.313 (075.8)
ББК 31.261

Денисов, В.А. Имитационное моделирование в электроэнергетике и электротехнике: Практикум / В.А. Денисов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016 – 28 с.

Приведены краткие сведения, цели и программы для выполнения практических заданий по курсу «Имитационное моделирование в электроэнергетике и электротехнике». Изложена методика расчета параметров и экспериментальных исследований силового трансформатора и асинхронной машины средствами виртуальной матричной лаборатории MATLAB &Simulink & Sim Power Sistem. Даны методические указания для подготовки и выполнения практических заданий.

Практикум предназначен для студентов направления подготовки магистров 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

© **ФГБОУ** Тольяттинский государственный университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……..……4

Практическое задание № 1. Расчет параметров имитационной модели силового трансформатора……6

Практическое задание №2. Исследование силового трансформатора на имитационной модели……10

Практическое задание №3. Расчет параметров модели асинхронной машины……16

Практическое задание №4. Исследование асинхронной машины на имитационной модели……21

Список рекомендуемой литературы……28

ВВЕДЕНИЕ

Цель практикума по дисциплине «Имитационное моделирование в электроэнергетике и электротехнике» состоит в овладении будущими магистрами технологиями решения исследовательских задач в электроэнергетике и электротехнике методом имитационного компьютерного моделирования. При этом ставятся следующие задачи: 1. Ознакомить студентов с основными компьютерными программами имитационного моделирования; 2. Освоить технологии имитационного моделирования в среде в среде SimPowerSystems программы MATLAB; 3. Привить умения и навыки моделирования и исследования объектов электроэнергетических и электротехнических систем. В результате освоения практикума дисциплины студент должен:

Знать: современные программно-технические комплексы, применяемые в электроэнергетике и электротехнике, методы создания моделей и анализа режимов работы систем электроснабжения; методы расчета моделей, обеспечивающие безопасность и надежность работы систем.

Уметь: анализировать информацию о состоянии модели объекта, получаемую с помощью приборов и программно-технических комплексов, решать задачи моделирования, позволяющие прогнозировать свойства и характеристики элементов электроэнергетических и электротехнических систем.

Владеть: методами создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение электроэнергетических и электротехнических систем, источниками публикаций научных достижений отечественного и зарубежного опыта в области электроэнергетики, электротехники и компьютерного моделирования.

Системы производства и передачи электрической энергии в подавляющем числе состоят из электрических машин и трансформаторов, состояние которых во многом определяет технический уровень промышленного производства и оказывает большое влияние на развитие всех областей деятельности человека. Электрические машины и трансформаторы по объему производства, по мощности и разнообразию типов находятся в постоянном разви-

тии. Вместе с тем эти элементы должны рассматриваться в комплексе с другими устройствами, преобразователями и элементами автоматического регулирования. Успехи в названных направлениях определяются развитием теории, методов моделирования и экспериментального исследований, а также методов расчета машин и трансформаторов. Многообразие и сложность физических процессов, протекающих в электрических машинах и трансформаторах, обуславливает математическое описание в виде нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка, которые трудно поддаются анализу и решению. В связи с этим, более удобно и эффективно создавать имитационные модели при использовании типового пакета MATLAB & Simulink.

В связи с этим практическое изучение и исследование силовых трансформаторов и электрических машин методом имитационного моделирования является актуальной задачей при подготовке специалистов современного уровня.

Настоящий практикум содержит материалы для исследований четырех практических заданий дисциплины «Имитационное моделирование в электроэнергетике и электротехнике». Выполнение заданий предполагает самостоятельное предварительное изучение методических материалов и рекомендуемых тем литературных источников, а также проведение необходимых расчетов и построения графиков и характеристик.

Описание текущего контроля:

Представление письменного отчета; защита практического задания;
-Ответы на контрольные вопросы.

1.Лабораторная работа «Зачтена», если студент выполнил задание в полном объеме и ответил на контрольные вопросы.

2. Лабораторная работа «Не зачтена», если студент выполнил задание не в полном объеме (менее 60%) и не ответил на большинство контрольных вопросов.

Практическое задание №1

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1. Цель работы

Приобретение практических умений и навыков определения параметров однофазного силового трансформатора на основе данных опытов холостого хода и короткого замыкания трансформатора.

2. Программа работы

1. Рассмотреть режимы работы и схемы опытов холостого хода и короткого замыкания однофазного трансформатора
2. Определить параметры однофазного трансформатора по данным опыта холостого хода.
3. Определить параметры однофазного трансформатора по данным опыта короткого замыкания.
4. Составить схемы замещения трансформатора для режимов холостого хода и короткого замыкания
5. Заключение по проделанной работе.
6. Защита работы.

3. Указания и пояснения по выполнению работы

3.1.Варианты для выполнения работы приведены в табл. 1.

Трансформаторы силовые, сухие защищенные Таблица 1

№ Варианта	Тип трансформатора	$S_{н}$, кВА	$U_{кз}$, %	Потери ,Вт		$I_{о}$, %	$U_{1н}$, В	$U_{2н}$, В
				$P_{О}$	$P_{кз}$			
1	ОСЗ-10/0,66	10	4,5	90	280	7,0	660	380
2	ОСЗ-16/0,66	16	4,5	125	400	5,8	660	380
3	ОСЗ-25/0,66	25	4,5	180	560	4,8	660	380
4	ОСЗ-40/0,66	40	4,5	250	800	4,0	660	380

5	ОСЗ-63/0,66	63	4,5	355	1090	3,3	660	380
6	ОСЗ-100/0,66	100	4,5	500	1500	2,7	660	380

3.2.Режимы работы и схемы при холостом ходе и коротком замыкании однофазного трансформатора.

Режимы холостого хода и короткого замыкания позволяет определить такие важные для практики параметры трансформатора: коэффициент трансформации; потери в магнитопроводе и обмотках трансформатора; активное сопротивление и индуктивность ветви намагничивания и активное и индуктивное сопротивление цепи короткого замыкания.

При исследовании однофазного трансформатора в опыте холостого хода (рис.1, а) к первичной обмотке трансформатора подводится регулируемые напряжение и в пределах (0,3÷1,2) $U_{\text{Н}}$ и снимаются зависимости тока I_O , мощности P_o и cosφ холостого хода от напряжения U_1. Так как ток холостого хода составляет несколько процентов от номинального тока, то потери мощности –это потери в стали магнитопровода, а электрические потери в обмотках.

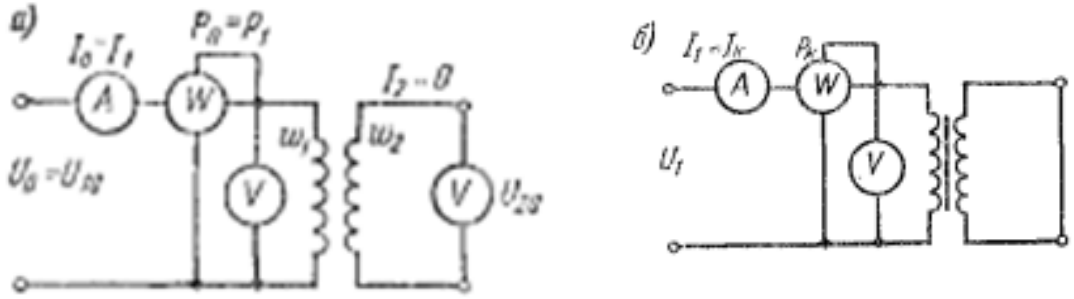


Рисунок 1 – Схемы однофазного силового трансформатора: а- опыта холостого хода; б- опыта короткого замыкания.

Опыт короткого замыкания (рис.1, б) проводится при пониженном напряжении , приложенном к первичной обмотке ($U_1 = U_{\text{кз}}$) и замкнутой накоротко вторичной обмотке.

При этом $U_2 = 0$, а токи в обмотках равны $I_{\text{Н}}$. Потери при коротком замыкании- это электрические потери в обмотках (потери в меди). Потерями в магнитопроводе можно пренебречь, так как опыт проводится при напряжении 20 раз меньшем, чем номинальное, а потери в стали пропорциональны квадрату напряжений.

3.Определение параметров однофазного силового трансформатора по данным опыта холостого хода производится в следующей последовательности. При этом определяют :

3.1.Номинальный ток первичной обмотки, А

$$I_{1\text{Н}} = \frac{S_{\text{н}}}{U}$$

3.2.Коэффициент мощности при холостом ходе

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1\text{н}} I_0}$$

3.3.Ток холостого хода трансформатора, А

$$I_0 = I_0\% \cdot I_{1\text{н}}$$

3.4. Полное сопротивление холостого хода,Ом

$$z_0 = \frac{U_{1\text{н}}}{I_0}$$

3.5. Относительное активное сопротивление ветви намагничивания,pu

$$R_m = \frac{S}{U_{1\text{н}} I_0 COS_{\varphi 0}}$$

3.6. Относительная индуктивность ветви намагничивания , pu

$$L_m = \frac{S}{U_{1\text{н}} I_0 \sqrt{1 - COS_{\varphi 0}{}^2}}$$

4. Определение параметров однофазного трансформатора по данным опыта короткого замыкания

   4.1. Напряжение короткого замыкания для первичной обмотки, В $U_{\text{кз}} = U_{\text{кз}}\% \cdot U_{1\text{н}}$

   4.2. Коэффициент мощности при коротком замыкании

$\cos\varphi_{кз}=\frac{P_{кз}}{U_{кз}I_{1н}}$

4.3. Полное сопротивление при коротком замыкании, Ом

$z_{кз}=\frac{U_{кз}}{I_{1н}}$

4.4. Активное сопротивление обмоток при коротком замыкании, Ом

$r_{кз}=z_{кз}\cdot\cos\varphi_{кз}$

4.5. Индуктивное сопротивление обмоток при коротком замыкании , Ом

$x_{кз}=z_{кз}\cdot\sin\varphi_{кз}$

4.6. Относительные активные сопротивления первичной и вторичной обмоток,……

$R_1=R_2=\frac{r_{кз}I_{1н}}{2U_{1н}}$

4.7. Относительные индуктивности рассеяния первичной и вторичной обмоток,….

$L_1=L_2=\frac{X_{кз}I_{1н}}{2U_{1н}}$

4. **Содержание отчета**

Отчет должен содержать следующие разделы:

1. Цель работы;
2. Программа работы;
3. Результаты работы: таблицы, графики;
4. Обобщение полученных результатов. Выводы;
5. Использованная литература.

Практическое задание № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ИММИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

1. Цель работы

Исследование режимов работы, рабочих характеристик и нагрузочной способности однофазного силового трансформатора.

2. Описание виртуальной лабораторной установки.

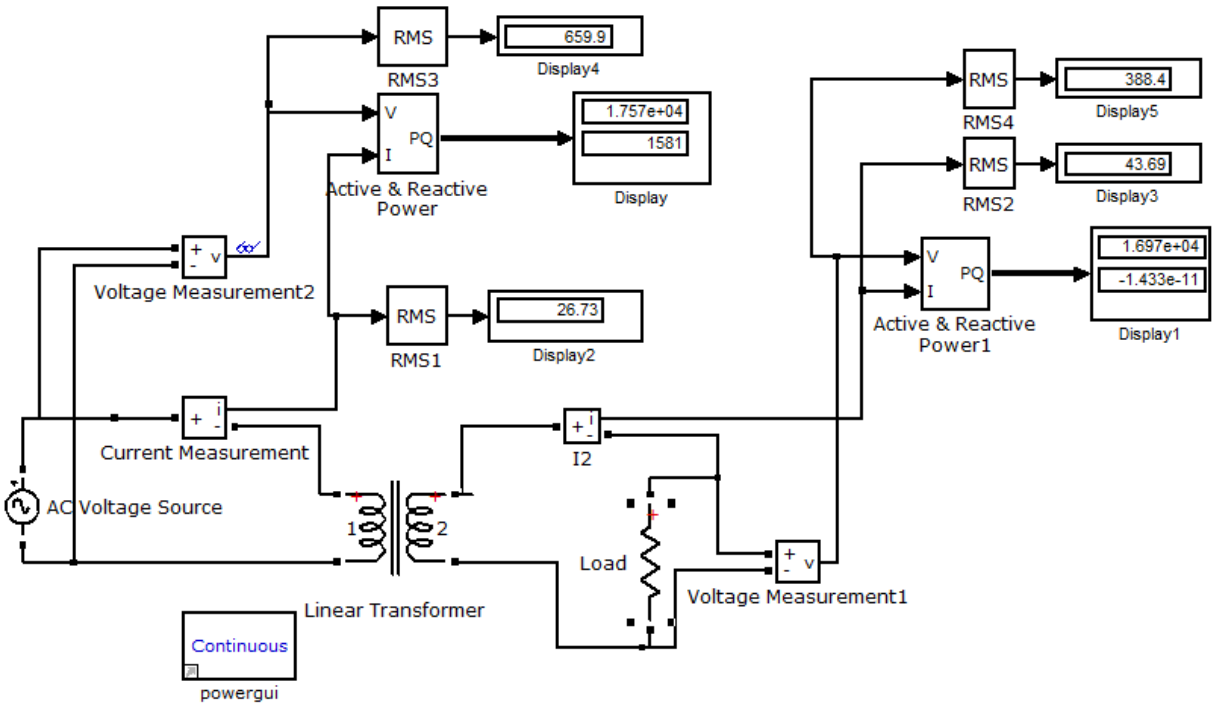


Рисунок 1 – Модель для исследования однофазного силового трансформатора

Схема модели (рис.1) содержит источник однофазного напряжения (AC Voltage Source), однофазный трансформатор (Linear Transformer) и нагрузку (Load). Перечисленные блоки находятся в библиотеке Power System Blockset / Electrical Soures, DC Machine и Elements.

Измерение напряжений и токов осуществляется приборами Display из библиотеки Simulink/ Sinks, которые подключаются через датчики Voltage

Measurement и Current Measurement из библиотеки SimPower System/ Measurement. Измерение активной и реактивной мощностей производится блоком Active & Reactive Power, а действующие значения напряжений и токов блоком RMS. Названые блоки находятся в библиотеке Sim Power System/ Extra Library/ Measurement.

В схеме модели должен присутствовать блок Powergui, который обеспечивает управление схемой.

3. Программа работы

1. Создать модель для исследования однофазного силового трансформатора, согласно схемы рис.1.
2. Задать параметры сети (AC Voltage Source), трансформатора (Linear Transformer) и нагрузки (Load), согласно табл.1 (см. практическое задание №3)
3. Снять рабочие характеристики трансформатора: КПД (η) и коэффициент мощности ($cos\varphi$)
4. Снять зависимость первичного тока от тока нагрузки -$I_1 = f(I_2)$ и нагрузочную характеристику трансформатора $U_2 = f(I_2)$
5. Заключение по проделанной работе.
6. Защита работы.

Параметры силового трансформатора Таблица 1

S, ВА	$U_{\text{Н}}$, В	$I_{\text{Н}}$, А	P_o, B_m	$P_{\text{кз}}$, B_m	$U_{\text{кз}}$, В	P_m, $p_{\text{н}}$	L_m, $p_{\text{н}}$	$R_1 = R_2$, $p_{\text{н}}$	$L_1 = L_2$ $p_{\text{н}}$	$cos\varphi$
$16 \cdot 10^3$	660	24,2	125	400	29,7	128,2	17,49	0,0124	0,018	0,135

4. Указания и пояснения по выполнению работы

1. Для создания схемы модели познакомиться с библиотекой SimPower System программы MATLAB& Simulink. Изучить тему «Трансформаторы».

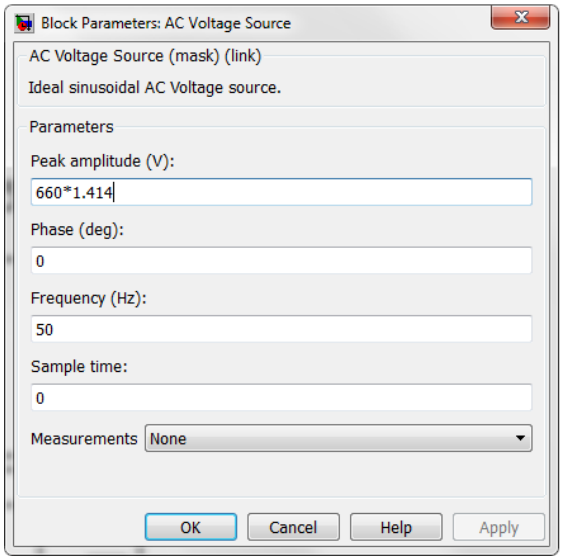


Рисунок 2 – Окно настройки модели AC Voltage Source

1.1. Открыть окно настройки модели Linear Transformer и заполнить поля настройки согласно рис.3.

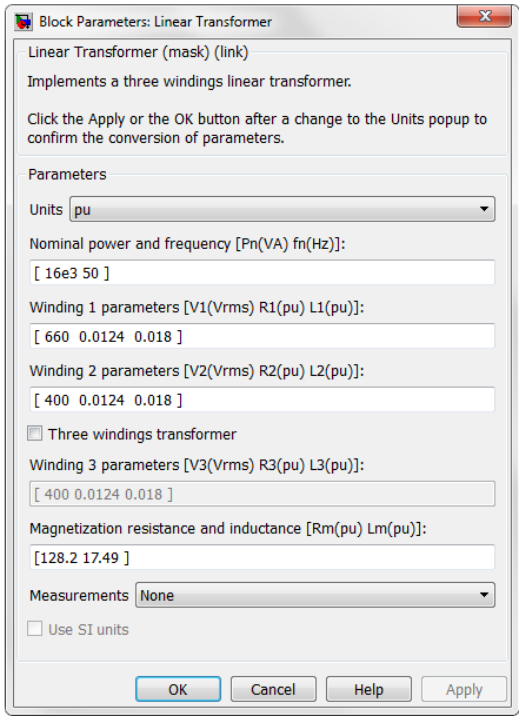


Рисунок 3 – Окно настройки модели Linear Transformer

1. Произвести настройку блоков модели в следующей последовательности:

1.1. Открыть окно настройки модели AC Voltage Source и заполнить поля настройки согласно рис. 2.

1.2. Открыть окно настройки модели блока Load и заполнить поля настройки согласно рис.4.

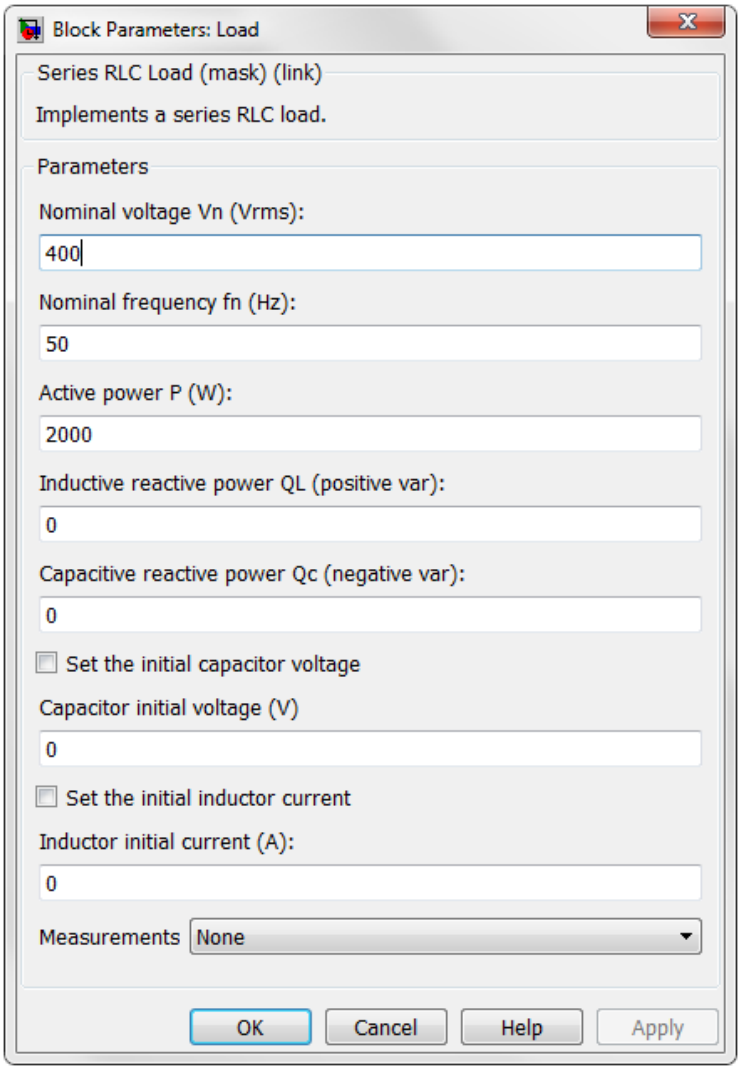


Рисунок 4 – Окно настройки модели блока Load

1.3. Открыть окно настройки параметров моделирования и заполнить поля настройки согласно рис.5.

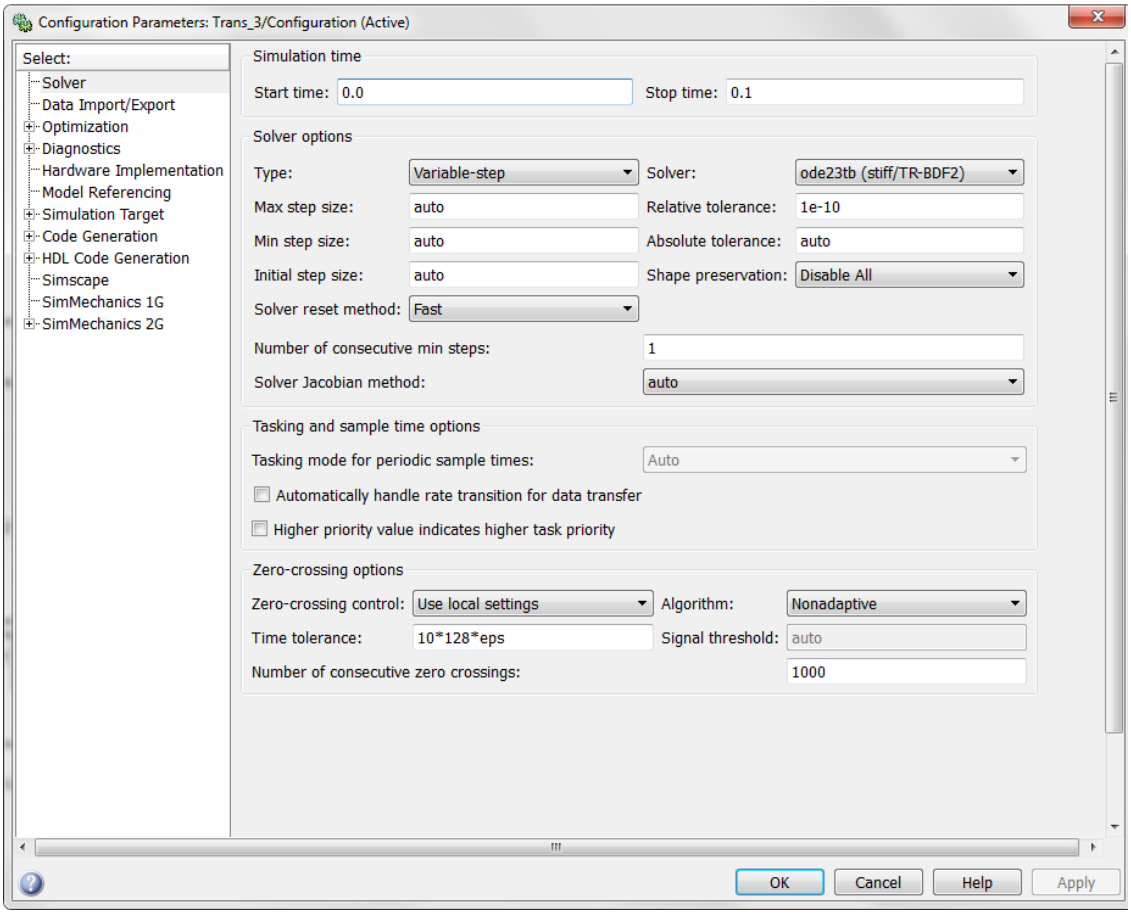


Рисунок 5 – Окно настройки параметров моделирования

2. Режим холостого хода трехфазного силового трансформатора создается путем задания в Load мощности нагрузки 0,1 Вт. Активная мощность в режиме холостого хода должна быть равна потерям в сердечнике трансформатора, а ток равен току холостого хода.

3. Опыт короткого замыкания проводится при коротком замыкании вторичной цепи. При этом напряжение источника питания должно быть равно напряжению короткого замыкания трансформатора $U_К * \sqrt{2}$.

4. Снятие нагрузочной и рабочих характеристик трансформатора производится при изменение мощности нагрузки Load. При этом для каждого заданного значения мощности осуществляется процесс моделирования путем нажатия кнопки Start simulation (имеет вид треугольника)

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие разделы:

6. Цель работы;
7. Программа работы;
8. Схема виртуальной модели
9. Результаты работы: таблицы, графики;
10. Выводы;
11. Использованная литература.

Практическое занятие №3

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ

1. Цель работы

Приобрести навыки определения параметров и построения энергетической диаграммы трехфазного асинхронного двигателя.

2. Программа работы

1. Составить и дать анализ схем замещения асинхронного двигателя.
2. Определить номинальный ток, угловую скорость вращения и номинальный момент двигателя.
3. Определить параметры трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, используя его Г- образную схему замещения.
4. Построить энергетическую диаграмму асинхронного двигателя.
5. Заключение по проделанной работе.
6. Защита работы.

Технические данные асинхронных двигателей Таблица 2.1

№ Вар.	Тип двигателя	Рн, кВт	n, об/мин	η	Cos μ	у, кг × м²	λ	S	X'м	r'1	x'1	r''2	x''2
1	4A90L2У3	4	3000	0,865	0,89	0,0059	2,5	0,04	3,4	0,054	0,055	0,036	0,099
2	4A112M2У3	7,5	3000	0,875	0,88	0,01	2,8	2900	3,7	0,046	0,058	0,028	0,14
3	4A132M2У3	11	3000	0,88	0,9	0,0225	2,8	2900	4,2	0,04	0,061	0,025	0,12
4	4A160S4У3	15	1500	0,885	0,88	0,04	3	1460	4	0,047	0,086	0,025	0,13
5	4A180S4У3	22	1500	0,9	0,9	0,19	2,3	1470	4	0,041	0,08	0,021	0,12
6	4A180M4У3	30	1500	0,91	0,89	0,23	2,3	1470	3,9	0,034	0,068	0,018	0,12

3. Указания и пояснения по выполнению работы

3.1.Варианты для выполнения работы приведены в табл. 2.1.

1.3.1. Расчёт параметров асинхронного двигателя

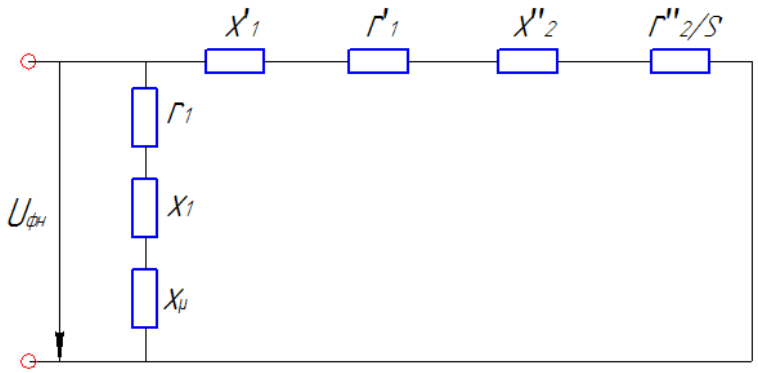


Рисунок 1 – Г-образная схема замещения асинхронного двигателя для номинального режима

В качестве примера для расчета параметров взят двигатель 4А90L2У3.

Справочные данные асинхронного двигателя:

Синхронная частота вращения $n = 3000$ об/мин

Число пар полюсов $p_n = 1$

Номинальная мощность $P_H = 4000$ Вт

КПД $\eta = 0{,}865$

Коэффициент мощности двигателя $cos\phi_н = 0{,}89$

Номинальное фазное напряжение $U_{фн} = 220$ В

Число фаз обмотки статора $m_1 = 3$

Динамический момент инерции ротора двигателя $J = 0.0059$ кг м^2

Кратность критического момента $\lambda = 2{,}5$

Номинальное скольжение $S_н = 0{,}04$

$x'_\mu = 3{,}4$; $x'_1 = 0{,}055$; $r'_1 = 0.054$; $x''_2 = 0{,}099$; $r''_2 = 0.036$ - параметры Г-образной схемы замещения.

Номинальный фазный ток статора:

$$I_{ФН} = \frac{P_2}{m_1 \cdot U_{ФН} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}. \quad (1.15)$$

По формулам, приведенным в справочнике:

$$x_1 \cong \frac{2x_1' \cdot x_\mu}{x_\mu + \sqrt{x_\mu^2 + 4x_1' x_\mu}}. \quad (1.16)$$

$$r_1 = r_1' \cdot x_1 / x_1'. \quad (1.17)$$

Коэффициент перевода относительных единиц в физические:

$$c = \frac{U_{ФН}}{I_{ФН}}. \quad (1.18)$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_S = r_1 \cdot c. \quad (1.19)$$

Взаимная индуктивность фаз статора и ротора:

$$L_m = \frac{x_\mu \cdot c}{2\pi f}. \quad (1.20)$$

Полная индуктивность фазы статора:

$$L_S = \frac{(x_\mu + x_1)c}{2\pi f}. \quad (1.21)$$

Параметры уточненной схемы замещения:

$$x_1' = c_1 \cdot x_1; \qquad r_1' = c \cdot r_1; \qquad r_2'' = c_1 \cdot r_2'; \qquad x_2'' = c_1^{\,2} \cdot x_2',$$

$$c_1 = \frac{x_1'}{x_1}. \quad (1.22)$$

Активное сопротивление обмотки ротора:

$$R_r = \frac{r_2'' \cdot c}{c_1^{\,2}}. \qquad (1.23)$$

Полная индуктивность фаз ротора:

$$L_r = \frac{(x_\mu + \frac{x_2''}{c_1^2}) \cdot c}{2\pi f} \cdot . \qquad (1.24)$$

Коэффициенты электромагнитной связи статора и ротора:

$$k_S = \frac{L_m}{L_S}., \qquad k_r = \frac{L_m}{L_r}. \quad (1.25)$$

(1.26)

Коэффициент рассеяния обмоток:

$$\sigma = (1 - k_S \cdot k_r)..\quad (1.27)$$

Переходная индуктивность статора:

$$L_S' = L_S \cdot \sigma..\qquad (1.28)$$

Переходное активное сопротивление статора:

$$R_S' = R_S + k^2{}_r \cdot R_r.\ .\quad (1.29)$$

Индуктивное сопротивление намагничивающего контура:

$$x_\mu = 2\pi \cdot L_m. \quad \text{Ом} \qquad (1.30)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статора:

$$x_{S\sigma} = 2\pi \cdot f\,(L_S - L_m). \tag{1.31}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния ротора, приведенное к статору:

$$x'_{r\sigma} = 2\pi \cdot f\,(L_r - L_m). \tag{1.32}$$

6. Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие разделы:

4. Цель работы;
5. Программа работы;
6. Схема виртуальной модели
7. Результаты работы: таблицы, графики;
8. Выводы;
9. Использованная литература.

Практическое занятие **№ 4**

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

1. Цель работы:

Снятие рабочих характеристик асинхронной машины с короткозамкнутым ротором при работе в двигательном режиме.

2. Описание виртуальной лабораторной установки

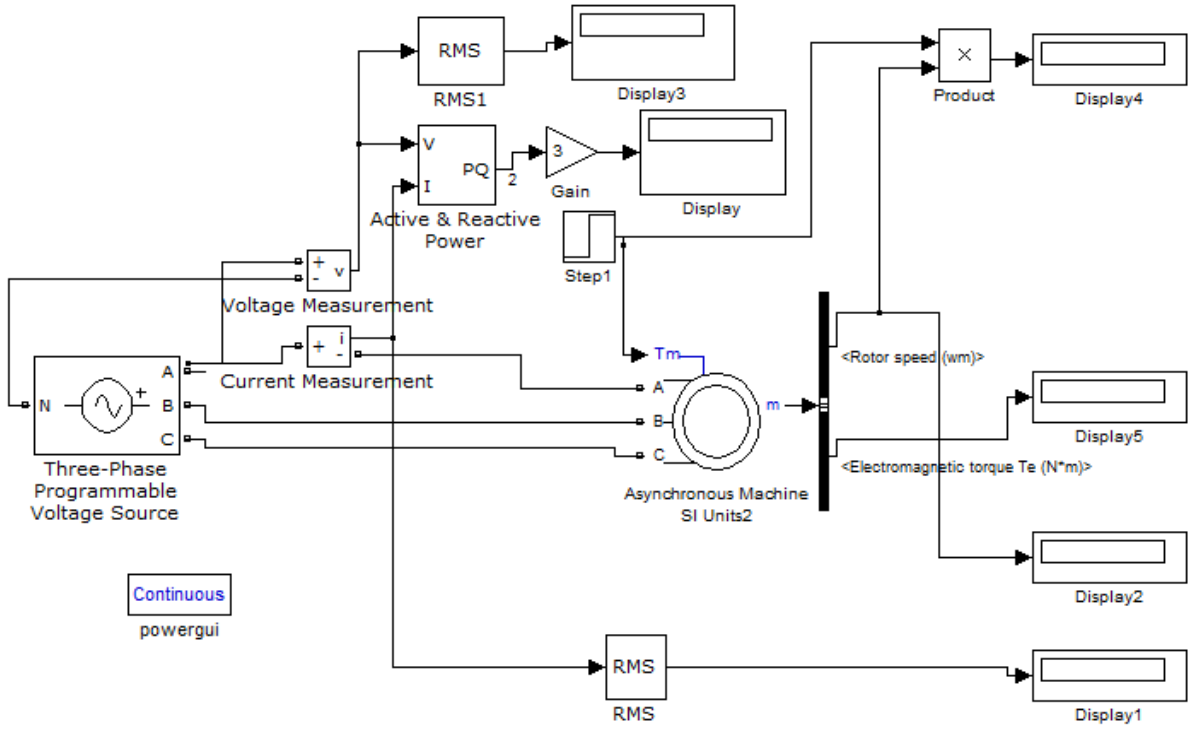


Рисунок 1 – Модель для исследования асинхронной машины с короткозамкнутым ротором.

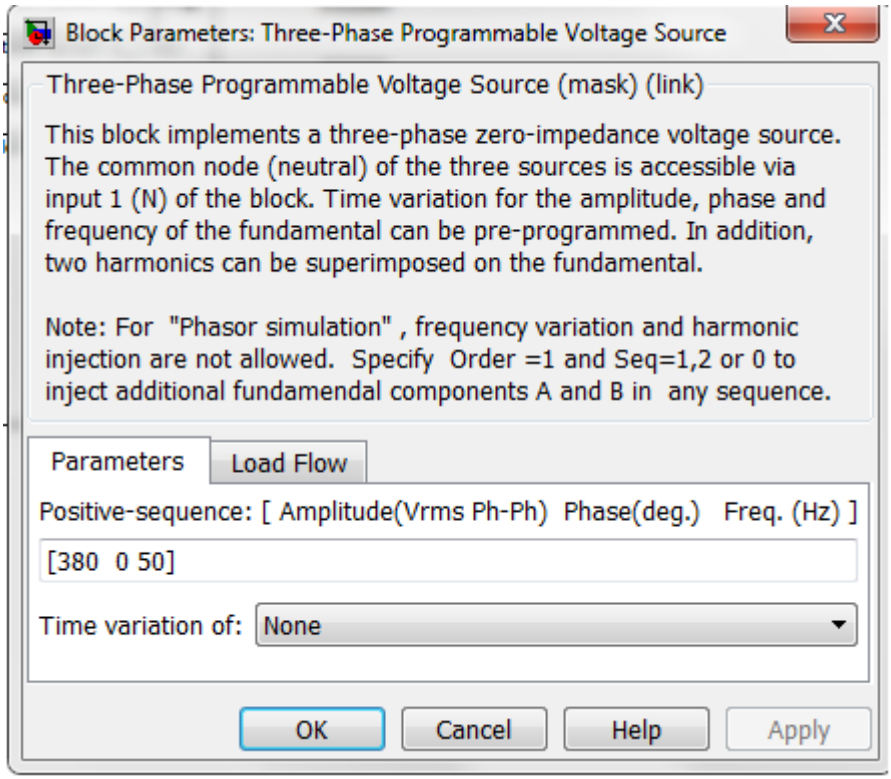
Схема модели (рис. 1) содержит трехфазный источник переменного напряжения Three-Phase Programmable voltage source из библиотеки Power system Blockset /machines. Измеритель активной и реактивной мощности PQ из библиотеки Power System Blockset /Extras/Measurement. Измерители напряжения и тока voltage Measurement, Current Measurement из библиотеки Power System Blockset/ Measurement. Измерение переменного тока машины

осуществляется через демультиплексор Bus Selector из библиотеки Simulink/Signals Routing. Результаты измерений и контроля выводятся на Display.

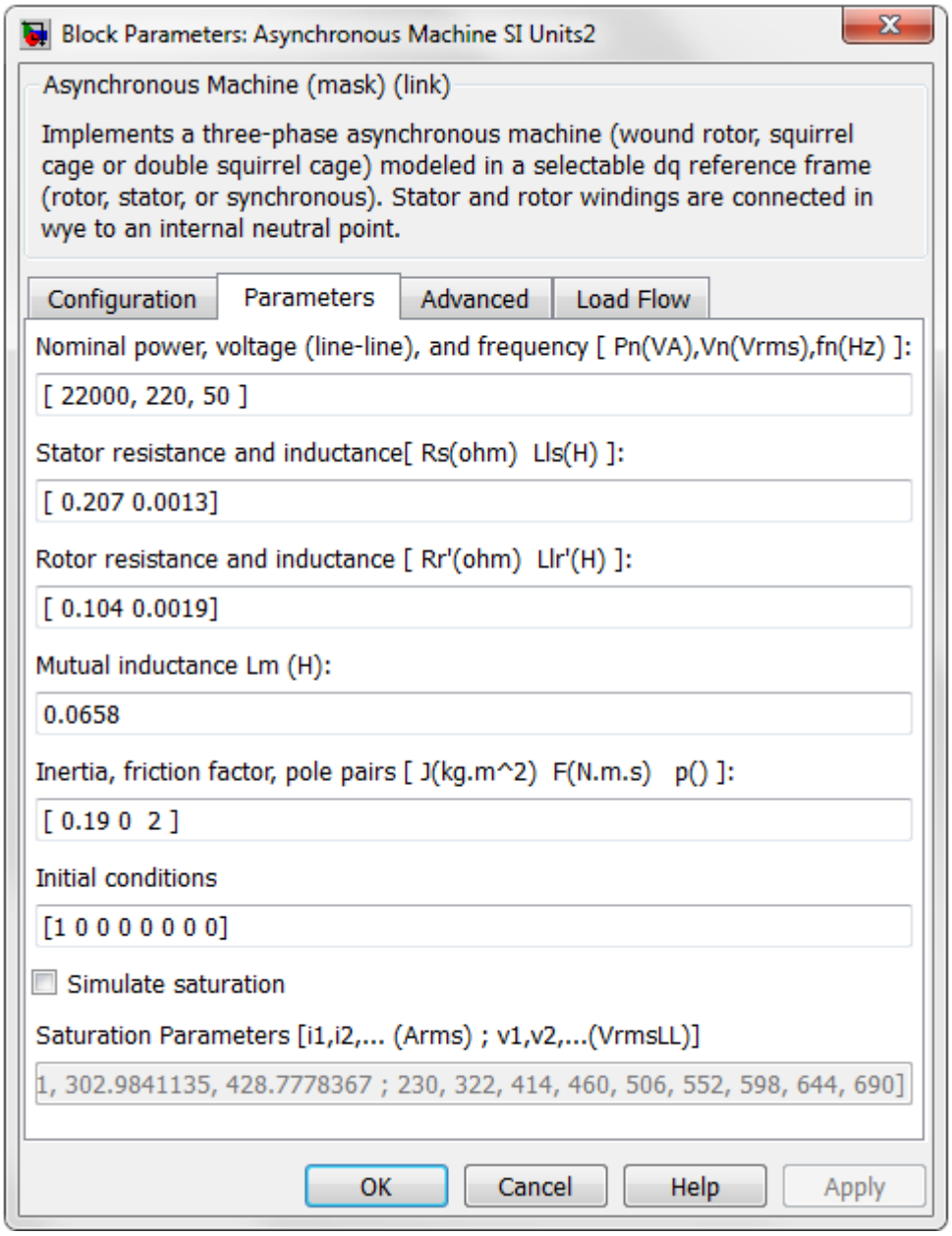
3. Программа работы

1. Собрать модель для исследования асинхронной машины с короткозамкнутым ротором, согласно схеме рис 3.1.
2. Задать параметры схемы модели.
3. Снять показания виртуальных приборов при изменении момента нагрузки на валу двигателя в пределах от 0 до 1,2 Н*М.
4. Построить рабочие характеристики двигателя.
5. Построить механическую характеристику асинхронного двигателя.
6. Заключение по проделанной работе.
7. Защита работы.

4. Указания и пояснения к выполнению работы:



3. Окно настройки параметров асинхронной машины показано на рис. 3.



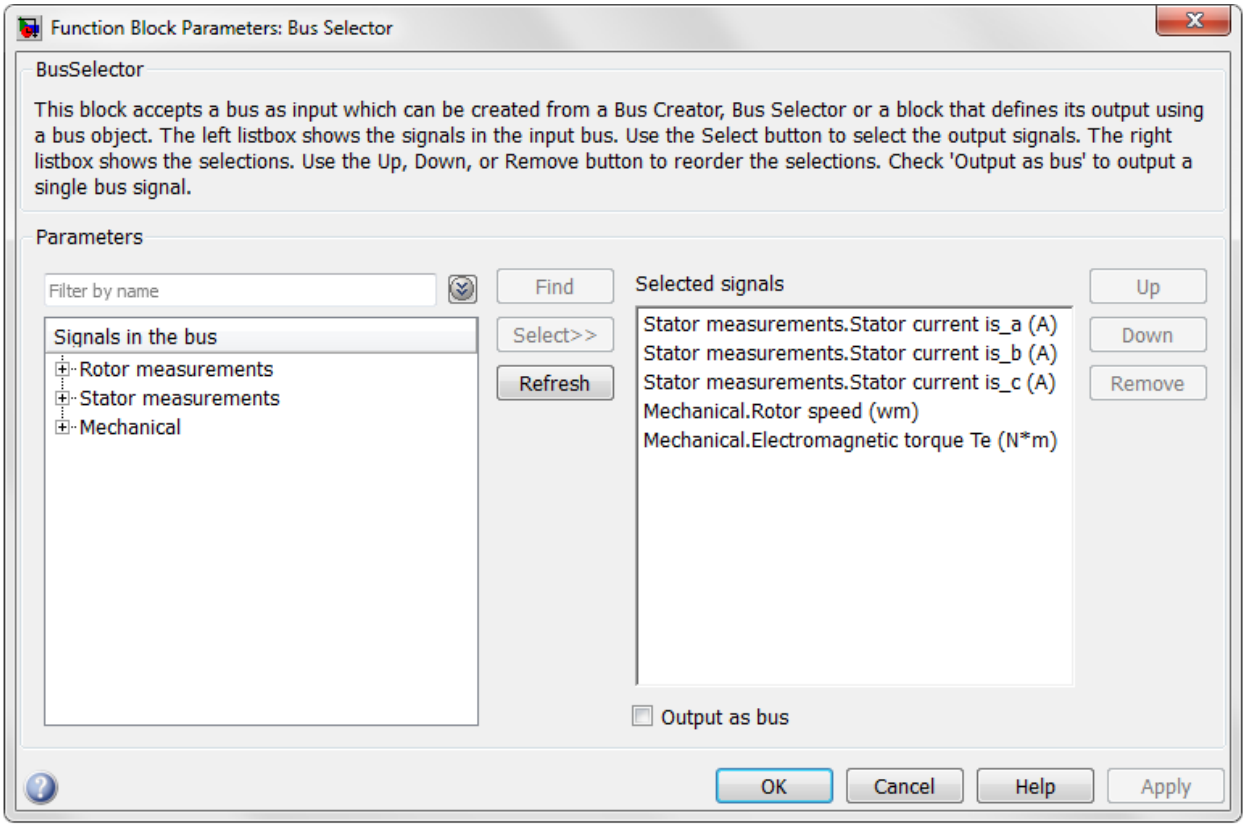
2. Окно настройки параметров источника питания (Three-Phase Programmable voltage source) показано на рис. 2. В полях окна задается:

1. При задании параметров схемы модели рис. 1 необходимо использовать результаты расчета, полученного при выполнении практического задания № 3.

В полях окна последовательно задаются: тип ротора (Rotor Type); система координат (Reference frame); мощность; номинальное линейное напряжение; частота; параметры статора; параметры ротора; параметры ветви

намагничивания; момент инерции; коэффициент вязкого трения; число пар полюсов двигателя; начальные условия моделирования (скольжение, положение ротора, токи статора и их начальные фазы). Параметры машины берутся из таблицы № 3 практического задания № 3. Номинальное линейное напряжение для машин всех вариантов равно 380 В., а коэффициент вязкого трения принять равным нулю.

5. Окно настройки параметров блока Bus Selector приведено на рис 4.



В полях исследования выбирают: токи статора (stator current is_a(A), stator current is_b(A), stator current is_c(A); скорость ротора (Rotor speed (wm)); электромагнитный момент (Electromagnetic torque Te (N*M)).

5. В окнах блока измерение мощностей (Active Reactive Power) и блоков измерения дейтсвующего фазного напряжения и тока (RMS) установить частоты равными 50 Гц.

6. Задание и измерение момента нагрузки на валу асинхронного двигателя производится в блоке Step 1. Окно настройки блока приведено на рис. 5. В полях окна задаются:

Пример выполнения задания № 4

Параметры асинхронной машины 4А180S4У3 таблица 1

№ Вар.	Рн, ВА	Iн, А	Rs,Ом	Lis	R'r	L'ir	Lm	y	Fн	P
5	22×10^3		0,21	0,0013	0,104	0,0019	0,0658	0,23	0	2

Опыт для снятия показаний виртуальных приборов производится в следующий последовательности: В начале устанавливается значение момента нагрузки Мс в окне блока Step1; затем производится моделирование путем нажатия кнопки Start.

Регистрация скорости вращения ротора осуществляется блоком Display. Регистрация составляющих активной P1 и реактивной Q1 мощности потребляемой асинхронным двигателем производится блоком Display. При этом для снятия значений Q1 необходимо увеличить размер блока Display.

Снятые показания виртуальных приборов и расчетные данные таблица 2

Мс, Н*М	W $1/c$	P1, ВА	Q1, ВАР	P2, ВА	Ia, А	S	η	Cos μ
0	157.1	78	$0{,}68 \times 10^4$	0	10		0	0,11
50	156	$0{,}8 \times 10^4$	$0{,}7 \times 10^4$	$0{,}78 \times 10^4$	17,5		0,97	0,74
75	155.6	$1{,}2 \times 10^4$	$0{,}76 \times 10^4$	$1{,}17 \times 10^4$	23,4		0,975	0,84
100	155.1	$1{,}6 \times 10^4$	$0{,}84 \times 10^4$	$1{,}55 \times 10^4$	29,8		0,97	0,88
142	154	$2{,}3 \times 10^4$	$1{,}04 \times 10^4$	$2{,}19 \times 10^4$	41,5		0,96	0,91
170	153.5	$2{,}8 \times 10^4$	$1{,}21 \times 10^4$	$2{,}61 \times 10^4$	50		0,93	0,91

```
%Построение характеристик:x1- мощность на валу;y1- по-
требляемая ьощность;y2- КПД;y3- коэффициент мощности.
x1=[0 0.78 1.17 1.55 2.19 2.61]
y1=[0.078 0.8 1.2 1.61 2.31 2.8]
y2=[0 0.97 0.975 0.96  0.95 0.93]
y3=[0.11 0.74 0.84 0.88 0.91  0.91]
plot(x1,y1,'-',x1,y2,'--',x1,y3,':'),grid
%Построение характеристик:x1- момент нагрузки на ва-
лу;y1- скорость вращения;y2- ток фазы А.
x1=[0 50 75 100 142 170]
y1=[157.1 156 155.6 155 154 153.5]
y2=[10 17.5 23.4 29.8 41.5 50]
plot(x1,y1,'-',x1,y2,'--'),grid
```

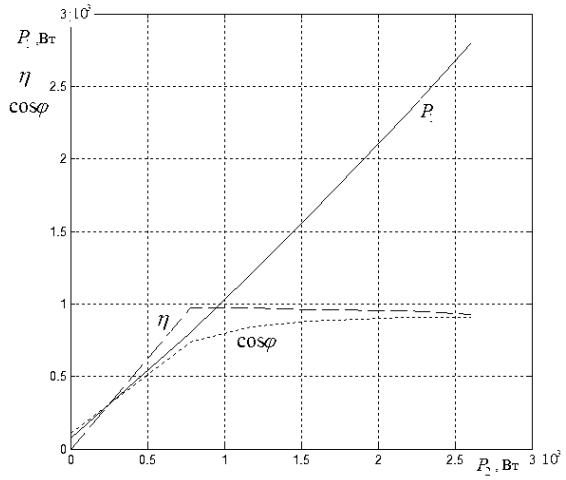


Рисунок 2 – Рабочие характеристики двигателя

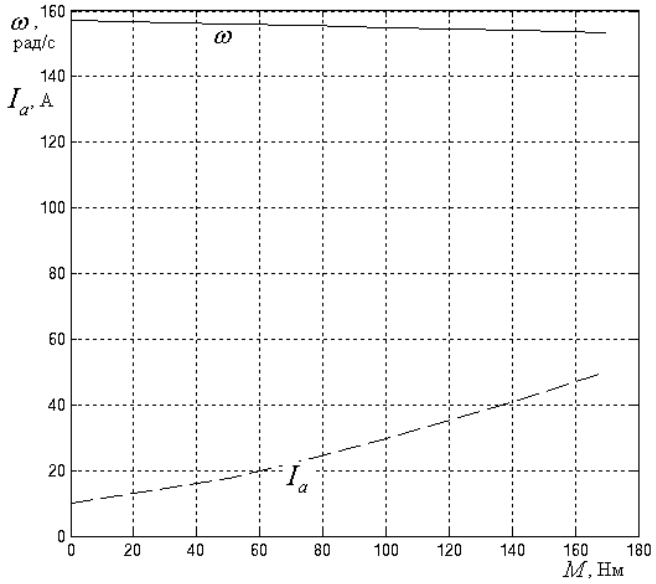


Рисунок 3 – Механическая характеристика двигателя

4. **Содержание отчета**

Отчет должен содержать следующие разделы:

10. Цель работы;
11. Программа работы;
12. Результаты работы: таблицы, графики;
13. Обобщение полученных результатов. Выводы;
14. Использованная литература.

Список рекомендуемой литературы

1. Решмин, Б. И. Имитационное моделирование и системы управления [Электронный ресурс] : учеб.-практ. пособие / Б. И. Решмин. - Москва : Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. - 74 с.
2. Гайдук, А. Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2017. - 464 с.
3. Денисов, В. А. Теория и переходные процессы электромагнитных устройств и электромеханических преобразователей энергии [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / В. А. Денисов, М. Н. Третьякова ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электрооборудование автомобилей и электромеханика". - Тольятти : ТГУ, 2014. - 108 с.
4. Динамические системы автоматического управления : учеб.-метод. пособие / сост. В. А. Денисов, М. А. Третьякова. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2011. - 77 с.