

Федеральное агентство по образованию  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой АПП и Э

\_\_\_\_\_ А.Н. Рыбалев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 г.

Электромеханика  
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ  
для специальности  
220301– Автоматизация технологических процессов и производств  
(по отраслям)

Составитель: В.И. Усенко, доцент кафедры автоматизации  
производственных процессов и электротехники АмГУ

Благовещенск

2007 г.

Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
энергетического факультета  
Амурского государственного  
университета.

В.И. Усенко

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Электромеханика» для студентов очной формы обучения специальностей для специальности 22.03.01 «Автоматизация технологических процессов и производств». – Благовещенск. Амурский государственный университет, 2007.

Учебно-методические рекомендации ориентированы на оказание помощи студентам энергетического факультета очной и заочной форм обучения для формирования знаний по теории электромагнитных процессов и электромеханического преобразования энергии, для овладения методами анализа и расчета электромеханических преобразователей, для приобретения студентами навыков самостоятельного исследования путем закрепления теоретического материала в ходе выполнения лабораторных работ, на практических занятиях и в процессе курсового проектирования.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Рабочая программа.....	4
2. План – конспект лекций по дисциплине.....	17
3. Практические занятия .....	22
4. Лабораторные работы .....	23
5. Самостоятельная работа .....	23
6. Вопросы к экзаменам и образцы экзаменационные билетов.....	56
7. Контроль знаний.....	59

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(ГОУВПО «АмГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-научной работе

\_\_\_\_\_ Е.С. Астапова

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА»

специальности 22.03.01

«Автоматизация технологических процессов и производств»

для спец

курс 3  
лекции 54  
практические - 36  
лабораторные 18  
самостоятельная работа 97  
ВСЕГО ЧАСОВ: 205

семестр 6  
экзамен 6 семестр  
РГР 6 семестр

Составитель В. И. Усенко, доц.

Факультет энергетический

Кафедра АППиЭ

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта ВПО специальности 22.03.01 - «Автоматизация технологических процессов и производств»

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры АППиЭ  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_ г., протокол №

Зав. кафедрой

А. Н. Рыбалев

Рабочая программа одобрена на заседании УМС специальности 22.03.01 «Автоматизация технологических процессов и производств»

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_ г., протокол №

Председатель УМС

А. Н. Рыбалев

СОГЛАСОВАНО

СОГЛАСОВАНО

Начальник УМУ

Председатель УМС

факультета

\_\_\_\_\_ Г. Н. Торопчина

\_\_\_\_\_ Ю. В. Мясоедов

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_ г.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_

г.

СОГЛАСОВАНО

Зав. выпускающей кафедрой

\_\_\_\_\_ А. Н. Рыбалев

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_ г.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Предметом изучения дисциплины "Электромеханика" являются трансформаторы и электрические машины, представляющие собой главные звенья в современных энергетических установках и системах и являющиеся основными элементами автоматизации. Знание теории и работы трансформаторов и электрических машин имеет большое значение для студентов, специализирующихся в области автоматизации производственных процессов. Поэтому целью изучения дисциплины "Электромеханика" является освоение теории электромагнитных процессов и электромеханического преобразования энергии, применение электрических машин в качестве исполнительных двигателей, овладение методами анализа и расчета электромеханических преобразователей и составления их передаточных характеристик, приобретение студентами навыков самостоятельного исследования путем закрепления теоретического материала в ходе выполнения лабораторных работ, на практических занятиях и в процессе выполнения РГР.

В процессе всех видов занятий по изучению дисциплины "Электромеханика" студенты должны выполнить следующие задачи:

- изучить устройство и принцип действия различных типов электрических машин и трансформаторов на основе физических явлений и законов, связанных с их работой и усвоенных в курсах физики и теоретической электротехники;

- научиться составлять математические модели и схемы замещения электрических машин и трансформаторов и описывать переходные процессы в них;

- изучить основные характеристики, методы исследования и усвоить вопросы эксплуатации электрических машин и трансформаторов.

В результате изучения дисциплины студенты должны приобрести следующие навыки и умения:

- уметь выбирать трансформаторы или электрические машины для конкретных условий;

- уметь определять параметры и выполнять расчеты основных типов трансформаторов и электрических машин;

- составлять и использовать в САУ передаточные характеристики исполнительных электродвигателей постоянного и переменного тока.

Теоретической базой дисциплины "Электромеханика" являются высшая математика, физика, теоретическая и прикладная механика, общая электротехника и электротехника. На основе известных законов электромагнетизма создана собственная теория электрических машин и трансформаторов. В свою очередь, изучаемая дисциплина является базой для изучения ТАУ и автоматизированного электропривода.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1. ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС (54 часа)

#### 1.1. Введение – 2 часа

Назначение курса и его место среди других дисциплин специальности. Электромеханические системы в автоматизации процессов. Классификация и конструктивные основные исполнения электрических машин. Законы юэлектромеханики.

#### 1.2. Электромашинные устройства постоянного тока – 18 час.

1.2.1. Общие вопросы теории машин постоянного тока (МПТ): принцип действия, устройство, обмотки якоря, реакция якоря, коммутация.

1.2.2. Генераторы постоянного тока и их характеристики.

1.2.3. Тахогенераторы постоянного тока. Передаточная функция тахогенератора.

1.2.4. Двигатели постоянного тока (ДПТ). Общие сведения. ДПТ параллельного возбуждения.

1.2.5. ДПТ последовательного и параллельного возбуждения.

1.2.6. Исполнительные ДПТ независимого возбуждения.

1.2.7. Управление двигателями ПТ независимого возбуждения. Якорное управление. Передаточные функции.

1.2.8. Управление двигателями ПТ независимого возбуждения. Полюсное управление. Передаточная функция.

1.2.9. Импульсное управление двигателем постоянного тока. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) на тиристорах. Тиристорные ШИП с искусственной коммутацией для управления ДПТ.

#### 1.3. Трансформаторы – 8 часов

1.3.1. Принцип действия и конструкция трансформатора. Номинальные данные. Основные уравнения однофазного трансформатора. Приведенные параметры трансформатора.

1.3.2. Векторные диаграммы и схемы замещения трансформатора.

1.3.3. Экспериментальное определение параметров и потерь трансформатора. Изменение напряжения и КПД трансформатора при нагрузке.

1.3.4. Трансформация трехфазных токов. Схемы и группы соединения трансформаторов. Условия включения трансформаторов на параллельную работу. Трехобмоточные трансформаторы.

#### 1.4. Асинхронные машины – 18 часов

1.4.1. Назначение и области применения асинхронных машин. Конструкция и принцип действия. Режимы работы асинхронных машин.

1.4.2. Работа асинхронной машины под нагрузкой. Схемы замещения.

1.4.3. Энергетическая диаграмма и электромагнитный момент асинхронной машины. Максимальный и начальный пусковой моменты. Устойчивость работы двигателя. Электромеханическая и механическая характеристики. Рабочие характеристики.

1.4.4. Пуск в ход и управление асинхронным двигателем. Глубокопазные двигатели и двигатели с двойной клеткой на роторе.

- 1.4.5. Частотное управление асинхронным двигателем.
- 1.4.6. Однофазные и конденсаторные асинхронные двигатели.
- 1.4.7. Исполнительные двухфазные асинхронные двигатели: схемы замещения, параметры, вращающий момент и характеристики.
- 1.4.8. Передаточная функция и управление исполнительными двухфазными асинхронными двигателями.
- 1.4.9. Универсальные коллекторные двигатели и преобразователи.
- 1.5. Синхронные машины -8 часов
  - 1.5.1. Принцип действия и виды синхронных машин. Реакция якоря синхронного генератора. Основные уравнения синхронной машины.
  - 1.5.2. Векторные диаграммы и характеристики синхронных генераторов. Синхронные тахогенераторы.
  - 1.5.3. Трехфазные синхронные двигатели и их характеристики. Электромагнитная мощность и вращающий момент синхронных двигателей. Пуск в ход, торможение, способы регулирования частоты вращения.
  - 1.5.4. Синхронные двигатели для систем автоматики.

## 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ – 36 час.

- 2.1. Основные исполнения электрических машин. Законы электромеханики (2 часа).
- 2.2. Генераторы постоянного тока и их характеристики. Тахогенераторы (2 часа).
- 2.3. Двигатели постоянного тока. Пуск двигателя в ход и изменение режима работы. Регулирование скорости (2 часа).
- 2.4. Характеристики двигателей параллельного, последовательного и смешанного возбуждения (2 часа).
- 2.5. Исполнительные двигатели постоянного тока с якорным и полюсным управлением (2 часа).
- 2.6. Импульсное управление двигателем постоянного тока (2 часа).
- 2.7. Электромагнитные процессы в трансформаторе при холостом ходе (2 часа).
- 2.8. Векторная диаграмма и схема замещения трансформатора (2 часа).
- 2.9. Экспериментальное определение параметров и потерь трансформатора (2 часа).
- 2.10. Трехфазное и двухфазное вращающиеся магнитные поля. Режимы работы асинхронных машин (2 часа).
- 2.11. Работа асинхронной машины под нагрузкой. Схемы замещения (2 часа).
- 2.12. Пуск в ход асинхронного двигателя. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя (2 часа).
- 2.13. Однофазные и конденсаторные асинхронные двигатели (2 часа).



2.14. Исполнительные двигатели переменного тока: исполнительный асинхронный двигатель и асинхронный управляемый конденсаторный двигатель (2 часа).

2.15. Универсальные коллекторные двигатели и преобразователи (2 часа).

2.16. Синхронные машины. Реакция якоря, основные уравнения и векторные диаграммы синхронного генератора (2 часа).

2.17. Трехфазные синхронные двигатели и их характеристики (2 часа).

2.18. Синхронные двигатели для систем автоматики (2 часа).

### 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ – 18 часов

3.1. Исследование двигателя постоянного тока - 4 часа.

3.2. Исследование однофазного трансформатора - 2 часа.

3.3. Исследование трехфазного трансформатора - 4 часа.

3.4. Исследование механических характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором - 4 часа.

3.5. Исследование сельсинов и систем синхронной связи - 4 часа.

### 4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА – 97 часов

Самостоятельная работа включает:

4.1. Выполнение РГР:

1). Расчет характеристик двигателей постоянного тока (20 часов).

2). Расчет механических характеристик и круговая диаграмма

асинхронного двигателя (30 часов).

4.2. Выполнение заданий по темам практических занятий (18 часов).

4.3. Подготовка к лабораторным работам, составление отчетов по ним (29 часов).

Методы контроля самостоятельной работы студентов:

1) тестирование накануне аттестации;

2) коллоквиумы в часы консультаций;

3) включение разделов самостоятельной работы в экзаменационные вопросы и билеты.

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ И ТЕМЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ФОРМ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Промежуточный контроль знаний студентов по дисциплине предусматривает две контрольные точки в 6 семестре, оценки по которым выставляются на основе информации о выполнении практических заданий и лабораторных работ, РГР, а также на основе тестирования теоретических

знаний, полученных за прошедший период обучения. Предусмотрено тестирование по темам:

- 5.1. Двигатели постоянного тока – 6 семестр, 1-я контрольная точка;
- 5.2. Асинхронные двигатели – 5 семестр, 2-я контрольная точка.

## 6. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Принцип работы и устройство машин постоянного тока.
2. Обмотки барабанных якорей.
3. Режимы работы МПТ. Системы возбуждения.
4. Реакция якоря. Коммутация.
5. Генераторы постоянного тока и их характеристики.
6. Тахогенераторы постоянного тока. Передаточная функция тахогенератора.
7. Двигатели постоянного тока. Пуск двигателя в ход и изменение режима работы.
7. Регулирование скорости ДПТ.
8. Характеристики двигателей параллельного, последовательного и смешанного возбуждения.
9. Исполнительные двигатели постоянного тока с якорным управлением. Передаточные функции.
10. Исполнительные двигатели постоянного тока с полюсным управлением. Передаточные функции.
11. Импульсное управление двигателем постоянного тока. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) на тиристорах.
12. Тиристорные ШИП с искусственной коммутацией для управления ДПТ.
13. Принцип действия и конструкция трансформатора. Номинальные данные.
14. Электромагнитные процессы в трансформаторе при холостом ходе. Векторная диаграмма.
15. Магнитное поле в трансформаторе при нагрузке. Уравнения напряжений обмоток.
16. Векторная диаграмма и схема замещения приведенного трансформатора.
17. Трансформация трехфазных токов.
18. Условия включения трансформаторов на параллельную работу.
19. Экспериментальное определение параметров и потерь трансформатора.
20. Изменение напряжения и КПД трансформатора при нагрузке.
21. Назначение и области применения асинхронных машин. Конструкция и принцип действия.
22. Режимы работы асинхронных машин.
23. Работа асинхронной машины под нагрузкой.

24. Схемы замещения асинхронного двигателя.
25. Круговая диаграмма асинхронного двигателя.
26. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.
27. Электромагнитный момент асинхронной машины и его зависимость от скольжения.
28. Максимальный и начальный пусковой моменты. Устойчивость работы двигателя.
29. Электромеханическая и механическая характеристики двигателя.
30. Пуск в ход асинхронного двигателя. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя.
31. Глубокопазные двигатели и двигатели с двойной клеткой на роторе.
32. Частотное управление асинхронным двигателем.
33. Однофазные и конденсаторные асинхронные двигатели.
34. Исполнительные двухфазные асинхронные двигатели: схемы замещения, параметры, вращающий момент и характеристики.
35. Передаточная функция и управление исполнительными двухфазными асинхронными двигателями.
36. Универсальные коллекторные двигатели и преобразователи.
37. Принцип действия и виды синхронных машин. Реакция якоря синхронного генератора. Основные уравнения синхронной машины.
38. Векторные диаграммы и характеристики синхронных генераторов.  
Синхронные тахогенераторы.
39. Трехфазные синхронные двигатели и их характеристики.  
Электромагнитная мощность и вращающий момент синхронных двигателей.  
Пуск в ход, торможение, способы регулирования частоты вращения.
40. Синхронные двигатели для систем автоматики.

Для допуска к экзамену достаточными основаниями являются выполнение и защита РГР и всех лабораторных работ. Студент, не защитивший несколько лабораторных работ и (или) РГР, допускается к экзамену, но перед получением экзаменационного билета он должен ответить на вопросы, относящиеся к незащищенным лабораторным работам и РГР.

Для подготовки ответа студенту отводится 60 мин.

Билет содержит два теоретических вопроса и одну задачу. При выставлении оценки используется следующий приближенный критерий:

1) *удовлетворительно*: задача решена и даны основные определения теории по двум вопросам или: задача не решена, но дан полный ответ на один из теоретических вопросов и частичный ответ – на другой вопрос, имеются оценки “удовлетворительно” по результатам аттестации в семестре;

2) *хорошо*: задача решена, даны полные ответы на теоретические вопросы, отсутствуют оценки “удовлетворительно” по результатам аттестации в семестре;

3) *отлично*: задача решена, теоретические положения математически обоснованы, даны ответы на дополнительные вопросы по темам билета, отсутствуют оценки “удовлетворительно” по результатам аттестации в семестре по данному предмету;

1) *неудовлетворительно*: задача нерешена, основные определения теории отсутствуют, аттестационные оценки не выше “удовлетворительно”.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 1. ПЕРЕЧЕНЬ ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ (ОСНОВНОЙ) ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Копылов И.П. Электрические машины. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2004-607 с.

1.2. Кацман М.М. Электрические машины. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2001– 463 с.

1.3. Брускин А.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины. – М.:Высшая школа, 1990.

1.4. Токарев Б.Ф. Электрические машины.– М.:Энергоатомиздат, 1990.

1.5. Читечян В.И. Электрические машины. Сборник задач.– М.: Высшая школа, 1988.

### 2. ПЕРЕЧЕНЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

2.1. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины.– М.:Энергия,1980.

2.2. Вольдек А.И. Электрические машины.– Л.: Энергия, 1974.

### 3. ПЕРЕЧЕНЬ НАГЛЯДНЫХ И ДРУГИХ ПОСОБИЙ

3.1. Видеоматериалы и плакаты по электрическим машинам.

3.2. Трансформатор, асинхронный двигатель и трансформатор в разобранном виде в качестве наглядных пособий.

3.3. Карточки к лабораторным работам для проведения тестирования.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ) КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ  
«ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА»**

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые наглядные и методические пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			практич. (семин.)	лаборат.		содержание	час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.	Введение Назначение курса и его место среди других дисциплин специальности. Электромеханические системы в автоматизации процессов. Классификация и конструктивные основные исполнения электрических машин. Законы электромеханики.	№1	№1	Учебное пособие к лабораторным работам.	Подготовка к выполнению лабораторной работы.	4	Тестирование по карточкам и компьютерной программе, экзамен
2	2.	Общие вопросы теории машин постоянного тока (МПТ): принцип действия, устройство, обмотки якоря, реакция якоря, коммутация.				Подготовка к защите лабораторной работы.	4	экзамен
2	3.	Генераторы постоянного тока и их характеристики.	№2					экзамен
3	4.	Тахогенераторы постоянного тока. Передаточная функция тахогенератора.	№3	№2	Учебное пособие к лабораторным работам.			Прием лабораторных работ с оценкой по четырех бальной системе, экзамен
4	5.	Двигатели постоянного тока (ДПТ). Общие сведения. ДПТ параллельного возбуждения.	№4			Выполнение РГР «Расчет характеристик ДПТ».	5	экзамен
4	6.	ДПТ последовательного и параллельного возбуждения.						экзамен
5	7.	Исполнительные ДПТ независимого возбуждения.	№5	№3	Учебное пособие к лабораторным работам.	Подготовка к выполнению лабораторной работы.	3	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	8.	Управление двигателями ПТ независимого возбуждения. Якорное управление. Передаточные функции.				Выполнение РГР «Расчет характеристик ДПТ».	5	Экзамен
6	9.	Управление двигателями ПТ независимого возбуждения. Полюсное управление. Передаточная функция.	№6			Подготовка к защите лабораторной работы.	3	Экзамен
7	10.	Импульсное управление двигателем постоянного тока. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) на тиристорах. Тиристорные ШИП с искусственной коммутацией для управления ДПТ.	№7	№4	Учебное пособие к лабораторным работам.			Прием лабораторных работ с оценкой по четырех бальной системе, экзамен
8	11.	Принцип действия и конструкция трансформатора. Номинальные данные. Основные уравнения однофазного трансформатора. Приведенные параметры трансформатора.				Выполнение РГР «Расчет характеристик ДПТ».	5	Экзамен
8	12.	Векторные диаграммы и схемы замещения трансформатора	№8			Выполнение РГР «Расчет характеристик ДПТ».	5	Собеседование по РГР «Расчет характеристик ДПТ», экзамен
9	13.	Экспериментальное определение параметров и потерь трансформатора. Изменение напряжения и КПД трансформатора при нагрузке.	№9	№5	Учебное пособие к лабораторным работам.	Подготовка к выполнению лабораторной работы.	4	Тестирование по карточкам и компьютерной программе, экзамен
10	14.	Трансформация трехфазных токов. Схемы и группы соединения трансформаторов. Условия включения трансформаторов на параллельную работу. Трехобмоточные трансформаторы.				Выполнение РГР «Расчет характеристик АД».	7	Экзамен
0	15.	Назначение и области применения асинхронных машин. Конструкция и принцип действия. Режимы работы асинхронных машин.	№10			Подготовка к защите лабораторной работы.	4	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9

11	16.	Работа асинхронной машины под нагрузкой. Схемы замещения.	№11	№6	Учебное пособие к лабораторным работам.			Прием лабораторных работ с оценкой по четырех бальной системе, экзамен
12	17.	Энергетическая диаграмма и электромагнитный момент асинхронной машины. Максимальный и начальный пусковой моменты. Устойчивость работы двигателя. Электромеханическая и механическая характеристики. Рабочие характеристики.				Выполнение РГР «Расчет характеристик АД».	10	Проверка выполнения первого этапа РГР, экзамен
12	18.	Пуск в ход и управление асинхронным двигателем. Глубокопазные двигатели и двигатели с двойной клеткой на роторе.	№12			Подготовка к выполнению лабораторной работы.	3	Тестирование по карточкам и компьютерной программе, экзамен
13	19.	Частотное управление асинхронным двигателем.	№13	№7	Учебное пособие к лабораторным работам.			Экзамен
14	20.	Однофазные и конденсаторные асинхронные двигатели.				Выполнение РГР «Расчет характеристик АД».	7	Экзамен
14	21.	Исполнительные двухфазные асинхронные двигатели: схемы замещения, параметры, вращающий момент и характеристики.	№14			Подготовка к защите лабораторной работы.	3	Прием лабораторных работ с оценкой по четырех бальной системе, экзамен
15	22.	Передаточная функция и управление исполнительными двухфазными асинхронными двигателями.	№15	№8	Учебное пособие к лабораторным работам.	Подготовка к выполнению лабораторной работы.	4	Тестирование по карточкам и компьютерной программе, экзамен
16	23.	Универсальные коллекторные двигатели и преобразователи.				Выполнение РГР «Расчет характеристик АД».	5	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9

16	24.	Принцип действия и виды синхронных машин. Реакция якоря синхронного генератора. Основные уравнения синхронной машины.	№16			Подготовка к защите лабораторной работы.	4	Экзамен
17	25.	Векторные диаграммы и характеристики синхронных генераторов. Синхронные тахогенераторы.	№17	№9	Учебное пособие к лабораторным работам.			Прием лабораторных работ с оценкой по четырех бальной системе, экзамен
18	26.	Трехфазные синхронные двигатели и их характеристики. Электромагнитная мощность и вращающий момент синхронных двигателей. Пуск в ход, торможение, способы регулирования частоты вращения.				Защита РГР «Расчет характеристик АД».	1	Прием РГР с оценкой по четырех бальной системе, экзамен
18	27.	Синхронные двигатели для систем автоматики.	№18					экзамен



2. План-конспект лекций по дисциплине  
«ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА»

для специальностей:

22.03.01 – «Автоматизация технологических процессов и производств»

*Лекция 1*

*Введение.*

1. Назначение курса и его место среди других дисциплин специальности.
2. Электромеханические системы в автоматизации процессов.
3. Классификация и конструктивные основные исполнения электрических машин.
4. Законы электромеханики.

*Лекция 2*

*Электромашинные устройства постоянного тока.*

1. Общие вопросы теории машин постоянного тока (МПТ): принцип действия, устройство.
2. Обмотки якоря.
3. Реакция якоря, коммутация. Способы улучшения коммутации.

*Лекция 3*

*Электромашинные устройства постоянного тока.*

1. Генераторы постоянного тока. Общие сведения.
2. Генераторы независимого возбуждения и их характеристики.
3. Генераторы параллельного возбуждения и их характеристики. Условия возбуждения.
4. Генераторы смешанного возбуждения. Технические данные генераторов постоянного тока.

*Лекция 4*

*Электромашинные устройства постоянного тока.*

1. Тахогенераторы постоянного тока. Выходные характеристики.
2. Переходные процессы и передаточная функция тахогенератора.
3. Тахогенераторы в схемах автоматики.

*Лекция 5*

*Электромашинные устройства постоянного тока.*

1. Двигатели постоянного тока (ДПТ). Общие сведения.
2. ДПТ параллельного возбуждения. Рабочие и механические характеристики.
3. Регулирование частоты вращения ДПТ параллельного возбуждения.

*Лекция 6*

*Электромашинные устройства постоянного тока.*

- 1. ДПТ последовательного возбуждения. Рабочие и механические характеристики.*
- 2. ДПТ смешанного возбуждения. Механические характеристики.*

### *Лекция 7*

*Электромашинные устройства постоянного тока.*

- 1. Исполнительные ДПТ независимого возбуждения. Схемы и режимы работы.*
- 2. Механические и регулировочные характеристики в относительных единицах.*

### *Лекция 8*

*Электромашинные устройства постоянного тока.*

- 1. Управление двигателями ПТ независимого возбуждения. Якорное управление.*
- 2. Передаточная функция.*

### *Лекция 9*

*Электромашинные устройства постоянного тока.*

- 1. Управление двигателями ПТ независимого возбуждения. Полюсное управление.*
- 2. Передаточная функция.*

### *Лекция 10*

*Электромашинные устройства постоянного тока.*

- 1. Импульсное управление двигателем постоянного тока. Общие положения.*
- 1. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) на тиристорах.*
- 2. Тиристорные ШИП с искусственной коммутацией для управления ДПТ.*

### *Лекция 11*

*Трансформаторы.*

- 1. Принцип действия и конструкция трансформатора. Номинальные данные.*
- 2. Основные уравнения однофазного трансформатора.*
- 3. Приведенные параметры трансформатора.*

### *Лекция 12*

*Трансформаторы.*

*1. Векторные диаграммы неприведенного и приведенного трансформаторов.*

*2. Схемы замещения приведенного трансформатора.*

### *Лекция 13*

*Трансформаторы.*

*1. Экспериментальное определение параметров и потерь трансформатора.*

*2. Изменение напряжения и КПД трансформатора при нагрузке.*

### *Лекция 14*

*Трансформаторы.*

*1. Трансформация трехфазных токов. Схемы и группы соединения трансформаторов.*

*2. Условия включения трансформаторов на параллельную работу.*

*3. Трехобмоточные трансформаторы.*

### *Лекция 15*

*Асинхронные машины.*

*1. Назначение и области применения асинхронных машин. Вращающееся магнитное поле. Условия получения.*

*2. Конструкция и принцип действия асинхронной машины.*

*3. Режимы работы асинхронных машин.*

### *Лекция 16*

*Асинхронные машины.*

*1. Работа асинхронной машины под нагрузкой.*

*2. Схемы замещения.*

### *Лекция 17*

*Асинхронные машины.*

*1. Энергетическая диаграмма и электромагнитный момент асинхронной машины.*

*2. Максимальный и начальный пусковой моменты. Устойчивость работы двигателя.*

*2. Электромеханическая и механическая характеристики.*

*3. Рабочие характеристики.*

### *Лекция 18*

*Асинхронные машины.*

*1. Пуск в ход и управление асинхронным двигателем.*

*2. Глубокопазные двигатели и двигатели с двойной клеткой на роторе.*

## *Лекция 19*

*Асинхронные машины.*

- 1. Частотное управление асинхронным двигателем.*
- 2. Передаточная функция асинхронного двигателя при частотном управлении.*

## *Лекция 20*

*Асинхронные машины.*

- 1. Однофазные асинхронные двигатели с пусковой обмоткой.*
- 2. Конденсаторные асинхронные двигатели.*
- 3. Схемы включения трехфазных конденсаторных двигателей в однофазную сеть.*

## *Лекция 21*

*Асинхронные машины.*

- 1. Исполнительные двухфазные асинхронные двигатели: схемы замещения и параметры.*
- 2. Вращающий момент и характеристики двухфазных исполнительных асинхронных двигателей.*

## *Лекция 22*

*Асинхронные машины.*

- 1. Передаточная функция двухфазного асинхронного двигателя.*
- 2. Управление исполнительными двухфазными асинхронными двигателями.*

## *Лекция 23*

*Асинхронные машины.*

- 1. Работа универсального коллекторного двигателя при питании от сети постоянного и переменного тока.*
- 2. Одноякорные преобразователи постоянного тока.*
- 3. Одноякорные преобразователи постоянно-переменного тока.*

## *Лекция 24*

*Синхронные машины.*

- 1. Принцип действия и виды синхронных машин.*
- 2. Реакция якоря синхронного генератора.*
- 3. Основные уравнения синхронной машины.*

## *Лекция 25*

*Синхронные машины.*

- 1. Векторные диаграммы и характеристики синхронных генераторов.*
- 2. Синхронные тахогенераторы.*

## *Лекция 26*

*Синхронные машины.*

*1. Трехфазные синхронные двигатели и их характеристики.*

*2. Электромагнитная мощность и вращающий момент синхронных двигателей.*

*3. Пуск в ход, торможение, способы регулирования частоты вращения СД.*

## *Лекция 27*

*Синхронные машины.*

*1. Синхронные двигатели для систем автоматики. Общие сведения.*

*2. Реактивные двигатели.*

*3. Шаговые двигатели.*

Темы практических занятий:

- 4.1. Генераторы постоянного тока и их характеристики. Тахогенераторы.
- 4.2. Двигатели постоянного тока. Пуск двигателя в ход и изменение режима работы. Регулирование скорости .
- 4.3. Характеристики двигателей параллельного, последовательного и смешанного возбуждения.
- 4.4. Исполнительные двигатели постоянного тока с якорным и полюсным управлением.
- 4.5. Импульсное управление двигателем постоянного тока.
- 4.6. Электромагнитные процессы в трансформаторе при холостом ходе.
- 4.7. Векторная диаграмма и схема замещения трансформатора.
- 4.8. Экспериментальное определение параметров и потерь трансформатора.
- 4.9. Трехфазное и двухфазное вращающиеся магнитные поля. Режимы работы асинхронных машин.
- 4.10. Работа асинхронной машины под нагрузкой. Схемы замещения.
- 4.11. Пуск в ход асинхронного двигателя. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя.
- 4.12. Однофазные и конденсаторные асинхронные двигатели.
- 4.13. Исполнительные двигатели переменного тока: исполнительный асинхронный двигатель и асинхронный управляемый конденсаторный двигатель.
- 4.14. Универсальные коллекторные двигатели и преобразователи.
- 4.15. Синхронные машины. Реакция якоря, основные уравнения и векторные диаграммы синхронного генератора.
- 4.16. Трехфазные синхронные двигатели и их характеристики.
- 4.17. Синхронные двигатели для систем автоматики.

Практические занятия проводятся в аудитории и заключаются в решении задач из задачника и учебного пособия:

1. Читечян В.И. Электрические машины. Сборник задач.– М.: Высшая школа, 1988.
2. Усенко В.И., Серов А.Е., Русинов В.Л. Расчет трансформаторов: Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. Ун-т, 2002, 113 с.

#### 4. Лабораторные работы

В лаборатории по электромеханике проводятся следующие лабораторные работы:

- 3.1. Исследование двигателя постоянного тока - 4 часа.
- 3.2. Исследование однофазного трансформатора - 2 часа.
- 3.3. Исследование трехфазного трансформатора - 4 часа.
- 3.4. Исследование механических характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором - 4 часа.
- 3.5. Исследование сельсинов и систем синхронной связи - 4 часа.

Технические средства для выполнения лаб. работ и пособия к ним:

1. Лабораторный стенд по исследованию однофазного трансформатора
2. Лабораторный стенд по исследованию трехфазного трансформатора
3. Лабораторный стенд по исследованию механических характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором
4. Лабораторный стенд по исследованию машины постоянного тока
5. Я.В. Кривохижа, А.С. Истомин. А.Е. Серов «Машины постоянного тока». Учебное пособие. Благовещенск, Амурский государственный университет, 2002
6. Я.В. Кривохижа, А.Е. Серов «Трансформаторы: Лабораторные работы». Учебное пособие. Благовещенск, Амурский государственный университет, 2002
7. Я.В. Кривохижа, А.Е. Серов «Электрические машины переменного тока». Учебное пособие. Благовещенск, Амурский государственный университет, 2001.

#### 5. Самостоятельная работа студентов

- 4.1. Выполнение РГР:
  - 1). Расчет характеристик двигателей постоянного тока (20 часов).
  - 2). Расчет механических характеристик и круговая диаграмма асинхронного двигателя (30 часов).
- 4.2. Выполнение заданий по темам практических занятий (18 часов).
- 4.3. Подготовка к лабораторным работам, составление отчетов по ним (29 часов).

Методы контроля самостоятельной работы студентов:

- 1) тестирование накануне аттестации;
- 2) коллоквиумы в часы консультаций;
- 3) включение разделов самостоятельной работы в экзаменационные вопросы и билеты.

Расчетно-графические работы по электромеханике.

РГР №1. Расчет характеристик двигателей постоянного тока..

Расчетно-графическая работа заключается в решении студентом одной задачи из четырех, выбираемой в соответствии с вариантом, задаваемым преподавателем.

**Задача 1.** Электродвигатель постоянного с параллельным возбуждением (шунтовой электродвигатель) характеризуется следующими номинальными величинами: напряжение на зажимах  $U_n$ ; мощность  $P_n$ ; частота вращения якоря  $n_n$ ; КПД  $\eta_n$ . Сопротивление цепи якоря  $R_{я}$ , сопротивление цепи возбуждения  $R_{\epsilon}$  (табл. 1.1). Определить: а) ток  $I_n$ , потребляемый электродвигателем из сети при номинальной нагрузке; б) номинальный момент на валу электродвигателя; в) пусковой момент при токе  $I_n = 2I_n$  (без учета реакции якоря) и соответствующее сопротивление пускового реостата; г) пусковой момент при том же значении пускового тока, но при ошибочном включении пускового реостата; е) частоту вращения якоря при токе якоря, равном номинальному току якоря, но при введении в цепь возбуждения добавочного сопротивления, увеличивающего заданное в условии задачи значение  $R_{\epsilon}$  на 20%. Начертить схемы включения электродвигателя: правильную и ошибочную.

Табл. 1.1

Номер варианта	Данные к задаче 1					
	$U_n$ , В	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/мин	$\eta_n$ , %	$R_{я}$ , Ом	$R_{\epsilon}$ , Ом
00	110	1,0	3000	77,0	1,2	220
01	110	1,5	3000	76,0	0,8	160
02	110	2,2	3000	80,0	0,48	110
03	110	3,2	1500	78,5	0,34	80
04	110	4,5	1500	80,0	0,23	70
05	220	6,0	3000	82,5	0,62	220
06	220	8,0	3000	83,5	0,44	170
07	220	11,0	1500	84,0	0,31	185
08	220	14,0	1500	86,5	0,29	135
09	220	19,0	1500	84,5	0,16	110

Указания: 1. При решении задачи воспользоваться данной в табл. 1.2 процентной зависимостью магнитного потока от тока возбуждения. За 100% приняты соответственно номинальные значения магнитного потока и тока возбуждения.



2. Под ошибочной схемой включения понимают схему, в которой обмотка возбуждения подключена не к напряжению сети, а к якору (т.е. “после” пускового реостата).

Табл. 1.2

$I_b, \%$	0	20	40	60	80	100	120	150
$\Phi, \%$	5	45	73	88	95	100	103	107

**Задача 2.** Электродвигатель постоянного с последовательным возбуждением (серийный электродвигатель) характеризуется следующими номинальными величинами: напряжение на зажимах  $U_n$ ; мощность  $P_n$ ; частота вращения якоря  $n_n$ . Исходные данные приведены в табл. 2.1. При номинальной нагрузке мощность потерь составляет (в процентах от мощности, потребляемой электродвигателем): в цепи якоря и дополнительных полюсов  $P_{я} = 4 \%$ , в обмотке возбуждения  $P_{в} = 3 \%$ , мощность механических и магнитных потерь  $P_{м} = 1,5 \%$ . Определить: а) ток  $I_n$ , потребляемый электродвигателем из сети при номинальной нагрузке; б) номинальный момент на валу электродвигателя; в) частоту вращения якоря при значениях тока:  $0,25$ ;  $0,75$ ;  $1,25I_n$ ; г) суммарные потери и КПД электродвигателя при тех же значениях тока (принимая, что мощность механических и магнитных потерь изменяется пропорционально скорости вращения якоря); д) момент на валу при тех значениях тока. Построить механическую характеристику электродвигателя. Начертить схему включения электродвигателя.

Табл. 2.1

Номер варианта	Данные к задаче 2		
	$U_n$ , В	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/мин
10	110	5	600
11	220	10	700
12	440	15	800
13	110	20	900
14	220	25	1000
15	440	30	600
16	110	35	700
17	220	40	800
18	440	45	900
19	220	50	1000

Указания: 1. При решении задачи воспользоваться данной в табл. 2.2 процентной зависимостью магнитного потока от тока возбуждения. За 100% приняты соответственно номинальные значения магнитного потока и тока возбуждения.

1. Учесть, что в серийном электродвигателе ток возбуждения равен току якоря.

Табл. 2.2

$I_b$ , %	0	20	40	60	80	100	120	150
$\Phi$ , %	5	45	73	88	95	100	103	107

**Задача 3.** Электродвигатель постоянного с параллельным возбуждением выполнен на номинальное напряжения  $U_n = 220$  В. Данные номинального режима: мощность  $P_n$ ; частота вращения якоря  $n_n$ ; КПД  $\eta_n$ . Ток в цепи возбуждения составляет  $I_b$  % от номинального тока электродвигателя. Данные для расчетов приведены в табл. 3.1. Мощность потерь в цепи якоря при номинальной нагрузке составляет 50 % от суммарной мощности потерь в электродвигателе. Определить: а) ток  $I_n$ , потребляемый электродвигателем из сети при номинальной нагрузке; б) номинальный момент на валу электродвигателя; в) токи в цепях возбуждения и якоря при номинальной нагрузке; г) сопротивление цепи якоря и цепи возбуждения; д) мощность

механических и магнитных потерь (принимая ее не зависящей от нагрузки); е) суммарную мощность потерь и КПД электродвигателя при значениях тока  $0,25; 0,5; 0,75$  и  $1,25I_n$ ; ж) момент на валу и частоту вращения якоря при тех же значениях тока. Построить в общей системе координатных осей кривые  $M(I_a)$ ,  $n(I_a)$ ,  $\eta(I_a)$ , где  $I_a$  – ток в цепи якоря (соответственно значениям нагрузки, указанным выше). Начертить схемы включения электродвигателя.

Табл. 3.

Номер варианта	Данные к задаче 3			
	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/мин	$\eta_n$ , %	$I_a$ , %
20	2,2	3000	77,0	3
21	3,2	3000	76,0	3
22	4,5	3000	80,0	3
23	6	3000	78,5	3
24	8	3000	80,0	3
25	14	1500	82,5	4
26	19	1500	83,5	2
27	25	1500	84,0	2
28	32	1500	86,5	2
29	42	1500	84,5	2

**Задача 4.** Электродвигатель постоянного с параллельным возбуждением (шунтовой электродвигатель) характеризуется следующими номинальными величинами: напряжение на зажимах  $U_n$ ; мощность на валу  $P_n$ ; частота вращения якоря  $n_n$ ; КПД  $\eta_n$ ; сопротивление цепи якоря  $R_a$ ; сопротивление цепи возбуждения  $R_b$  (табл. 4). Определить: а) частоту вращения якоря при холостом ходе; б) частоту вращения якоря при номинальном моменте на валу двигателя и включении в цепь якоря добавочного сопротивления, равного  $3R_a$ . Построить естественную и реостатную механические характеристики  $n(M)$  электродвигателя. Реакцией якоря и током холостого хода якоря пренебречь. Начертить схемы включения электродвигателя.

Табл. 4

Номер варианта	Данные к задаче 4					
	$U_n$ , В	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/мин	$\eta_n$ , %	$R_r$ , Ом	$R_s$ , Ом
30	110	1,0	3000	77,0	1,2	220
30	110	1,5	3000	76,0	0,8	160
32	110	2,2	3000	80,0	0,48	110
33	110	3,2	3000	78,5	0,34	80
34	110	4,5	1500	80,0	0,23	70
35	220	6,0	1500	82,5	0,62	220
36	220	8,0	3000	83,5	0,44	170
37	220	11,0	1500	84,0	0,31	185
38	220	14,0	1500	86,5	0,29	135
39	220	19,0	1500	84,5	0,16	110

*РГР №2. Расчет параметров и построение характеристик асинхронного двигателя с помощью круговой диаграммы.*

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором на номинальное напряжение  $U_{нл} = 380$  В и частоту  $f = 50$  Гц при соединении обмотки статора в звезду имеет данные, приведенные в табл.1,2 и 3. Этими данными являются: номинальная мощность  $P_{2н}$ , активное сопротивление обмотки статора  $R_1$ , индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора  $X_1$ , приведенное активное сопротивление обмотки ротора  $R'_2$ , приведенное индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора  $X'_2$ , ток холостого хода  $I_x$ , потери холостого хода  $P_x$ , потери механические  $P_{мех}$ , число пар полюсов (табл.3). Добавочные потери  $P_{доб}$  при нагрузке составляют 0,5% подводимой к двигателю мощности  $P_1$ .

1. Рассчитать параметры Г-образной схемы замещения асинхронного двигателя и построить упрощенную круговую диаграмму. Для определения приведенного активного сопротивления ротора ( $R'_2$ ) нужно воспользоваться данными табл.2.
2. По круговой диаграмме определить параметры двигателя при его работе в номинальном режиме: ток статора (фазный), приведенный ток ротора, коэффициент мощности, потребляемую активную мощность  $P_1$ , КПД  $\eta$ , номинальные момент  $M_n$  и скольжение  $s_n$ . Определить перегрузочную способность двигателя в номинальном режиме работы.

3. Определить параметры двигателя при пуске: начальный пусковой ток (фазный), начальный пусковой момент, кратность пускового тока, кратность пускового момента. Построить зависимость полного входного сопротивления схемы замещения двигателя от скольжения.

Таблица 1

Параметры	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{2H}, кВт$	30	10	55	100	75	13	4	22	7,5	40
$R_1, Ом$	0,15	0,7	0,1	0,02	0,05	0,4	1,4	0,25	0,85	0,1
$X_1, Ом$	0,5	1,5	0,25	0,15	0,2	1,0	3,0	0,75	1,7	0,1
$R_2', Ом$	0,1k	0,4k	0,05k	0,025k	0,03k	0,25k	0,8k	0,15k	0,5k	0,06k
$X_2', Ом$	0,6	1,5	0,4	0,2	0,25	1,0	3,5	0,8	1,9	0,65
$I_x, А$	20	7,5	45	52	45	10	4,5	15	7	42
$P_x, Вт$	1200	460	2100	3300	2800	700	220	900	370	1800
$P_{мех}, Вт$	150	70	330	600	450	100	40	120	60	230

Таблица 2

Коэффициент	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$k$	0,8	0,7	0,75	1,0	1,1	1,5	1,25	1,3	1,4	1,2

Таблица 3

Последняя цифра шифра	Предпоследняя цифра шифра (число пар полюсов)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0, 9	2	2	4	4	6	6	4	4	6	6
2, 1	2	2	4	4	8	6	4	4	8	8
4, 7	2	2	6	6	2	2	6	6	6	6
6, 3	2	2	4	4	2	2	4	4	4	4
8, 5	2	2	4	4	6	6	8	8	8	8

Пример расчета РГР №2 с методическими указаниями приведен в файле MathCad.

Задачи для самостоятельной работы.

### 1). Машины постоянного тока

#### Задача 1.

Генератор постоянного тока 1 с параллельным возбуждением имеет следующие паспортные данные: номинальная мощность  $P_{\text{ном}} = 5$  кВт; напряжение 230 В, частота вращения  $n_{\text{ном}} = 1450$  об./мин.; сопротивление цепи якоря  $R_{\text{я}} = 0,635$  Ом, сопротивление обмотки возбуждения  $R_{\text{в}} = 91$  Ом, магнитные и механические потери  $P_{\text{x}} = 0,052$  от номинальной мощности.

Определить номинальный ток обмотки якоря, ЭДС обмотки якоря при номинальном режиме, электрические потери, суммарные потери, потребляемую (механическую) мощность, КПД при номинальном режиме работы.

#### **Решение:**

1. Для определения номинального тока якоря найдем номинальный ток генератора и ток обмотки возбуждения

Номинальный ток генератора определим из соотношения:

$$P_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} * I_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / U_{\text{ном}} = 5000 / 230 = 21,74 \text{ А}$$

Ток обмотки возбуждения

$$I_{\text{в}} = U_{\text{ном}} / R_{\text{в}} = 230 / 91 = 2,52 \text{ А}$$

Ток в цепи якоря в соответствии с законом Кирхгофа равен сумме токов в цепи нагрузки и обмотки возбуждения

$$I_{\text{я}} = I_{\text{ном}} + I_{\text{в}} = 21,74 + 2,52 = 24,26 \text{ А}$$

ЭДС обмотки якоря при номинальном режиме

$$E = U_{\text{ном}} + I_{\text{я}} * R_{\text{я}} = 230 + 24,26 * 0,635 = 245,4 \text{ В}$$

Электрические потери в обмотках якоря

$$\Delta P_{\text{я}} = I_{\text{я}}^2 * R_{\text{я}} = 24,26^2 * 0,635 = 373,7 \text{ Вт}$$

Электрические потери в обмотках возбуждения

$$\Delta P_{\text{в}} = I_{\text{в}}^2 * R_{\text{в}} = 2,52^2 * 91 = 577,8 \text{ Вт}$$

Магнитные и механические потери

$$\Delta P_M + \Delta P_{MX} = 0,052 * P_{НОМ} = 0,052 * 5000 = 260 \text{ Вт}$$

Суммарные потери при номинальном режиме

$$\sum \Delta P = \Delta P_я + \Delta P_в + \Delta P_M + \Delta P_{MX} = 373,7 + 577,8 + 260 = 1211,5 \text{ Вт}$$

Потребляемая мощность

$$P_1 = P_{НОМ} + \sum \Delta P = 5000 + 1211,5 = 6211,5 \text{ Вт}$$

КПД при номинальном режиме работы

$$\eta = P_{НОМ} / P_1 = 5000/6211,5 = 0,805$$

### Задача 2.

Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением имеет следующие паспортные данные:

число пар полюсов	$p = 2;$
число витков обмотки якоря	$w = 124;$
число пар параллельных ветвей	$a = 2;$
сопротивление обмотки якоря	$R_я = 0,04 \text{ Ом};$
ток обмотки возбуждения	$I_в = 2,0 \text{ А};$
скорость вращения	$n_{НОМ} = 2850 \text{ об./мин.};$
ЭДС в номинальном режиме	$E_{НОМ} = 234,4 \text{ В};$
номинальный ток	$I_{НОМ} = 108 \text{ А};$
КПД	$\eta = 89 \%. $

Определить: электромагнитный тормозной момент; мощности (электромагнитную, потребляемую и на выходах генератора, суммарные потери, потери электрические, добавочные, механические, магнитные); напряжение при холостом ходе генератора.

### **Решение:**

1. Для определения электромагнитного момента найдем постоянные двигателя, магнитный поток и электромагнитный тормозной момент.

1.1. Электрическая постоянная машины

$$c_e = p * N / (60 * a) = p * (2 * w) / (60 * a) = 2 * 2 * 124 / (60 * 2) = 4,13$$

$$c_m = c_e * 9,55 = 4,13 * 9,55 = 39,47$$

1.2. Магнитный поток генератора определим из соотношения для ЭДС обмоток якоря

$$E_{\text{я}} = c_e \cdot \Phi \cdot n$$

откуда

$$\Phi = E_{\text{ном}} / (c_e \cdot n) = 234,4 / (4,13 \cdot 2850) = 0,02 \text{ Вб}$$

$$M = c_m \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}} = 39,47 \cdot 0,02 \cdot 110,7 = 87,34 \text{ Н*м}$$

1.3. Ток в цепи якоря

$$I_{\text{я}} = I_{\text{ном}} + I_{\text{в}} = 108,7 + 2 = 110,7 \text{ А}$$

1.4. Электромагнитная мощность

$$P_{\text{эм}} = E_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} = 234,4 \cdot 110,7 = 25951 \text{ Вт}$$

1.5. Напряжение на зажимах генератора при номинальном режиме

$$U_{\text{ном}} = E_{\text{я}} - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} = 234,4 - 110,7 \cdot 0,04 = 230 \text{ В}$$

1.6. Мощность потребляемая генератором

$$P_1 = P_{\text{ном}} / \eta = 25000 / 0,89 = 28090 \text{ Вт}$$

1.7. Сумма потерь при номинальной нагрузке

$$\sum \Delta P = P_1 - P_{\text{ном}} = 28090 - 25000 = 3090 \text{ Вт}$$

1.8. Электрические потери в обмотках якоря и возбуждения

$$P_3 = P_{\text{эя}} + P_{\text{эв}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} + I_{\text{в}} U_{\text{ном}} = 108,7^2 \cdot 0,04 + 2 \cdot 230 = 932 \text{ Вт}$$

1.9. Добавочные потери в соответствии с ГОСТом определяются в количестве 1% от номинальной мощности

$$\Delta P_{\text{д}} = 0,01 \cdot P_{\text{ном}} = 0,01 \cdot 25000 = 250 \text{ Вт}$$

1.10. Механические и магнитные потери

$$\Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{мх}} = \sum \Delta P - (\Delta P_3 + \Delta P_{\text{д}}) = 3090 - (932 + 250) = 2808 \text{ Вт}$$



## 2. Напряжение при холостом ходе генератора

$$U_{xx} = E - I_b R_{\text{я}} = 234,4 - 2 * 0,04 = 234,32 \text{ В}$$

так как нагрузочный ток представляет собой ток обмотки возбуждения.

### Задача 3.

Двухполюсный генератор постоянного тока с параллельным возбуждением имеет: сопротивление цепи якоря  $R_{\text{я}} = 0,155 \text{ Ом}$ ; одну пару параллельных ветвей;  $N = 500$  активных проводников; магнитный поток  $\Phi = 1,97 * 10^{-2} \text{ Вб}$ ; частоту вращения якоря  $n_{\text{ном}} = 1450 \text{ об./мин}$ . При номинальном токе в цепи нагрузки  $I_{\text{ном}} = 50 \text{ А}$  и токе возбуждения  $I_b = 1,7 \text{ А}$  КПД  $\eta = 0,89$ .

Определить напряжение на зажимах генератора при номинальной нагрузке. Электромагнитный момент, подводимую к генератору мощность при номинальной нагрузке и сумму потерь.

Решение:

ЭДС, генерируемая в обмотке якоря при номинальной частоте вращения:

$$E = c_e * \Phi * n_{\text{ном}} = P * N / (60 * a) * \Phi * n_{\text{ном}} = 1 * 500 * 0,0197 * 1450 / (60 * 1) = 238 \text{ В}$$

Ток в цепи якоря

$$I_{\text{я}} = I_{\text{ном}} + I_b = 50 + 1,7 = 51,7 \text{ А}$$

Напряжение на зажимах генератора при номинальной нагрузке

$$U = E - I_{\text{я}} * R_{\text{я}} = 238 - 51,7 * 0,14 = 230 \text{ В}$$

Электромагнитный тормозной момент

$$M = c_m * \Phi * I_{\text{я}} = P * N / (2 * \pi * a) * I_{\text{я}} = 1 * 500 * 0,0197 * 51,7 / (2 * 3,14 * 1) = 81 \text{ Н*м}$$

Полезная мощность, отдаваемая генератором в цепь

$$P_{2\text{ном}} = U_{\text{ном}} * I_{\text{ном}} = 230 * 50 = 11500 \text{ Вт}$$

Мощность, подводимая к генератору для его вращения при номинальной нагрузке

$$P_{1\text{ном}} = P_{2\text{ном}} / \eta = 11500 / 0,89 = 13259 \text{ Вт}$$

Сумма потерь при номинальной нагрузке

$$\sum \Delta P = P_{1\text{ном}} - P_{2\text{ном}} = 13259 - 11500 = 2029 \text{ Вт}$$

#### **Задача 4.**

Двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением подключен к сети с напряжением 110 В и потребляет ток  $I_{\text{ном}} = 50,5 \text{ А}$ . Сопротивление обмотки якоря и добавочных полюсов  $R_{\text{я}} = 0,21 \text{ Ом}$ ; сопротивление обмотки возбуждения  $R_{\text{в}} = 62 \text{ Ом}$ , номинальная частота вращения  $n_{\text{ном}} = 1000 \text{ об./мин.}$ ; КПД  $\eta = 81 \%$ . Определить: сумму потерь, электрические потери, дополнительные, механические и магнитные потери; ток при максимальном КПД, максимальный КПД.

#### **Решение:**

1. Мощность, потребляемая двигателем при номинальной нагрузке

$$P_1 = U_{\text{ном}} * I_{\text{ном}} = 110 * 50,5 = 5555 \text{ Вт}$$

2. Номинальная мощность на валу двигателя

$$P_{\text{ном}} = \eta * P_1 = 0,81 * 5555 = 4500 \text{ Вт}$$

3. Сумма потерь при номинальной нагрузке

$$\sum \Delta P = P_1 - P_{\text{ном}} = 5555 - 4500 = 1055 \text{ Вт}$$

4. Ток обмотки возбуждения

$$I_{\text{в}} = U_{\text{ном}} / R_{\text{в}} = 110 / 62 = 1,77 \text{ А}$$

5. Ток в обмотке якоря

$$I_{\text{я}} = I_{\text{ном}} - I_{\text{в}} = 50,5 - 1,77 = 48,73 \text{ А}$$

6. Электрические потери в цепи якоря и обмотке возбуждения при номинальной нагрузке

$$\Delta P_{\text{э}} = \Delta P_{\text{эя}} + \Delta P_{\text{эв}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} + I_{\text{в}}^2 R_{\text{в}} = 48,73^2 * 0,21 + 1,77^2 * 62 = 693 \text{ Вт}$$

7. Добавочные потери составляют 1% от номинальной мощности

$$\Delta P_{\text{д}} = 0,01 P_{\text{ном}} = 0,01 * 4500 = 45 \text{ Вт}$$

## 8. Механические и магнитные потери

$$\Delta P_m + \Delta P_{\text{мх}} = \sum \Delta P - (\Delta P_s + \Delta P_d) = 1055 - (693 + 45) = 317 \text{ Вт}$$

9. Условием максимального КПД является равенство постоянных и переменных потерь

$$I_1^2 * R_{\text{я}} = P_x + I_B^2 * R_B$$

откуда ток в цепи нагрузки при максимальном КПД

$$I_1 = [(P_x + I_B^2 * R_B) / R_{\text{я}}]^{-0,5} = [(317 + 45 + 1,77^2 * 62) / 0,21]^{-0,5} = 51,5 \text{ А}$$

максимальный КПД

$$\eta = 1 - \sum \Delta P / [U * (I_1 + I_B)] = 1 - (2 * 317 + 45) / [110 * (51,5 + 1,77)] = 0,884$$

### **Задача 5.**

Найти магнитный поток четырех полюсной машины постоянного тока, соответствующей первой гармонической индукции в зазоре  $B_{\text{лмб}} = 0,8 \text{ Тл}$ , если расчетная длина якоря  $L_{\text{б}} = 0,15 \text{ м}$ , диаметр якоря  $D_{\text{я}} = 0,3 \text{ м}$ .

Решение:

$$\Phi = \int_0^l B_{\text{б}} * L_{\text{б}} * d_x - \text{магнитный поток на один полюс}$$

$$\Phi = 0,8 * 0,15 * 0,3 = 0,036 - \text{на один полюс}$$

$$\Phi = 0,036 / 2 = 0,018 - \text{на два полюса}$$

### **Задача 6.**

В четырех полюсной машине постоянного тока с простой петлевой обмоткой общее число эффективных проводников  $N = 168$ . Определить число витков в параллельной ветви обмотки якоря.

Решение:

$$w_{\text{я}} = N / (2 * p) = 168 / 8 = 21$$

### **Задача 7.**

Четырех полюсный двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением работает от сети с напряжением  $U = 220$  В и потребляет ток  $I_{\text{ном}} = 102$  А. Число проводников в обмотке якоря  $N = 600$ , число пар параллельных ветвей  $a = 2$ , магнитный поток  $\Phi = 1,4 \cdot 10^{-2}$  Вб, сопротивление обмотки якоря  $R_{\text{я}} = 0,1$  Ом, ток обмотки возбуждения  $I_{\text{в}} = 2$  А.

Определить:

1. ЭДС обмоток якоря
2. номинальную частоту вращения
3. номинальный вращающий момент
4. КПД
5. сопротивление пускового реостата при пусковом токе  $I_{\text{п}} = 3 \cdot I_{\text{ном}}$
6. пусковой ток при отсутствии пускового реостата.

**Решение:**

1. ЭДС обмоток якоря в номинальном режиме

1.1.  $E_{\text{я}} = U_{\text{ном}} - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} = 220 - 102 \cdot 0,1 = 210$  В

1.2.  $I_{\text{я}} = I_{\text{ном}} - I_{\text{в}} = 102 - 2 = 100$  А

2. Номинальная частота вращения якоря

2.1.  $n_{\text{ном}} = E / (c_e \cdot \Phi) = 210 / (10 \cdot 1,4 \cdot 10^{-2}) = 1500$  об./мин.

2.2.  $c_e = P \cdot N / (60 \cdot a) = 2 \cdot 600 / (60 \cdot 2) = 10$

3. Номинальный вращающий момент

3.1.  $c_m = 9,55 \cdot c_e = 9,55 \cdot 10 = 95,5$

3.2.  $M_{\text{ном}} = c_m \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}} = 95,5 \cdot 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot 100 = 133,7$  Н\*м

4. Номинальная мощность на валу двигателя определяется из соотношения

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}}$$

4.1.  $P_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} \cdot n_{\text{ном}} / 9,55 = 133,7 \cdot 1500 / 9,55 = 21000$  Вт

4.2. Потребляемая мощность

$$P_1 = U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{ном}} = 220 \cdot 102 = 22440$$
 Вт

4.3. КПД при номинальной нагрузке

$$\eta = P_2 / P_1 = 21000 / 22440 = 0,935$$

5. Сопротивление пускового реостата при условии понижения пускового тока трехкратного значения

$$I_{\text{я}} = U_{\text{ном}} / (R_{\text{я}} + R_{\text{р}})$$

откуда

$$R_p = U_{\text{ном}} / (3 * I_{\text{ном}}) - R_{\text{я}} = 220 / (3 * 100) - 0,1 = 0,63 \text{ Ом}$$

6. Пусковой ток при отсутствии пускового реостата

$$I_{\text{яп}} = U_{\text{ном}} / R_{\text{я}} = 220 / 0,1 = 22000 \text{ А}$$

### **Задача 8.**

На табличке-паспорте двигателя постоянного тока указаны следующие паспортные данные:

тип двигателя –	П 22;
номинальный режим работы –	продолжительный;
номинальная мощность –	$P_{\text{ном}} = 1 \text{ кВт}$ ;
номинальное напряжение –	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ В}$ ;
номинальная частота вращения –	$n_{\text{ном}} = 1500 \text{ об./мин.}$ ;
система возбуждения –	параллельная;
КПД –	$\eta = 0,76$ .

Дополнительные данные:

сопротивление цепи обмотки якоря –	$R_{\text{я}} = 0,88 \text{ Ом}$ ;
сопротивление обмотки возбуждения –	$R_{\text{в}} = 166 \text{ Ом}$ ;

Определить:

1. Номинальный вращающий момент
2. Мощность, потребляемую двигателем из сети
3. Потребляемый ток
4. Ток в обмотках якоря и обмотке возбуждения
5. Ток в обмотке якоря при коротком замыкании (при пуске)
6. Пусковой ток и сопротивление пускового реостата при условии

$$I_{\text{п}} = 2,5 * I_{\text{ном}}$$

7. Потери при холостом ходе
8. Ток двигателя при холостом ходе

Решение:

1. Номинальный вращающий момент

$$M_{\text{ном}} = 9,55 * P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}} = 9,55 * 1000 / 1500 = 6,36 \text{ Н*м}$$

2. Мощность, потребляемая двигателем из сети при номинальной нагрузке

$$P_1 = P_{\text{ном}} / \eta = 1000 / 0,76 = 1315 \text{ Вт}$$

3. Потребляемый ток в номинальном режиме

$$I_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}}/U_{\text{НОМ}} = 1315/110 = 12 \text{ А}$$

4. Токи в обмотках якоря и возбуждения при номинальном режиме

$$I_{\text{В}} = U_{\text{НОМ}}/R_{\text{В}} = 110/166 = 0,66 \text{ А}$$

$$I_{\text{Я}} = I_{\text{НОМ}} - I_{\text{В}} = 12 - 0,66 = 11,34 \text{ А}$$

5. Ток якоря при коротком замыкании (при отключенной обмотки возбуждения или в момент пуска при отключенном пусковом реостате)

$$I_{\text{К}} = U_{\text{НОМ}}/R_{\text{Я}} = 110/0,88 = 125 \text{ А}$$

6. Пусковой ток при условии  $I_{\text{П}} = 2,5 \cdot I_{\text{НОМ}}$

$$I_{\text{П}} = 2,5 \cdot I_{\text{НОМ}} = 2,5 \cdot 12 = 30 \text{ А}$$

7. Сопротивление пускового реостата при условии  $I_{\text{П}} = 2,5 \cdot I_{\text{НОМ}}$

$$R_{\text{П}} = U_{\text{НОМ}}/I_{\text{П}} - R_{\text{Я}} = 110/30 - 0,88 = 2,78 \text{ Ом}$$

8. Сумма потерь двигателя

$$\sum \Delta P = P_1 - P_{\text{НОМ}} = 1315 - 1000 = 315 \text{ Вт}$$

9. Потери электрические

$$P_9 = P_{\text{Я}} + P_{\text{В}} = I_{\text{Я}}^2 \cdot R_{\text{Я}} + I_{\text{В}}^2 \cdot R_{\text{В}} = 11,34^2 \cdot 0,88 + 0,66^2 \cdot 166 = 185,4 \text{ Вт}$$

10. Потери магнитные и механические

$$P_{\text{М}} + P_{\text{МХ}} = \sum \Delta P - P_9 = 315 - 185,4 = 129,4 \text{ Вт}$$

Так как мощность, потребляемая двигателем при холостом ходе равна потерям в стали, в цепи возбуждения и механическим потерям, то

$$I_{\text{ХХ}} = I_{\text{В}} + (P_{\text{М}} + P_{\text{МХ}})/U_{\text{НОМ}} = 0,66 + 129,4/110 = 1,8 \text{ А}$$

### **Задача 9.**

Определить частоту вращения двигателя постоянного тока П12 при холостом ходе и номинальной нагрузке, если известно, что регулирование производилось за счет изменения сопротивления в цепи возбуждения и магнитный поток имел три значения:

$$1. \Phi_{\text{ном}}; \quad 2. \Phi_1 = 0,8 * \Phi_{\text{ном}}; \quad 3. \Phi_2 = 0,5 * \Phi_{\text{ном}}.$$

Паспортные данные двигателя:

$$P_{\text{ном}} = 1 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$$

$$n_{\text{ном}} = 3000 \text{ об./мин.}$$

$$I_{\text{яном}} = 5,6 \text{ А}$$

$$R_{\text{я}} = 2,0 \text{ Ом}$$

### Решение:

1. Определение частоты вращения двигателя при холостом ходе и номинальном магнитном потоке

$$n_x = n_{\text{ном}} * U_{\text{ном}} / (U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} * R_{\text{я}}) = 3000 * 220 / (220 - 5,6 * 2) = 3160 \text{ об./мин.}$$

2. Частота вращения и магнитные потоки связаны соотношением

$$n_{1x} / n_x = \Phi_{\text{ном}} / \Phi_1$$

Частота вращения при холостом ходе и пониженном магнитном потоке  $\Phi_1 = 0,8 * \Phi_{\text{ном}}$

$$n_{1x} = n_x * \Phi_{\text{ном}} / \Phi_1 = 3160 * 1 / 0,8 = 3950 \text{ об./мин.}$$

Частота вращения при холостом ходе и пониженном магнитном потоке  $\Phi_2 = 0,5 * \Phi_{\text{ном}}$

$$n_{2x} = n_x * \Phi_{\text{ном}} / \Phi_2 = 3160 * 1 / 0,5 = 6320 \text{ об./мин.}$$

3. Для определения частоты вращения при номинальном моменте и пониженном магнитном потоке необходимо определить перепад частоты вращения между холостым ходом и номинальной нагрузкой

$$\Delta n_1 = (n_x - n_{\text{ном}}) * (\Phi_{\text{ном}} / \Phi_1)^2 = (3160 - 3000) * (1 / 0,8)^2 = 250 \text{ об./мин.}$$

$$\Delta n_2 = (n_x - n_{\text{ном}}) * (\Phi_{\text{ном}} / \Phi_2)^2 = (3160 - 3000) * (1 / 0,5)^2 = 640 \text{ об./мин.}$$

Частота вращения при номинальном моменте и магнитном потоке  $\Phi_1 = 0,8 * \Phi_{\text{ном}}$

$$n_{1\text{ном}} = n_{1x} - \Delta n_1 = 3950 - 250 = 3700 \text{ об./мин.}$$

то же при магнитном потоке  $\Phi_2 = 0,5 * \Phi_{\text{ном}}$

$$n_{2\text{ном}} = n_{2x} - \Delta n_2 = 6320 - 640 = 5680 \text{ об./мин.}$$

### Задача 10.

Генератор постоянного тока с независимым возбуждением должен использоваться в системе генератор-двигатель для регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока П12. Используя данные предыдущей задачи, выбрать генератор для регулирования частоты вращения двигателя П12. Определить пределы регулирования частоты вращения от максимального до минимального значения при холостом ходе и номинальном вращающем моменте.

Решение:

Для выбора генератора постоянного тока, используемого в системе генератор-двигатель, необходимо учесть, что номинальная мощность генератора должна быть равна или превышать потребляемую мощность двигателя с учетом возможных перегрузок.

1. Потребляемая мощность двигателя П12

$$P_1 = U_{\text{ном}} * I_{\text{ном}} = 220 * 5,6 = 1232 \text{ А}$$

Выбираем генератор мощностью не менее 1,3 кВт напряжением 230 В с номинальным током не менее 6 А. Этим данным соответствует генератор типа П22, имеющий следующие паспортные данные:

$$P_{\text{ном}} = 1,6 \text{ кВт};$$

$$U_{\text{ном}} = 230 \text{ В};$$

$$I_{\text{ном}} = 7 \text{ А};$$

$$n_{\text{ном}} = 2850 \text{ об./мин.}$$

$$\eta = 83,5 \%$$

$$R_{\text{яг}} = 1,55 \text{ Ом}$$

2. Определим общее сопротивление цепи якоря двигателя и генератора (обмотки якоря генератора и двигателя включены последовательно)

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{ядв}} + R_{\text{яг}} = 2,0 + 1,55 = 3,55 \text{ Ом}$$

3. ЭДС генератора в номинальном режиме

$$E_{\text{Г}} = U_{\text{Гном}} + I_{\text{Гя}} * R_{\text{яг}} = 230 + 7 * 1,55 = 240,85 \text{ В}$$

4. Напряжение на выходе генератора при номинальной нагрузке двигателя

$$U_{\text{Г}} = E - I_{\text{ядв}} * R_{\text{общ}} = 240 - 5,6 * 3,55 = 220,97 \text{ В}$$

Что соответствует номинальному режиму двигателя

5. Определение частоты вращения двигателя



Вб

$$c_e * \Phi = E/n_{\text{ном}} = (U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} * R_{\text{ядв}})/n_{\text{ном}} = (220 - 5,6 * 2,0)/3000 = 0,0694$$

максимальная частота вращения двигателя при холостом ходе

$$n_x = E_1/(c_e * \Phi) = 240,85/0,0694 = 3458 \text{ об./мин.}$$

Минимальная частота вращения двигателя при холостом ходе определяется по минимальному значению ЭДС генератора, при котором двигатель приходит во вращение. Пусть пуск двигателя происходит при полутора кратном значении номинального тока.

$$E_{\text{гmin}} = 1,5 * I_{\text{ядв}} * R_{\text{общ}} = 1,5 * 5,6 * 3,55 = 29,8 \text{ В}$$

Минимальная частота вращения при холостом ходе

$$n_{\text{min}} = E_{\text{гmin}}/(c_e * \Phi) = 29,8/0,0694 = 429,6 \text{ об./мин.}$$

При номинальном моменте

$$n_{\text{min}} = (E_{\text{гmin}} - I_{\text{ядв}} * R_{\text{общ}})/(c_e * \Phi) = (29,8 - 5,6 * 3,55)/0,0694 = 142,9 \text{ об./мин.}$$

Следовательно, при изменении напряжения на выходе генератора частота вращения двигателя:

- при холостом ходе меняется от 3488 до 452 об./мин,
- при номинальном моменте от 3000 до 142,9 об./мин.

6. Выходная мощность генератора при номинальной нагрузке двигателя

$$P_{\text{гвых}} = U_{\text{г}} * I_{\text{ядв}} = 220,97 * 5,6 = 1237,4 \text{ Вт}$$

7. Мощность, потребляемая генератором при номинальном режиме двигателя

$$P_{\text{гном}} = P_{\text{гвых}}/\eta = 1237,4/0,835 = 1481,9 \text{ Вт}$$

8. Для определения мощности двигателя, который приводит во вращение генератор, необходимо учесть возможные перегрузки (~30 %)

$$P_{\text{д}} = P_{\text{г}}/\eta = U_{\text{ном}} * 1,3 * I_{\text{ядв}}/\eta = 220,97 * 1,3 * 5,6/0,835 = 1926,5 \text{ Вт}$$

### Задача 11.

Двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением включен в сеть с напряжением  $U = 220 \text{ В}$  и при номинальном вращающем

момента  $M_{\text{ном}} = 101,7 \text{ Н*м}$  развивает частоту вращения  $n_{\text{ном}} = 750 \text{ об./мин.}$ ; КПД двигателя  $\eta = 75 \%$ . Сопротивления:

Обмотки якоря	$R_{\text{я}} = 0,0443 \text{ Ом};$
Обмотки возбуждения	$R_{\text{в}} = 0,197 \text{ Ом};$
Пускового реостата	$R_{\text{п}} = 1,17 \text{ Ом}.$

Определить: номинальную, потребляемую и электромагнитную мощность; вращающий момент при пуске, если соответствующее увеличение тока приводит к увеличению магнитного потока в 1,2 раза.

### Решение:

1. Номинальная мощность находится из уравнения

$$M = 9,55 * P / n$$

откуда

$$P_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} * n_{\text{ном}} / 9,55 = 101,7 * 750 / 9,55 = 8000 \text{ Вт}$$

Потребляемая мощность

$$P_1 = P_{\text{ном}} / \eta = 10666 \text{ Вт}$$

2. Ток в якоре двигателя последовательного возбуждения равен току в цепи возбуждения и потребляемому току

$$I_1 = I_{\text{я}} = I_{\text{в}} = P_1 / U_{\text{ном}} = 10666 / 220 = 48,5 \text{ А}$$

ЭДС обмоток якоря

$$E_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} - I_{\text{я}} * (R_{\text{я}} + R_{\text{в}}) = 220 - 48,5(0,443 + 0,197) = 189 \text{ В}$$

Электромагнитная мощность

$$P_{\text{эм}} = E_{\text{я}} * I_{\text{я}} = 189 * 48,5 = 9166 \text{ Вт}$$

Пусковой ток

$$I_{\text{п}} = U_{\text{ном}} / (R_{\text{я}} + R_{\text{в}} + R_{\text{п}}) = 220 / (0,443 + 0,197 + 1,17) = 121,5 \text{ А}$$

Кратность пускового тока

$$K_1 = I_{\text{п}} / I_{\text{ном}} = 121,5 / 48,5 = 2,5$$

вращающий момент при пуске с возрастанием тока в 2,5 раза приводит к увеличению магнитного потока в 1,2 раза

$$M_{\Pi} = c_M * 1,22\Phi * 2,5 * I_{\text{я}} = 3 * 101,7 = 305 \text{ Н*м}$$

### **Задача 12.**

Двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением работает при напряжении на зажимах  $U = 110 \text{ В}$  и токе  $I_{\text{ном}} = 24 \text{ А}$ . якорь двигателя вращается с частотой  $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ об./мин.}$  и развивает на валу вращающий момент  $M = 14,0 \text{ Н*м}$ . Общее сопротивление обмоток якоря и возбуждения  $R_{\text{общ}} = 0,35 \text{ ом}$ . Определить электромагнитную, полезную и потребляемую мощности, электрические, магнитные и механические потери. Как изменится потребляемый ток, магнитный поток, частота вращения, потребляемая мощность, КПД при понижении подводимого напряжения до 90 В и при неизменном вращающем моменте на валу.

Решение:

1. ЭДС обмотки якоря

$$E_{\text{я}} = U - I_{\text{я}} * R_{\text{общ}} = 110 - 24 * 0,35 = 101,6 \text{ В}$$

Так как  $I_{\text{я}} = I_{\text{в}} = I_{\text{ном}}$

Электромагнитная мощность

$$P_{\text{эм}} = E * I_{\text{я}} = 101,6 * 24 = 2438,6 \text{ Вт}$$

Полезная мощность, развиваемая на валу

$$P_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} * n_{\text{ном}} / 9,55 = 14 * 1500 / 9,55 = 2200 \text{ Вт}$$

Потребляемая мощность при номинальной нагрузке

$$P_1 = U_{\text{ном}} * I_{\text{ном}} = 110 * 24 = 2460 \text{ Вт}$$

Электрические потери в обмотках якоря и возбуждения

$$P_{\text{э}} = P_1 - P_{\text{эм}} = 2460 - 2438 = 201,6 \text{ Вт}$$

или

$$P_{\text{э}} = I^2 * R_{\text{общ}} = 24^2 * 0,35 = 201,6 \text{ Вт}$$

КПД при номинальном режиме

$$\eta = P_{\text{ном}} / P_1 = 2200 / 2460 = 0,833$$

При понижении напряжения на зажимах двигателя до 90 В и неизменном вращающем моменте на валу ток якоря и магнитный поток остаются неизменными, а частота вращения понижается

$$n_1 = n_{\text{ном}} * (U_1 - I_{\text{я}} * R_{\text{общ}}) / (U_{\text{ном}} - I_{\text{я}} * R_{\text{общ}}) = \\ = 1500 * (90 - 24 * 0,35) / (110 - 24 * 0,35) = 1204 \text{ об./мин.}$$

мощность на валу двигателя

$$P_2 = M_{\text{ном}} * n_1 / 9,55 = 14 * 1204 / 9,55 = 1766 \text{ Вт}$$

Потребляемая мощность

$$P_1 = U_1 * I_{\text{я}} = 90 * 24 = 2160 \text{ Вт}$$

КПД при пониженном напряжении

$$\eta_1 = P_2 / P_1 = 1766 / 2160 = 0,811$$

Следовательно, с понижением подводимого напряжения при неизменном вращающем моменте потребляемый ток (ток якоря), магнитный поток, электрические потери ( $I_{\text{я}}^2 * R_{\text{общ}}$ ) остаются неизменными, а частота вращения, потребляемая мощность и КПД понижаются к первоначальному значению

$$n = n_1 / n_{\text{ном}} * 100 \% = 1204 / 2200 * 100 \% = 80 \%$$

$$P_2 = P_2 / P_{\text{ном}} * 100 \% = 1766 / 2200 * 100 \% = 80 \%$$

$$\eta = \eta_1 / \eta_{\text{ном}} * 100 \% = 0,811 / 0,833 * 100 \% = 97,3 \%$$

### **Задача 13.**

Шести полюсный двигатель постоянного тока смешанного возбуждения работает от сети с напряжением  $U = 220 \text{ В}$  и вращается с частотой  $n = 1000 \text{ об./мин.}$  Двигатель рассчитан на номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 13,3 \text{ А}$ ; КПД  $\eta = 75,2 \%$ , сопротивление цепи якоря  $R_{\text{я}} = 1,65 \text{ Ом}$ , сопротивление параллельной обмотки возбуждения  $R_{\text{в}} = 183 \text{ Ом}$ , имеется три пары параллельных ветвей и 240 проводников обмотки якоря. Определить магнитный поток, вращающий момент на валу двигателя, электромагнитную, потребляемую и номинальную мощности.

Решение:

Для определения магнитного потока найдем ток якоря и ЭДС обмотки якоря

$$I_B = U_{\text{НОМ}}/R_B = 220/183 = 1,2 \text{ A}$$

Ток в цепи якоря

$$I_A = I_{\text{НОМ}} - I_B = 13,3 - 1,2 = 12,1 \text{ A}$$

ЭДС, наводимая в обмотке якоря

$$E_A = U_{\text{НОМ}} - I_A * R_A = 220 - 12,1 * 1,65 = 200 \text{ В}$$

Магнитный поток определяется из соотношения

$$E = p * N * n_{\text{НОМ}} * \Phi / (60 * a)$$

откуда

$$\Phi = 60 * a * E / (p * N * n_{\text{НОМ}}) = 60 * 3 * 200 / (3 * 240 * 1000) = 0,05 \text{ Вб}$$

Мощности:

Электромагнитная

$$P_{\text{ЭМ}} = E_A * I_A = 200 * 12,1 = 2420 \text{ Вт}$$

Потребляемая

$$P_1 = U_1 * I_{\text{НОМ}} = 220 * 13,3 = 2926 \text{ Вт}$$

Номинальная

$$P_{\text{НОМ}} = P_1 * \eta = 2926 * 0,752 = 2200 \text{ Вт}$$

Вращающий момент на валу двигателя при номинальной нагрузке

$$M = 9,55 * P_{\text{НОМ}} / n_{\text{НОМ}} = 9,55 * 2200 / 1000 = 21 \text{ Н*м}$$

## 2). Асинхронные машины

### Задача1.

Найти ЭДС, индуцируемую в фазе обмоток статора и ротора асинхронного короткозамкнутого двигателя при неподвижном и вращающемся роторе, коэффициент трансформации и процентное значение ЭДС от подводимого напряжения обмотки статора, если известны:

скольжение  $s=4\%$ , обмотка статора соединена в «звезду» и подключена к сети переменного тока с линейным напряжением 380 В, число витков в каждой фазе статора  $w_1=88$ ,  $w_2=12$ . Магнитный поток  $\Phi=1,21 \cdot 10^{-2}$  Вб, обмоточный коэффициент обмотки статора  $K_{o1}=0,95$ , ротора  $K_{o2}=0,92$ .

Частота тока  $f=50$  Гц.

Решение:

Определяем ЭДС, индуцируемую в фазе обмотки статора

$$E_1 = 4,44 * f * w_1 * \Phi * K_{o1} = 4,44 * 50 * 88 * 1,21 * 10^{-2} * 0,92 = 217,5 \text{ В}$$

ЭДС, индуцируемая в фазе обмотки неподвижного ротора

$$E_2 = 4,44 * f * w_2 * \Phi * K_{o2} = 4,44 * 50 * 12 * 1,21 * 10^{-2} * 0,95 = 30,6 \text{ В}$$

Коэффициент трансформации представляет собой отношение ЭДС обмотки статора к ЭДС обмотки ротора

$$n = E_1 / E_2 = 217,5 / 30,6 = 7,1$$

ЭДС, индуцируемая в фазе обмотки вращающегося ротора, при скольжении  $s=4\%$

$$E_{2s} = E_2 * s = 30,6 * 0,04 = 1,22 \text{ В}$$

Фазное напряжение обмотки статора

$$U_\phi = U_l / \sqrt{3} = 220 \text{ В}$$

Отсюда ЭДС в фазе обмотки статора от подводимого напряжения

$$E_1 = E_l / U_\phi = (127,5 / 220) * 100 = 98,8\%$$

## Задача 2

Асинхронный трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором марки АО2-82-6 имеет следующие паспортные данные:

напряжение  $U=220/380$

номинальная мощность  $P_2=40$  кВт

частота вращения  $n=980$  об/мин

КПД  $\eta = 91,5\%$

коэффициент мощности  $\cos\phi = 0,91$

кратность пускового тока  $K_i=5$

кратность пускового момента  $K_M=1,1$

перегрузочная способность двигателя  $\lambda = 1,8$

Определить число пар полюсов, номинальное скольжение, номинальный, максимальный и пусковой вращающие моменты, номинальный и пусковой токи двигателя при соединении обмотки статора в «звезду» и «треугольник». Возможен ли пуск нагруженного двигателя, если подводимое напряжение на 10% ниже и пуск производится переключением обмоток статора со «звезды» на «треугольник»?

**Решение:**

1. Для определения числа пар полюсов можно воспользоваться маркировкой двигателя. Последнее число в марке двигателя означает число полюсов. В данном двигателе шесть полюсов, следовательно – три пары полюсов.

Можно определить число пар полюсов, воспользовавшись частотой вращения магнитного поля ротора

$$p=60*f/n_2=3000/980=3,06$$

Частота вращения магнитного поля

$$n_1=60*f/p=1000\text{об/мин}$$

2. Номинальное значение скольжения

$$s=(n_1-n_2)/n_1*100=(1000-980)/1000*100=2\%$$

3. Мощность, потребляемая двигателем

$$P_1=P_2/\eta=40000/0,915=43712\text{Вт}$$

4. Номинальный вращающий момент двигателя

$$M_{ном}=9,55*P_2/n_2=9,55*40000/980=389,8\text{Н*М}$$

5. Максимальный момент

$$M_{max}=\lambda*M_{ном}=1,8*389,8=702,6\text{Н*М}$$

6. Пусковой момент

$$M_n=K_m*M_{ном}=1,1*389,8=428,7\text{Н*М}$$

7. Для определения фазных, линейных и пусковых токов нужно учесть следующее: если двигатель рассчитан на работу от сети переменного тока с напряжением 220/300В, то это значит, что каждая фаза обмотки статора рассчитана на напряжение 220 В. Обмотку необходимо включить по схеме «треугольник», если в сети линейное напряжение 220 В и по схеме «звезда», если в сети линейное напряжение 380 В.

Определяем фазный, линейный и пусковой токи при линейном напряжении 220 В и соединении обмотки статора по схеме «треугольник»

$$I_\phi=P_1/3*U_\phi*\cos\varphi=43715/3*220*0,91=72,8\text{А}$$

$$I_\lambda=\sqrt{3}*I_\phi=1,73*72,8=125,9$$

$$I_n=K_i*I_\lambda=5*125,9=629,5\text{А}$$

Найдем значения фазных, линейных и пусковых токов, если обмотки статора включены по схеме «звезда» и подключены к сети с линейным напряжением U=380 В

Значение фазного тока найдем из формулы мощностей для линейных значений токов и напряжений

$$P_1=\sqrt{3}*U_\lambda*I_\lambda*\cos\varphi$$

При соединении в «звезду»

линейный ток

$$I_\phi=I_\lambda=P_1/\sqrt{3}*U_\lambda*\cos\varphi=43715/1,73*380*0,91=73\text{А}$$

пусковой ток

$$I_n=K_i*I_\lambda=5*73=365\text{А}$$

8. Для определения возможности пуска в ход двигателя, находящегося под номинальной нагрузкой и пониженным напряжением, необходимо определить пусковой вращающий момент при пониженном напряжении. В соответствии с формулой

$$M=c*U^2$$

вращающий момент двигателя пропорционален квадрату приложенного напряжения. Следовательно, при понижении напряжения на 10% вращающий момент составит

$$0,9^2 * M_{ном} = 0,81 * 389,8 = 314,74 \text{ Н*М}$$

Соответственно пусковой момент

$$M_{п1} = 1,1 * 315,74 = 347,3 \text{ Н*М}$$

Тормозной момент двигателя на 47,5 НМ больше, следовательно пуск невозможен.

Для понижения пусковых токов часто пуск асинхронных двигателей осуществляют при пониженном напряжении, Двигатели, работающие при соединении обмоток статора по схеме «треугольник» пускают без нагрузки путем переключения обмоток со «Звезды» на «треугольник». В момент пуска обмотки находятся под напряжением  $U_{\phi} = U_{л} / \sqrt{3} = 127 \text{ В}$ , что составляет 57,7% от номинального напряжения, пусковой момент при переключении обмоток составит  $(0,577 * U_{ном})^2 = 128,8 \text{ НМ}$ , что в три раза меньше номинального значения.

### Задача 3.

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором единой серии АО2-92-6 имеет следующие технические характеристики:

номинальная мощность на валу  $P_{ном} = 75 \text{ кВт}$

номинальное напряжение сети  $U_{ном} = 220/380 \text{ В}$

номинальное скольжение  $s_{ном} = 0,015$

коэффициент мощности при номинальной нагрузке  $\cos \phi_{ном} = 0,92$

при холостом ходе  $\cos \phi_x = 0,2$

коэффициент полезного действия  $\eta = 92,5\%$

кратность пускового тока  $K_i = 1,1$

кратность максимального момента  $\lambda = 1,8$

Определить номинальный, максимальный и пусковой вращающий моменты, фазный, линейный и пусковой токи при номинальной нагрузке, ток холостого хода, потери энергии в роторе, общее, активное и индуктивное сопротивление фазы при номинальной нагрузке, частоту вращения ротора при максимальной нагрузке, частоту тока ротора при номинальной и максимальной нагрузках.

#### **Решение:**

Определяем частоту вращения магнитного поля. Число пар полюсов указано в обозначении типа двигателя ( $p=3$ ). Для единой серии А2 частота тока равна 50 Гц. Тогда

$$n_1 = 60 * f / p = 1000 \text{ об/мин}$$

Число оборотов ротора при номинальной нагрузке и известном скольжении

$$n_{2ном} = n_1 * (1-s) = 1000 * (1-0,015) = 985 \text{ об/мин}$$

Вращающие моменты

- номинальный

$$M_{ном} = 9,55 * P_{ном} / n_{2ном} = 9,55 * 75000 / 985 = 727 \text{ Н*М}$$

- максимальный

$$M_{max} = \lambda * M_{ном} = 1,8 * 727 = 1308 \text{ Н*М}$$

- пусковой



$$M_n = K_m * M_{ном} = 1,1 * 727 = 799,8 \text{ Н*М}$$

Мощность, потребляемая двигателем из сети

$$P_1 = P_{ном} / \eta = 75000 / 0,925 = 81081 \text{ Вт}$$

Номинальный фазный ток в обмотках статора при соединении в «треугольник»

$$I_{фном} = P_1 / 3 * U_{\phi} * \cos \varphi_{ном} = 81081 / 3 * 220 * 0,92 = 133,5 \text{ А}$$

$$I_{лном} = \sqrt{3} * I_{фном} = 1,73 * 133,5 = 231 \text{ А}$$

$$I_n = K_i * I_l = 6 * 231 = 1386 \text{ А}$$

Общие потери двигателя составляют разность между потребляемой и номинальной мощностью

$$\Sigma P = P_1 - P_{ном} = 81081 - 75000 = 6081 \text{ Вт}$$

Ток холостого хода определяем из формулы мощности холостого хода

$$P_x = \sqrt{3} * U_{ном} * I_x * \cos \varphi_x$$

$$I_x = P_x / \sqrt{3} * U_{ном} * \cos \varphi_x = 6081 / 1,73 * 220 * 0,2 = 79,9 \text{ А}$$

Электромагнитную мощность, т.е. мощность, передаваемую электромагнитным путем из статора в ротор, определяем из соотношения

$$P_{эм} = M_{ном} * \omega = M_{ном} * (2 * \pi * n_1 / 60) = 727 * 1000 / 9,55 = 76,125 \text{ Вт}$$

Потери энергии в статоре

$$P_c = P_1 - P_{эм} = 81081 - 76125 = 4956 \text{ Вт}$$

Потери энергии в роторе

$$P_p = \Sigma P - P_c = 6081 - 4956 = 1125 \text{ Вт}$$

Сопротивление фазы при номинальной нагрузке  
- общее

$$Z_{\phi} = U_{фном} / I_{фном} = 220 / 133,5 = 1,65 \text{ Ом}$$

активное

$$R = Z_{\phi} * \cos \varphi = 1,65 * 0,92 = 1,5$$

индуктивное

$$x = \sqrt{z^2 - r^2} = 0,68 \text{ Ом}$$

Критическое скольжение – это скольжение, при котором двигатель развивает максимальный вращающий момент

$$s_{кр} = s * (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,049$$

Частота вращения ротора при максимальной нагрузке

$$n_{2кр} = n_1 * (1 - s_{кр}) = 1000 * (1 - 0,049) = 952 \text{ об/мин}$$

Частота тока ротора при номинальной нагрузке

$$f_{2ном} = n_1 * s_{ном} = 50 * 0,015 = 0,75$$

Частота тока ротора максимальной нагрузке

$$f_{2max} = f_1 * s_{кр} = 50 * 0,049 = 2,45 \text{ Гц}$$

#### Задача 4

Трехфазный шестиполусный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет следующие паспортные данные:

номинальная мощность  $P_2 = 5,0$  кВт  
 номинальное напряжение  $U = 220/380$  В  
 номинальная частота вращения  $n = 940$  об/мин  
 номинальный коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,68$   
 номинальный КПД  $\eta = 74,5\%$

Определить мощность, подводимую к двигателю, токи двигателя при соединении обмоток статора в «треугольник» и «звезду», вращающий момент  $M_{ном}$  и скольжение  $s_{ном}$ , если частота тока статора  $f = 50$  Гц. Рассчитать сопротивление регулировочного реостата, включаемого в цепь ротора для снижения частоты вращения вала двигателя до  $750$  /мин при номинальном моменте на валу и соединении обмоток в «звезду».

**Решение:**

Мощность, подводимую к двигателю

$$P_1 = P_{ном} / \eta_{ном} = 5000 / 0,745 = 6711 \text{ Вт}$$

Токи двигателя при соединении обмоток статора в «звезду»

$$I_\phi = P_1 / \sqrt{3} * U_1 * \cos\varphi = 6711 / 1,73 * 380 * 0,68 = 15 \text{ А}$$

в треугольник

$$I_\phi = P_1 / \sqrt{3} * U_1 * \cos\varphi = 6711 / 1,73 * 220 * 0,68 = 25,9 \text{ А}$$

Вращающий момент двигателя при номинальной нагрузке

$$M_{ном} = 9,55 * P_{ном} / n_{2ном} = 9,55 * 5000 / 940 = 50,8 \text{ Н*М}$$

Скольжение при номинальной нагрузке

$$s_{ном} = (n_1 - n_{2ном}) / n_1 = (1000 - 750) / 1000 = 0,25$$

Для определения сопротивления регулировочного реостата воспользуемся выражением

$$(R_2 + R_{рном}) / s = R_2 * s$$

откуда

$$R_{рном} = R_2 * (s / s_{ном} - 1)$$

Активное сопротивление фазы ротора из выражений

$$P_{\text{э2}} = 3 * I_{2ном}^2 * R_2$$

$$P_{\text{эм}} = \frac{n_1}{9,55} * M_{ном}$$

откуда

$$R_2 = s_{ном} * \frac{M_{ном} * n_1}{9,55 * 3 * I_{2ном}^2} = 0,06 * \frac{50,8 * 1000}{28,65 * 152} = 0,47$$

Сопротивление регулировочного реостата

$$R_{рном} = R_2 * (s / s_{ном} - 1) = 0,47 * (0,25 / 0,06 - 1) = 1,49$$

3). Синхронные двигатели.

11. În cazul unui motor, în funcție de datele  
 de mai jos, să se determine:  
 a) numărul de poli  
 b) numărul de perechi de poli

$$P_H := 285 \cdot 10^3 \quad U_H := 3000 \quad \cos \phi_H := 0.8 \quad \eta_H := 0.94 \quad p := 3$$

$$\omega := 314 \quad f := 50$$

**Soluție**

În funcție de datele de mai sus, avem:

$$\Omega_H := \frac{\omega}{p} \quad \Omega_H = 104.67$$

În funcție de datele de mai sus, avem:

$$n_H := \frac{f}{p} \quad n_H = 16.67$$

În funcție de datele de mai sus, avem:

$$M_H := \frac{P_H}{\Omega_H} \quad M_H = 2722.93$$

În funcție de datele de mai sus, avem:

$$I_H := \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \phi_H} \quad I_H = 72.94$$

În funcție de datele de mai sus, avem:

$$\phi_H := \arccos(\cos \phi_H) \quad \phi_H = 36.87 \text{ deg}$$

$$P_1 := \frac{P_H}{\eta_H} \quad Q_1 := P_1 \cdot \tan(\phi_H)$$

$$P_1 = 303.2 \times 10^3 \quad Q_1 = 227.4 \times 10^3$$

12. Într-un arbor mecanic este montată rețeaua de transmisii următoare:

$$P_H := 990 \cdot 10^3 \quad U_H := 6000 \quad \cos \varphi_H := 0.8 \quad x := 42 \quad p := 3$$

$$z := 314 \quad f := 50 \quad k_M := 2.2$$

**Exercițiu**

Calculați viteza unghiulară și numărul de rotații pe minut:

$$\omega_c := \frac{\omega}{p} \quad \omega_c = 104.7$$

Calculați numărul de rotații pe minut:

$$n_H := \frac{f}{p} \quad n_H = 16.67$$

Calculați momentul:

$$M_H := \frac{P_H}{\omega_c} \quad M_H = 9458.6$$

Calculați momentul:

$$M_M := k_M \cdot M_H \quad M_M = 20.8 \times 10^3$$

Calculați deflecția în punctul A:

$$f_i = \sqrt{3} E_f U_i / (\omega_i x) \quad f_i = 8.8 \times 10^3$$

$$E_f := \frac{M_M \cdot \omega_c \cdot x}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad E_f = 8.8 \times 10^3$$

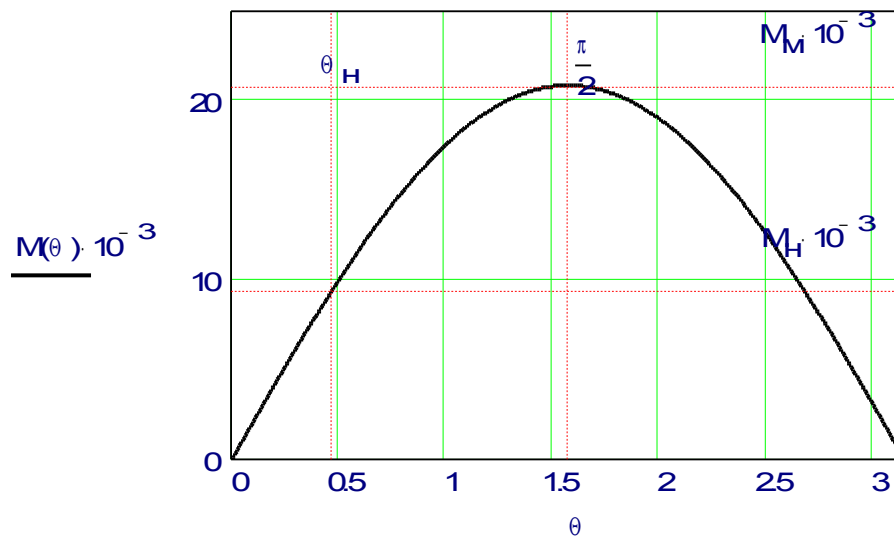
Equation  $M = M_H \sin(\theta)$  is defined as:

$$\theta_H := \arcsin\left(\frac{M_H}{M_M}\right) \quad \theta_H = 27.04 \text{ deg}$$

Equation  $M$

$$M(\theta) := M_M \cdot \sin(\theta) \quad M(\theta) \text{ float, 3} \rightarrow 2.08 \cdot 10^4 \cdot \sin(\theta)$$

$$Q := 0, \frac{\pi}{100} \dots \pi$$



Equation  $U_x$  is defined as:

$$U_x := \frac{U_H}{\sqrt{3}} - E_f e^{-j \cdot \theta_H} \quad U_x = -4376.3 + 4001.04i$$

Equation  $I$  is defined as:

$$I := \frac{U_x}{j \cdot X} \quad I = 95.26 + 104.2i$$

$$I_D := |I| \quad \phi := \arg(I)$$

$$I_D = 141.18 \quad \phi = 47.56 \text{ deg}$$

13. Căminul este un sistem de încălzire în aer condiționat, în care se utilizează un radiator cu o suprafață de 1.4 m². Temperatura medie a aerului în radiator este de 60°C, iar temperatura medie a aerului în încălzire este de 45°C. Coeficientul de schimb de căldură este de 10 W/m²·K. Se cere să se determine puterea necesară pentru încălzirea apei de la 10°C la 40°C în timp de 10 minute.

$$P_H := 4 \cdot 10^6 \quad U_H := 6000 \quad I_H := 443 \quad x := 9.75 \quad p := 1$$

$$\omega := 314 \quad f := 50 \quad k_M := 2.2 \quad \cos \phi_2 := 0.9$$

$$\phi_2 := \arccos(\cos \phi_2) \quad \phi_2 = 0.45$$

**Soluție**

Calculăm frecvența unghiulară:

$$\Omega_C := \omega \div p \quad \Omega_C = 314$$

Calculăm numărul de rotații:

$$n_H := f \div p \quad n_H = 50$$

Calculăm momentul necesar:

$$M_H := P_H \div \Omega_C \quad M_H = 12.74 \times 10^3$$

Calculăm momentul:

$$M_M := k_M \cdot M_H \quad M_M = 28.03 \times 10^3$$

Calculăm energia necesară:

$$E_{f1} := 1.4 \cdot U_H \div \sqrt{3} \quad E_{f1} = 4.8 \times 10^3$$

Calculăm momentul:

$$M_{M1} := \frac{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot E_{f1}}{\Omega_C \cdot x} \quad M_{M1} = 16.46 \times 10^3$$

$$M_{M1} := M_H \cdot k_M \quad M_{M1} = 28.03 \times 10^3$$

Calculăm energia necesară:

$$E_f := \sqrt{3} E_{f1} / (\Omega_C \cdot x)$$

Calculăm energia:

$$E_f := \frac{M_{M1} \cdot \Omega_C \cdot x}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad E_f = 8.3 \times 10^3$$

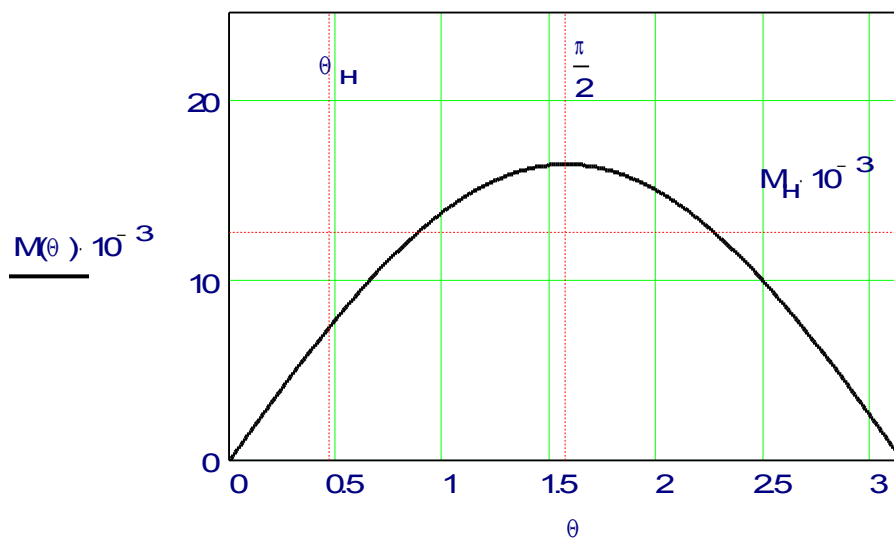
Defining  $M = M_H \sin \theta$  in the domain:

$$\theta_H := \arcsin\left(\frac{M_H}{M_M}\right) \quad \theta_H = 27.04 \text{ deg}$$

Graphing  $M$

$$M(\theta) := M_{M1} \cdot \sin(\theta) \quad M(\theta) \text{ float, 3} \rightarrow 1.65 \cdot 10^4 \cdot \sin(\theta)$$

$$Q := 0, \frac{\pi}{100} \dots \pi$$



Defining  $U_x$  in the domain:

$$U_x := \frac{U_H}{\sqrt{3}} - E_f \cdot e^{-j \cdot \theta_H} \quad U_x = -3.9 \times 10^3 + 3.8i \times 10^3$$

Defining

$$I := \frac{U_x}{j \cdot X} \quad I = 384.9 + 399i$$

$$I_D := |I| \quad \phi := \arg(I)$$

$$I_D = 554.36 \quad \phi = 46.03 \text{ deg}$$

## 6. Вопросы к экзамену и образец экзаменационного билета

1. Принцип работы и устройство машин постоянного тока.
2. Обмотки барабанных якорей.
3. Режимы работы МПТ. Системы возбуждения.
4. Реакция якоря. Коммутация.
5. Генераторы постоянного тока и их характеристики.
6. Тахогенераторы постоянного тока. Передаточная функция.
7. Двигатели постоянного тока. Пуск двигателя в ход и изменение режима работы.
7. Регулирование скорости ДПТ.
8. Характеристики двигателей параллельного, последовательного и смешанного возбуждения.
9. Исполнительные двигатели постоянного тока с якорным управлением. Передаточные функции.
10. Исполнительные двигатели постоянного тока с полюсным управлением. Передаточные функции.
11. Импульсное управление двигателем постоянного тока. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) на тиристорах.
12. Тиристорные ШИП с искусственной коммутацией для управления ДПТ.
13. Принцип действия и конструкция трансформатора.
14. Электромагнитные процессы в трансформаторе при холостом ходе. Векторная диаграмма.
15. Магнитное поле в трансформаторе при нагрузке.
16. Векторная диаграмма и схема замещения приведенного тр-ра.
17. Трансформация трехфазных токов.
18. Условия включения трансформаторов на параллельную работу.
19. Экспериментальное определение параметров и потерь трансформатора.
20. Изменение напряжения и КПД трансформатора при нагрузке.
21. Назначение и области применения асинхронных машин. Конструкция и принцип действия.
22. Режимы работы асинхронных машин.
23. Работа асинхронной машины под нагрузкой.
24. Схемы замещения асинхронного двигателя.
25. Круговая диаграмма асинхронного двигателя.
26. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.
27. Электромагнитный момент асинхронной машины и его зависимость от скольжения.
28. Максимальный и начальный пусковой моменты.
29. Электромеханическая и механическая характеристики двигателя.
30. Пуск в ход асинхронного двигателя. Регулирование частоты вращения
31. Глубокопазные двигатели и двигатели с двойной клеткой на роторе.
32. Частотное управление асинхронным двигателем.



33. Однофазные и конденсаторные асинхронные двигатели.
34. Исполнительные двухфазные асинхронные двигатели: схемы замещения, параметры, вращающий момент и характеристики.
35. Передаточная функция и управление исполнительными двухфазными асинхронными двигателями.
36. Универсальные коллекторные двигатели и преобразователи.
37. Принцип действия и виды синхронных машин. Реакция якоря синхронного генератора. Основные уравнения синхронной машины.
38. Векторные диаграммы и характеристики синхронных генераторов.

Синхронные тахогенераторы.

39. Трехфазные синхронные двигатели и их характеристики. Электромагнитная мощность и вращающий момент синхронных двигателей. Пуск в ход, торможение, способы регулирования частоты вращения.

40. Синхронные двигатели для систем автоматики.

Критерий экзаменационной оценки:

Для допуска к экзамену достаточными основаниями являются выполнение и защита РГР и всех лабораторных работ. Студент, не защитивший несколько лабораторных работ и (или) РГР, допускается к экзамену, но перед получением экзаменационного билета он должен ответить на вопросы, относящиеся к незащищенным лабораторным работам и РГР.

Для подготовки ответа студенту отводится 60 мин.

Билет содержит два теоретических вопроса и одну задачу. При выставлении оценки используется следующий приближенный критерий:

1) *удовлетворительно*: задача решена и даны основные определения теории по двум вопросам или: задача не решена, но дан полный ответ на один из теоретических вопросов и частичный ответ – на другой вопрос, имеются оценки “удовлетворительно” по результатам аттестации в семестре;

2) *хорошо*: задача решена, даны полные ответы на теоретические вопросы, отсутствуют оценки “удовлетворительно” по результатам аттестации в семестре;

3) *отлично*: задача решена, теоретические положения математически обоснованы, даны ответы на дополнительные вопросы по темам билета, отсутствуют оценки “удовлетворительно” по результатам аттестации в семестре по данному предмету;

2) *неудовлетворительно*: задача нерешена, основные определения теории отсутствуют, аттестационные оценки не выше “удовлетворительно”.

## Образец экзаменационного билета

### АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
" " июня 200\_ г.  
Заведующий кафедрой  
Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра АППиЭ  
Энергетический фак-т  
Курс 3 гр. 441  
Дисциплина: **Электромеханика**

#### Экзаменационный билет №

1. Номинальная мощность трехфазного трансформатора  $S_H = 25$  кВА, номинальные напряжения  $U_{1Н.Л} = 10$  кВ,  $U_{2Н.Л} = 0,4$  кВ. Схема соединений Y/Y. Трансформатор испытан в режиме холостого хода со стороны обмотки НН. При номинальном напряжении ток  $I_{2Х} = 1,15$  А, потребляемая мощность  $P_{2Х} = 0,135$  кВт. Найти ток холостого хода трансформатора в относительных единицах и коэффициент мощности в режиме холостого хода.

2. Принцип действия синхронного двигателя. Асинхронный пуск СД.

3. Асинхронный двигатель с числом полюсов  $2p = 4$  имеет номинальную частоту вращения  $n = 1450$  об/мин. Определить номинальное скольжение двигателя, частоту ЭДС взаимной индукции в фазах статора и ротора. Продемонстрировать получение вращающегося магнитного поля.

2. Вычислить величину ЭДС возбуждения турбогенератора в режиме номи-

4. Дан генератор параллельного возбуждения с номинальными данными: номинальной нагрузки при номинальном напряжении  $U_{нф} = 230$  В, номинальном токе  $P_{ном} = 7,5$  кВт,  $I_{нф} = 1800$  А и коэффициенте мощности  $\cos\phi_{ном} = 0,8$ . Активное сопротивление фазы статора  $R_{ст} = 0,162$  Ом. Подвозбудительное сопротивление обмотки якоря  $X_d = 0,211$  Ом. Влиянием насыщения пренебречь. Определить номинальный ток нагрузки, ток возбуждения, ток якоря при номинальной нагрузке и ЭДС генератора.

7. Контроль знаний

Промежуточный контроль знаний студентов по дисциплине предусматривает две контрольные точки в 6 семестре, оценки по которым выставляются на основе информации о выполнении лабораторных работ, РГР, а также на основе тестирования теоретических знаний, полученных за прошедший период обучения. Предусмотрено тестирование по темам:

1. Схемы замещения трансформаторов – 1-я контрольная точка.
2. Векторные диаграммы синхронных двигателей – 2-я контрольная точка. Для оценки остаточных знаний предусмотрена контрольная работа, которая проводится на практических занятиях.

### **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ТРАНСФОРМАТОРАМ**

1. Определить фазные и линейные значения напряжений и токов в номинальном режиме.
2. Определить параметры схемы замещения, приведенные к первичной обмотке, активную и реактивную составляющие напряжения короткого замыкания, начертить схему замещения трансформатора.
3. Определить число вольт на один виток.
4. Определить доленое значение нагрузки, соответствующее максимальному КПД.

Примечание. Первичной обмоткой, присоединенной к питающей сети, считать обмотку высшего напряжения.

Рекомендации по выбору исходных данных:

1. Вариант задания на контрольную работу студент выбирает в соответствии с таблицей. Мощность трансформатора берётся по последней цифре шифра, а первичное напряжение – с учётом последней и предпоследней цифр шифра. Шифр студента определяется двумя последними цифрами номера зачётной книжки.

2. При вторичном напряжении  $U_2 = 0,525; 3,15; 6,3; 11$  кВ группа соединений  $Y/\Delta - 11$ ;

при  $U_2 = 0,4; 0,69$  кВ группа соединений  $Y/Y - 0$ .

3. Для нечётных предпоследних цифр шифра  $u_k = 5,5 \%$ ; для чётных, в том числе и для нуля, предпоследних цифр шифра  $u_k = 6,5 \%$ .

*Таблица – Исходные данные для контрольной работы по трансформаторам*

	Исходные данные						Напряжение $U_1/U_2$ , кВ				
	Мощность	Потери холостого хода	Потери короткого замыкания	Ток холостого хода	Сечение стержня	Предпоследняя цифра шифра					
	$S$ , кВ·А	$P_0$ , Вт	$P_k$ , Вт	$i_0$ , %	$I_c$ , см <sup>2</sup>	0,1	2,3	4,5	6,7	8,9	
Последняя цифра шифра	0.	25	105	600	3,2	70	10/0,4	3/0,525	6/0,525	10/0,525	6/0,4
	1.	40	150	880	3,0	88	10/0,525	3/0,69	6/0,4	10/0,69	3/0,525
	2.	63	220	1 280	2,8	112	3/0,69	10/0,4	6/0,525	35/0,69	20/0,4
	3.	100	310	1 970	2,6	140	20/0,69	3/0,525	10/0,4	6/0,4	35/0,69
	4.	160	460	2 650	2,4	178	20/0,4	10/0,525	6/0,69	35/0,4	3/0,69
	5.	400	920	5550	2,1	280	10/0,69	20/0,4	35/0,525	3/0,4	6/0,525
	6.	1000	2 100	12200	1,4	435	35/11	20/3,15	6/0,525	10/0,69	3/0,69
	7.	2500	3 900	25000	1,0	700	20/6,3	35/3,15	3/0,69	35/11	10/3,15
	8.	4000	5 450	33500	1,0	880	35/11	20/3,15	6/3,15	10/0,69	3/0,525
	9.	6300	7 650	46500	0,9	$\frac{1}{100}$	20/11	35/6,3	10/3,15	35/11	20/3,15

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип действия трансформатора. Части, из которых состоит главный магнитный поток трансформатора. Какие ЭДС наводятся в обмотках трансформатора главным магнитным потоком? Записать выражения для комплексов этих ЭДС через амплитуду магнитной индукции и амплитуду главного магнитного потока.
2. Причина набора сердечника из листовой стали. Из каких частей состоят магнитные потери трансформатора и от чего они зависят?
3. Коэффициент трансформации и его определение.
4. Влияние насыщения стали сердечника на форму кривой тока холостого хода. Гармонический состав тока.
5. Почему в трехфазном трансформаторе обычного стержневого типа токи холостого хода крайних фаз больше тока средней фазы?
6. Влияние увеличения зазора в стыке между стержнем и якорем на величину тока холостого хода при постоянном действующем значении напряжения и неизменной частоте?

7. Причина отличия формы кривой холостого хода от синусоидальной формы при подведении синусоидального напряжения к первичной обмотке трансформатора.
8. Влияние схем соединения фаз на величину высших гармоник в кривой тока при холостом ходе.
9. Потери трансформатора при холостом ходе и нагрузке.
10. Причина неизменности магнитного потока при переходе от холостого хода к основной нагрузке.
11. Отличие приведенного трансформатора от реального трансформатора. Преимущества при анализе электромагнитных процессов приведенного трансформатора.
12. Физический смысл всех параметров схемы замещения трансформатора при нагрузке. Методы их опытного определения.
13. Напряжение короткого замыкания.
14. Почему при чисто активной нагрузке, подключенной к трансформатору, коэффициент мощности в первичной цепи меньше единицы?
15. Нагрузка, при которой трансформатор имеет максимальный КПД.
16. Явления в трансформаторе, вызывающие токи внезапного короткого замыкания.
17. Группы соединения трансформатора.

Критерий оценки при проверке остаточных знаний.

Для подготовки ответа студенту отводится 120 мин. Каждый билет содержит два теоретических вопроса, сопровождаемых задачами, и один теоретический вопрос. Для получения студентом оценки «удовлетворительно» необходимо полностью решить две задачи без теоретических выкладок по вопросам билета и частично ответить на теоретический вопрос. Оценка «хорошо» выставляется студенту, правильно решившему две задачи. Оценка «отлично» выставляется студенту, выполнившему все задания билета. При невыполнении указанных выше требований студент получает оценку «неудовлетворительно».

Образец билета для проверки остаточных знаний

# АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
" " июня 200\_ г.  
Заведующий кафедрой  
Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра АППиЭ  
Энергетический фак-т  
Курс 3  
Дисциплина: **Электромеханика**

## Экзаменационный билет №

1. Электрические потери в обмотках однофазного трансформатора  $P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} = 200$  Вт, магнитные потери  $P_M = 45$  Вт. Известны реактивная мощность, необходимая для образования магнитного поля взаимной индукции  $Q_0 = 214$  вар, и реактивная мощность для образования магнитного поля рассеяния обмоток  $Q_{\sigma 1} + Q_{\sigma 2} = 310$  вар. Определить коэффициент мощности первичной сети, если при напряжении  $U_2 = 220$  В и токе  $I_2 = 30$  А коэффициент мощности вторичной сети  $\cos\phi_2 = 0,8$ .

2. Трехфазный двухполюсный АД с короткозамкнутым ротором, номинальная мощность которого  $P_H = 10$  кВт, включен в сеть на номинальное напряжение  $U_{1H} = 220$  В частотой  $f = 50$  Гц. Заданы номинальное скольжение в %, КПД и коэффициент мощности, кратность максимального момента. Определить номинальный ток  $I_H$ , номинальный  $M_H$  и максимальный (критический)  $M_{кр}$  моменты:

$$s_H = 4 \qquad \eta_H = 0,88 \qquad \cos\phi = 0,89 \qquad \lambda_{кр} = 2,2$$

Построить механические характеристики двигателя  $n = f_1(M)$  и  $M = f_2(s)$ .

3. Устройство и принцип действия двигателя постоянного тока. Системы возбуждения. Изменение направления вращения двигателя. Механические характеристики ДПТ параллельного и последовательного возбуждения.