

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан МФ

 /С.Ю. Труднев/  
«23» октября 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации»**

по специальности  
по направлению подготовки  
13.03.02 «Энергетика и электротехника»  
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»  
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский  
2024

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 02.10.2024 г., протокол № 2

Составитель рабочей программы  
Старший преподаватель кафедры «ЭУЭС»

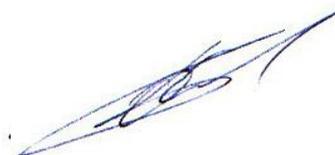


Рогожников А.О.

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»  
«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

## 1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

**Целью** преподавания дисциплины «**Моделирование СЭОиСА**» является подготовить высококвалифицированного специалиста. Основной целью политики в области качества подготовки является поддержание и повышение эффективности и безопасности морского судоходства и рыболовства региона.

**Задачи** изучения дисциплины «Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации» привить навыки работы курсантов (студентов) с математическим моделированием, применяемым для исследования тех режимов работы судового электрооборудования, которые не реализуются в заданном интервале времени или не поддаются физическому эксперименту.

**Предметом** данного курса является изучение основ математического моделирования, изучение и реализация на компьютере моделей судового электрооборудования и систем управления электроэнергетическими установками.

## 2. Требования к результатам освоения дисциплины

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника», выпускник должен обладать следующими **ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**:

1. Способен осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок. **(ПК-4)**.

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины (знать, уметь, владеть), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенция или ее часть), представлены в табл. 1.

Код компетенции	Планируемые результаты освоения образовательной программы	Код и наименования индикатора достижения компетенции	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ПК-4	Способен осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок	ИД-1 <sub>ПК-4</sub> . Знает устройство (конструкцию) электрооборудования и устройств автоматики	<b>Знать:</b> – современные методы диагностики и ремонта электрического и электронного оборудования.	<b>З(ПК-4)1</b>
		ИД-2 <sub>ПК-4</sub> . Знает назначение и технические характеристики электрооборудования и устройств автоматики, электрорадионавигационных систем, судового технологического и бытового оборудования	<b>Уметь:</b> – проводить сбор и анализ данных о режимах работы судового электрооборудования.	<b>У(ПК-4)1</b>
		ИД-3 <sub>ПК-4</sub> . Умеет анализировать параметры технического состояния электрооборудования ИД-4 <sub>ПК-4</sub> . Умеет работать с технической документацией по эксплуатации электрооборудования и автоматики	<b>Владеть:</b> – способностью к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, самообразованию и постоянному совершенствованию в профессиональной, интеллектуальной, культурной и нравственной деятельности.	<b>В(ПК-4)1</b>

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Рабочая программа дисциплины «Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации» является частью основной профессиональной образовательной программы.

Место учебной дисциплины в структуре ООП. Дисциплина **«Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации»** относится к части, формируемой участниками образовательных отношений в структуре основной профессиональной образовательной программы ФГОС ВО профессиональный цикл.

#### *Связь с предшествующими и последующими дисциплинами*

Изучение дисциплины «Моделирование СЭОиСА» базируется на знании следующих дисциплин: «Математика», «Информационные технологии», «Теоретические основы электротехники», «Судовые электрические машины», «Автоматизированный электропривод», «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника», а также прохождении учебной и производственной практики, дающих представление о судне в целом и организации службы на судах.

Теоретические знания, полученные при изучении дисциплины, являются базовыми знаниями при изучении следующих дисциплин: «Микропроцессорные системы управления», «Судовые автоматизированные электроэнергетические системы» и могут быть использованы при проведении научно-исследовательских работ студентов и написании выпускной квалификационной работы.

## 4. Содержание дисциплины

### 4.1 Тематический план дисциплины

Тематический план дисциплины очная форма обучения представлен в табл. 3

Тематический план дисциплины заочная форма обучения

Таблица 4

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний З.Е.
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Раздел 1. Основные понятия о моделях и моделировании.</b> Тема 1. Модели и моделирование. Особенности моделирования СЭОиСА.	10					10	Конспекты лекций по темам, защита отчета по ЛР	
Тема 2. Виды и средства моделирования.	12	2	2			10		
Тема 3. Математические модели.	8					8		
<b>Раздел 2. Моделирование судовых электроэнергетических систем и их элементов.</b> Тема 4. Математические модели трансформаторов	12	2			2	10		
Тема 5. Моделирование синхронных генераторов и генераторных агрегатов.	12	2	2			10		
Тема 6. Моделирование электроприводов с асинхронными двигателями.	12	2			2	10		
Тема 7. Моделирование полупроводниковых преобразователей электрической энергии.	12	2			2	10		
Тема 8. Моделирование электроприводов с двигателями постоянного тока.	12	2			2	10		
Тема 9. Моделирование электроэнергетической системы с одним синхронным генератором.	12	2	2			10		
Тема 10. Моделирование автономной электроэнергетической системы с одной электростанцией.	13	2			2	11		
<b>Раздел 3. Моделирование гребных электрических установок.</b> Тема 11. Моделирование гребных электрических установок переменного тока.	10					10		
Тема 12. Моделирование гребных электрических установок постоянного тока.	10					10		
<b>Экзамен</b>	<b>9</b>						Опрос, тест	<b>9</b>
<b>Всего</b>	<b>144</b>	<b>16</b>	<b>6</b>		<b>10</b>	<b>119</b>		<b>9</b>

### 4.2. Содержание дисциплины

#### Раздел 1. Основные понятия о моделях и моделировании.

Тема 1. Модели и моделирование. Особенности моделирования СЭОиСА.

*Лекция 1.* Рассматриваемые вопросы: Основные понятия о моделях и моделировании. Определение модели. Критерии подобия. Особенности моделирования СЭОиСА.

*Лабораторное занятие 1.* Моделирующий пакет MATLAB, Установка пакета. [2,5,6].

*Лабораторное занятие 2.* Знакомство с правилами работы в среде моделирования MATLAB. [2,5,6].

Тема 2. Виды и средства моделирования.

*Лекция 2.* Виды и средства моделирования. Рассматриваемые вопросы: Виды моделирования. Технические средства моделирования. Программные средства моделирования.

Тема 3. Математические модели.

*Лекция 3.* Математические модели. Рассматриваемые вопросы: Типы моделей. Характеристики моделей. Этапы моделирования.

*Основные понятия:* Понятие моделирования. Определение модели. Особенности моделирования СЭОиСА. Моделирующий пакет MATLAB, Виды моделирования. Технические средства моделирования. Программные средства моделирования. Типы моделей. Характеристики моделей. Этапы моделирования. Требования к математическим моделям.

*Вопросы для самоконтроля:*

1. Что такое моделирование.
2. Дайте определение модели.
3. Перечислите особенности моделирования СЭОиСА..
4. Перечислите виды моделирования и дайте их характеристику.
5. Какие технические средства применяются при моделировании.
6. Дайте краткую характеристику программных средств моделирования.
7. Дайте краткую характеристику моделирующего пакета MATLAB,
8. Перечислите этапы моделирования.
9. Перечислите требования к математическим моделям.

*Литература по разделу* [1,2,5,6].

## **Раздел 2. Моделирование судовых электроэнергетических систем и их элементов.**

Тема 4. Математические модели трансформаторов.

*Лекция 4.* Рассматриваемые вопросы: Основные характеристики трансформатора как объекта моделирования. Структура потерь в трансформаторе и их источники. Основные коэффициенты трансформатора.

*Лабораторное занятие 3.* Исследование однофазного трансформатора. Подготовка модели к компьютерной реализации [6, Лабораторная работа 1].

*Лабораторное занятие 4.* Исследование однофазного трансформатора. Реализация модели и её исследование [6, Лабораторная работа 1].

Тема 5. Моделирование синхронных генераторов и генераторных агрегатов.

*Лекция 5.* Рассматриваемые вопросы: Характеристика синхронных генераторов как объектов моделирования. Особенности создания моделей синхронных генераторов. Подходы к созданию моделей синхронных генераторов.

*Лабораторное занятие 5.* Исследование моделей синхронного генератора. Подготовка модели к компьютерной реализации [1, с.101-110].

*Лабораторное занятие 6.* Реализация выбранной модели синхронного генератора и её исследование [1, с.101-110].

Тема 6. Моделирование электроприводов с асинхронными двигателями.

*Лекция 6.* Рассматриваемые вопросы: Математическое описание процессов в асинхронных машинах. Идеализированная асинхронная машина. Типы асинхронных машин и их математические модели.

*Лабораторное занятие 7.* Исследование моделей асинхронного двигателя. Выбор и подготовка модели к компьютерной реализации [1, с.110-115].

*Лабораторное занятие 8.* Исследование механических характеристик асинхронного двигателя. [6, Лабораторная работа 5].

Тема 7. Моделирование полупроводниковых преобразователей электрической энергии.

*Лекция 7.* Рассматриваемые вопросы: Области применения полупроводниковых преобразователей электрической энергии на судах. Подходы к моделированию полупроводниковых преобразователей электрической энергии. Примеры моделей полупроводниковых преобразователей электрической энергии [1, с.41-58].

*Лабораторное занятие 9.* Моделирование силовых транзисторных ключей. Выбор и подготовка модели к компьютерной реализации [3, с.147-162].

*Лабораторное занятие 10.* Исследование моделей силовых транзисторных ключей с помощью пакета MATLAB [3, с.147-162].

*Лабораторное занятие 11.* Автономные инверторы в системах электропривода переменного тока.

Выбор и подготовка модели к компьютерной реализации [3, с.171-191].

*Лабораторное занятие 12.* Исследование модели автономного инвертора напряжения. Реализация модели на компьютере [6, Лабораторная работа 6].

Тема 8. Моделирование электроприводов с двигателями постоянного тока.

*Лекция 8.* Рассматриваемые вопросы: Математические модели машин постоянного тока.

Подходы к созданию моделей ДПТ [1, с.58-61].

*Лабораторное занятие 13.* Исследование механических характеристик двигателя постоянного тока параллельного возбуждения. Подготовка модели к компьютерной реализации [6, Лабораторная работа 2].

*Лабораторное занятие 14.* Исследование механических характеристик двигателя постоянного тока параллельного возбуждения. Реализация модели на компьютере [6, Лабораторная работа 2].

*Лабораторное занятие 15.* Моделирование процесса пуска двигателя постоянного тока с пусковым реостатом, переключаемым в функции времени. Подготовка модели к компьютерной реализации [6, Лабораторная работа 3].

*Лабораторное занятие 16.* Моделирование процесса пуска двигателя постоянного тока с пусковым реостатом, переключаемым в функции времени. Реализация модели на компьютере [6, Лабораторная работа 3].

*Лабораторное занятие 17.* Моделирование процессов реверса и торможения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Подготовка модели к компьютерной реализации. [6, Лабораторная работа 4].

*Лабораторное занятие 18.* Моделирование процессов реверса и торможения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Реализация модели на компьютере [6, Лабораторная работа 4].

Тема 9. Моделирование электроэнергетической системы с одним синхронным генератором.

*Лекция 9.* Рассматриваемые вопросы: Подходы к моделированию судовой электроэнергетической системы. Методы упрощения структуры СЭС [1, с.123-135].

Тема 10. Моделирование автономной электроэнергетической системы с одной электростанцией.

*Лекция 10.* Рассматриваемые вопросы: Особенности моделирования судовых СЭС. Типовая СЭС, принятая к моделированию. Моделирование режимов СЭС [1, с.140-150].

*Основные понятия:* Математические модели трансформаторов. Моделирование синхронных генераторов и генераторных агрегатов. Моделирование электроприводов с асинхронными двигателями. Моделирование полупроводниковых преобразователей электрической энергии. Моделирование электроприводов с двигателями постоянного тока. Моделирование электроэнергетической системы с одним синхронным генератором. Моделирование автономной электроэнергетической системы с одной электростанцией.

*Вопросы для самоконтроля:*

1. Перечислите основные характеристики трансформатора как объекта моделирования.
2. Опишите алгоритм исследования однофазного трансформатора.
3. Перечислите характеристики синхронных генераторов как объектов моделирования.

4. Перечислите особенности создания моделей синхронных генераторов.
5. Опишите подходы к созданию моделей синхронных генераторов.
6. Опишите алгоритм исследования модели синхронного генератора.
7. Математическое описание процессов в асинхронных машинах.
8. Типы асинхронных машин и их математические модели.
9. Опишите алгоритм выбора и подготовки модели асинхронного двигателя к компьютерной реализации.
10. Моделирование полупроводниковых преобразователей электрической энергии.
11. Моделирование силовых транзисторных ключей.
12. Автономные инверторы в системах электропривода переменного тока.
13. Моделирование электроприводов с двигателями постоянного тока.
14. Подходы к моделированию судовой электроэнергетической системы.
15. Методы упрощения структуры СЭС.
16. Особенности моделирования судовых СЭС.
17. Типовая СЭС, принятая к моделированию.

*Литература:* [1, 2,3,5,6].

### **Раздел 3. Моделирование гребных электрических установок.**

Тема 11. Моделирование гребных электрических установок переменного тока.

*Лекция 11.* Рассматриваемые вопросы: Особенности ГЭУ как объекта моделирования.

Уравнения, описывающие систему судно – гребной электропривод. Моделирование элементов цепи главного тока [1, с.161-176].

Тема 12. Моделирование гребных электрических установок постоянного тока.

*Лекция 12.* Рассматриваемые вопросы: Моделирование ГЭУ постоянного тока по системе генератор-двигатель [1, с.182-191].

*Основные понятия:* Особенности ГЭУ как объекта моделирования. Уравнения, описывающие систему судно – гребной электропривод. Моделирование элементов цепи главного тока. Моделирование ГЭУ постоянного тока по системе генератор-двигатель.

*Вопросы для самоконтроля:*

1. Перечислите особенности ГЭУ как объекта моделирования.
2. Приведите уравнения, описывающие систему судно – гребной электропривод.
3. Моделирование элементов цепи главного тока.
4. Опишите алгоритм моделирования ГЭУ постоянного тока по системе генератор-двигатель.

*Литература:* [1, 2].

## **5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся**

### **5.1. Внеаудиторная самостоятельная работа курсантов / студентов**

Основными формами самостоятельной работы студентов при освоении дисциплины являются: проработка вопросов, выносимых на самостоятельное изучение, изучение основной и дополнительной литературы, конспектирование материалов, подготовка к лабораторным занятиям (к практическим – студентам заочной формы обучения), подготовка к промежуточной аттестации.

Студентам заочной формы обучения необходимо параллельно с изучением теории выполнить контрольную работу. Во время экзаменационно-лабораторной сессии защитить контрольную работу и сдать экзамен по дисциплине.

#### **Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение:**

Моделирующая система MATLAB. [5] с.5-12, [2], [3].

Основные инструменты Simulink.[5] с.12-30, [2], [3].

Источники электрической энергии Electrical Sources.[5] с.30-39, [2], [3].

Измерительные и контрольные устройства. [5], с.39-45, [2], [3].

Sinks – источники и приемники сигналов. [5], с. 45-53, [2], [3].  
Электротехнические элементы ELEMENTS. [5], с. 53-70, [2], [3].  
Устройства силовой электроники – POWER ELECTRONIKS. [5], с. 70-81, [2], [3].  
Электрические машины MACHINES. [5], с.81-102, [2], [3].  
Моделирование электромеханических систем. [5], с.120-131, [2], [3].  
Методы упрощения структуры СЭС. Два подхода к построению математических моделей СЭС. [1], с.123-128.  
Моделирование СЭС с учетом управления ее режимами. [1], с.129-135.

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Фонд оценочных средств для проведения аттестации, обучающихся по дисциплине представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

### **Вопросы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (экзамен)**

1. Типы моделей.
2. Виды моделирования.
3. Подходы к моделированию сложных систем.
4. Построение концептуальной модели сложной системы и ее формализация.
5. Технические и программные средства моделирования.
6. Требования к математическим моделям.
7. Этапы моделирования.
8. Математические модели синхронной машины.
9. Математические модели асинхронного двигателя.
10. Математические модели машин постоянного тока.
11. Принципы структурного моделирования на ЭВМ.
12. Методика машинного моделирования.
13. Методика моделирования электрических машин.
14. Математические модели полупроводниковых преобразователей электроэнергии
15. Математические модели автоматических регуляторов напряжения синхронных генераторов
16. Математические модели первичных двигателей и их автоматических регуляторов частоты вращения.
17. Модель системы автоматической синхронизации генераторов.
18. Моделирование ДПТ со стартером.
19. Моделирование основных элементов СЭС
20. Моделирование ДПТ с электронным регулятором.
21. Моделирование синхронных генераторов и генераторных агрегатов
22. Моделирование электроприводов с асинхронными двигателями.
23. Моделирование электроприводов с двигателями постоянного тока
24. Методы упрощения структуры СЭС

25. Два подхода к построению математических моделей СЭС
26. Моделирование СЭС с учетом управления ее режимами
27. Моделирование ГЭУ переменного тока с асинхронным гребным электродвигателем.

## **7. Рекомендуемая литература**

### **7.1. Основная литература**

1. Баранов А.П., Раимов М.М. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации. С-П «Элмор», 1987, 231 с.

### **7.2. Дополнительная литература**

2. Черных И. Simulink. Среда создания инженерных приложений. М.: Диалог – МИФИ, 2004, 312 с.
3. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. — СПб.: КОРОНА, 2001. — 320 с.

### **7.3. Методическое обеспечение:**

4. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации: методические указания к самостоятельной и контрольной работам для курсантов и студентов специальности 26.05.07 "Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики" очной и заочной форм обучения / Л. А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский: Камчат-ГТУ, 2016. – 39 с.
5. Моделирование электротехнических и радиотехнических устройств в среде MATLAB – Sim Power System: учебно-методическое пособие для курсантов и студентов специальностей 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» и 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» / сост. Л. А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – 85 с.
6. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматики: лабораторный практикум для курсантов и студентов специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» очной и заочной форм обучения / Л.А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2013. – 39с.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Электронно-библиотечная система «eLibrary»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

В настоящее время при изучении процессов, которые не могут быть осуществлены в лабораторных условиях или сопряжены с аварийными ситуациями, широко используется моделирование. Метод моделирования позволяет преодолеть трудности, которые в ряде случаев оказываются непреодолимыми при экспериментальных или аналитических исследовательских работах. Метод моделирования может стать единственным способом исследования тех объектов, которые не реализуются в заданном интервале времени или не поддаются физическому эксперименту.

При изучении дисциплины рассмотрены общие вопросы моделирования, математические модели судовых электрических машин переменного и постоянного тока, полупроводниковых преобразователей энергии, электроэнергетических систем и некоторых средств их автоматизации, принципы построения машинных компьютерных моделей.

**Рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям** Лекции являются основным видом учебных занятий в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных взглядов и освещение основных проблем изучаемой области знаний. Значительную часть теоретических знаний студент должен получать самостоятельно из рекомендованных основных и дополнительных информационных источников (учебников, Интернет-ресурсов, электронной образовательной среды университета). В тетради для конспектов лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие в ходе лекций, рекомендуется делать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю. После окончания лекции рекомендуется перечитать записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к практическим занятиям и лабораторным работам, экзамену, контрольным тестам, коллоквиумам, при выполнении самостоятельных заданий.

**Рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям.** Для подготовки к практическим занятиям необходимо заранее ознакомиться с перечнем вопросов, которые будут рассмотрены на занятии, рекомендуемой основной и дополнительной литературы. Необходимо прочитать соответствующие разделы из основной и дополнительной литературы, рекомендованной преподавателем, выделить основные понятия и процессы, их закономерности и движущие силы и взаимные связи. При подготовке к занятию не нужно заучивать учебный материал. На практических занятиях нужно выяснять у преподавателя ответы на интересующие или затруднительные вопросы, высказывать и аргументировать свое мнение.

**Рекомендации по организации самостоятельной работы.** Самостоятельная работа включает изучение учебной литературы, поиск информации в сети Интернет, подготовку к практическим занятиям, экзамену, выполнение самостоятельных практических заданий (рефератов, расчетно-графических заданий/работ, оформление отчетов по лабораторным работам и практическим заданиям, решение задач, изучение теоретического материала, вынесенного на самостоятельное изучение, изучение отдельных функций прикладного программного обеспечения и т.д.).

**Подготовка к экзамену.** При подготовке к экзамену большую роль играют правильно подготовленные заранее записи и конспекты. В этом случае остается лишь повторить пройденный материал, учесть, что было пропущено, восполнить пробелы, закрепить ранее изученный материал. В ходе самостоятельной подготовки к экзамену при анализе имеющегося теоретического и практического материала курсанту (студенту) также рекомендуется проводить постановку различного рода задач по изучаемой теме, что поможет в дальнейшем выявлять критерии принятия тех или иных решений, причины совершения определенного рода ошибок. При ответе на вопросы, поставленные в ходе самостоятельной подготовки, обучающийся вырабатывает в себе способность логически мыслить, искать в анализе событий причинно-следственные связи.

## **10. Курсовой проект (работа)**

Выполнение курсового проекта (работы) не предусмотрено учебным планом.

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационно-справочных систем**

### **11.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса**

1. электронные образовательные ресурсы, представленные в п. 6 и 7 данной рабочей программы;
2. использование слайд-презентаций;

### ***11.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса***

При освоении дисциплины используется лицензионное программное обеспечение:

1. текстовый редактор Microsoft Word;
2. электронные таблицы Microsoft Excel;
3. презентационный редактор Microsoft Power Point;

### **12. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

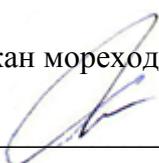
1. для проведения занятий лекционного типа, практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы учебная аудитория № 3-403 с комплектом учебной мебели на 32 посадочных места;
2. доска аудиторная;
3. комплект лекций в Microsoft Word по темам курса «Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации»;
4. мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор);
5. плакаты;
6. моделирующий пакет MATLAB;
7. обучающие программные пакеты;
8. методические пособия;
9. компьютеры

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет МОРЕХОДНЫЙ

Кафедра «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан мореходного факультета



С.Ю. Труднев

«23» октября 2024 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Моделирование судового электрооборудования и средств автоматики»**

по направлению подготовки  
13.03.02 «Энергетика и электротехника»  
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»  
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский  
2024

Фонд оценочных средств дисциплины составлен на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 02.10.2024 г., протокол № 2

Составитель фонда оценочных средств  
Ст. преподаватель кафедры «ЭУЭС»

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Рогожников А.О.  
(ФИО.)

Фонд оценочных средств рассмотрен на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

**АКТУАЛЬНО НА**

2025 / 2026 учебный год

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Белов О.А.  
(ФИО. зав.кафедрой)

2026 / 2027 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2027 / 2028 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2028 / 2029 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2029 / 2030 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации студентов по дисциплине «**Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации**» представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

1. паспорт фонда оценочных средств по дисциплине;
2. перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
3. описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания;
4. методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.

После освоения теоретического материала и выполнения практических работ курсант / студент **должен**:

**Знать:** основные понятия о моделях и моделировании; требования к математическим моделям; особенности моделирования СЭО и СА;

**Уметь:** использовать теоретические знания для построения математических моделей основных элементов СЭО;

**Приобрести навыки:** использования моделирующего пакета MATLAB.

### 1 Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «**Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации**»

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Основные понятия о моделях и моделировании.	ПК-4	Контроль СРС, защита практических и лабораторных работ
2	Виды и средства моделирования.		
3	Математические модели.		
4	Требования к математическим моделям.		
5	Этапы моделирования.		
6	Особенности моделирования судового электрооборудования и средств автоматизации.		
7	Использование ЭВМ, технических и программных средств моделирования.		
8	Математические модели синхронной машины.		
9	Математические модели асинхронной машины.		
10	Моделирование судовых электроэнергетических систем.		
11	Моделирование гребных электрических установок.		

### 2 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Наименование контролируемой компетенции	Наименование дисциплины формирующей компетенцию	Этапы формирования компетенции (курсы)					
				1	2	3	4	5	
1	ПК-4	Способен осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок	Информационные технологии		2				
			Защита информации		2				
			Судовые энергетические установки					5	
			Навигационное оборудование					5	
			<b>Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации</b>					5	
			Итоговая государственная аттестация					5	

### **3 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания**

Контроль поэтапного формирования результатов освоения дисциплины *для студентов очной формы обучения* осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации в ходе выполнения заданий на лабораторных занятиях, выполнении заданий, вынесенных на самостоятельную работу (СР), а также при сдаче экзамена.

#### **Критерии выставления оценок за лабораторную работу**

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент показал глубокие знания и понимание программного материала по теме практической работы, умело увязывает лекционный материал с практикой, грамотно и логично строит ответ на контрольные вопросы.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если студент твердо знает программный материал по теме практической работы, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на контрольные вопросы. Правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент имеет знания только основного материала по поставленным контрольным вопросам, но не усвоил его деталей, для принятия правильного решения требует наводящих вопросов, допускает отдельные неточности или недостаточно четко излагает учебный материал по теме практической работы.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если студент допускает грубые ошибки в ответе на контрольные вопросы, не может применять полученные знания на практике.

#### **Критерии выставления оценок за самостоятельную работу**

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, умело привязывает материал к области практического применения и показал высокий уровень освоения изложенного материала.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, умело привязывает материал к области практического применения, показал достаточно высокий уровень освоения изложенного материала, однако при оформлении конспекта допускает немногочисленные ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, показал удовлетворительный уровень освоения изложенного материала, однако не увязывает изложенный материал с областью практического применения, при оформлении конспекта допускает грубые ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если студент провел поверхностное изучение темы самостоятельной работы, показал неудовлетворительный уровень освоения изложенного материала, не увязывает изложенный материал с областью практического применения, при оформлении конспекта допускает грубые ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

#### **Критерии выставления оценок за курсовую, контрольную работу (РГР)**

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент свободно увязывает принятые им способы решения поставленных задач с теоретическими положениями, легко ориентируется в написанном им тексте, работа оформлена технически грамотно.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если студент может обосновать применённые способы решения задач, но может допускать мелкие ошибки, свободно понимает, как их можно исправить, работа оформлена в основном технически грамотно.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент увязывает принятые им способы решения поставленных задач с теоретическими положениями посредством наводящих вопросов, иногда с затруднениями понимает, как можно исправить мелкие ошибки, имеются погрешности в оформлении работы.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если выясняется, что студент выполнил курсовую работу (контрольную работу или РГР) формально, без понимания принципов решения поставленных задач, не ориентируется в написанном им тексте, при защите не понимает, как исправить допущенные ошибки.

Студент не сдавший РГР, контрольные, а также не выполнивший практические работы до экзамена не допускается.

### **Критерии оценки знаний, умений и навыков на экзамене**

Оценка студенту на экзамене может быть выставлена по текущим оценкам приобретенных практических навыков в ходе прохождения практики и при наличии конспекта вопросов, отданных на самостоятельное изучение **при условии отсутствия пропусков занятий без уважительной причины.**

При несоблюдении данных условий студент дополнительно проходит собеседование по теоретическим вопросам. В случае несогласия студента с выставяемой оценкой по результатам выполнения практических заданий ему предоставляется шанс повысить данную оценку посредством теоретических вопросов.

По результатам собеседования студенту выставляется оценка: **«отлично»**, если студент показал глубокие знания и понимание программного материала по поставленному вопросу, умело увязывает его с практикой, грамотно и отлично строит ответ, быстро принимает оптимальные решения при решении практических вопросов и задач, безусловно владеет правилами работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

**«хорошо»**, если студент твердо знает программный материал, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов и задач, владеет приемами работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

**«удовлетворительно»**, если студент имеет знания только основного материала по поставленному вопросу, но не усвоил деталей, требует в отдельных случаях наводящего вопроса для принятия правильного решения, допускает отдельные неточности и недостаточно четко выполняет правила работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

**«неудовлетворительно»**, если студент допускает грубые ошибки в ответе на поставленный вопрос, не может применить полученные знания на практике, неуверенно работает с контрольно-измерительной аппаратурой. 3

### **Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации**

1. Типы моделей.
2. Виды моделирования.
3. Подходы к моделированию сложных систем.
4. Построение концептуальной модели сложной системы и ее формализация.

5. Технические и программные средства моделирования. Требования к математическим моделям.
6. Этапы моделирования.
7. Математические модели синхронной машины.
8. Математические модели асинхронного двигателя.
9. Математические модели машин постоянного тока.
10. Принципы структурного моделирования на ЭВМ.
11. Методика машинного моделирования.
12. Методика моделирования электрических машин.
13. Математические модели полупроводниковых преобразователей электроэнергии
14. Математические модели автоматических регуляторов напряжения синхронных генераторов
15. Математические модели первичных двигателей и их автоматических регуляторов частоты вращения.
16. Модель системы автоматической синхронизации генераторов.
17. Моделирование ДПТ со стартером.
18. Моделирование основных элементов СЭС
19. Моделирование ДПТ с электронным регулятором.
20. Моделирование синхронных генераторов и генераторных агрегатов
21. Моделирование электроприводов с асинхронными двигателями.
22. Моделирование электроприводов с двигателями постоянного тока
23. Методы упрощения структуры СЭС
24. Два подхода к построению математических моделей СЭС
25. Моделирование СЭС с учетом управления ее режимами
26. Моделирование ГЭУ переменного тока с асинхронным гребным электродвигателем.

<b>Критерии оценки:</b>	
20-25 баллов выставляется	отлично
15-20 баллов выставляется	хорошо
10-15 баллов выставляется	удовлетворительно
5-10 баллов выставляется	неудовлетворительно

### **Методические указания по выполнению контрольной работы**

1. Перечень заданий к расчетно-графической работе, а также методические указания по их выполнению указаны в учебно-методическом пособии: *Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации : методические указания к самостоятельной и контрольной работам / Л. А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский : Камчат-ГТУ, 2016. – 39 с.*

### **Вопросы к контрольной работе .**

#### **1 ВОПРОС.**

1. Типы моделей и виды моделирования.
2. Подходы к моделированию сложных систем..
3. Построение концептуальной модели сложной системы и её формализация.
4. Технические и программные средства моделирования.
5. Требования к математическим моделям.
6. Этапы моделирования.
7. Общие положения о выборе математических моделей судового электрооборудования.
8. Принципы структурного моделирования на ЭВМ.

9. Методика моделирования на АВМ.
10. Методика моделирования на ЦВМ.
11. Особенности аналого-цифрового моделирования.
12. Математические модели синхронной машины.
13. Математические модели асинхронных двигателей.
14. Математические модели силового трансформатора.
15. Математические модели симметричной статической нагрузки
16. Алгоритмы автоматического управления электроэнергетическими процессами.
17. Моделирование автономной электроэнергетической системы с одной электростанцией.
18. Принципы получения на ЦВМ случайных чисел с заданными законами распределения.
19. Моделирование случайных параметров электрических машин.
20. Моделирование случайного характера нагрузки.

## 2 ВОПРОС

1. Моделирование пуска асинхронного двигателя от береговой сети.
2. Математические модели п/пр преобразователей. Модель непосредственного п/пр преобразователя частоты.
3. Идеализированная схема п/пр инвертора.
4. Упрощенная модель п/пр – нагрузка на примере трёхфазного мостового тиристорного выпрямителя.
5. Математические модели машин постоянного тока.
6. Математические модели автоматических регуляторов напряжения синхронных генераторов.
7. Математические модели первичных двигателей и их автоматических регуляторов частоты вращения.
8. Модель системы автоматической синхронизации генераторов.
9. Моделирование СГ и генераторных агрегатов.
10. Моделирование электроприводов с асинхронными двигателями.
11. Моделирование пуска АД от береговой сети с использованием реактора.
12. Моделирование электроприводов с двигателем постоянного тока.
13. Методы упрощения структуры СЭЭС.
14. Два подхода к построению математических моделей СЭС.
15. Моделирование СЭС с учётом управления её режимами.
16. Построение простейшей модели синхронного генератора.
17. Моделирование режимов работы эквивалентной судовой электростанции.
18. Моделирование ГЭУ переменного тока. Общие замечания.
19. Моделирование ГЭУ переменного тока с асинхронным гребным электродвигателем.
20. Моделирование ГЭУ переменного тока с синхронным гребным электродвигателем.

### **Методические указания по выполнению лабораторных работ**

2. Требования к выполнению лабораторных работ, методические указания изложены в учебно-методических пособиях: *Моделирование судового электрооборудования и средств автоматики : лабораторный практикум / Л.А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2013. –39с.;* *Моделирование электротехнических и радиотехнических устройств в среде MATLAB – Sim Power System : учебно-методическое пособие для курсантов и студентов специальностей 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» и 25.05.03*

## **Методические указания по написанию РЕФЕРАТА**

С целью закрепления учебного материала и более детальной проработки отдельных вопросов студенты выполняют реферат по одной из предложенных тем. Тема и сроки выполнения реферата согласовываются с преподавателем.

При выполнении реферата отрабатываются навыки по систематизации, закреплению и расширению теоретических и практических знаний по специальности и применение этих знаний при решении конкретных прикладных задач. Также развиваются навыки работы с учебной, научной литературой и нормативно-технической документацией.

Объем реферата составляет 15-25 страниц формата А-4 и включает в себя титульный лист, содержание, введение, основную часть, заключение и список использованной литературы и электронных источников. Основная часть включает в себя 2-3 главы, которые в свою очередь могут делиться на параграфы и пункты.

Документ должен быть набран на компьютере и отпечатан на принтере с использованием современных текстовых и, если необходимо, графических редакторов на одной стороне листа (без рамки) белой бумаги формата А4. Размеры полей: левое - 30 мм, правое - 15 мм, верхнее - 20 мм и нижнее - 20 мм. Рекомендуемое расстояние между строками (базовое) – полтора интервала.

Таблицы, рисунки, чертежи, схемы, графики, фотографии как в тексте, так и в приложении должны быть выполнены на стандартных листах формата А4 (при больших схемах допускается использовать сложенный лист формата А3). Подписи и пояснения к рисункам должны быть на лицевой стороне.

Нумерация страниц документа, включая приложения, должна быть сквозная по всему тексту (все без исключения листы документа должны быть пронумерованы). Номера страниц проставляются в правом верхнем углу без точки. На титульном листе номер страницы не ставится, а только подразумевается (первая страница).

Текст основной части документа разделяют на главы, параграфы и пункты. Главы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами и записанные с абзацного отступа. Параграфы должны иметь нумерацию в пределах каждой главы, пункты – в пределах каждого параграфа. Номер пункта состоит из номеров главы, параграфа и пункта, разделенных точками. Точка после номера главы, параграфа и пункта не ставится.

Главы, параграфы, пункты должны иметь заголовки. Заголовки печатаются с абзацного отступа, без точки в конце, не подчеркивая. Перенос слов в заголовках не допускается. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Слова, "Глава", "Параграф", "Пункт" не печатаются ни в оглавлении, ни в заголовках основной части.

Для набора текста использовать следующие стили форматирования:

– **заголовки первого уровня** (главы, введение, заключение, список литературы, приложения)

Шрифт: Arial, 16 пт, полужирный, все прописные, Отступ: Слева 0,9 см, Первая строка 0 см, По центру, интервал Перед: 12 пт, После 6 пт, Не отрывать от следующего.

– **заголовки второго уровня** (параграфы)

Шрифт: Arial, 14 пт, полужирный, курсив, Отступ: Слева 0,9 см, Первая строка 0 см, По центру, интервал Перед: 12 пт, После 6 пт, Не отрывать от следующего.

Если заголовок параграфа следует непосредственно после заголовка главы, то используется интервал Перед: 0 пт.

– **заголовки третьего уровня** (пункты)

Шрифт: Arial, 14 пт, курсив, Отступ: Слева 0,9 см, Первая строка 0 см, По центру, интервал Перед: 12 пт, После 6 пт, Не отрывать от следующего.

– **текст пояснительной записки**

Шрифт: Times New Roman, 14 пт, Отступ: Первая строка: 0,9 см, По ширине, Междустрочный интервал: полуторный, Запрет висячих строк.

– **формулы**

Отступ: Первая строка: 0,9 см, По центру.

Подготовка и работа над рефератом состоит из следующих основных этапов:

- выбор и согласование темы реферата;
- разработка общей структуры реферата;
- сбор и анализ материала по теме реферата;
- проработка структуры реферата и формирование основной части;
- оформление реферата и предъявление его на кафедру для рецензирования;
- защита реферата.

Реферат представляется преподавателю в установленные сроки и определяется даты защиты. Защита реферата осуществляется в виде собеседования по теме реферата.

## Тестирование

Для оценивания результатов **тестирования** возможно использовать следующие критерии оценивания:

- Правильность ответа или выбора ответа.
- Скорость прохождения теста.
- Наличие правильных ответов во всех проверяемых темах (дидактических единицах) теста,
- Оценка проводится по балльной системе. Правильный ответ на вопрос тестового задания равен 1 баллу. Общее количество баллов по тесту равняется количеству вопросов.
- Общее количество вопросов принимается за 100%, оценка выставляется по значению соотношения правильных ответов к общему количеству вопросов в процентах.

Для перерасчета оценки используется таблица соответствия:

Границы в процентах	Традиционная оценка
85 – 100	«Отлично» или «зачтено»
70 – 84	«Хорошо» или «зачтено»
55 – 69	«Удовлетворительно» или «зачтено»
54 и менее	«Неудовлетворительно» или «не зачтено»

## Тест-контроль по дисциплине «Моделирование СЭО и СА».

1. Математическая модель – это:

- 1) устройство, установка или система, воспроизводящая в определенном масштабе исследуемый объект при сохранении физического подобия процессов в модели процессам в объекте исследования;
- 2) формализованное описание объекта с помощью математических соотношений, отражающих процесс функционирования объекта;
- 3) реальный исследуемый объект, макет или опытный образец.

2. Физическая модель – это:

- 1) устройство, установка или система, воспроизводящая в определенном масштабе исследуемый объект при сохранении физического подобия процессов в модели процессам в объекте исследования;
- 2) формализованное описание объекта с помощью математических соотношений, отражающих процесс функционирования объекта.
- 3) Реальный исследуемый объект, макет или опытный образец.

3. При анализе и синтезе сложных технических систем используются:

- 1) системный подход к моделированию;

- 2) структурный подход к моделированию;
- 3) программный подход к моделированию.
4. При структурном подходе к моделированию системы в ней выделяются следующие независимые группы блоков:
  - 1) имитирующие воздействия внешней среды на систему;
  - 2) блоки, являющиеся моделью процесса функционирования системы;
  - 3) вспомогательные блоки, которые служат для машинной реализации модели.
5. Техническими средствами моделирования могут быть:
  - 1) аналоговые вычислительные машины (АВМ);
  - 2) цифровые вычислительные машины (ЦВМ);
  - 3) аналого-цифровые (гибридные) вычислительные машины.
6. Математическая модель системы должна отвечать следующим основным требованиям:
  - 1) полнотой и гибкостью;
  - 2) быстродействием и удобным интерфейсом;
  - 3) адекватностью.
7. На этапе построения концептуальной модели системы проводится:
  - 1) алгоритмизация модели и создание программного пакета;
  - 2) исследование моделируемого объекта для выделения основных составляющих процесса его функционирования; выдвижение гипотез и определение требований и исходной информации о параметрах и переменных модели;
  - 3) планирование и реализация машинного эксперимента.
8. На этапе получения результатов моделирования проводится:
  - 1) алгоритмизация модели и создание программного пакета;
  - 2) исследование моделируемого объекта для выделения основных составляющих процесса его функционирования; выдвижение гипотез определения требований и исходной информации о параметрах и переменных модели.
  - 3) Планирование и реализация машинного эксперимента.
9. Вид дифференциальных уравнений электрических машин переменного тока зависит:
  - 1) от выбора вида переменных;
  - 2) исходного режима (генераторный, двигательный);
  - 3) от величины тока нагрузки.
10. Исследование переходных процессов в машинах переменного тока в реальных условиях сводится к:
  - 1) применению специальных преобразований математических уравнений системы при ее моделировании;
  - 2) применению минерализации математических уравнений системы при ее моделировании;
  - 3) исследованию переходных процессов на модели идеализированной машины.

#### **4 Методические материалы определяющие, процедуры оценивания знаний, умений, навыков и или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций по дисциплине проводятся в форме текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

Текущий контроль проводится в течение сессии с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её корректровке, а так же для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная и итоговая аттестации по дисциплине проводится в виде контрольного опроса. За знания, умения и навыки, приобретенные обучающимися в период их обучения,

выставляются оценки: «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО».

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в университете применяется балльно-рейтинговая система оценки качества освоения образовательной программы.

Оценка проводится при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций обучающихся.

Рейтинговая оценка знаний является интегрированным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из следующих компонентов:

### Состав балльно-рейтинговой оценки знаний студентов

Виды контроля	Максимальное количество баллов по уровням освоения компетенций			
	знать	уметь	владеть	всего
Тестирование	4	3	3	10
Активность на лекционных занятиях	5	5	5	15
Поощрительные баллы (написание рефератов, доклада (с презентацией), написание статей, участие в конференциях, круглых столах, участие в конкурсах)	6	7	7	20
Результаты работы на практических занятиях (решение задач, выполнение РГР)	5	5	5	15
Результаты работы на лабораторных занятиях (работа в малых группах, моделирование производственных процессов и ситуаций)	5	5	5	15
Итого	25	25	25	75

Процедура оценивания – порядок действий при подготовке и проведении аттестационных испытаний и формировании оценки.

Аттестационные испытания проводятся ведущим преподавателем по данной дисциплине. Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора не допускается (за исключением работников университета, выполняющих контролирующие функции в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением заведующим кафедрой.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

– Во время аттестационных испытаний обучающиеся могут пользоваться программой учебной дисциплины, а также с разрешения преподавателя справочной и нормативной литературой, калькуляторами.

– Время подготовки ответа при сдаче зачета/экзамена в устной форме должно составлять не менее 20/30 минут соответственно, (по желанию обучающегося ответ может быть досрочным). Время ответа – не более 15 минут.

– Оценка результатов устного аттестационного испытания объявляется обучающимся в день его проведения. При проведении письменных аттестационных испытаний или компьютерного тестирования – в день их проведения или не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

– Результаты выполнения аттестационных испытаний, проводимых в письменной форме, форме итоговой контрольной работы или компьютерного тестирования, должны быть объявлены обучающимся и выставлены в зачётные книжки не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

По итогам проведения промежуточной и итоговой аттестации все заработанные курсантом и студентом баллы переводятся в оценки:

- «Отлично» - от 85 до 100 баллов.
- «Хорошо» - от 70 до 84 баллов

- «Удовлетворительно» - от 55 до 69 баллов
- «Неудовлетворительно» - 54 и менее баллов.

**Итоговое оценивание обучающегося по дисциплине  
«Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации»**

Оценка в баллах	Оценка по шкале	Обоснование	Уровень сформированности компетенций
От 85-100	«Отлично» («зачтено»)	Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.	Высокий уровень
От 70-84	«Хорошо» («зачтено»)	Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с несущественными ошибками.	Продвинутый уровень
От 55-69	«Удовлетворительно» («зачтено»)	Теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.	Пороговый уровень
54 и менее	«Неудовлетворительно» («не зачтено»)	Теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки. Обучающийся частично ответил на вопросы по билету, на дополнительные вопросы ответов не прозвучало.	Компетенции не сформированы

Максимальная сумма баллов, набираемая обучающимся по дисциплине «ТОЭ» в течении зачетно-экзаменационной сессии в виде академического зачета равна 100 баллам.  
Количество баллов за дополнительный рейтинг – максимально 100 баллов.

Максимальная сумма баллов, набираемая обучающимся по дисциплине «ТОЭ» в течении зачетно-экзаменационной сессии в виде экзамена равна 100 баллам.  
Количество баллов за промежуточный рейтинг – максимально 25 баллов;  
Количество баллов за дополнительный рейтинг – максимально 75 баллов.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Камчатский государственный технический университет»  
Мореходный факультет  
Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И  
СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Методические указания к лабораторной работе

*для студентов,*

*обучающихся по специальности 13.03.02*

*«Электроэнергетика и электротехника»*

*профиль «Электрооборудование и*

*автоматика судов»*

*заочной формы обучения*

Петропавловск-Камчатский

2024

**Рогожников Алексей Олегович, старший преподаватель кафедры ЭУЭС**

Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации: методические указания к лабораторной работе по дисциплине для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» заочной формы обучения / А.О. Рогожников – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2024. – с.56

Обсуждены:

на заседании кафедры ЭУЭС «17» октября 2024 г., протокол № 4



Зав. кафедрой ЭУЭС \_\_\_\_\_ О.А. Белов

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации» рассмотрены и утверждены на заседании УМС протокол № 2 от «02» октября 2024 г.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Лабораторная работа студентов (ЛРС) по дисциплине «Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации» является важной составляющей частью подготовки студентов по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и выполняется в соответствии с ФГОС ВО. Основной целью ЛРС является:

- развитие навыков ведения самостоятельной работы;
- приобретение опыта систематизации полученных результатов исследований, формулировку новых выводов и предложений как результатов выполнения работы;
- развитие умения использовать научно-техническую литературу и нормативно-методические материалы в практической деятельности;
- приобретение опыта публичной защиты результатов самостоятельной работы.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» изучение дисциплины «Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации» направлено на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

- способность осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок (ПК-4).

1.2. В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- законодательные и нормативно-правовые акты, методические материалы по вопросам производственного планирования и оперативного управления производством;
- нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы эксплуатации оборудования, закрепленного за подразделением;
- организационно-распорядительные, нормативно-технические и методические документы по вопросам эксплуатации высоковольтных линий электропередачи;
- основы трудового законодательства Российской Федерации в объеме, необходимом для выполнения трудовых обязанностей;
- требования охраны труда, промышленной и пожарной безопасности и производственной санитарии, регламентирующие деятельность по трудовой функции.

1.3. В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- вести техническую и отчетную документацию;
- организовывать деятельность по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи;
- организовывать работу при внедрении новых устройств;
- планировать и организовывать работу подчиненных работников;
- планировать производственную деятельность, ремонт оборудования кабельных линий электропередачи;
- разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию, ремонту.

1.4. В результате изучения дисциплины студент должен владеть:

- навыками контроля состояния и ведения технической документации в курируемом подразделении;
- организовывает ведение договорной работы для обеспечения технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- организует документационное сопровождение деятельности по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи, сооружений, контроль ведения исполнительной документации; организует оформление графиков освидетельствования;
- навыками организации планирования потребности в материальных ресурсах для технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- организует разработки и согласование технических условий, технических заданий по обеспечению технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- подготавливает проекты текущих и перспективных планов работы подразделения, графиков выполнения отдельных работ (мероприятий), согласование условий и сроков их выполнения с заинтересованными лицами (подразделениями) организации, а также с заказчиками и соисполнителями, доведение утвержденных плановых заданий до подчиненного персонала;
- расследует причины технологических нарушений в работе оборудования, несчастных случаев.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### ВВЕДЕНИЕ.

Современный мир стал информационно единым благодаря повсеместному применению средств информационно-коммуникационных технологий, которые становятся доступными все более широкому кругу. Целесообразное применение этих технологий в образовании, несомненно, способно повысить эффективность обучения. На пути комплексной информатизации учебного процесса удастся получить качественно новые результаты:

- несравненно более высокие выразительные возможности в представлении учебной информации, которыми обладают современные компьютеры в сравнении с традиционными печатными изданиями;
- расширяющаяся доступность получения или в совершенствования ранее полученного образования для различных групп населения;
- изменение технологии и средств учебной работы преподавателей;
- принципиальная возможность индивидуализации учебного процесса.

Кардинальное воздействие новых технологий на организацию и проведение учебного процесса оказывают возможности интерактивного взаимодействия учащихся с модельными представлениями изучаемых объектов, поддерживаемыми средствами обеспечения компьютеров. Если обучающая программа реализует достаточно точную и достоверную математическую модель изучаемого объекта, она становится мощным источником знаний, получаемых в результате активной самостоятельной работы студентов. Дидактическая ценность такого способа получения учебной информации существенно выше, чем, если бы эта информация была просто сообщена преподавателем. Учащиеся из пассивных потребителей прописных истин могут превратиться в создателей, интеллектуальные усилия которых позволяют получать новые для них знания. Более того, в процессе «экспериментирования» с компьютерными моделями изучаемых объектов принципиально возможно получение новых знаний. Особенно это касается тех случаев, когда в процессе обучения учащимся приходится иметь дело со сложными системами, которые характеризуются множеством функциональных связей между компонентами. Поведение таких систем весьма сложно оценивать на качественном уровне. Как правило, требуется выполнить тщательный количественный анализ, позволяющий имитировать работу системы в различных режимах. Такие действия вполне по силам студентам старших курсов, а их результатом вполне может стать получение ранее неизвестных данных и закономерностей.

Лабораторный практикум по дисциплине «Моделирование судового электрооборудования и средств автоматики» предназначен для студентов которые изучают электромеханические системы на основе разработки и исследования их компьютерных моделей.

Лабораторный практикум может использоваться при проведении лабораторных и практических работ по дисциплинам:

- электрические машины;

- автоматизированный электропривод;
- моделирование СЭО и СА;
- системы управления энергетическими и технологическими процессами;
- микропроцессорные системы управления.

Лабораторный практикум может также использоваться при написании дипломного проекта и при проведении научно-исследовательских работ студентов.

### **Моделирующий пакет MATLAB.**

Цель работы: ознакомиться с моделирующим пакетом MATLAB;  
освоить основные инструменты SIMULINK.

Система MATLAB разработана специалистами компании MathWorkInc. (г. Нейтик, штат Массачусетс, США). Хотя впервые эта система начала использоваться в конце 1970-х годов, широкое распространение она получила в конце 80-х, в особенности после появления на рынке версии 4.0. Последние версии MATLAB -это системы, которые содержат множество процедур и функций, необходимых инженеру и научному работнику для осуществления сложных численных расчетов, моделирования технических, экономических, биологических и других систем и оформления результатов этих расчетов.

MATLAB — одна из старейших, тщательно проработанных и проверенных временем систем автоматизации математических расчетов, построенная на расширенном представлении и применении матричных операций. Это нашло отражение в названии системы — MATrixLABoratory — матричная лаборатория. Матрицы широко применяются в сложных математических расчетах, например при решении задач линейной алгебры и математического моделирования статических и динамических систем и объектов. Они являются основой автоматического составления и решения уравнений состояния динамических объектов и систем. Система MATLAB представляет собой язык программирования высокого уровня, предназначенный для инженерных и научных вычислений и создания моделей различных устройств и систем. За счет матричного и векторного представления данных разработчикам удалось существенно повысить скорость вычислений, экономно использовать ресурсы памяти и обеспечить высокую точность расчетов.

В MATLAB реализован модульный принцип построения с широкими возможностями модификации и расширения, что подтверждает состав этого продукта, а именно: несколько десятков пакетов прикладных программ и бо-

лее двух сотен приложений и расширений, богатейшая библиотека функций (свыше 800), а также огромный объем документации, насчитывающий десятки тысяч страниц. Для удобства система MATLAB поделена на разделы, оформленные в виде пакетов программ, наиболее общие из которых образовали ядро. Особо следует выделить пакет Simulink, предназначенный для моделирования линейных и нелинейных динамических систем. Он базируется на принципах визуально ориентированного программирования с использованием моделей в виде комбинаций компонентов-блоков, путем соединения которых между собой составляются функциональные модели устройств и систем. При этом математическая модель, описывающая поведение такой системы, формируется и решается автоматически. Для исследователя Simulink создает массу возможностей, начиная от функционального представления устройства и вплоть до генерирования кодов, используемых для программирования микропроцессоров. Пакет Simulink вместе с пакетом расширения SimPowerSystems (в более ранних версиях — PowerSystemsBlockset) являются основой для изучения и исследования устройств силовой электроники и электромеханических устройств. Система MATLAB 6.5 объединена с версиями пакетов Simulink 5.0 и SimPowerSystems 2.3. Важно отметить, что оба указанных пакета снабжены обширными библиотеками. Библиотека Simulink содержит блоки, в основном ориентированные на моделирование конкретных устройств в виде функциональных схем. В нее входят источники сигналов, масштабирующие, линейные и нелинейные блоки, квантователи, интеграторы, дифференциаторы, измерители и т. д. В библиотеку SimPowerSystems входит набор блоков для имитационного моделирования электротехнических устройств в виде пассивных и активных электротехнических элементов, источников энергии, электродвигателей, трансформаторов, полупроводниковых элементов. С помощью программ можно имитировать работу устройств во временной области, а также выполнять анализ их свойств — рассчитывать цепи, получать амплитудно- и фазочастотные характеристики, выполнять гармонический анализ токов и напряжений. Несомненное достоинство Simulink и SimPowerSystems состоит в возможности построения моделей сложных электротехнических систем на основе методов имитационного и функционального моделирования. Так для построения силовой части полупроводникового преобразователя используются блоки SimPowerSystems, имитирующие элементы и устройства, а в его системе управления — функциональные блоки Simulink, которые отражают алгоритм ее работы без представления электрической схемы. За счет такого подхода, в отличие от известных пакетов схемотехнического моделирования типа OrCAD, PSpice, Workbench и т. п. модель упрощается, экономится память, повышается скорость расчета и работоспособность компьютера. После построения функциональной модели исключается сложный этап составления и решения алгебраических и дифференциальных уравнений и обеспечивается возможность визуального контроля поведения созданной модели и протекающих в ней процессов. При построении моделей с применением элементов SimPowerSystems и блоков биб-

лиотеки Simulink допустимо привлечение функций самой системы MATLAB, что существенно расширяет возможности моделирования электротехнических систем и полупроводниковых устройств. Несмотря на обширность библиотеки SimPowerSystems, возможны случаи, когда нужный блок как таковой в библиотеке отсутствует. В этих случаях пользователь может разрабатывать свои собственные блоки, используя имеющиеся в библиотеке элементы и применяя созданные подсистемы в Simulink.

#### *Возможности версии MATLAB 6.0.*

Новейшая версия системы MATLAB 6 не только имеет перечисленные выше возможности предшествующих версий, но и характеризуется целым рядом новых и важных возможностей:

- около 600 встроенных функций и команд;
- новый интерфейс с набором инструментов для управления средой, включающий в себя окно команд (CommandWindow), окно истории команд (CommandHistory), браузер рабочей области (WorkspaceBrowser) и редактор массивов (ArrayEditor);
- новые инструменты, позволяющие при помощи мыши интерактивно редактировать и форматировать графики, оптимизировать их коды и затраты памяти на графические команды и атрибуты;
- улучшенные алгоритмы на основе оптимизированной библиотеки LAPACK;
- новая библиотека FFTW (быстрых преобразований Фурье) Массачусетского технологического института Кембриджского университета (США);
- ускоренные методы интегральных преобразований;
- новые, более мощные и точные, алгоритмы интегрирования дифференциальных уравнений и квадратур;
- новые современные функции визуализации: вывод на экран двумерных изображений, поверхностей и объемных фигур в виде прозрачных объектов;
- новая инструментальная панель Camera для управления перспективой и ускорение вывода графики с помощью OpenGL;
- новый интерфейс для вызова Java-процедур и использования Java-объектов непосредственно из MATLAB;
- новые, современные инструменты проектирования графического пользовательского интерфейса;
- обработка (регрессия, интерполяция, аппроксимация и вычисление основных статистических параметров) графических данных прямо из окна графики;
- новое приложение MATLAB для системы разработки VisualStudio, позволяющее автоматически, непосредственно из MicrosoftVisualStudio, преобразовывать Си и Си++ коды в выполняемые MATLAB файлы (MEX-файлы);
- интеграция с системами контроля версий кода, такими как VisualSourceSafe;
- новый интерфейс (последовательный порт) для обмена данными с внешним оборудованием из MATLAB;

-новый пакет управления измерительными приборами (InstrumentControlToolBox) для обмена информацией с приборами, подключенными к Каналу общего пользования (GPIB, HP-IB, IEEE-488)[ Существует аналогичные международные МЭК (IEC) 625.1 и российские государственные стандарты. Несмотря на логическую и электрическую совместимость, международные и отечественные стандарты предполагают использование других разъемов. — Примеч. ред. или к шине VXI через адаптер VXI — GPIB (только в версиях для Windows и SunSolaris) и последовательному интерфейсу RS-232, RS-422, RS-485 (также и для Linux-версии), в том числе в соответствии со стандартом VISA (VirtualInstrumentsSystemsApplication) (Применение виртуальных измерительных приборов);

-существенно обновленные пакеты расширения, в частности новые версии пакета моделирования динамических систем Simulink 4 и RealTimeWorkshop 4;

-интеграция с системами управления потребностями, например DOORS.

Поставляемый с системой MATLAB 6.0 новый пакет расширения Simulink 4 также имеет ряд новинок. Они перечислены ниже по категориям.

*Усовершенствование пользовательского интерфейса:*

-новый графический отладчик для интерактивного поиска и диагностики ошибок в модели;

-усовершенствован навигатор моделей (ModelBrowser, Windows 95/98/Me/ 2000/NT4);

новый однооконный режим для открытия подсистем;

-контекстное меню для блок-диаграмм (открывается щелчком правой кнопки мыши) как в Windows, так и в Unix версиях;

-новый диалог Finder для поиска моделей и библиотек.

Simulink поступает к пользователям с более 100 встроенными блоками, в состав которых входят наиболее необходимые функции моделирования. Блоки сгруппированы в библиотеки в соответствии с их назначением: источники сигнала, приемники, дискретные, непрерывные, нелинейные, математика, функции и таблицы, сигналы и системы. В дополнение к обширному набору встроенных блоков Simulink имеет расширяемую библиотеку блоков благодаря функции создания пользовательских блоков и библиотек. Вы можете настраивать не только функциональность встроенных и пользовательских блоков, но также пользовательский интерфейс, используя значки и диалоги. Например, можно создавать блоки для моделирования поведения специальных механических, электрических и программных компонентов, как, например, моторы, преобразователи, источники питания, энергетические установки, фильтры, шины, модемы, приемники или другие динамические компоненты. Однажды созданные пользовательские блоки могут быть сохранены в библиотеке блоков для использования в будущем.

*Новые и улучшенные возможности блоков:*

-наряду с существовавшей ранее поддержкой скалярных и векторных сигналов обеспечена поддержка матричных сигналов многими блоками Simu-link;

-блоки Product, Multiplication, Gain и MathFunction теперь поддерживают матричные операции на матричных сигналах;

-Mix и Demux блоки теперь поддерживают мультиплексирование матричных сигналов;

-новый блок Reshape изменяет размер матрицы своего входного сигнала;

-блок Probe теперь по умолчанию выводит размер матрицы сигнала, подаваемого на вход;

-новый блок BitwiseLogicalOperator (логические операции по битам) накладывает маску, инвертирует или производит логические операции с отдельными битами целочисленного сигнала без знака;

-четыре новых блока Look-UpTable (просмотра таблиц);

-новый Polynomial блок выводит полиномиальную функцию от входного сигнала.

#### *Расширенная поддержка для крупных приложений:*

-новые объекты данных Simulink позволяют создавать специфические для приложений типы данных MATLAB;

-новый графический пользовательский интерфейс SimulinkExplorer для наблюдения и редактирования объектов данных Simulink;

-усовершенствование блока ConfigurableSubsystems (конфигурируемые подсистемы);

-новое меню выбора блока конфигурируемой подсистемы;

-поддержка защиты интеллектуальной собственности с помощью S-функций, позволяющая не передавать исходный код S-функций (требуется RealTimeWorkshop 4.0 (Лаборатория реального времени)) [S-функция — пользовательский программный модуль, который определяет поведение Simulink блока. Simulink содержит шаблоны для создания S-функций с помощью существующих или разработанных заново кодов на Си, Ada (в версии Simulink 4.0/RealWorkshop 4.0, нужен отдельный блок RealWorkshopAdaCoder), Fortran или MATLAB. Созданную S-функцию вы можете включить в вашу модель, используя соответствующий ей блок Simulink — будь то стандартный или пользовательский. S-функции уменьшают время, необходимое для моделирования крупномасштабных систем, позволяя оперативно вставлять существующие коды в модель. Это, например, особенно важно, если система MATLAB+Simulink+RealWorkshop+RealTimeWindowsTarget используется для управления сложными объектами в реальном масштабе времени. Simulink обеспечивает многопортовую и многоскоростную поддержку и разрешает различные интервалы дискретизации (только S-функции на Си и MATLAB)]; -поддержка S-функций, кодируемых на языке ADA (требуется новый отдельный пакет RealTimeWorkshopAdaCoder);

-улучшенная интеграция со Stateflow — пакетом инструментов моделирования систем, управляемых событиями, значительно усовершенствованный StateflowCoder для генерации кода;

-run-time сервер MATLAB для запуска программ MATLAB, в том числе в р-кодах, без установленной системы MATLAB;

-улучшенная версия xPCEmbeddedTarget для записи генерируемого кода не только на переносимые носители, но и в постоянные запоминающие устройства, твердотельные диски и на жесткий диск управляющего компьютера. Наряду с xPC поддерживаются другие платформы встроенных управляющих систем, включая VxWorks/Tornado (причем как UNIX, так и Windows хостом с MATLAB), RealTimeWindowsTarget; LynxEmbeddedOSEKTarget, стандартизованную в автомобилестроении, DOSTarget на управляющем компьютере Intel386 и старше (последняя только со снятым с производства компилятором Watcom Си/Си++ с расширителем DOS4GW.exe для DOS и несовместима с приложениями Windows). Но возможность работы без хоста с системой MATLAB (Stand-Alone) имеется только в xPC;

-поддержка xPCTarget стандартной полевой шины промышленной автоматизации CAN, возможность синхронизации xPC сигналами, поступающими по этой шине;

-web-сервер, встроенный в xPCTarget, позволяющий осуществлять управление встроенными компьютерами и просмотр их состояния при помощи браузеров Интернета (MicrosoftExplorer 4.0 и старше и NetscapeNavigator 4.5 и старше).

#### *Интеграция с другими программными системами.*

В последние годы разработчики математических систем уделяют огромное внимание их интеграции и совместному использованию. Решение сложных математических задач сразу на нескольких системах существенно повышает вероятность получения корректных результатов. С системой MATLAB могут интегрироваться такие популярные математические системы, как Mathcad, MapleV и Mathematica. Есть тенденция и к объединению математических систем с современными текстовыми процессорами. Так, новое средство последних версий MATLAB — Notebook — позволяет готовить документы в текстовом процессоре Word 95/97/2000. со вставками в виде документов MATLAB и результатов вычислений, представленных в численном, табличном или графическом виде. Таким образом, становится возможной подготовка «живых» электронных книг, в которых демонстрируемые примеры могут быть оперативно изменены. Так, можно менять условия задач и тут же наблюдать изменение результатов их решения. В версии MATLAB 6 предусмотрены также улучшенные средства для экспорта графики в слайды презентационной программы MicrosoftPowerPoint.

В MATLAB задачи расширения системы решаются с помощью специализированных пакетов расширения — наборов инструментов (Toolbox). Многие из них содержат специальные средства для интеграции с другими программами, поддержки объектно-ориентированного и визуального программиро-

вания, для генерации различных приложений. В состав системы MATLAB входит ядро одной из самых мощных, популярных и хорошо апробированных систем символьной математики (компьютерной алгебры) MapleVRelease 5. Оно используется пакетами расширения SymbolicMathToolbox и ExtendedSymbolicMathToolbox, благодаря которым в среде MATLAB стали доступны принципиально новые возможности символьных и аналитических вычислений.

Новые свойства системе MATLAB придала ее интеграция с программной системой Simulink, созданной для моделирования динамических систем и устройств, заданных в виде системы блоков. Базируясь на принципах визуально-ориентированного программирования, Simulink позволяет выполнять моделирование сложных устройств с высокой степенью достоверности и с прекрасными средствами представления результатов. Помимо естественной интеграции с пакетами расширения SymbolicMath и SimulinkMATLAB интегрируется с десятками мощных пакетов расширения. В свою очередь, многие другие математические системы, например Mathcad и Maple, допускают установление объектных и динамических связей с системой MATLAB, что позволяет использовать в них эффективные средства MATLAB для работы с матрицами.

## ***2. Основные инструменты SIMULINK***

Simulink - интерактивный инструмент для моделирования, имитации и анализа динамических систем. Он дает возможность строить графические блок-диаграммы, имитировать динамические системы, исследовать работоспособность систем и совершенствовать проекты. Simulink полностью интегрирован с MATLAB, обеспечивая доступ к широкому спектру инструментов анализа и проектирования. Simulink также интегрируется с Stateflow для моделирования поведения, вызванного событиями. Эти преимущества делают Simulink наиболее популярным инструментом для проектирования систем управления и коммуникации, цифровой обработки и других приложений моделирования.

Программа Simulink является приложением к пакету MATLAB. При моделировании с использованием Simulink, реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю не нужно досконально изучать язык программирования и численные методы математики, достаточно общих знаний, требующихся при работе на компьютере, и, естественно, знаний той предметной области, в которой он работает.

Simulink является достаточно самостоятельным инструментом MATLAB, и при работе с ним совсем не требуется знать сам MATLAB и остальные его

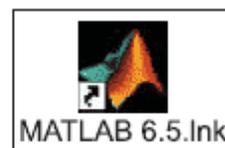
приложения. С другой стороны, доступ к функциям MATLAB и другим его инструментам остается открытым и их можно использовать в Simulink. Часть входящих в состав пакетов имеет инструменты, встраиваемые в Simulink (например, LTI-Viewer приложения ControlSystemToolbox-пакета для разработки систем управления). Имеются также дополнительные библиотеки блоков для разных областей применения (например, PowerSystemBlockset- моделирование электротехнических устройств, DigitalSignalProcessingBlockset- набор блоков для разработки цифровых устройств).

При работе с Simulink пользователь имеет возможность модернизировать библиотечные блоки, создавать свои собственные, а также составлять новые библиотеки блоков.

При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени (с фиксированным или переменным шагом). В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав библиотеки Simulink. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц. Преимущество Simulink заключается также в том, что он позволяет пополнять библиотеки блоков с помощью подпрограмм, написанных как на языке MATLAB, так и на языках C++, Fortran и Ada.

## 2.1 Запуск MATLAB

Работа с пакетом Simulink начинается с запуска системы MATLAB с помощью выведенного на «Рабочий стол» ярлыка MATLAB, либо через кнопку на панели задач Пуск/Программы/MATLAB (здесь и ниже через косую черту указывается последовательность нужных пунктов или действий в меню, подменю).



В результате открывается окно, содержащее:

- название окна — MATLAB;
- панель меню File, Edit, View, Web, Window, Help;
- панель инструментов, на которой расположены известные в большинстве своем кнопки, но среди них имеется кнопка, имеющая всплывающую подсказку Simulink;
- наборное поле командного окна;
- строку состояния.

Запуск пакета Simulink осуществляется одним из следующих способов:

с помощью упомянутой кнопки на панели инструментов (при этом вызывается окно обозревателя библиотеки — SimulinkLibraryBrowser (рис.1));

- набором в строке командного окна слова Simulink (также вызывается окно браузера);

- последовательным выбором пунктов меню File/New/Model (открывается окно для создания S- или SPS-модели):

- с помощью кнопки открытия документа на панели инструментов (вызывается окно с построенной ранее моделью, сохраненной в виде mdl-файла).

Последний из перечисленных способов следует применять для запуска отлаженной модели, в которую не требуется добавлять какие-либо блоки. Сразу отметим, что под S-моделью понимается модель, созданная в Simulink, а под SPS-моделью — модель, созданная в SimPowerSystems. Основные манипуляции в процессе работы осуществляются с помощью левой кнопки мыши (в дальнейшем — ЛК мыши), Использование правой кнопки мыши (ПК мыши) будет оговариваться особо.

Открывать окно браузера нужно в тех случаях, когда либо создается новая модель

либо в имеющуюся модель добавляются новые блоки из библиотеки.

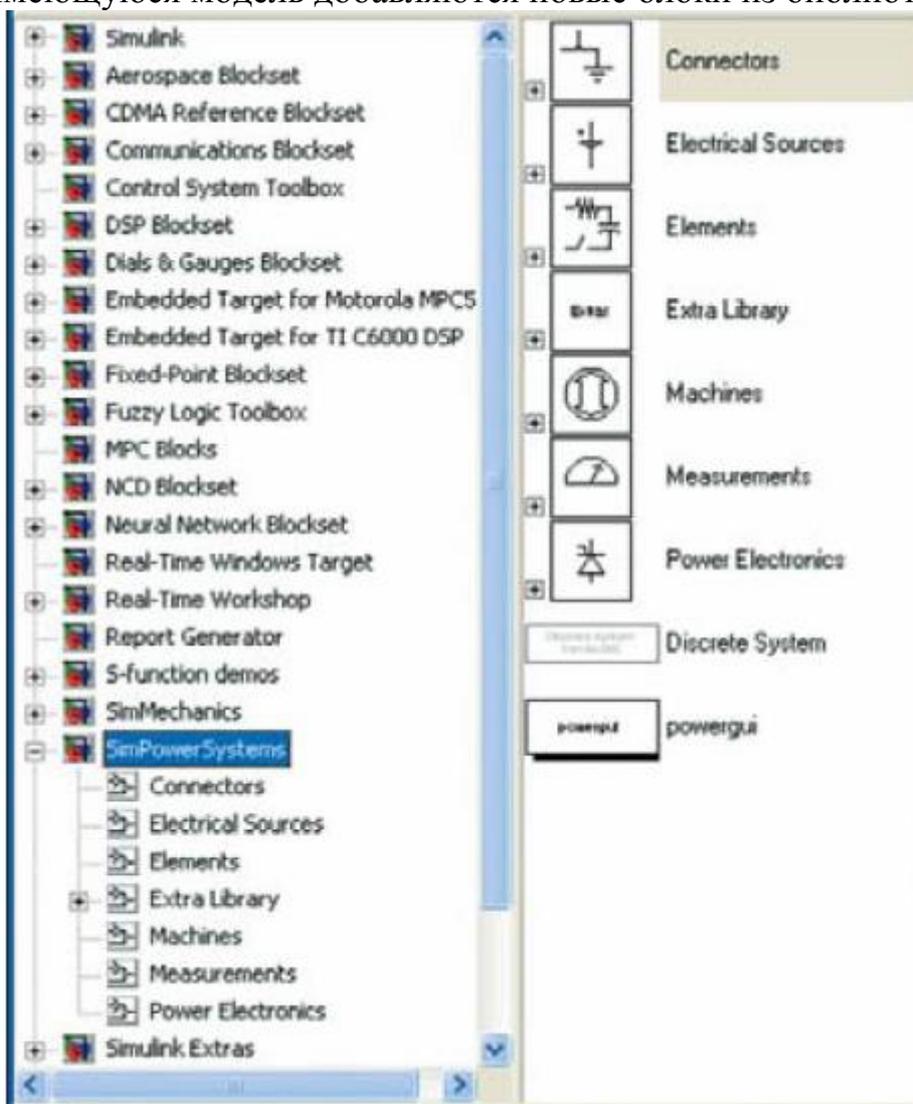


Рис.1. Окно обозревателя библиотеки SimulinkLibraryBrowser.

На панели меню окна браузера имеются 4 меню:

- File (Файл) — работа с файлами библиотеки: создание новой модели, открытие или закрытие mdl-файла.

- Edit (Редактирование) — добавление блоков в выделенную модель и их поиск по указанному названию.
  - View (Вид) — управление показом элементов интерфейса.
  - Help (Помощь) — вызов справки по окну браузера.
- Кнопки, располагающиеся на панели инструментов окна браузера:
- Createanewmodel — Создать новую модель (открыть окно модели).
  - Openamodel — Открыть одну из ранее созданных и сохраненных моделей.
  - Stayontop — Расположить окно браузера поверх других открытых окон.
  - Find — Найти блок, название которого набирается в расположенном справа от кнопки текстовом поле.

## ***2.2 Основные разделы библиотеки Simulink***

Библиотека SimulinkLibraryBrowser включает следующие основные блоки:

- Continuous — блоки аналоговых (непрерывных) сигналов.
- Discontinuous — блоки нелинейных элементов.
- Discrete — блоки дискретных (цифровых) сигналов.
- Look-UpTables — блоки для формирования таблиц.
- MathOperations — блоки для реализации математических операций.
- ModelVerification — блоки для проверки параметров сигналов.
- Model-WideUtilities — подраздел дополнительных утилит.
- Port&Subsystems — порты и подсистемы.
- SignalAttributes — блоки для изменения параметров сигналов.
- SignalRouting — блоки, определяющие маршруты сигналов.
- Sinks — приемники и измерители сигналов.
- Sources — источники сигналов.
- User-DefinedFunction — функции, задаваемые пользователем.

Список разделов библиотеки Simulink представлен в виде дерева, и правила работы с ним являются общими для списков такого вида: пиктограмма свернутого узла дерева содержит символ «+», а пиктограмма развернутого содержит символ «-». Для того чтобы развернуть или свернуть узел дерева, достаточно щелкнуть на его пиктограмме левой клавишей мыши. При выборе соответствующего раздела библиотеки в правой части окна отображается его содержимое.

Для работы с обозревателем можно также использовать кнопки на панели инструментов.

Кнопки панели инструментов имеют следующее назначение:

1. Создать новую Simulink-модель (открыть новое окно модели).
2. Открыть одну из существующих S-моделей.
3. Изменить свойство окна обозревателя «всегда сверху». После нажатия на кнопку окно обозревателя будет отображаться поверх других открытых окон.

4. Найти блок, название которого (или первые несколько символов названия) указано в расположенном справа от кнопки текстовом поле. Если требуемый блок найден, в окне обозревателя открывается соответствующий раздел библиотеки, а блок отображается как выбранный, в противном случае в подокне комментария выводится сообщение Notfound<имя блока> (Блок <имя> не найден).

#### *Источники сигналов Sources.*

1. Constant - источник постоянного сигнала.
2. SineWave - источник синусоидального сигнала.
3. Ramp - источник линейно-изменяющегося воздействия.
4. Step - генератор ступенчатого сигнала.
5. SignalGenerator- генератор сигналов.
6. UniformRundomNumber - источник случайного сигнала с равномерным распределением.
7. RandomNumber - источник случайного сигнала с нормальным распределением.
8. PulseGenerator - источник импульсного сигнала.
9. ChirpSignal- генератор линейно-изменяющейся частоты.
10. Band-limited White Noise - генератор белого шума.
11. Clock - источник времени.
12. DigitalClock - дискретный источник времени.
13. FromFile - блок считывания данных из файла.
14. FromWorkspace - блок считывания данных из рабочей области MATLAB.
15. Ground- формирователь сигнала нулевого уровня.
16. RepeatingSequence - источник периодического сигнала.
17. Inport - входной порт.
18. SignalBuilder- конструктор сигналов.
19. RepeatingSequenceStair - источник ступенчатого периодического сигнала.
20. RepeatingSequenceInterpolated - источник периодического сигнала с интерполяцией.
21. CounterFree-Running - источник сигнала типа «счетчик».
22. CounterLimited – источник типа «счетчик с ограничением».

#### *Приемники сигналов Sinks.*

1. Scope- осциллограф.
2. FloatingScope- «плавающий» осциллограф.
3. XYGraph - графопостроитель.
4. Display - цифровой дисплей.
5. StopSimulation - блок остановки моделирования.
6. To File - блок записи в файл.

7. To Workspace - блок записи в рабочую область MATLAB.
8. Terminator - концевой приемник.
9. Outport - выходной порт.

### *Блоки непрерывных моделей Continuous.*

1. Derivative - блок вычисления производной.
2. Integrator - интегратор.
3. TransportDelay- блок фиксированной задержки сигнала.
4. VariableTransportDelay- блок управляемой задержки сигнала.
5. TransferFen - передаточная функция.
6. Zero-Pole - передаточная функция «нули-полюса».
7. State-Space - объект пространства состояний.

В MATLAB- SIMULINK также имеются:

Блоки дискретных моделей –Discrete;

Нелинейные блоки- Discontinuities;

Блоки математических операций- MathOperations;

Блоки маршрутизации сигналов- Signal&Routing;

Блоки определения свойств сигналов- SignalAttributes;

Блоки задания таблиц- Look-upTables;

Функции, определяемые пользователем -User-definedFunction;

Порты и подсистемы -Ports&Subsystems;

Блоки верификации сигналов- ModelVerification;

Библиотека дополнительных утилит- Model-WideUtilities;

Блоки логических операций- Logic and Bit Operations;

Часто используемые блоки- CommonlyUsedBlocks;

Дополнительные математические и дискретные блоки- Additional-Math&Discrete.

Более подробно о дополнительных блоках и их функциях смотри [ 3, 6, 9].

### *2.3 Библиотека блоков Sim Power Systems (Power System Blockset)*

Библиотека SimPowerSystems имеет восемь основных разделов:

**ElectricalSources**- источники электрической энергии. В состав библиотеки входят источники постоянного и переменного напряжения и тока, управляемые источники напряжения и тока, а также трехфазные источники переменного напряжения.

**Measurements**- измерительные и контрольные устройства. Библиотека содержит датчики тока и напряжения, блок измерения для трехфазных систем, мультиметр и измеритель полного сопротивления цепи (импеданса).

**Elements** - электротехнические элементы. В библиотеке находится большой набор моделей пассивных электротехнических элементов: одно- и трех-фазные RLC-цепи, трансформаторы, взаимоиндуктивность, грозозащитный разрядник и т. д.

**PowerElectronics**- устройства силовой электроники. В библиотеку включены модели силовых полупроводниковых элементов, диода, тиристора, IGBT-транзистора и тому подобных элементов. Кроме того, в библиотеке находятся модель универсального моста и модель трехуровневого моста.

**Machines** - электрические машины. В библиотеку входят различные модели машин постоянного и переменного тока, а также модели паровой и водяной турбин с регуляторами.

**PhasorElements** - модели устройств для расчета векторным методом.

**ExtraLibrary** - дополнительные электротехнические устройства. В данной библиотеке находятся модели дискретных и аналоговых элементов управления, в частности блоки управления полупроводниковыми выпрямителями и инверторами, различные фильтры, генераторы, таймеры и тому подобные устройства. Кроме того, в библиотеке находятся различные устройства для измерения, в частности блоки вычисления действующего и среднего значения сигнала, блок вычисления гармонического состава, блок вычисления активной и реактивной мощности и т. д. В библиотеке также есть раздел, где сведены все модели трехфазных элементов.

**LibrariesApplication**- прикладные библиотеки. Библиотека включает модели элементов для конкретных отраслей электротехники, в частности модели электроприводов постоянного и переменного тока.

### *Вопросы для контроля.*

1. Охарактеризуйте систему MATLAB.
2. Для чего предназначен пакет Simulink.
3. Что входит в библиотеку SimPowerSystems.
4. Перечислите возможности версии MATLAB 6.0.
5. Как MATLAB 6.0 интегрирован с другими системами.
6. Перечислите основные инструменты Simulink.
7. Как осуществляется запуск MATLAB.
8. Перечислите основные разделы библиотеки Simulink.
9. Перечислите основные разделы библиотеки SimPowerSystems.

## **Лабораторная работа 1.**

### **Исследование однофазного трансформатора.**

*Цель работы:* Исследование однофазного трансформатора под нагрузкой.

*Задание:* Построить модель однофазного трансформатора и исследовать ее под нагрузкой.

Трансформатором называется статистическое электромагнитное устройство с двумя или несколькими обмотками, использующие явление электромагнитной индукции для преобразования токов и напряжений одной системы в токи и напряжения другой. Особо важную роль трансформаторы играют при передаче электрической энергии на большие расстояния, так как в этом случае до поступления ее потребителю она подвергается многократному (3-5 раз) преобразованию с низкого напряжения в высокое напряжение и наоборот.

#### *Режим холостого хода.*

В режиме холостого хода ток во вторичной цепи равен нулю (нагрузка не подключена). При подаче на первичную обмотку трансформатора синусоидального питающего напряжения по ней протекает ток. Под действием связывающего обе обмотки магнитного потока в обеих обмотках наводится ЭДС самоиндукции. Режим холостого хода позволяет определить важные характеристики для практики параметры трансформатора, как коэффициент трансформации, потери в ферромагнитном сердечнике, индуктивное сопротивление контура намагничивания.

#### *Режим короткого замыкания.*

Вторичная обмотка при этом замыкается накоротко, а на первичную обмотку подается напряжение  $U$  такой величины, при которой ток первичной обмотки имеет номинальное значение. Величина  $U$  даже для трансформаторов малой мощности не превышает 10-25% от номинального значения.

#### ***Содержание работы***

1. 3. 1. Определение параметров схемы замещения при помощи опытов холостого хода и короткого замыкания.

1. 3. 2. Снятие нагрузочной и рабочих характеристик трансформатора.

#### ***Описание лабораторной установки***

Структурная схема виртуальной лабораторной установки представлена

на рис. 1.1.

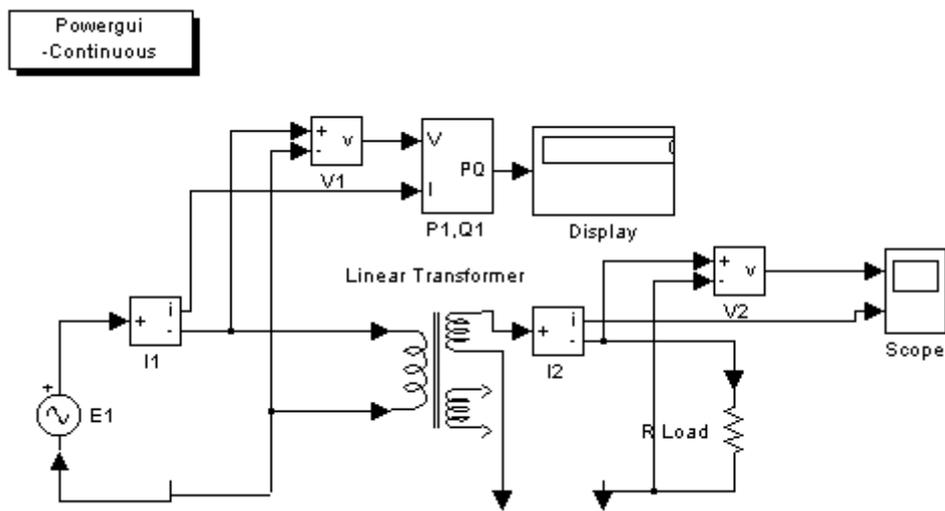


Рис. 1.1. Модель для исследования однофазного трансформатора

Модель содержит:

- источник переменного напряжения  $E_1$  из библиотеки PowerSystem-Blockset/ElectricalSources;
- измерители напряжения  $V_1$ ,  $V_2$  и измерители тока  $I_1$ ,  $I_2$  в первичной и вторичной цепях трансформатора из библиотеки PowerSystem-Blockset/Measurement;
- исследуемый трансформатор (*LinearTransformer*) и нагрузку (*RLoad*) из библиотеки PowerSystemBlockset/Elements;
- измерители активной и реактивной мощности в первичной и вторичной цепях трансформатора ( $P_1$ ,  $Q_1$ ,  $P_2$ ,  $Q_2$ ,) из библиотеки PowerSystem-Blockset/Extras/Measurement;
- блок пользователя (Powergui), который измеряет значения  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ;
- блоки *Display1*, *Display2* для количественного представления измеренных мощностей и блок *Scope* для наблюдения формы кривых тока и напряжения во вторичной цепи являются блокам главной библиотеки Simulink/Sinks.

Параметры трансформаторов для выполнения лабораторной работы приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Параметры трансформаторов

Тип трансформатора	$S_n$ [кВа]	$U_k$ [%]	$P_k$ [Вт]	$P_{10}$ [Вт]	$I_{10}$ [%]
ТС-10/066	10	4,5	280	90	7
ТС-16/066	16	4,5	400	125	5,8
ТС-25/066	25	4,5	560	180	4,8

ТС-40/066	40	4,5	800	250	4,0
ТС-63/066	63	4,5	1090	355	3,3
ТС-100/066	100	4,5	1500	500	2,7
ТС-160/066	160	4,5	2060	710	2,3

Базовыми значениями параметров трансформатора являются: расчетная полная мощность  $S$ , обозначенная как  $P$ [ВА], номинальная частота (Гц), действующее номинальное напряжение (В) соответствующей обмотки. Для каждой обмотки относительные сопротивления и индуктивность определяются выражениями:

$$R_n(pu) = \frac{R_n}{Z_{bn}}; L_n(pu) = \frac{X_n}{Z_{bn}}, \quad (1.1)$$

$$\text{где } Z_{bn} = \frac{U_n^2}{S}$$

Расчет относительных параметров трансформатора осуществляется на основании паспортных данных завода изготовителя по выражениям

$$R_m = \frac{R_0}{Z_b} = \frac{S}{U_1 \cdot I_{10} \cdot \cos \varphi_0}, L_m = \frac{x_0}{Z_b} = \frac{S}{U_1 \cdot I_{10} \cdot \sin \varphi_0}, \varphi_0 = \arccos \frac{P_{10}}{U_1 \cdot I_{10}} \quad (1.2)$$

$$R_1 = R_2' = \frac{R_k}{2 \cdot Z_b} = \frac{S \cdot U_k \cdot \cos \varphi_k}{2 \cdot U_1^2 \cdot I_n}, L_{p1} = L_{p2}' = \frac{x_k}{2 \cdot Z_b} = \frac{S \cdot U_k \cdot \sin \varphi_k}{2 \cdot U_1^2 \cdot I_n},$$

$$\varphi_k = \arccos \frac{P_k}{U_k \cdot I_n} \quad (1.3)$$

При этом номинальный ток трансформатора следует определить из выражения:

$$I_n = \frac{S}{U_1} \quad (1.4)$$

В полях окна настройки параметров трансформатора последовательно задаются:

- мощность трансформатора и частота;
- действующее напряжение и относительные параметры схемы замещения первичной обмотки;
- действующее напряжение и относительные параметры схемы замещения вторичных обмоток;
- относительные параметры ветви намагничивания;
- переменные состояния трансформатора, которые измеряются блоком *Multi-meter*.

Поскольку блок *Multimeter* не используется, то в поле *Measurement* выпадающего меню выбирается опция *None*.

В полях окна настройки параметров источника питания задаются:

- амплитуда источника (В);
- начальная фаза в градусах;
- частота (Гц);
- образец времени (с);
- переменные, измеряемые блоком *Multimeter*.

Напряжение и частота источника должны соответствовать параметрам трансформатора.

В полях окна настройки параметров нагрузки задаются R, L, C. Для исключения реактивных элементов индуктивность должна быть задана равной нулю, а емкость - бесконечности (*inf*). В окне настройки параметров измерителя мощности указывается частота, на которой измеряется активная и реактивная мощность. В полях окна настройки дисплея указывается формат представления числовых результатов, в поле *Decimation* (разбивка) задается число шагов вычисления, через которые значения выводятся на дисплей.

### ***Порядок выполнения работы***

Тип трансформатора для выполнения работы задается преподавателем. Заполняется окно настройки параметров моделирования.

Определение параметров схемы замещения и сравнение их с заданными в окне настройки производится при помощи методов холостого хода и короткого замыкания. При холостом ходе нагрузка отключена, трансформатор запитан номинальным напряжением. Действующие значения напряжений и токов трансформатора при холостом ходе определяются в окне блока *Powergui*.

Активная мощность в режиме холостого хода равна потерям в сердечнике трансформатора.

Относительные параметры ветви намагничивания рассчитываются по выражениям (1.1-1.4).

Опыт короткого замыкания проводится при коротком замыкании во вторичной цепи. При этом напряжение источника питания должно быть равно напряжению короткого замыкания трансформатора, ( $U_k = 29,7$  В).

Активная мощность в режиме короткого замыкания при первичном токе короткого замыкания равным номинальному, определяет потери в обмотках трансформатора. После проведения опытов и расчета параметров следует сравнить их с теми, которые были введены в окно параметров.

Снятие нагрузочной и рабочих характеристик трансформатора производится на модели (рис. 1.1) при изменении сопротивления нагрузки (0,2-1,2) Rном. При этом для каждого значения сопротивления нагрузки осуществляется моделирование. Номинальное сопротивление нагрузки рассчитывается по формуле:

$$R_{ном} = \frac{U_1^2}{S} \quad (1.5)$$

При проведении исследований заполняется таблица 1.2.

Таблица 1.2. Измеренные и рассчитанные значения

Нагр.	Измерения								Вычисления		
Rн [Ом]	P1 [Вт]	Q1 [ВА]	U1 [В]	I1 [А]	P2 [Вт]	Q2 [ВА]	U2 [В]	I2 [А]	$\varphi_1$ [град]	$\cos \varphi_1$ [град]	$\eta$

Вычисления производятся по выражениям:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}; \varphi = \arctg \frac{Q_1}{P_1} \quad (1.6)$$

По данным таблицы строится нагрузочная характеристика трансформатора и на отдельном рисунке - рабочие характеристики. Формы напряжения и тока на вторичной обмотке трансформатора, полученные с помощью осциллографа *Scope*.

### ***Содержание отчета***

1. Схема модели и описание виртуальных блоков.
2. Сравнительная таблица заданных и определенных из опытов холостого хода и короткого замыкания параметров трансформатора.
3. Нагрузочная характеристика трансформатора  $U_2=f(I_2)$
4. Рабочие характеристики трансформатора,  $\eta, \cos \varphi, I_1, U_2 =f(I_2)$ .

### ***Вопросы для контроля***

1. Основные характеристики трансформатора.
2. Структура потерь в трансформаторе и их источники.
3. Основные коэффициенты трансформатора.

## Лабораторная работа 2.

### Исследование механических характеристик двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

*Цель работы:* Исследовать механические характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения с помощью модели.

*Задание:* Построить модель двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и исследовать механические характеристики двигателя.

Механическая характеристика – это зависимость скорости вращения вала двигателя от момента сил сопротивления  $n = f(M_n)$

Модель для исследования механических характеристик двигателя постоянного тока с параллельной обмоткой возбуждения выполнена на основе данных машины ПН-45, параметры которой подготовлены нами к моделированию ранее.

*Задание:* Снять переходный процесс пуска двигателя и механические характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при различных напряжениях с помощью модели. Привести снятые с помощью модели переходные и механические характеристики.

Общий вид модели показан на рисунке 2.1.

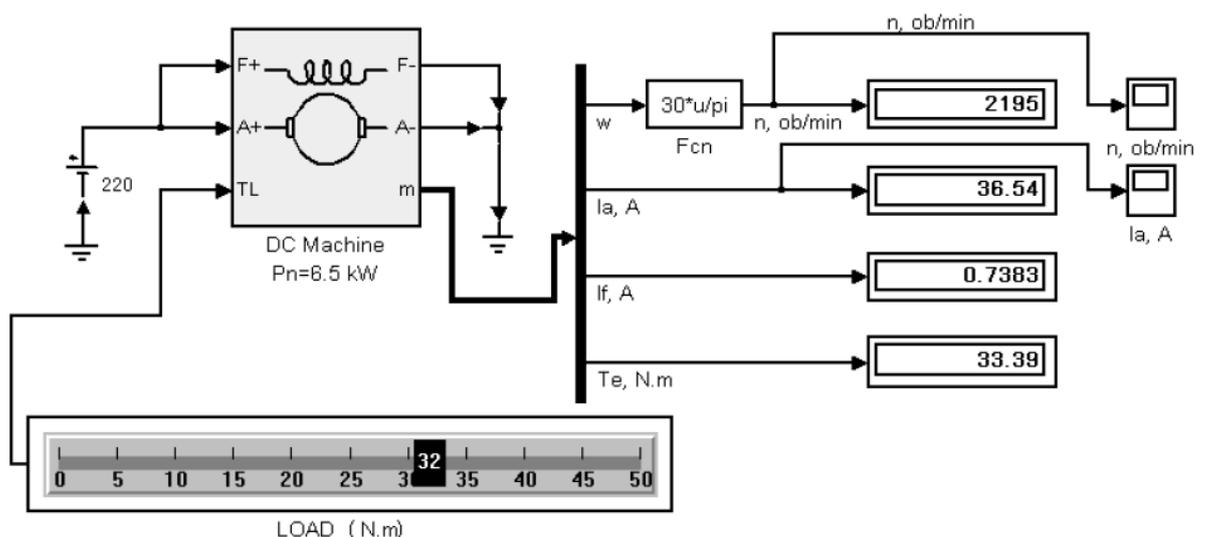


Рис. 2.1. Модель для исследования механических характеристик двигателя постоянного тока.

В состав модели входят:

Блок **DC Machine**. Объект исследования;

Блок источника постоянного тока **DC VoltageSource**(его имя скрыто). Напряжение источника показано рядом с изображением блока;

Блок **HorizontalSlider** из библиотеки **Dials & Gauges/Sliders**. Блок предназначен для задания величины момента нагрузки;

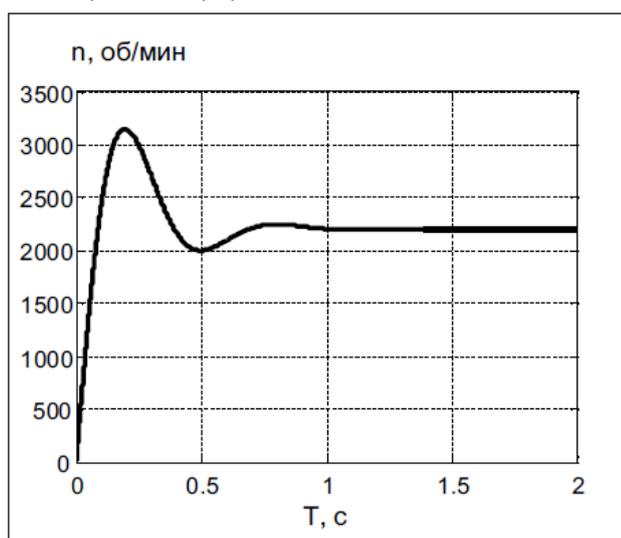
Блок **Demux** из библиотеки **Simulink/Signal Routing**. Блок распределяет вектор сформированных в модели машины электрических величин на отдельные линии;

Блок **Fcn** из библиотеки **Simulink/User-Defined Functions** осуществляющий пересчет угловой скорости вращения вала машины в скорость вращения, измеряемую в об/мин;

Четыре блока **Display** из библиотеки **Simulink/Sinks**. Это цифровые шкалы, они предназначены для индикации выходных величин модели;

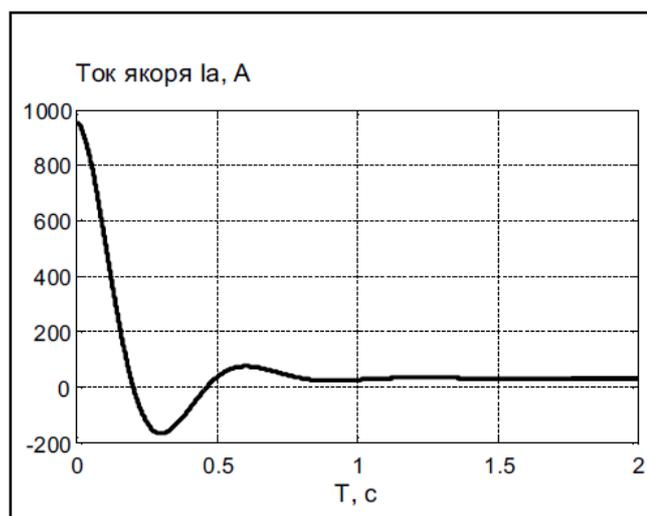
Два блока **Scope** из библиотеки **Simulink/Sinks**. Это блоки осциллографов. Они включены, чтобы показать вид переходного процесса при включении машины. Поскольку момент инерции машины невелик и пуск осуществляется прямым включением, то переходный процесс оказывается коротким. Ток при пуске достигает весьма больших значений ( $I_{яmax} = 954,5$  А). Одним из преимуществ модели, перед реальным двигателем является возможность исследовать его в режимах не допустимых или не достижимых в реальных ус-

ловиях. Безусловно, реальная машина при таком пуске может выйти из строя, да и источник питания должен быть рассчитан на пусковой ток. Но «виртуальная машина» остается целой, и наглядно может продемонстрировать студенту, что может быть, если не принять мер по снижению пускового тока. Осциллограммы переходного процесса разгона двигателя и тока якоря показаны на рисунке 2.2,а и 2.2,б, соответственно.



а

Рис.2.2а. Переходный процесс разгона двигателя ПН-45.



б

Рис. 2.2 б. Ток якоря при прямом включении.

При длительном моделировании во избежание переполнения памяти компьютера рекомендуется отключать осциллографы. Для отключения их можно не удалять из модели, а, войдя в меню **Parameters** блока **Scope** установить галочку в окошке **floatingscope** (см. рисунок 3.3).

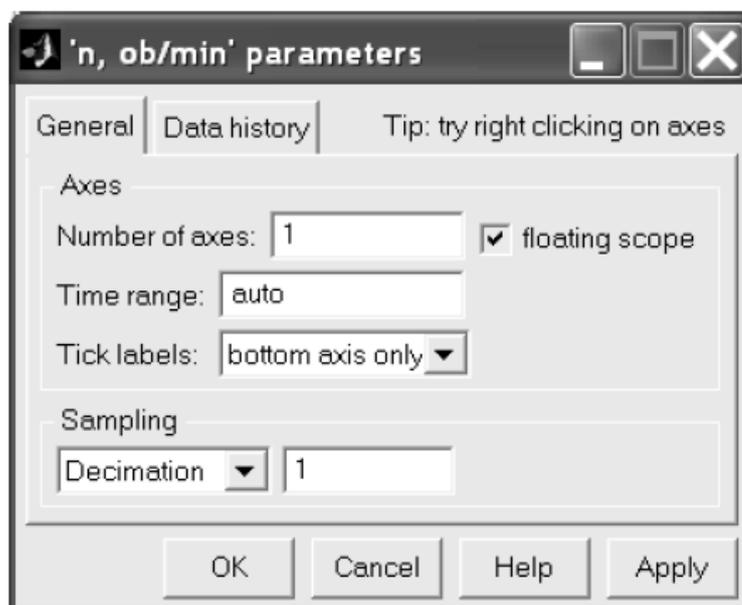


Рис. 2.3. Отключение блоков **Scope**.

В результате блоки будут отключены, но в любой момент их можно включить снова, сняв упомянутую галочку.

Вид модели показан на рисунке 2.4.

В рассматриваемой модели, задание момента нагрузки для наглядности осуществляется с помощью линейного ползункового регулятора (LOAD). Это позволяет визуально приблизить модель к лабораторному стенду. Для

дальнейшего «приближения» модели к реальному стенду вместо блоков дисплея возможно ввести стрелочные приборы, как показано на рисунке 2.5.

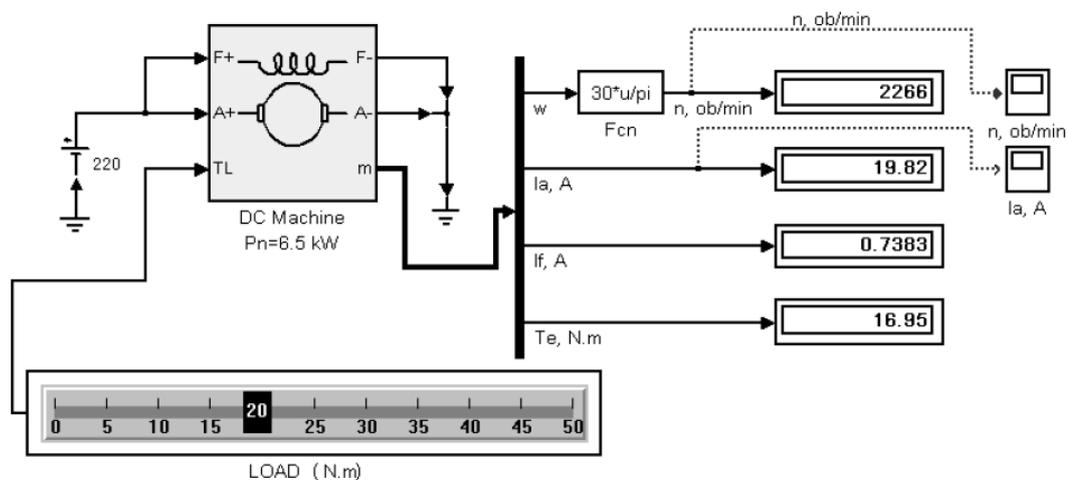


Рис. 2.4 – Модель с отключенными осциллографами.

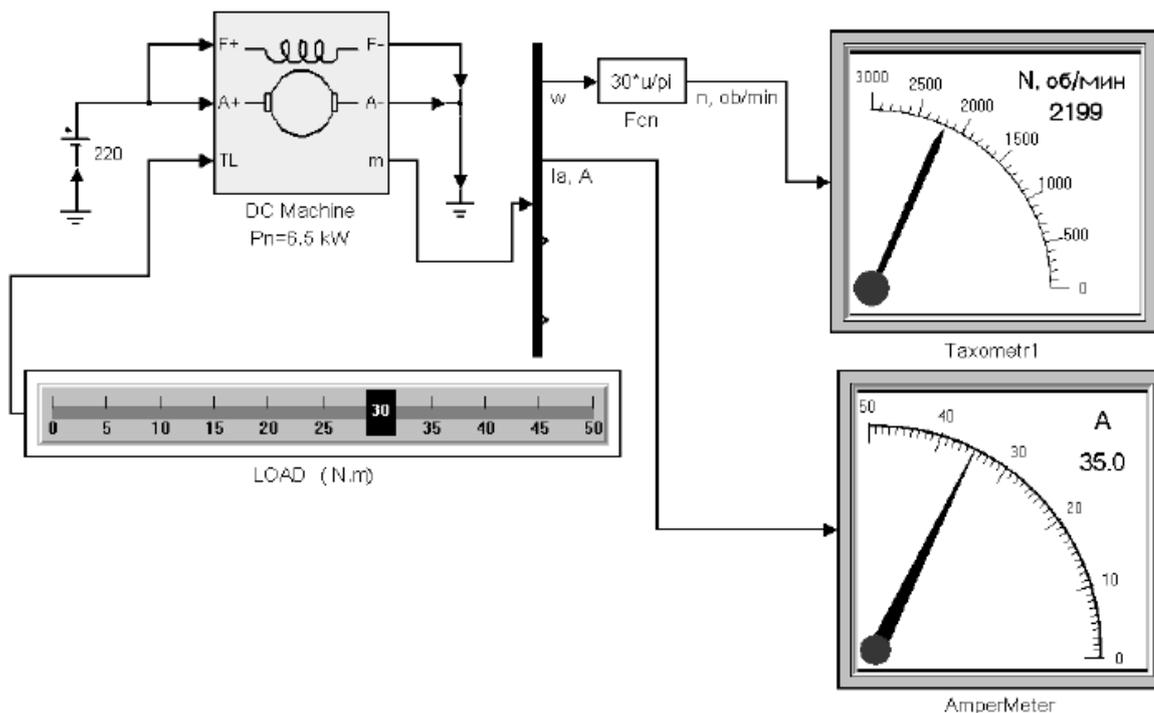


Рис. 2.5. Модель с виртуальными стрелочными приборами.

Для наглядности в модель можно вводить различные кнопки, переключатели, световые и звуковые индикаторы, цифровые и линейные шкалы, и многие другие органы управления. Для разработки технических интерфейсов в составе пакета **Simulink** имеется обширные возможности представлен-ныеспециальным пакетом расширения (библиотекой) **Dials&Gauges**.

Результаты исследования механической характеристики двигателя и тока якоря показаны на рисунках 2.6 и 2.7.

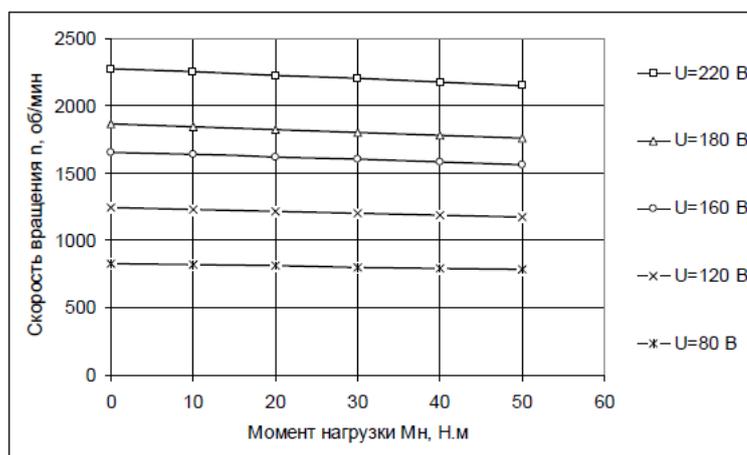


Рис.2.6. Механическая характеристика двигателя ПН-45 при различных напряжениях питания.

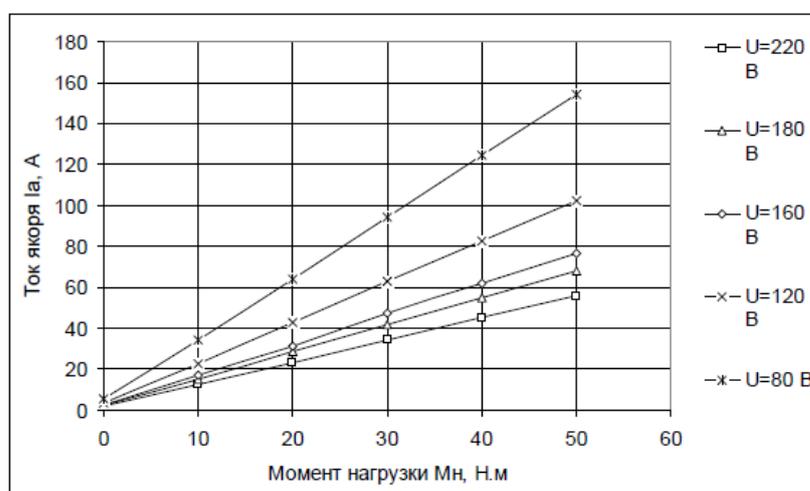


Рис. 2.7. Зависимость тока якоря от нагрузки двигателя ПН-45 при различных напряжениях питания.

### Содержание отчета

1. Схема модели и описание виртуальных блоков.
2. Кривая переходного процесса при различных напряжениях.
3. Механическая характеристика двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при различных напряжениях.
4. Зависимость тока якоря от нагрузки двигателя ПН-45 при различных напряжениях питания.

### Вопросы для контроля

1. Описание двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.
2. Объясните ход основных характеристик двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

### Лабораторная работа 3.

#### Моделирование процесса пуска двигателя постоянного тока с пусковым реостатом, переключаемым в функции времени.

*Цель работы:* построить модель пуска двигателя постоянного тока спусковым реостатом, переключаемым в функции времени.

*Задание:* Построить модель пуска двигателя постоянного тока спусковым реостатом, переключаемым в функции времени.

Рассмотрим модель для исследования пуска двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

Пусть пусковой реостат имеет три ступени. Пусковой реостат будем переключать в функции времени. Расчет ступеней пускового реостата выполним по известной методике [5].

Если задано количество ступеней пускового реостата, то соотношение моментов переключения определяется выражением

$$\lambda = \sqrt{\frac{1}{R_D^\partial \cdot M_1^\partial}} = \frac{M_1}{M_2},$$

где  $M_1 > M_2$  - моменты на валу машины, при которых переключаются ступени пускового реостата;

$$R_D^\partial = \frac{R_J}{R_H}, \quad M_D^\partial = \frac{M_1}{M_H}$$

- относительные величины сопротивления якоря и наибольшего из моментов переключения;

$$R_H = \frac{U_H}{I_H}$$

- номинальное сопротивление двигателя;

$U_H, I_H, M_H$  - номинальные значения напряжения питания, тока и крутящего момента двигателя, соответственно.

Тогда, сопротивления ступеней пускового реостата будут таковы

$$\begin{aligned} R_1 &= R_J \cdot (\lambda - 1), \\ R_2 &= R_1 \cdot \lambda, \\ R_3 &= R_2 \cdot \lambda. \end{aligned}$$

Моменты времени, в которые будут переключаться ступени, определяются по формуле

$$t_i = T_{Mi} \ln \frac{I_1 - I_H}{I_2 - I_H},$$

где

$$T_{Mi} = \frac{J \cdot R_{\Pi i}}{375 \cdot C_E \cdot C_M}$$

- электромеханическая постоянная времени для данной  $i$ -той ступени;

$$R_{\Pi i} = R_{\mathcal{A}} + R_i$$

- полное сопротивление якорной цепи, включая сопротивление  $i$ -той ступени пускового реостата  $R_i$ ;

$I_1, I_2, I_H$  - токи, соответствующие моментам переключения и ток, соответствующий нагрузке на валу двигателя, соответственно.

Поскольку, для машины с независимым возбуждением, токи якоря пропорциональны моментам на валу, то токи могут быть заменены соответствующими значениями моментов

$$t_i = T_{Mi} \ln \frac{M_1 - M_H}{M_2 - M_H}.$$

Полученная схема пуска двигателя представлена на рисунке 3.1.

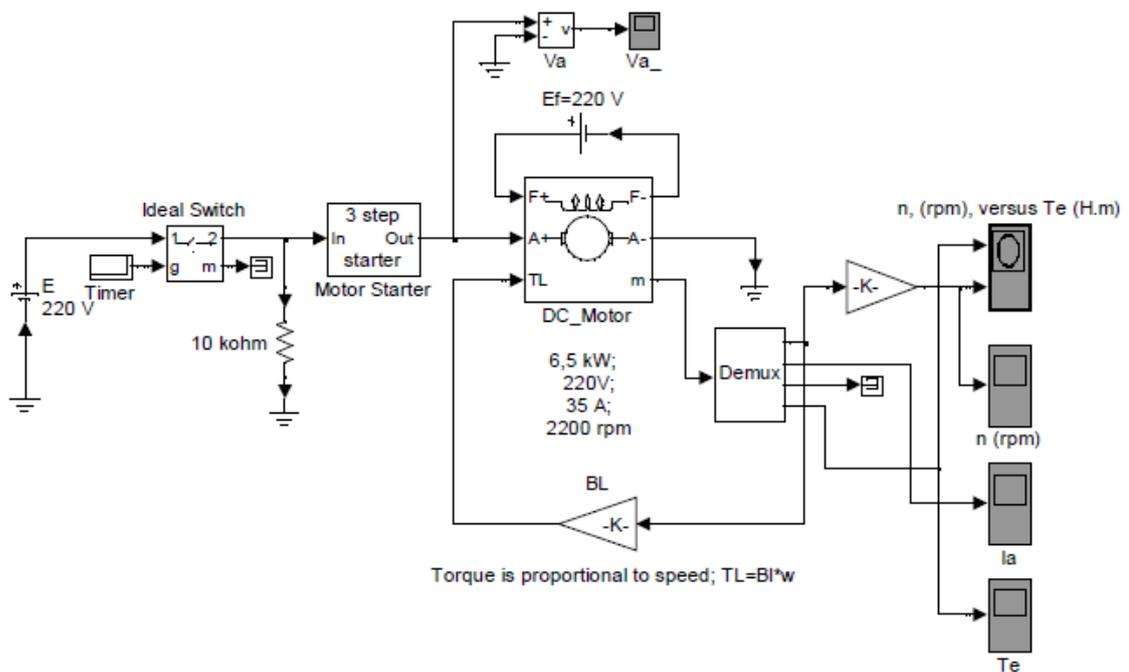


Рис.3.1. Модель схемы пуска с трехступенчатым реостатом.

Модель пускового реостата оформлена как подсистема **MotorStarter**. Ее внутренняя структура показана на рисунке 3.2.

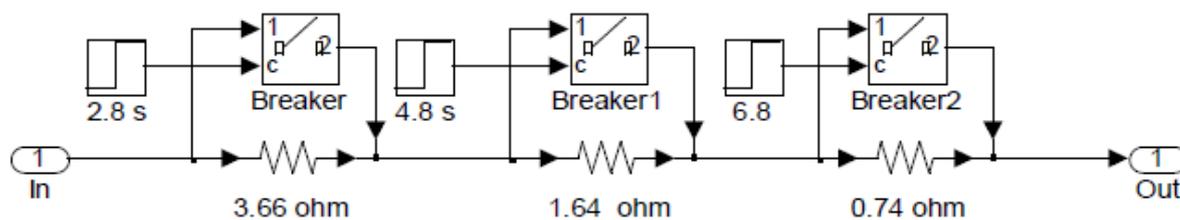


Рис. 3.2. Схема пускового реостата.

Здесь, сопротивления ступеней реостата заданы в соответствии с расчетом, выполненным по соответствующим выражениям. Эти сопротивления в заданные моменты времени замыкаются накоротко ключами **Breaker**.

Ключи срабатывают в моменты времени, заданные блоками **Step**. В окна настройки этих блоков (рисунок 3.3) введены уставки времени (подобно-уставкам реле времени в реальных схемах), определенные по выше приведенной формуле.

В модели предусмотрен вывод на осциллографы следующих кривых:

- напряжения подаваемого на двигатель, прибор Va;
- тока якоря, прибор Ia;
- скорость вращения вала  $n$ ;
- электромагнитного момента на валу двигателя, прибор Te .

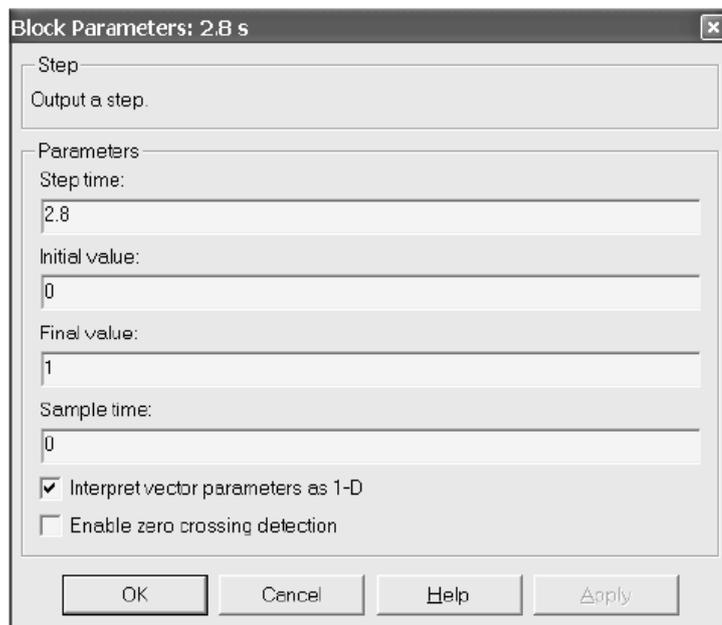


Рис. 3.3. Окно настройки блока Step.

Графопостроитель строит зависимость скорости вращения от момента на валу машины, рисунок 3.4.

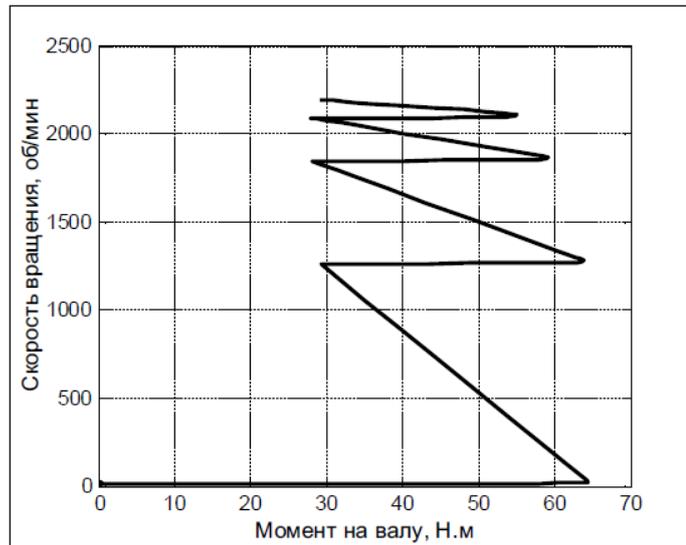


Рис. 3.4. Зависимость скорости вращения от момента на валу в процессе пуска.

Как видим, точки переключения не точно соответствуют теоретической картине. Это объясняется тем, что при расчете сопротивлений пускового реостата нагрузка на валу двигателя считалась неизменной. В данной модели в двигатель работает на линейно-возрастающую нагрузку. Она предполагает, что момент сил сопротивления на валу машины растет пропорционально частоте вращения вала. Такую зависимость имеет место, например, в приводе генератора с независимым возбуждением, который работает на постоянную электрическую нагрузку.

Уравнение момента нагрузки в модели имеет вид:

$$M_H = K \cdot \omega,$$

или в обозначениях принятых в модели:

$$T_L = Bl \cdot \omega = 0,2287 \cdot \omega.$$

Ток якоря и момент на валу машины изменяются, так как показано на рисунке 3.5, а график скорости вращения двигателя дан на рисунке 3.6.

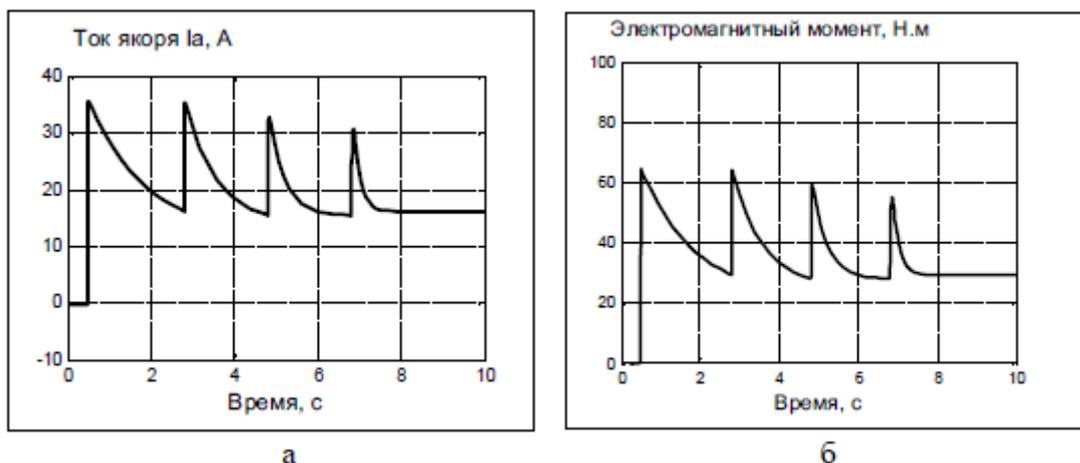


Рис. 3.5. Ток якоря при пуске (а), момент на валу (б).

Переключатели, используемые в модели, могут иметь параметры близкие к реальным. Например, можно задать сопротивление ключа в замкнутом  $R_{0N}$  и разомкнутом состоянии  $R_S$ . В последнем случае, возможно задание и емкости между контактами переключателя  $C_S$ . В нашем случае принято, что  $R_{0N} = 0,01 \text{ Ом}$ ,  $R_S = \infty$ ,  $C_S = 0$ .

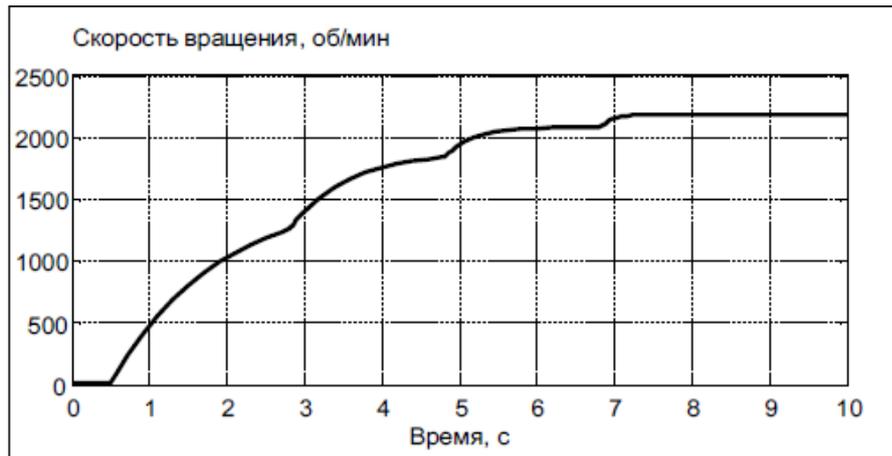


Рис. 3.6. График разгона исследуемого двигателя.

### **Содержание отчета**

1. Схема модели и описание виртуальных блоков.
2. Зависимость скорости вращения от момента на валу в процессе пуска.
3. Графики тока якоря двигателя при пуске и момента на валу двигателя.
4. График разгона исследуемого двигателя.

### **Вопросы для контроля**

1. Опишите процесс пуска двигателя постоянного тока с пусковым реостатом, переключаемым в функции времени.
2. Объясните график разгона исследуемого двигателя.

## Лабораторная работа 4.

### Моделирование процессов реверса и торможения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

*Цель работы:* Изучение процессов реверса и торможения в двигателях постоянного тока.

*Задание:* Создать и исследовать модель процессов реверса и торможения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

Весьма часто требуется быстро остановить механизм или изменить направление его движения (реверс). Скорость и точность, с которой будут проделаны эти операции, во многих случаях определяют производительность механизма и качество вырабатываемого продукта.

В процессе реверса для ограничения тока в цепь якоря вводят дополнительное сопротивление.

Рассмотрим модель для исследования пуска и реверса двигателя постоянного тока независимого возбуждения. За основу ее возьмем схему, приведенную в лабораторной работе 3, которая моделирует пуск двигателя с трехступенчатым пусковым реостатом.

Как известно реверс можно осуществить, изменяя полярность напряжения подаваемого на якорь или обмотку возбуждения двигателя. Но второй метод применяется редко, так как из-за значительной постоянной времени обмотки возбуждения процесс реверса носит затяжной характер.

Будет реверсировать двигатель, изменяя полярность напряжения на якоре. Для этого можно поступить двояко: либо смоделировать реальную релейно-контактную схему управления двигателем, либо изменять полярность напряжения на якоре методами, имеющимися в Simulink.

Поскольку мы исследуем не поведение схемы управления двигателем, а саму машину, то будем изменять полярности напряжения с помощью блока управляемого источника напряжения (ControlledVoltageSource), см. рисунок 4.1.

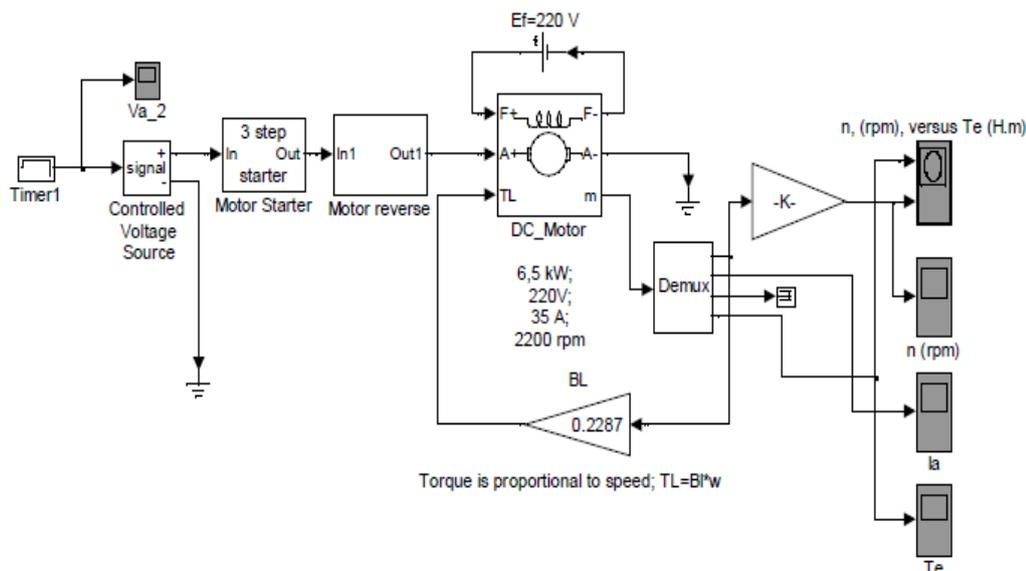


Рис. 4.1. Модель для исследования пуска и реверса двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

Будем реверсировать двигатель через 10 секунд после запуска. Для этого на управляющий вход управляемого источника напряжения подадим сигнал с блока Timer 1. Данный блок по истечении 0.5 секунды момента начала моделирования выдает число 220, а далее, через 10 секунд изменяет значение выходной величины, и выдает число минус 220. Окно настроек данного блока приведено на рисунке 4.2.

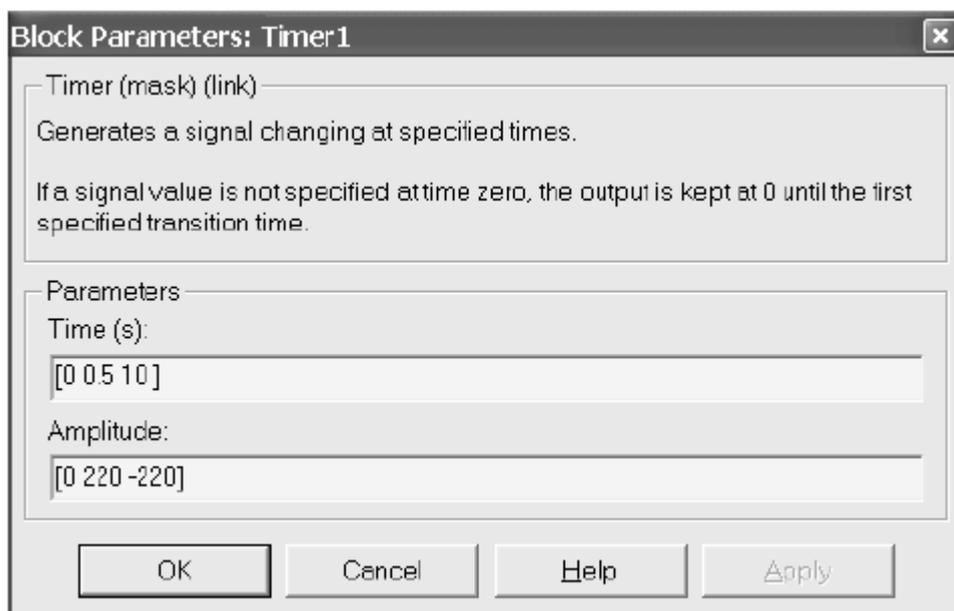


Рис. 4.2 Окно настроек блока Timer 1.

На выходе блока **ControlledVoltageSource** в заданные моменты времени вырабатывается соответствующее напряжение 220 В и минус 220 В.

Для ограничения тока в момент реверса введем в схему добавочное сопротивление. В модели это подсхема Motorreverse. Ее схема приведена на рисунке 4.3.

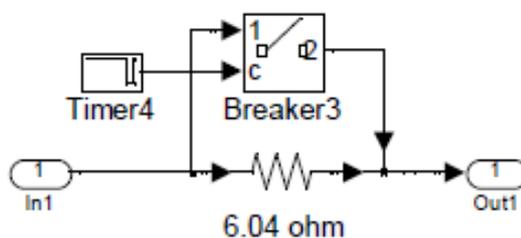


Рис. 4.3. Модель схемы включающей в цепь якоря добавочное сопротивление при реверсе.

Добавочное сопротивление включается в цепь ключом Breaker 3, который приводится в действие сигналом с блока таймера **Timer 4** в момент реверса. Величина добавочного сопротивления принята равной максимальному сопротивлению пускового реостата. При этом ток якоря при реверсе не будет превосходить пусковой ток.

Таймеры, включающие ступени пускового реостата настроены так, что в момент реверса пусковой реостат вводится в цепь якоря полностью, а затем, после полной остановки вала, начинают снова шунтировать ступени пускового реостата. При этом двигатель разгоняется в другую сторону. В момент начала этого разгона момент на валу машины имеет значительную величину, поэтому выдержки времени при переключении ступеней реостата сокращены по отношению к уставкам заданным при пуске.

График подаваемого на двигатель напряжения и тока якоря в процессе пуска и реверса приведены на рисунке 4.4.

Механические характеристики, построенные графопостроителем, приведены на рисунке 4.5. Зависимость скорости вращения вала двигателя от времени показана на рисунке 4.44.

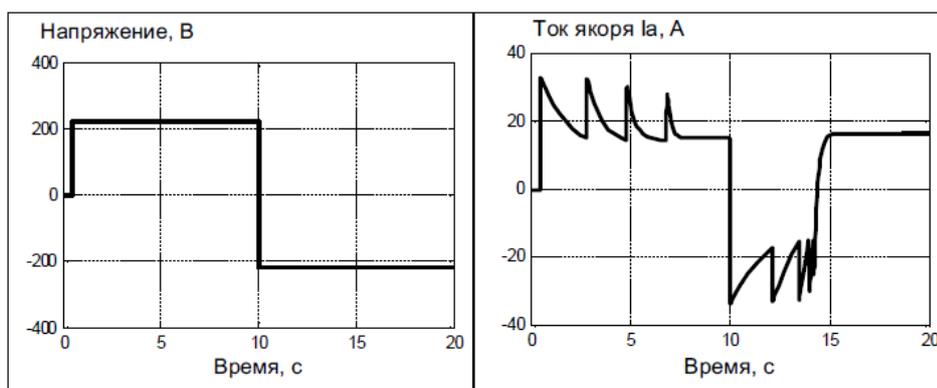


Рис. 4.4. Напряжение, подаваемое на якорь (а) и ток якоря (б.)

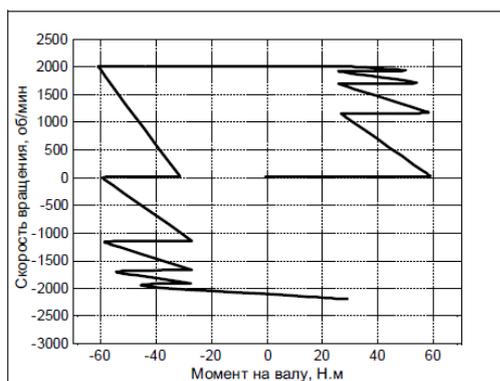


Рис. 4.5 Механические характеристики при пуске и реверсе двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

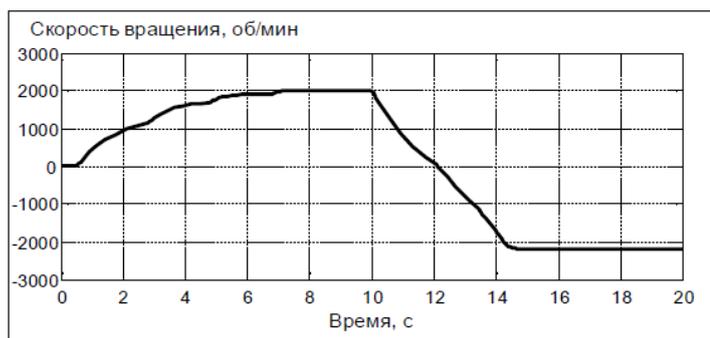


Рис. 4.6. График скорости вращения двигателя при пуске и последующем реверсе.

Аналогичные модели можно создать для исследования пусковых режимов для машин с последовательным возбуждением или асинхронных двигателей с фазным ротором. Принципиально, данные модели не будут отличаться, от рассмотренных выше, поскольку во всех случаях пуск и реверс осуществляются с помощью пусковых реостатов и добавочных сопротивлений вводимых в цепь якоря или ротора. Отличия будут лишь в величине сопротивлений ступеней реостатов и их количестве

Рассмотрим теперь моделирование схемы торможения двигателя. Существуют три способа принудительного торможения двигателей [6]:

- динамическое торможение;
- торможение противовключением;
- генераторное торможение.

Динамическое торможение происходит при отключении якоря или статора двигателя от сети. К якорю двигателя постоянного тока или фазному ротору асинхронной машины подключается сопротивление (или три сопротивления к каждой фазе обмотки ротора). Кинетическая энергия, запасенная в двигателе, при этом преобразуется в электрическую энергию, а затем в тепловую и рассеивается в окружающем пространстве.

При торможении противовключением к якорю или статору двигателя кратковременно подводится напряжение противоположной полярности (или противоположного чередования фаз). В результате двигатель практически

переходит в режим реверса. В момент, когда скорость двигателя снижается до нуля, напряжение, подаваемое на двигатель, отключают.

Генераторное торможение осуществляется тогда, когда скорость двигателя выше скорости идеального холостого хода. Такую схему мы здесь не рассматриваем.

Для сравнения эффективности разных способов торможения, и исследования процессов сопровождающих режимы торможения можно использовать модель приведенную ниже на рисунке 4.7.

В нею включены три отдельные схемы, носящие названия Variant 1. Variant 2 и Variant 3. соответственно.

Модель, обозначенная Variant 1, представляет собой схему прямого пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. В процессе моделирования двигатель запускается и на 10-й секунде после запуска отключается от сети. Происходит останов двигателя с естественным выбегом, время которого определяется инерционными свойствами машины.

Модель, обозначенная Variant 2, представляет собой схему аналогичного двигателя, который на 10-й секунде моделирования отключается от сети и якорь его замыкается на тормозное сопротивление величиной 5 Ом.

Модель, обозначенная Variant 3. представляет собой схему динамического торможения двигателя. После прямого пуска, здесь на 10-й секунде моделирования на якорь подается напряжение питания противоположной полярности. Начинается реверс двигателя, который прерывается в момент, когда скорость вала машины равна нулю.

Графики скорости вращения приведены на рисунке 4.8.

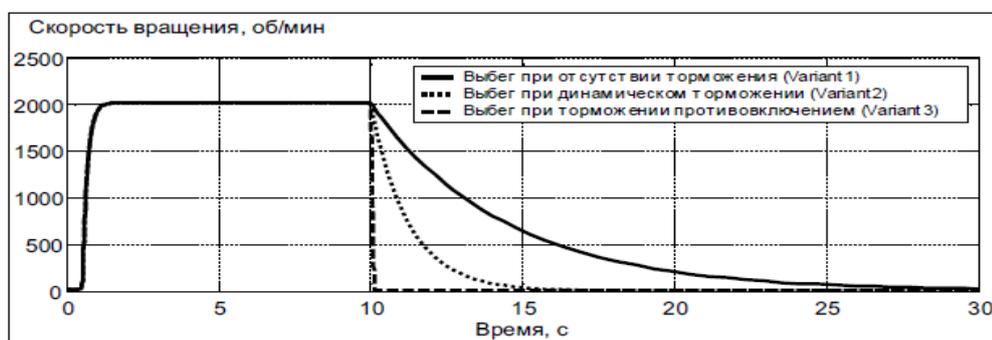


Рисунок 4.8. Переходные процессы торможения двигателя.

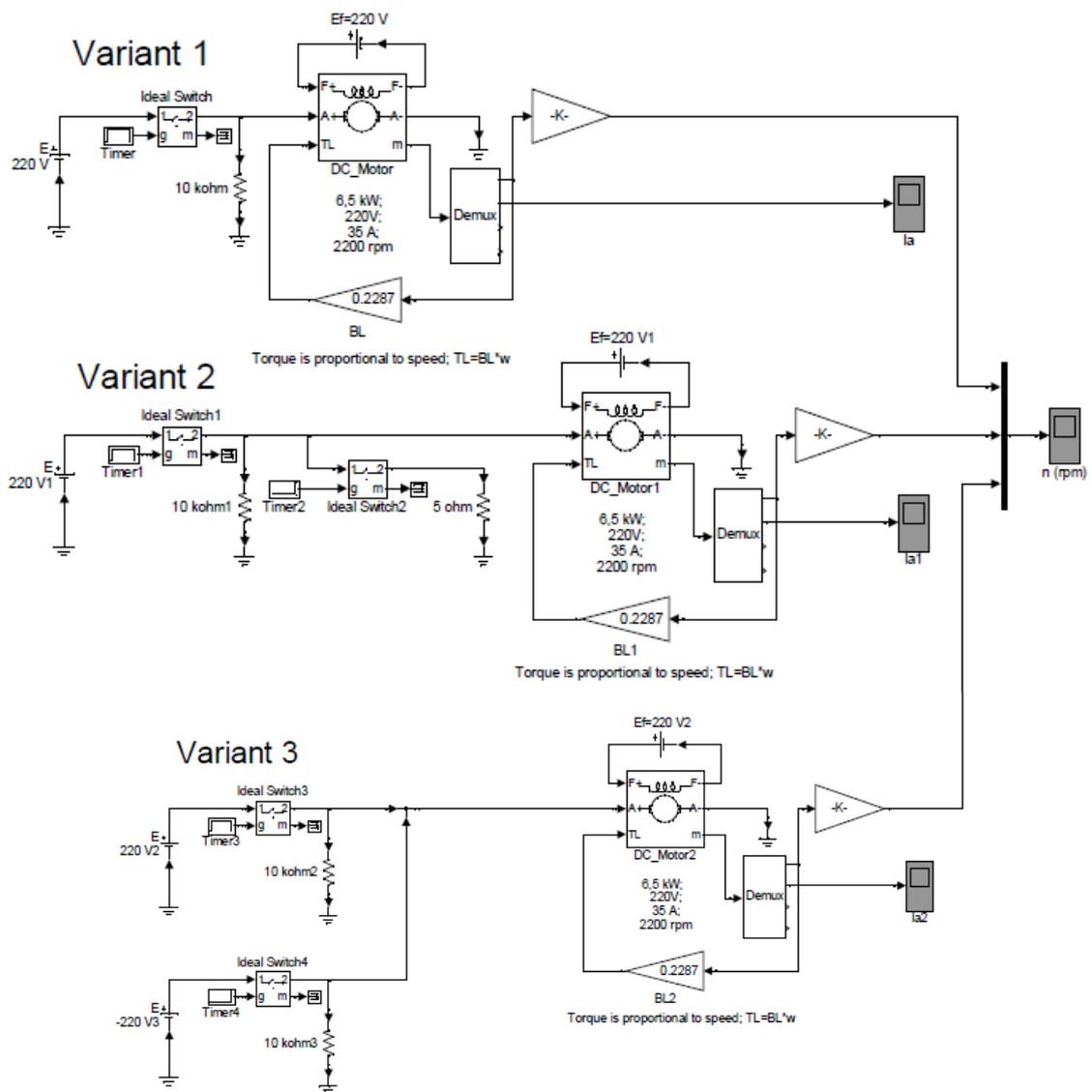


Рис. 4.7. Модель для сравнения разных способов торможения.

### Содержание отчета

1. Схема модели и описание виртуальных блоков.
2. Механические характеристики при пуске и реверсе двигателя постоянного тока независимого возбуждения.
3. График скорости вращения двигателя при пуске и последующем реверсе.

### Вопросы для контроля

1. Опишите процесс пуска двигателя постоянного тока с пусковым реостатом, переключаемым в функции времени.
2. Объясните процесс пуска и реверса двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

## Лабораторная работа 5.

### Исследование механических характеристик асинхронного двигателя.

*Цель работы:* Исследовать механических характеристик асинхронного двигателя с помощью модели.

*Задание:* Построить модель асинхронного двигателя и исследовать его механические характеристики.

В качестве исследуемого объекта выберем асинхронный двигатель типа АК10S4У3 с фазным ротором, подготовка параметров, к моделированию которого рассмотрена ранее. В рассматриваемой модели предусмотрим возможность исследования механических характеристик двигателя при изменении, как напряжения питания статора, так и при изменении сопротивления включенного в цепь ротора.

#### Описание лабораторной установки.

Схема модели приведена на рисунке 5.1.

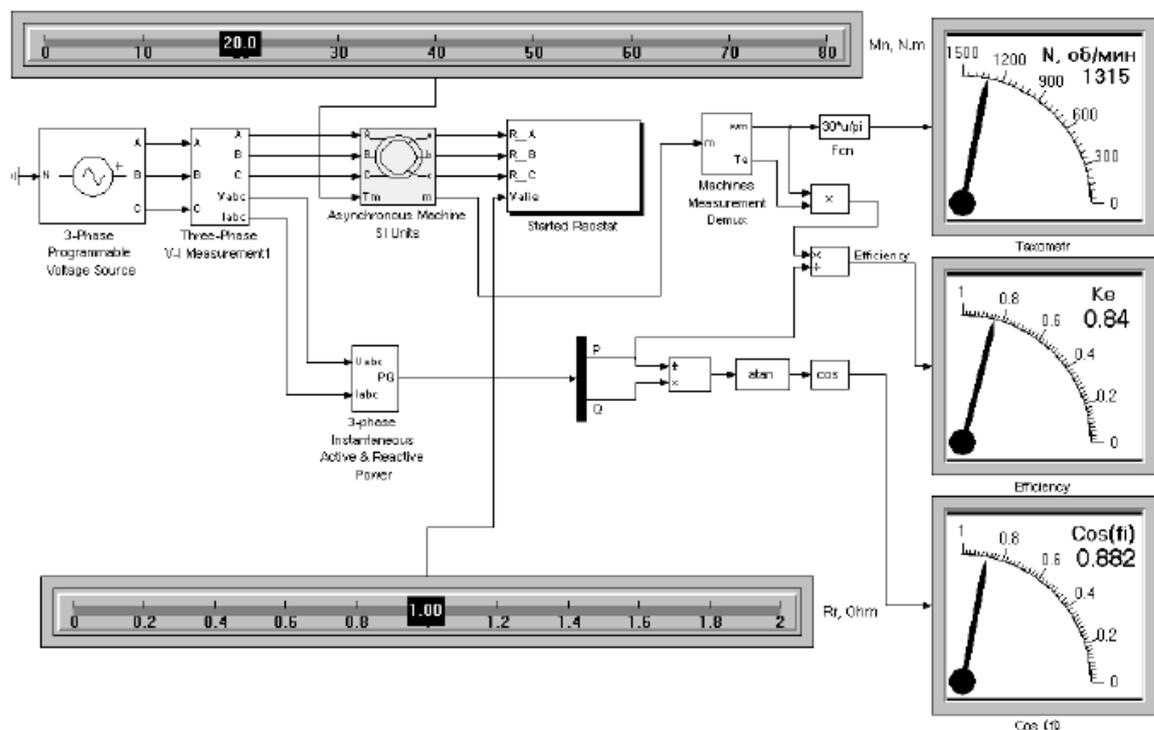


Рис. 5.1. Модель асинхронного двигателя с фазным ротором.

В качестве источника питания используем блок **3-Phase Programmable Voltage**

(3-х фазный программируемый источник напряжения, соединенный в звезду), с параметрами: напряжение между выводами фаз (т.е. линейное напря-

жение) - 220 В; начальная фаза фазы А – 0 °; частота – 50 Гц. Эти параметры вводятся в окно параметров блока в виде вектора [220 0 50].

Для исследования зависимости механических характеристик двигателя от напряжения питания, следует задавать его значение в окне блока параметров **3-Phase Programmable Voltage**, например, [180 0 50] (для линейного напряжения 180 В).

Для измерения действующих значений линейных напряжений и токов в схеме между источником и моделью двигателя включим блок **Three-Phase**

**V-I Measurement** (блок трехфазных измерений). На его выходе формируются векторы значений линейных напряжений **Vabc** и токов **Iabc**. Эти величины применяются в модели для вычисления активной и реактивной мощности потребляемой двигателем из сети. Блок **3-phase Instantaneous Active & Reactive Power**, внутренняя схема которого приведена на рисунке 5.2, производит определение активной и реактивной мощности трехфазной нагрузки.

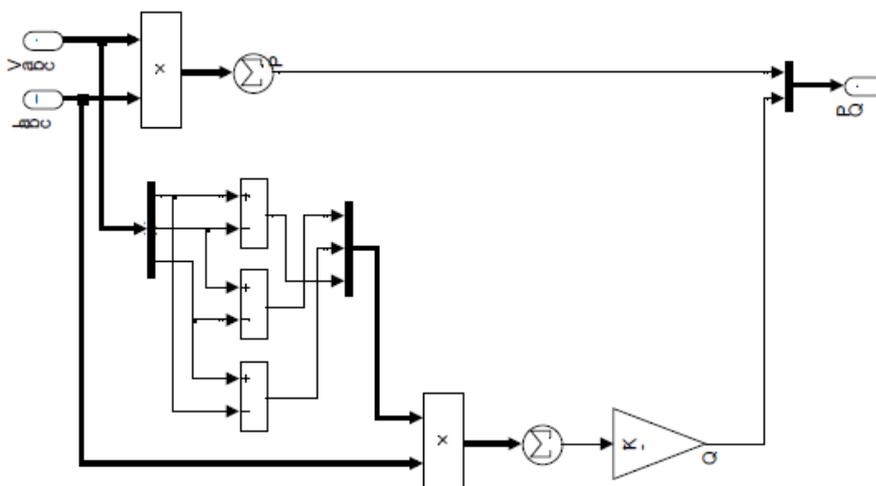


Рис. 5.2. Внутренняя схема блока 3-phase Instantaneous Active & Reactive Power.

Для вычисления активной мощности находится сумма скалярных произведений фазных напряжений и токов, соответственно.

$$P = \dot{U}_a \cdot \dot{I}_a + \dot{U}_b \cdot \dot{I}_b + \dot{U}_c \cdot \dot{I}_c,$$

Реактивная мощность определяется по формуле

$$Q = \frac{\dot{U}_{bc} \cdot \dot{I}_a + \dot{U}_{ca} \cdot \dot{I}_b + \dot{U}_{ab} \cdot \dot{I}_c}{\sqrt{3}}.$$

На выходе блока формируется вектор из двух значений активной ( $P$ ) и реактивной ( $Q$ ) мощности. Далее определяется коэффициент мощности по выражению

$$\cos \varphi = \cos \left( \arctg \left( \frac{P}{Q} \right) \right).$$

Для оценки эффективности регулирования скорости вращения асинхронного двигателя, с помощью реостата в цепи ротора, в модели определяется величина коэффициента полезного действия (КПД – обозначенная на схеме  $Ke$ ). Он вычисляется по выражению

$$Ke = \frac{P_m}{P} = \frac{T_e \cdot \omega}{P},$$

где  $P_m$  - механическая мощность на валу двигателя;

$T_e$  - крутящий момент на валу двигателя;

$\omega$  - угловая скорость вращения вала.

Момент нагрузки и сопротивление реостата в модели задаются с помощью движковых регуляторов.

В пакете **SimPowerSystems** отсутствует готовый блок регулируемого внешним сигналом переменного сопротивления. Но его можно создать на основе блока **ControlledVoltageSource** (блок управляемого источника напряжения). Действительно, наличие в цепи сопротивления приводит к возникновению на нем падения напряжения  $U$ , противодействующего протекающему току  $I$ . Поэтому для создания модели переменного резистора необходимо включить в цепь управляемый источник напряжения, на вход которого будет подаваться сигнал пропорциональный протекающему по цепи току.

На основной модели (рисунок 5.1) она обозначена как **StartedReostat**.

На приведенных ниже рисунках 5.3 – 5.6 в качестве примера показаны результаты моделирования.

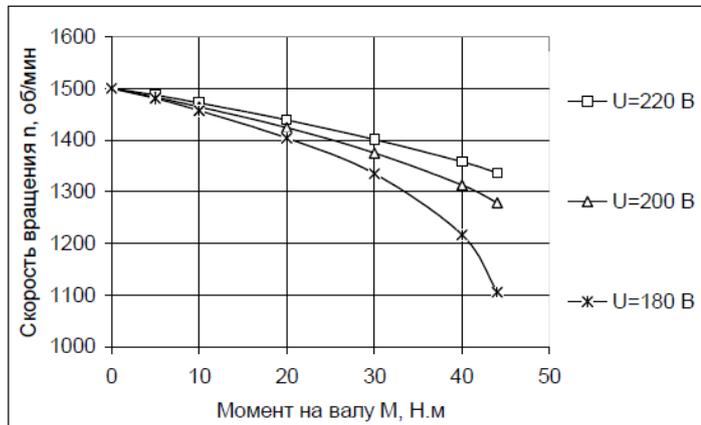


Рис.5.3. Механические характеристики асинхронного двигателя при различных напряжениях питания и короткозамкнутой фазной обмотке.

Выходными величинами модели асинхронного двигателя являются момент на валу и частота вращения вала, которая для наглядности пересчитывается в скорость вращения и отображается на циферблате тахометра.

Для выведения из блока **AsynchronousMachine SI Units** момента и частоты вращения служит блок **MachinesMeasurementDemux**.

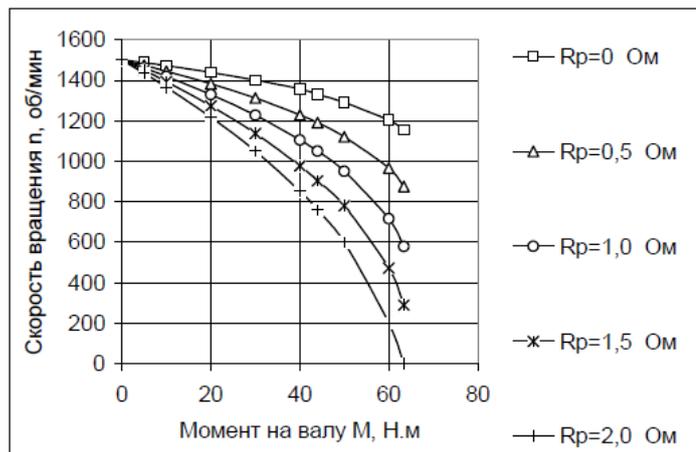


Рис.5.4. Механические характеристики асинхронного двигателя при различных сопротивлениях пуско-регулирующего реостата и номинальном напряжении питания.

Коэффициент полезного действия двигателя и его коэффициент мощности также выведены на индицирующие приборы.

На рисунке 5.5 приведена снятая «экспериментально» зависимость коэффициента мощности от нагрузки при номинальном напряжении питания и короткозамкнутой фазной обмотке. Интересно, что, как и следует из теории, данная кривая практически не зависит от величины сопротивления в цепи ротора. Как видим, из рисунка 5.6, КПД при данном типе регулирования скорости вращения невелик и резко снижается с ростом нагрузки и увеличении сопротивления пуско-регулирующего реостата.

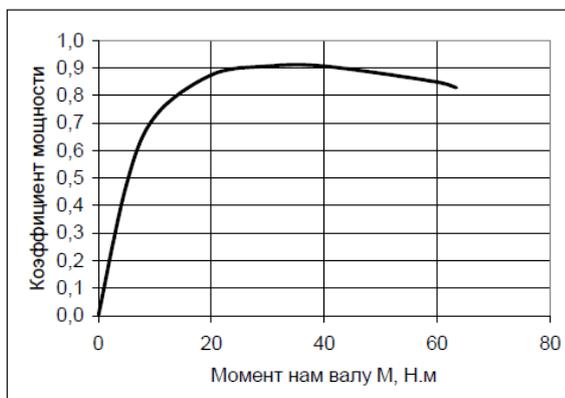


Рис. 5.5. Зависимость коэффициента мощности от нагрузки при номинальном напряжении питания.

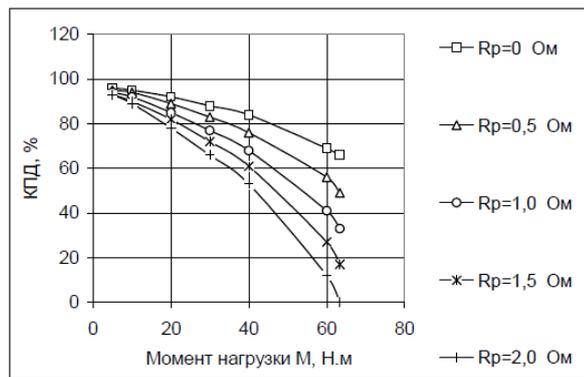


Рис. 5.6. Зависимость КПД от нагрузки при номинальном напряжении питания и разных сопротивлениях реостата.

Данная схема позволяет исследовать не только статические механические характеристики двигателя, но и изучать динамику при прямом пуске двигателя с фазным ротором. Для исследования переходных процессов в двигателе нужно включить в схему осциллограф, как показано на рисунке 5.7, на данной схеме связи и приборы для регистрации коэффициента мощности и КПД удалены.

Например, на рисунке 5.8 показаны переходные процессы разгона двигателя при включении его с разными значениями сопротивления пускового реостата и одинаковой нагрузке  $T_m = 20$  Н·м.

В модели, каждый из приведенных переходных процессов получается на отдельном экране, но в целях сокращения объема мы показываем их на общем графике, полученном в результате редактирования.

Видим, что наиболее быстро протекает процесс пуска при короткозамкнутом роторе. С ростом величины сопротивления реостата процесс разгона двигателя затягивается.

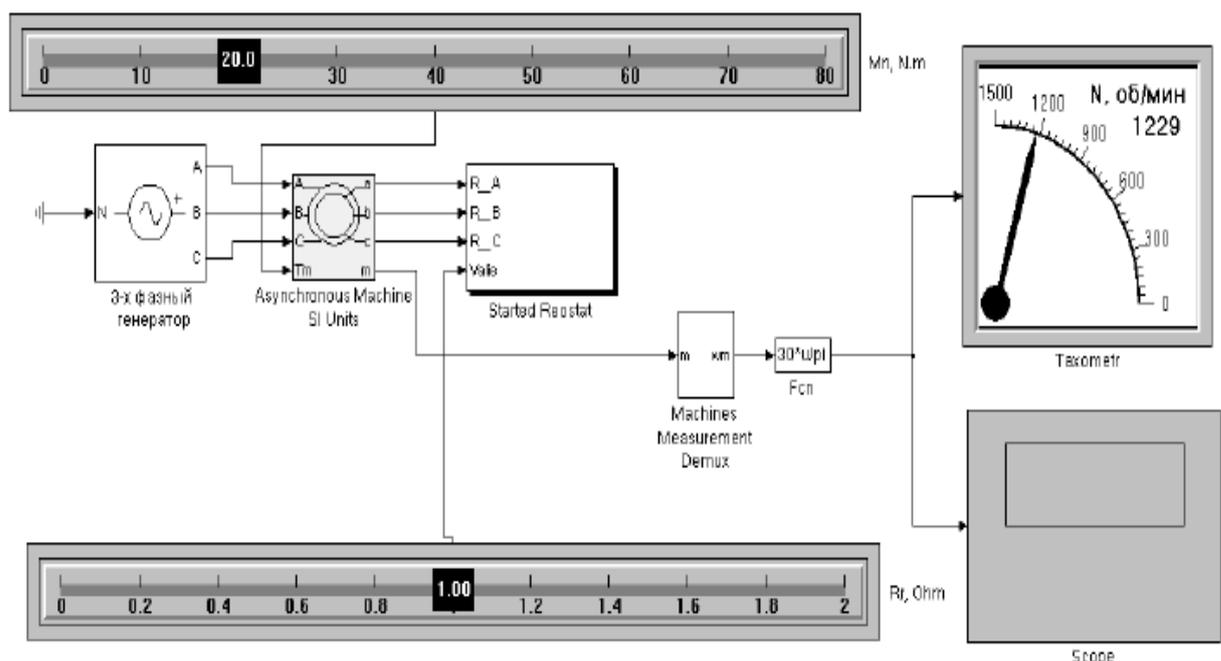


Рис. 5.7. Модель для исследования динамики асинхронного двигателя с

фазным ротором.

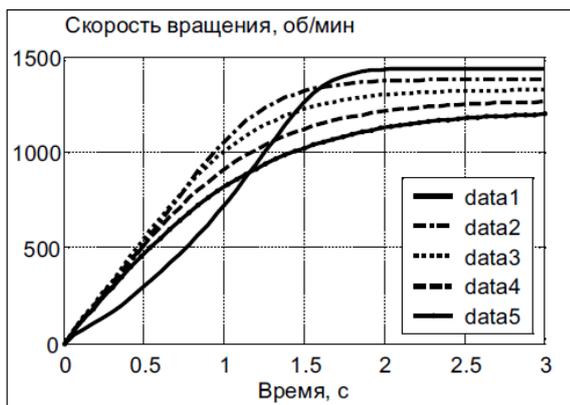


Рис. 5.8. Кривые переходного процесса.

### **Порядок выполнения работы.**

1. Набрать модель по схеме 5.1. Снять механические характеристики асинхронного двигателя при различных сопротивлениях пуско-регулирующего реостата и номинальном напряжении питания.
2. Снять зависимость коэффициента мощности от нагрузки при номинальном напряжении питания. Снять зависимость КПД от нагрузки при номинальном напряжении питания и разных сопротивлениях реостата.
5. Исследовать переходные процессы в модели двигателя; для этого собрать схему рис.5.7. Получить кривые переходного процесса.

### **Содержание отчета.**

1. Схемы моделей. Описание блоков.
2. Характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором.

### **Вопросы для контроля.**

1. Устройство и принцип действия асинхронного двигателя с фазным ротором.
2. Характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором; объяснение их хода.

## Лабораторная работа 6.

### Исследование модели автономного инвертора напряжения.

*Цель работы:* Изучение возможностей среды MATLABSimulink в моделировании

основных характеристик устройств силовой электроники.

*Задание:* Построить модель автономного инвертора напряжения и исследовать статическую, внешнюю (нагрузочную) и электромагнитную характеристики инвертора.

Полупроводниковый преобразователь преобразует электрическую энергию с параметрами  $U_1, f_1$  в электрическую энергию с параметрами  $U_2, f_2$  при воздействии сигналов управления. Кроме силовых полупроводниковых элементов в состав полупроводникового преобразователя, как правило, входят и другие элементы, к ним, в первую очередь, относятся:

- реактивные элементы-конденсаторы, катушки индуктивности, дроссели;
- электромагнитные преобразующие элементы — силовые трансформаторы, измерительные трансформаторы;
- система управления, которая в общем случае представляет собой сложное электронное устройство, реализованное либо на элементах интегральной микросхемотехники, либо на микроконтроллере;
- система защиты и сигнализации аварийных режимов.

Свойства систем силовой электроники изучаются на основе их основных характеристик, которые можно разделить на статические, квазиустановившиеся и динамические.

К *квазиустановившимся характеристикам* в силовой электронике следует отнести:

- мгновенные электромагнитные процессы в нагрузке, в источнике питания и силовых полупроводниковых элементах в установившемся режиме работы полупроводникового преобразователя;
- спектральные характеристики — спектры напряжения и тока в цепи питания и в нагрузке преобразователя.

*Статические характеристики* устанавливают связь между средними, действующими (эффективными) или амплитудными значениями переменных состояния, к ним относятся:

- регулировочные характеристики, представляющие собой зависимости выходного напряжения или тока от сигнала управления;
- нагрузочные (внешние) характеристики, являющиеся зависимостями выходного напряжения оттока нагрузки;

- электромагнитные характеристики, представляющие собой зависимости амплитудных, действующих (средних) токов (напряжений) в цепи питания и полупроводниковых элементах преобразователя оттока нагрузки;
- энергетические характеристики — зависимости мощности в цепи питания преобразователя, а также мощности потерь в полупроводниковых элементах преобразователя от мощности в нагрузке.

*К динамическим характеристикам* в силовой электронике относятся:

- переходные электромагнитные процессы в нагрузке и источнике питания при скачкообразном изменении величины входного сигнала;
- переходные электромагнитные процессы в нагрузке при скачкообразном изменении параметров источника питания;
- переходные электромагнитные процессы в источнике питания при скачкообразном изменении параметров нагрузки;
- переходные электромагнитные процессы в полупроводниковых элементах преобразователя при их переключении.

Независимой переменной при моделировании является время. Поэтому квазиустановившиеся и переходные характеристики являются результатом моделирования и могут быть легко получены в результате моделирования.

Независимыми переменными при построении статических характеристик являются действующие или средние значения переменных состояния в установившемся режиме. Поэтому получение статических характеристик требует специального модельного эксперимента, при котором необходимо изменять независимую переменную и определять необходимые зависимости в установившемся режиме.

Ниже рассмотрены способы получения всех перечисленных характеристик и зависимостей на примере трехфазного автономного инвертора напряжения с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) на несущей частоте. По сравнению с однофазным инвертором, в трехфазном автономном инверторе напряжения моделирующие напряжения управления транзисторами каждого плеча инвертора сдвинуты на 120 градусов (рис.6. 1). Эти сигналы сравниваются с пилообразным несущим напряжением и формируют сигналы управления каждым плечом (на рис.6.1 показаны сигналы управления плечом фазы А). В соответствии с сигналами управления транзисторами формируется напряжение на каждой фазе нагрузки.

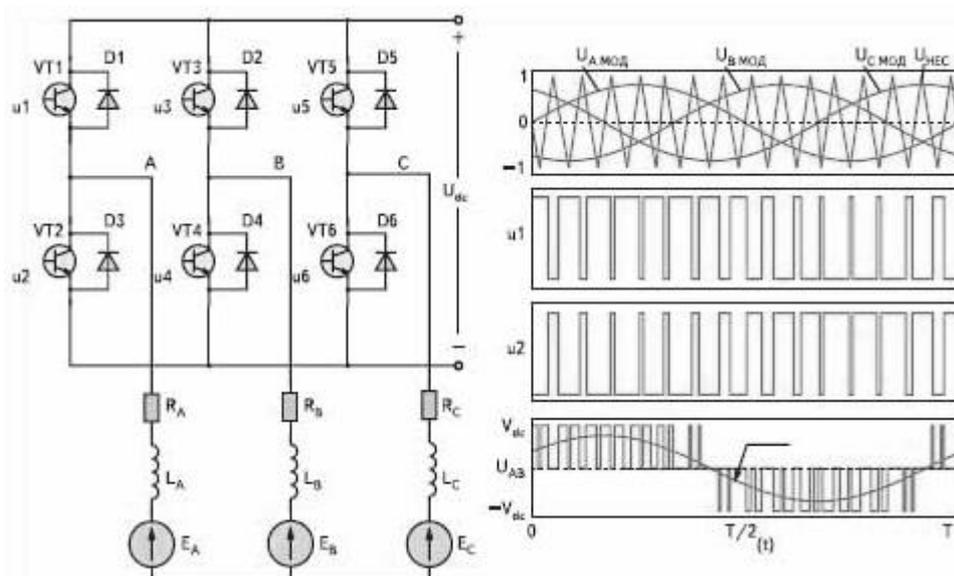


Рис. 6.1. Трехфазный инвертор с синусоидальной ШИМ на несущей частоте.

В настоящее время автономные инверторы все чаще используются в электромеханических системах для управления двигателями временного тока, системах электропитания в качестве активных выпрямителей, активных фильтров, компенсаторов реактивной мощности и т. д. Во всех этих устройствах инвертор с одной стороны присоединен к источнику переменного напряжения, а с другой — к источнику постоянного напряжения.

Коэффициентом модуляции в инверторе называется отношение амплитуды модулирующего напряжения к амплитуде пилообразного напряжения.

$$M = U_{m, \text{мод}} / U_{m, \text{нес}}$$

В диапазоне изменения коэффициента модуляции  $0 < m < 1$  инвертор находится в линейной зоне.

### **Описание базовой модели инвертора в MATLAB.**

Для получения основных характеристик инвертора используются различные модели, отличающиеся в основном блоками измерения и записи результатов измерения в рабочее пространство MATLAB. При этом сам инвертор, его блок питания, управления и нагрузка остаются без изменений, они представлены на рис.б. 2.

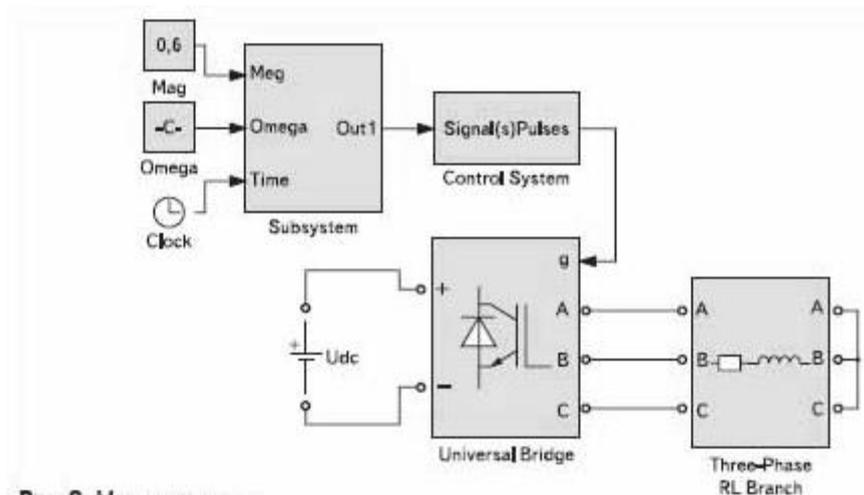


Рис. 6.2. Модель инвертора.

Содержание блока Subsystem представлено на рис. 6.3а. Блоки Fcn, Fcn1, Fcn2 вычисляют модулирующие сигналы управления транзисторам в плечах А, В, С инвертора соответственно по выражениям:

$$\begin{aligned}
 u_A &= u(1) \sin(u(2)*u(3)), \\
 u_B &= u(1) \sin(u(2)*u(3) - 2*\pi/3), \\
 u_C &= u(1) \sin(u(2)*u(3) + 2*\pi/3).
 \end{aligned}$$

На рис. 6.3б показано окно настройки блока Fcn.

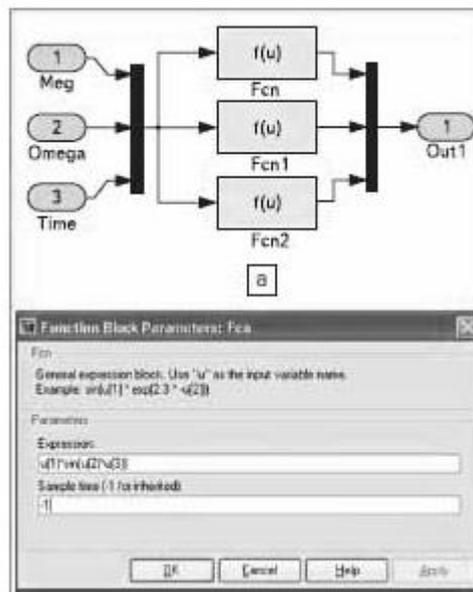


Рис. 6.3. Блок вычисления модулирующего сигнала: б.3а, б.3б.

Пилообразное напряжение несущей частоты, генерируемое блоком ControlSystem, имеет амплитуду 1 В. Поэтому величина сигнала блока Мед равна коэффициенту модуляции инвертора (см. уравнение 1). На вход блока Subsystem (рис. 2) подано три сигнала: и (1) — амплитуда модулирующего напряжения (блок Mag), и (2) — угловая частота модулирующего напряже-

ния  $\omega_0 = 2\pi / T$ , где  $T = 25$  Гц (блок Omega) и  $t$  — текущее время (блок Clock).

Во всех моделях шаг дискретизации ( $\text{MaxStepSize} = 1e-4$ ).

### *Статические характеристики трехфазного инвертора программными средствами MATLAB.*

Статические характеристики инвертора можно получить различными способами. Рассмотрим три из них, с которых используются программные средства MATLAB и связь MATLAB с MSOffice. Ниже каждый из способов рассматривается на конкретном примере получения определенной статической характеристики. Однако необходимо подчеркнуть, что любой из рассмотренных способов позволяет получить все статические характеристики.

#### *Построение регулировочной характеристики.*

Получение регулировочной характеристики осуществляется на модели, представленной на рис.6. 7.

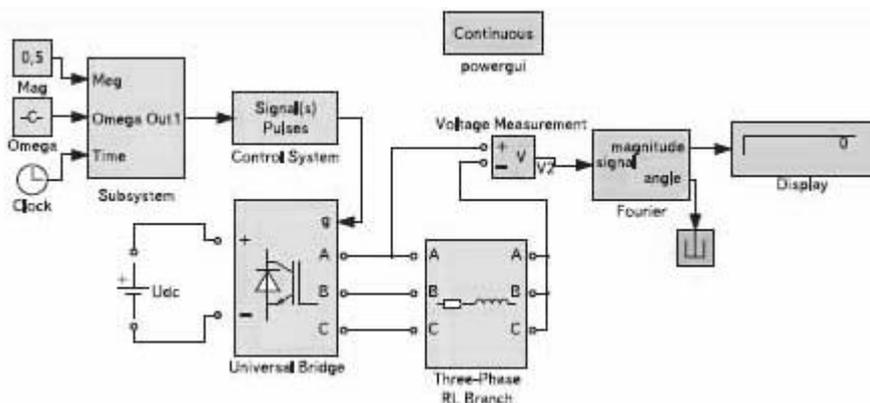


Рис.6.7. Модель для снятия регулировочной характеристики.

Получение регулировочной характеристики осуществляется методом, который обычно используется на реальных установках, когда при включенной схеме изменяется входной сигнал и измеряется выходное напряжение. Для этого в модели время симуляции выбирается бесконечным ( $\text{inf}$ ) и с определенным шагом (в данном случае с шагом 0,2 В) изменяется напряжение блока Mag. По результатам измерения строится регулировочная характеристика (рис.6. 8).

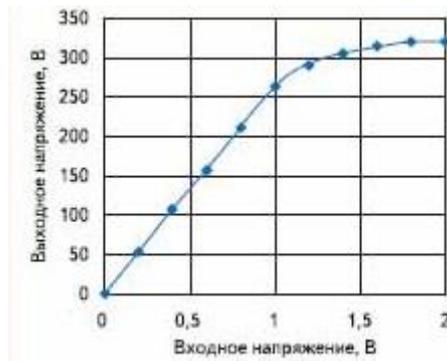


Рис.6. 8. Регулировочная характеристика автономного инвертора напряжения.

Из рис. 8 видно, что инвертор является линейным звеном в диапазоне изменения коэффициента модуляции  $0 < m < 1$ . При  $m > 1$  регулировочная характеристика становится нелинейной. По регулировочной характеристике определяется коэффициент усиления инвертора как звена в системе регулирования.

### ***Построение внешней (нагрузочной) и электромагнитных характеристик инвертора.***

В рассматриваемом модельном эксперименте ток нагрузки в течение времени моделирования изменяется за счет изменения противоЭДС с такой скоростью, при которой можно пренебречь падением напряжения на индуктивности нагрузки. Модель трехфазного инвертора с изменяющимся источником противоЭДС, включенным последовательно с нагрузкой, показана на рис.6. 9.

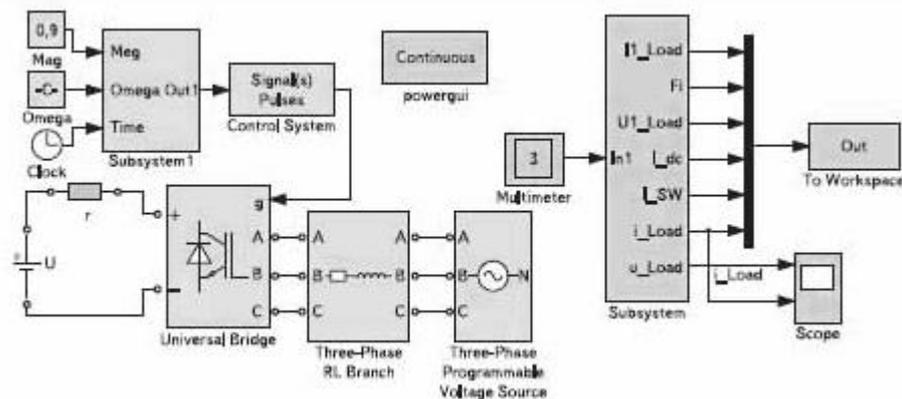


Рис.6. 9. Модель трехфазного инвертора с изменяющейся нагрузкой.

Время моделирования — 1,0 с, шаг дискретизации ( $\text{MaxStepSize} = 1e-4$ ), коэффициент модуляции  $m = 0,9$ .

Блоком Multimeter последовательно измеряются значения тока нагрузки, напряжения нагрузки и тока в цепи питания инвертора.

Программируемый источник, окно настройки которого показано на рис. 6.10, предназначен для изменения нагрузки инвертора в течение моделирования.



Рис.6.10. Программируемый источник противо ЭДС в нагрузке автономного инвертора напряжения.

Измерительная часть модели содержит четыре блока. Содержание блока Subsystem представлено на рис. 6.11.

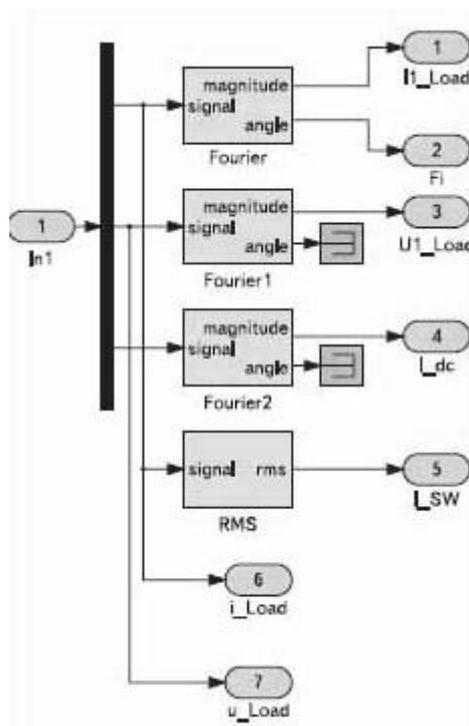


Рис.6.11. Измерительная часть модели.

В этом блоке последовательно определяются:

- амплитуда первой гармонике тока нагрузки (блок Fourier);
- фаза первой гармонике тока нагрузки (блок Fourier);
- амплитуда первой гармонике линейного напряжения нагрузки (блок Fourier 1);
- средний ток питания инвертора (блок Fourier 2);
- эффективный ток в полупроводниковом плече инвертора (блок RMS);
- мгновенные ток и напряжение нагрузки.

Блок To Workspace служит для записи в рабочее пространство MATLAB величин, измеренных блоком Subsystem. При выставленном флажке в поле Limitdatapointstolast (максимальное количество записанных измерений) в рабочее пространство записывается число проставленных в поле конечных измерений (начальные измерения обрезаются). При этом время записи равно произведению числа измерений на максимальный шаг дискретизации. В данном случае  $t = 8000 \times 10^4 = 0,8$  с. Такой прием позволяет исключить данные переходного процесса в схеме.

Нагрузочная и электромагнитные характеристики, рассчитанные и построенные программой, показаны на рис. 6.12.

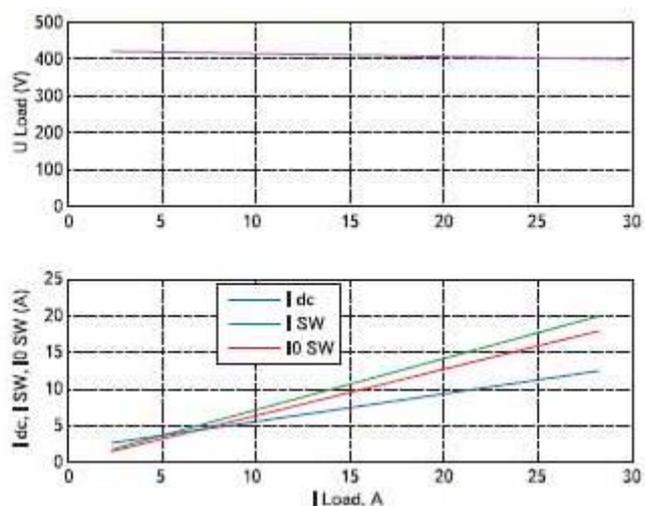


Рис.6.12. Нагрузочная и электромагнитные характеристики инвертора.

### **Содержание отчета.**

1. Схемы моделей. Описание блоков.
2. Характеристики трехфазного автономного инвертора напряжения.

### **Вопросы для контроля.**

1. Трехфазный автономный инвертор напряжения и его характеристики.
2. Объясните ход характеристик трехфазного автономного инвертора напряжения.

### **Средства обеспечения и освоения дисциплины.**

1. Плакаты
2. Моделирующий пакет MATLAB.

## **Материально-техническое обеспечение.**

### 1. Компьютеры.

### **3. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

3.1 Рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям.

Лекции являются основным видом учебных занятий в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных взглядов и освещение основных проблем изучаемой области знаний.

Значительную часть теоретических знаний студент должен получать самостоятельно из рекомендованных основных и дополнительных информационных источников (учебников, Интернет-ресурсов, электронной образовательной среды университета). В тетради для конспектов лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие в ходе лекций, рекомендуется делать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю.

После окончания лекции рекомендуется перечитать записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к практическим занятиям (лабораторным работам), экзамену, контрольным тестам, коллоквиумам, при выполнении самостоятельных заданий.

3.2 Рекомендации по подготовке к практическим занятиям.

Для подготовки к практическим занятиям необходимо заранее ознакомиться с перечнем вопросов, которые будут рассмотрены на занятии, рекомендуемой основной и дополнительной литературой, содержанием рекомендованных Интернет-ресурсов. Необходимо прочитать соответствующие разделы из основной и дополнительной литературы, рекомендованной преподавателем, выделить основные понятия и процессы, их закономерности и движущие силы, взаимные связи. При подготовке к занятию не нужно заучивать учебный материал. На практических занятиях нужно выяснять у преподавателя ответы на интересные или затруднительные вопросы, высказывать и аргументировать свое мнение.

### 3.3 Рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям.

Целью лабораторного практикума является: ознакомление с устройством, принципом действия и характеристиками машин переменного тока; закрепление теоретических знаний в области машин переменного тока, получение навыков их экспериментального исследования, а также обработки полученных результатов; приобретение навыков чтения и сборки электрических схем, включения и испытания машин переменного тока в различных режимах; приобретение навыков суммирования и обобщения полученных результатов экспериментальных исследований, умения формулировать правильные выводы о работе машины и физических процессах, протекающих в ней.

## 4. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная:

1. Баранов А.П., Раимов М.М. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации. С-П "Элмор", 1987, 231 с.
2. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. С-П «Питер», 2002, 448 с.
3. Черных И. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. М.: ИД ПИТЕР, 2007, 288 с.
4. Толстова Л.А. Моделирование электротехнических устройств в среде MATLAB-SimPowerSystem. Методическое пособие для студентов очной и заочной форм обучения специальности 180404.65 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». Петропавловск – Камчатский, КамчатГТУ – 2011, 132 с.

### Дополнительная:

5. Герман – Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. СПб.: КОРОНАпринт, 2007. – 320с.
6. Лурье М.С., Лурье О.М. Применение системы Matlab при изучении курса электротехники. Монография. СибГТУ, Красноярск, 2005, 200 с.
7. Черных И. Simulink. Среда создания инженерных приложений. М.: Диалог – МИФИ, 2004, 312 с.