

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения

**М. Д. Хованских**  
**Е. Б. Азаров**  
**А. В. Бондаренко**

# **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Екатеринбург  
2010

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения  
Кафедра «Электрические машины»

**М. Д. Хованских**  
**Е. Б. Азаров**  
**А. В. Бондаренко**

# ОСНОВЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Сборник контрольных заданий с методическими указаниями  
к их выполнению для студентов  
заочного отделения специальности  
190701 – «Организация перевозок и управление на транспорте»

Екатеринбург  
2010

УДК 621.3 (072)

X 68

**Хованских, М. Д.**

X 68 Основы электрооборудования : сб. контрольных заданий с метод. указаниями / М. Д. Хованских, Е. Б. Азаров, А. В. Бондаренко – Екатеринбург : УрГУПС, 2010. – 36 с.

Приведены задания для самостоятельного изучения теории, дана контрольная работа для студентов заочного отделения специальности «Организация перевозок и управление на транспорте» по дисциплине «Основы электрооборудования». Задание на контрольную работу состоит из двух задач. Каждая из задач имеет 100 вариантов, отличающихся друг от друга числовыми значениями заданных величин.

Сборник заданий может быть использован для изучения и закрепления в памяти студентов основных теоретических положений и соотношений по следующим разделам курса «Основы электрооборудования»: трансформаторы, электродвигатели переменного тока и электронные устройства.

Рекомендован к изданию на заседании кафедры «Электрические машины», протокол № 4 от 9 февраля 2009 года.

УДК 621.3 (072)

*Авторы:* М. Д. Хованских, доцент кафедры «Электрические машины»,  
канд. техн. наук, УрГУПС

Е. Б. Азаров, доцент кафедры «Электрические машины»,  
канд. техн. наук, УрГУПС

А. В. Бондаренко, ассистент кафедры «Электрические машины»,  
УрГУПС

*Рецензент:* А. П. Сухогузов, профессор кафедры «Теоретические основы  
электротехники», канд. техн. наук, УрГУПС

© Уральский государственный университет  
путей сообщения (УрГУПС), 2010

## Оглавление

Введение .....	4
Содержание курса .....	5
Вопросы к зачету .....	9
Понятийно-терминологический словарь курса .....	11
Библиографический список .....	12
Методические указания к решению задач и требования, предъявляемые к оформлению контрольной работы .....	13
Задание на контрольную работу .....	14

## Введение

В курсе дисциплины «Основы электрооборудования» изучаются электрические машины и электронные устройства, даются общие сведения, без которых невозможно изучить и понять действие разнообразных электротехнических и электронных устройств, приборов, агрегатов и машин различного назначения и в дальнейшем научиться применять их на практике. Изучение курса имеет большое значение для формирования естественнонаучного мировоззрения, развития интеллекта и эрудиции инженеров путей сообщения по специальности 190701 – «Организация перевозок и управление на транспорте» в современных условиях.

«Основы электрооборудования» опираются на сведения, физические законы и явления, изучаемые студентами в курсах физики, и являются продолжением дисциплины «Общая электротехника и электроника».

В основу курса положены современные теория и практика анализа и построения различных электрических машин и электронных устройств, являющихся фундаментом разнообразных агрегатов и машин электропривода, автоматизированных систем контроля и управления производственными процессами, передачи и переработки информации.

Цель преподавания дисциплины «Основы электрооборудования» – формирование у студентов фундаментальных знаний о физических явлениях и процессах, происходящих в электрических машинах переменного тока и электронных устройствах, а также развитие навыков их теоретического анализа.

В соответствии с поставленной целью выделяются следующие задачи:

1. Изучение общих вопросов теории электромеханического преобразования энергии, а также построения электрических машин переменного тока и электронных устройств.

2. Приобретение навыков лабораторных исследований электрических машин переменного тока и электронных устройств.

После изучения курса студент должен:

1. Иметь представление об областях применения и отличительных особенностях и конструкциях электрических машин переменного тока и различных электронных устройств.

2. Знать принципы построения и основные характеристики электрических машин переменного тока и электронных устройств, а также электротехническую терминологию и символику.

3. Уметь применять полученные знания при использовании машин, механизмов и приборов, построенных на основе электрических машин переменного тока и электронных устройств.

4. Иметь навыки экспериментальных исследований и анализа конструкций электрических машин переменного тока и электронных устройств.

# Содержание курса

## 1. Трансформаторы

### Тема 1.1. Однофазные трансформаторы

Назначение, устройство, принцип действия и конструкция однофазных трансформаторов. Области применения трансформаторов. Коэффициент трансформации. Внешняя характеристика, потери и КПД трансформаторов. Опыты холостого хода и короткого замыкания трансформаторов.

Основная литература:[1], с. 258–279, [2], с. 193–210.

Контрольные вопросы:

1. Назначение трансформаторов.
2. Основные элементы однофазных трансформаторов.
3. Назначение магнитопровода (сердечника) трансформатора.
4. Какие явления положены в основу принципа действия трансформатора?
5. Что такое коэффициент трансформации?
6. Области применения трансформаторов.
7. Потери мощности в однофазных трансформаторах.
8. Цель испытания однофазных трансформаторов.
9. Схемы лабораторных установок для проведения опытов холостого хода и короткого замыкания трансформаторов.
10. Зависимость КПД трансформаторов от коэффициента нагрузки.

### Тема 1.2. Трехфазные и измерительные трансформаторы. Автотрансформаторы

Устройство и конструкция трехфазных трансформаторов. Способы соединения обмоток высшего и низшего напряжений. Назначение и особенности построения трансформаторов напряжения и тока. Схемы включения трансформаторов напряжения и тока. Отличительная особенность автотрансформаторов. Повышающие и понижающие автотрансформаторы с нерегулируемым и регулируемым коэффициентом трансформации.

Основная литература: [1], с. 285–295, [2], с. 218–226.

Контрольные вопросы:

1. Способы трансформации трехфазного тока.
2. Основные элементы трехфазных трансформаторов.
3. Назначение измерительных трансформаторов.
4. Особенности устройства измерительного трансформатора тока.
5. Схема включения измерительных трансформаторов напряжения и тока в электрические цепи.

6. Отличительная особенность автотрансформаторов.
7. Повышающие автотрансформаторы с нерегулируемым коэффициентом трансформации.
8. Понижающие автотрансформаторы с нерегулируемым коэффициентом трансформации.
9. Автотрансформаторы с регулируемым коэффициентом трансформации.

## 2. Асинхронные машины

Тема 2.1. Устройство, принцип действия и режим работы трехфазных асинхронных машин

Определение асинхронных машин и их состав. Классификация асинхронных машин и явления, положенные в основу их принципа действия. Скольжение и режимы работы трехфазных асинхронных машин. Механические характеристики.

Основная литература: [1], с. 413–440, [2], с. 411–441.

Контрольные вопросы:

1. Определение асинхронных машин.
2. Состав (узлы и элементы) асинхронных машин.
3. Классификация асинхронных машин по типу их ротора.
4. Какие явления положены в основу принципа действия асинхронных машин?
5. Способы соединения обмотки статора трехфазных асинхронных машин.
6. Что такое скольжение трехфазных машин?
7. Механические характеристики трехфазных асинхронных машин.

Тема 2.2. Пуск и регулирование скорости трехфазного асинхронного двигателя

Способы пуска трехфазного асинхронного двигателя. Регулирование скорости трехфазного двигателя изменением скольжения и частоты вращения магнитного поля статора. Способы регулирования частоты вращения магнитного поля статора.

Основная литература: [1], с. 443–450, [2], с. 443–452.

Контрольные вопросы:

1. Способы пуска трехфазных асинхронных двигателей.
2. Дополнительный способ пуска трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.
3. Пути регулирования скорости трехфазных асинхронных двигателей.
4. Способы регулирования частоты вращения магнитного поля статора.

## Тема 2.3. Понятия о работе трехфазных асинхронных машин в режимах генератора и электромагнитного тормоза

Условия перевода трехфазных машин в режимы генератора и электромагнитного тормоза. Одно-, двухфазные и линейные асинхронные двигатели. Понятие о синхронных машинах.

Основная литература: [1], с. 451–458, [2], с. 452–457.

Контрольные вопросы:

1. Условие перевода трехфазных асинхронных машин в режим генератора.
2. Условие и способ перевода трехфазной асинхронной машины в режим электромагнитного тормоза.
3. Отличительные особенности устройства однофазных асинхронных двигателей.
4. Отличие одно- и двухфазных асинхронных двигателей.
5. Определение трехфазных синхронных машин.
6. Отличительные особенности устройства синхронных машин.
7. Режимы работы синхронных машин и их области применения.

## 3. Электронные устройства

### Тема 3.1. Компоненты электронных цепей

Классификация полупроводниковых приборов. Классификация, свойства и характеристики полупроводниковых резисторов, диодов, биполярных и полевых транзисторов, понятия о выпрямителях. Однофазные выпрямители.

Основная литература: [2], стр. 239–253.

Дополнительная литература: [1], с. 19–42, 178–183, [2], с. 46–123.

Контрольные вопросы:

1. Классификация полупроводниковых приборов:
  - а) резисторов;
  - б) диодов;
  - в) биполярных транзисторов;
  - г) полевых транзисторов;
  - д) тиристоров.
2. Графические обозначения полупроводниковых приборов.
3. Свойства и характеристики полупроводниковых приборов:
  - а) резисторов;
  - б) диодов;
  - в) биполярных транзисторов;
  - г) полевых транзисторов;
  - д) тиристоров.
4. Структура и схема однофазных выпрямителей.

### Тема 3.2. Усилители электрических сигналов

Определение усилителя и его структура. Усилители на биполярных транзисторах с общим эмиттером, базой и коллектором. Усилители на полевых транзисторах. Понятия о многокаскадных и операционных усилителях. Усилители в интегральном исполнении.

Основная литература: [2], с. 273–287.

Дополнительная литература: [1], с. 100–165, [2], с. 215–277, 333–353.

Контрольные вопросы:

1. Определение усилителя электрических сигналов.
2. Схемы усилителей на биполярных транзисторах:
  - а) с общим эмиттером;
  - б) с общей базой;
  - в) с общим коллектором.
3. Свойства усилителей на биполярных транзисторах.
4. Схемы и свойства усилителей на полевых транзисторах.
5. Понятие о многокаскадных усилителях.
6. Усилители постоянного тока и операционные усилители.
7. Усилители в интегральном исполнении.

### Тема 3.3. Логические элементы, триггеры и оптоэлектронные устройства

Назначения и обозначения логических элементов, триггеров и оптоэлектронных устройств. Состав логических элементов. Классификация триггеров. Понятие об оптоэлектронных устройствах и микропроцессах.

Основная литература: [2], с. 301–304, 310–313, 318–323.

Дополнительная литература: [1], с. 242–258, [2], с. 534–585.

Контрольные вопросы:

1. Назначения и обозначения:
  - а) логических элементов;
  - б) триггеров;
  - в) оптоэлектронных устройств.
2. Выполняемые функции логических элементов.
3. Типы триггеров.
4. Отличительная особенность и схемы оптоэлектронных устройств.
5. Обозначение и структура микропроцессов.

## Вопросы к зачету

1. Назначение и устройство однофазного трансформатора.
2. Принцип действия однофазного трансформатора.
3. Конструкция однофазного трансформатора. Способы охлаждения трансформаторов.
4. Цель, схема лабораторной установки и методика выполнения опыта холостого хода трансформатора.
5. Коэффициент трансформации и внешняя характеристика трансформатора.
6. Классификация потерь мощности в трансформаторе. Потери мощности в обмотках трансформатора.
7. Потери мощности в магнитопроводе трансформатора и их определение.
8. Цель, схема лабораторной установки и методика выполнения опыта короткого замыкания трансформатора.
9. Зависимость КПД трансформатора от коэффициента нагрузки. Влияние параметров трансформатора и характера нагрузки на указанную зависимость КПД.
10. Устройство трехфазных трансформаторов. Способы соединения обмоток указанных трансформаторов.
11. Назначение и классификация измерительных трансформаторов.
12. Назначение, отличительные особенности устройства и схема включения измерительного трансформатора тока в электрическую цепь.
13. Назначение, отличительные особенности устройства и схема включения измерительного трансформатора напряжения.
14. Отличительные особенности устройства автотрансформаторов. Устройство автотрансформаторов с нерегулируемым коэффициентом трансформации.
15. Устройство автотрансформаторов с регулируемым коэффициентом трансформации.
16. Определение, назначение и устройство трехфазных асинхронных машин.
17. Классификация трехфазных машин по конструкции роторов. Особенности построения различных типов трехфазных асинхронных машин.
18. Принципы построения трехфазных асинхронных машин. Способы соединения обмотки статора указанных машин.
19. Скольжение и механические характеристики трехфазных асинхронных машин.
20. Режимы работы трехфазных асинхронных машин.
21. Способы пуска трехфазных асинхронных двигателей.
22. Пути и способы регулирования скорости вращения трехфазных асинхронных двигателей.

23. Условия перевода трехфазной асинхронной машины в режим генератора.
24. Условие и способ перевода трехфазной асинхронной машины в режим электромагнитного тормоза.
25. Особенности устройства асинхронного однофазного двигателя.
26. Отличительные особенности двухфазного асинхронного двигателя.
27. Отличительные особенности трехфазного линейного асинхронного двигателя.
28. Назначение и классификация полупроводниковых приборов.
29. Назначение и классификация полупроводниковых резисторов. Условное обозначение и характеристики линейных резисторов.
30. Условные обозначения и области применения варисторов и тензорезисторов.
31. Условные обозначения и области применения термо- и фоторезисторов.
32. Классификация, условные обозначения и характеристики полупроводниковых диодов.
33. Вольтамперные характеристики выпрямительных диодов и стабилитронов.
34. Назначение и структура полупроводниковых однофазных выпрямителей.
35. Схема однофазного однополупериодного выпрямителя. Принцип работы этого выпрямителя.
36. Схема однофазного двухполупериодного выпрямителя со средней точкой трансформатора. Принцип работы этого выпрямителя.
37. Схема однофазного двухполупериодного выпрямителя мостового типа. Принцип работы этого выпрямителя.
38. Назначение биполярных транзисторов и их схемы включения в электрические цепи.
39. Назначение и отличительные особенности полевых транзисторов.
40. Определение, классификация и обозначения тиристоров.
41. Назначение и структура усилителей электрических сигналов.
42. Свойства усилителей электрических сигналов на биполярных транзисторах.
43. Отличительные особенности и свойства усилителей электрических сигналов на полевых транзисторах.
44. Понятие о многокаскадных усилителях.
45. Усилители постоянного тока и операционные усилители.
46. Понятие об усилителях в интегральном исполнении.
47. Состав и функции логических элементов.
48. Назначение и типы триггеров.
49. Оптоэлектронные устройства.
50. Назначение, обозначение и структура микропроцессоров.

## Понятийно-терминологический словарь курса

*Трансформатор* – статическое электромагнитное устройство, преобразующее электроэнергию переменного тока одного напряжения в электроэнергию переменного тока другого напряжения при сохранении частоты.

*Первичная обмотка трансформатора* – обмотка, подключаемая к источнику питания.

*Вторичная обмотка трансформатора* – обмотка, к которой подключается нагрузка.

*Коэффициент трансформации трансформатора* – отношение напряжения первичной обмотки к напряжению вторичной обмотки.

*Внешняя характеристика трансформатора* – зависимость напряжения на зажимах вторичной обмотки от тока (коэффициента) нагрузки.

*Электрическая машина* – электромеханическое устройство, осуществляющее взаимное преобразование механической и электрической энергии.

*Генератор* – электрическая машина, преобразующая механическую энергию в электрическую.

*Электродвигатель* – электрическая машина, преобразующая электрическую энергию в механическую.

*Обратимость электрических машин* – одна и та же электрическая машина может работать как в режиме двигателя, так и в режиме генератора.

*Электрическая машина переменного тока* – электромеханическое устройство, осуществляющее взаимное преобразование механической и электрической энергии переменного тока.

*Статор электрической машины* – неподвижная часть машины.

*Ротор электрической машины* – подвижная часть машины.

*Асинхронная машина* – электрическая машина переменного тока, в которой скорость перемещения ротора отличается от скорости перемещения магнитного поля статора.

*Синхронная машина* – электрическая машина переменного тока, в которой скорость вращения ротора равна скорости перемещения магнитного поля статора.

*Скольжение асинхронной машины* – коэффициент, показывающий, во сколько раз скорость перемещения магнитного поля статора отличается от скорости перемещения ротора.

*Полупроводниковый диод* – прибор с одним *p-n* переходом.

*Биполярный транзистор* – полупроводниковый прибор с двумя *p-n* переходами.

*Полевой транзистор* – полупроводниковый прибор, в котором ток через канал управляется электрическим полем, возникающим с приложением напряжения между затвором и истоком.

*Тиристор* – полупроводниковый прибор с тремя и более *p-n* переходами.

*Выпрямители* – устройства, осуществляющие преобразование электро-

энергии переменного тока в электроэнергию постоянного тока.

*Усилители электрических сигналов* – устройства для увеличения значе- ний параметров электрических сигналов за счет энергии источника питания.

*Логические элементы* – устройства, реализующие логические функции.

*Триггер* – импульсное устройство с двумя или тремя устойчивыми со- стояниями.

*Оптоэлектронное устройство* – полупроводниковый прибор, в котором конструктивно объединены источник и приемник оптического излучения.

*Микропроцессор* – устройство, обрабатывающее информацию по про- грамме, задаваемой управляющими сигналами.

## Библиографический список

### Основной:

1. *Электротехника.* / Под ред. В. С. Пантюшина. – М.: Высш. шк., 1976.
2. *Касаткин А.С., Немцов М.В.* Электротехника. – М.: Академия, 2003.

### Дополнительный:

1. *Основы* промышленной электроники. /Под ред. В.Г. Герасимова – М.: Высш. шк., 1978.
2. *Гусев В.Г., Гусев Ю.М.* Электроника. – М.: Высш. шк., 1991.

## Методические указания к решению задач и требования, предъявляемые к оформлению контрольной работы

Учебным планом по дисциплине «Основы электрооборудования» предусмотрена одна контрольная работа.

Задачи контрольной работы имеют 100 вариантов, отличающихся друг от друга числовыми значениями заданных величин.

Вариант, подлежащий решению, определяется по двум последним цифрам шифра студента: по предпоследней цифре выбирается номер условия (таблицы), а по последней – номер варианта числовых значений величин. Например, шифру 83-Д-137 соответствует 3-я таблица и 7-й вариант числовых значений.

1. Работа должна выполняться в отдельной тетради, на обложке которой указываются фамилия, имя и отчество студента, его шифр и домашний адрес.

2. Писать следует на одной стороне листа или оставлять широкие поля. Листы тетради должны быть пронумерованы.

3. Условие задачи должно быть сформулировано полно и четко.

4. Основные положения решения должны иметь объяснения.

5. Графическая часть работы должна быть выполнена аккуратно с помощью чертежного инструмента, условные графические обозначения применены согласно ГОСТам. Графики и диаграммы должны выполняться с обязательным соблюдением масштаба на миллиметровой бумаге. Масштаб следует выбирать так, чтобы на 1 см приходилось  $1 \times 10^n$ ,  $2 \times 10^n$  или  $5 \times 10^n$  единиц измерения физической величины, где  $n$  – целое число. Градуировка осей выполняется, начиная с нуля, равномерно. Числовые значения координат точек, по которым строятся кривые, приводить не следует.

6. Должен выдерживаться следующий порядок записей при вычислениях: сначала формула, затем подстановка числовых значений величин, входящих в формулу, без каких-либо преобразований, затем результат с указанием единиц измерения.

7. В ходе решения задачи не следует изменять однажды принятые положительные направления токов и наименования узлов.

8. Контрольная работа должна содержать перечень литературы, использованной при работе над заданием, дату и подпись студента.

9. Незачтенная контрольная работа должна быть исправлена в соответствии с замечаниями и представлена на повторную рецензию. Все исправления должны быть выполнены в той же тетради после рецензии. Вносить исправления в рецензированный преподавателем текст не разрешается.

10. Контрольные работы, выполненные не по варианту, а также неаккуратно оформленные и неразборчиво написанные, не рецензируются.

## Задание на контрольную работу

### Задача 1

Трехфазный двухобмоточный трансформатор характеризуется следующими величинами: мощность  $S_{\text{H}}$ ; высшее линейное  $U_{\text{ВН}}$ ; низшее линейное напряжение  $U_{\text{НН}}$ ; мощность потерь холостого хода  $P_0$ ; мощность потерь короткого замыкания  $P_{\text{К}}$ ; напряжение короткого замыкания  $U_{\text{К}}$ ; ток холостого хода  $i_0$ ; коэффициент полезного действия  $\eta$ , определенный при коэффициенте нагрузки  $\beta = 1$  и  $\cos \varphi_2 = 0,8$ ; параметры упрощенной схемы замещения  $r_{\text{К}}$  и  $x_{\text{К}}$ ; параметры намагничивающей ветви  $r_{\text{М}}$  и  $x_{\text{М}}$ .

Числовые значения заданных величин, схема соединения обмоток и номера пунктов задания, подлежащих выполнению, указаны в табл. 1.1 – 1.10.

**Задание:** сформулировать условие задачи для своего варианта и выполнить следующее:

1. Начертить схему трансформатора.
2. Определить номинальные токи в обмотках трансформатора.
3. Определить коэффициенты трансформации фазных и линейных напряжений.
4. Определить мощность потерь холостого хода  $P_0$ .
5. Определить мощность потерь короткого замыкания  $P_{\text{К}}$ .
6. Определить параметры упрощенной схемы замещения трансформатора, активное и реактивное сопротивления фазы первичной и вторичной обмоток, полагая, что  $r_1 = r'_2 = \frac{r_{\text{К}}}{2}$  и  $x_1 = x'_2 = \frac{x_{\text{К}}}{2}$ .
7. Начертить упрощенную схему замещения трансформатора.
8. Начертить Т-образную схему замещения трансформатора и определить ее параметры.
9. Определить значения процентного изменения вторичного напряжения  $\Delta U_2$  при коэффициенте нагрузки  $\beta = 1$  и значениях  $\varphi_2 = -90^\circ; -60^\circ; -30^\circ; 0^\circ; 30^\circ; 60^\circ; 90^\circ$ . Построить график зависимости  $\Delta U_2(\varphi_2)$ .
10. Определить процентное изменение вторичного напряжения  $\Delta U_2$  и напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки при значениях коэффициента нагрузки  $\beta = 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0$  при значении  $\varphi_2$ , указанном в таблице. Построить график внешней характеристики трансформатора.
11. Определить процентное изменение вторичного напряжения  $\Delta U_2$  при значениях коэффициента нагрузки  $\beta = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$  при  $\cos \varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 > 0$  и  $\varphi_2 < 0$ ).
12. Определить максимальное значение КПД трансформатора.
13. Построить в общей системе координатных осей графики зависимостей напряжения  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки и коэффициента полезного дей-

ствия  $\eta$  от коэффициента нагрузки  $\beta$ . Вычисления произвести для  $\beta = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$  при  $\cos \varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 > 0$  и  $\varphi_2 < 0$ ).

14. Определить напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки и КПД  $\eta$  трансформатора при значениях коэффициента нагрузки  $\beta = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$  при  $\cos \varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 > 0$ ). Построить графики зависимостей  $U_2(\beta)$  и  $\eta(\beta)$ .

15. Определить характер нагрузки ( $\varphi_2 = ?$ ), при котором напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки не зависит от коэффициента нагрузки  $\beta$ , и для этого случая построить график зависимости  $\eta(\beta)$  при изменении  $\beta$  от 0 до 1,0 через 0,25.

16. Определить значения коэффициента полезного действия трансформатора  $\eta$  при значениях коэффициента нагрузки  $\beta = 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0$ ; и  $\cos \varphi_2 = 0,8$  и построить график зависимости  $\eta(\beta)$ .

17. Определить характер нагрузки ( $\varphi_2 = ?$ ), при котором напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки не зависит от коэффициента нагрузки  $\beta$ .

18. Определить напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки и КПД  $\eta$  трансформатора при значениях коэффициента нагрузки  $\beta = 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0$  и  $\cos \varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 < 0$ ). Построить в общей системе координатных осей графики зависимостей  $U_2(\beta)$  и  $\eta(\beta)$ .

19. Построить графики семейства внешних характеристик  $U_2(\beta)$  трансформатора при значениях коэффициента мощности нагрузки  $\cos \varphi_2: 0,5; 0,8$  (при  $\varphi_2 > 0$  и  $\varphi_2 < 0$ ). При каждом значении  $\varphi_2$  напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки определять для значений  $\beta = 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0$ .

## Методические указания к задаче 1

Рассматривая физические процессы, возникающие в трансформаторе, необходимо обратить внимание на то положение, что при изменении нагрузки в широком диапазоне (от холостого хода до номинального режима) магнитный поток в его магнитопроводе можно считать практически постоянным и равным магнитному потоку в режиме холостого хода. Это определяет постоянство потерь мощности в стали магнитопровода, которые легко определяются из режима холостого хода.

При рассмотрении режима «нормального» короткого замыкания получается, что магнитный поток в магнитопроводе трансформатора мал, и им можно пренебречь. В этом режиме потери мощности в стали трансформатора практически равны нулю, а потери мощности в меди (в обмотках трансформатора) равны потерям при номинальной нагрузке трансформатора.

В паспорте трехфазных трансформаторов дается номинальная мощность и мощность всех трех фаз; под номинальными напряжениями понимают линейные напряжения на зажимах трансформатора в режиме холостого хода, а под номинальными токами – линейные токи независимо от схемы соединения обмоток.

*Пример 1.* Трехфазный двухобмоточный трансформатор характеризуется следующими номинальными величинами:  $S_H = 100$  кВА;  $U_{BH} = 6$  кВ;  $U_{HH} = 0,4$  кВ;  $P_0 = 0,6$  кВт;  $P_K = 2,4$  кВт;  $U_K = 5,5\%$ ;  $i_0 = 7\%$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,75$ ; обмотки соединены по схеме Y/Y.

Начертить схему трансформатора, T-образную схему замещения и определить ее параметры; определить номинальные токи в обмотках трансформатора, коэффициенты трансформации фазных и линейных напряжений, напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки и КПД  $\eta$  трансформатора при значениях коэффициента нагрузки  $\beta = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$  и  $\cos \varphi_2 = 0,75$ ; построить графики зависимостей  $U_2(\beta)$  и  $\eta(\beta)$ .

*Решение:*

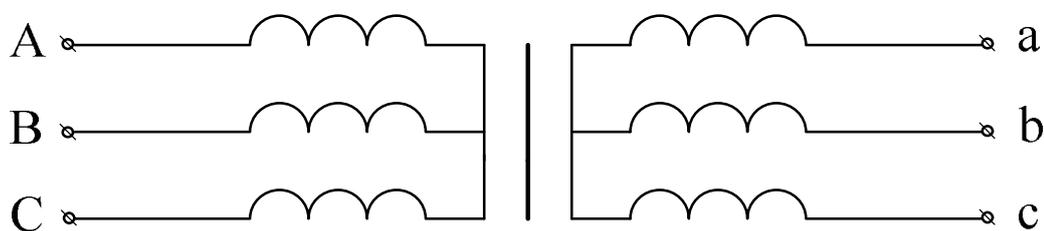


Рис. 1.1. Схема трансформатора

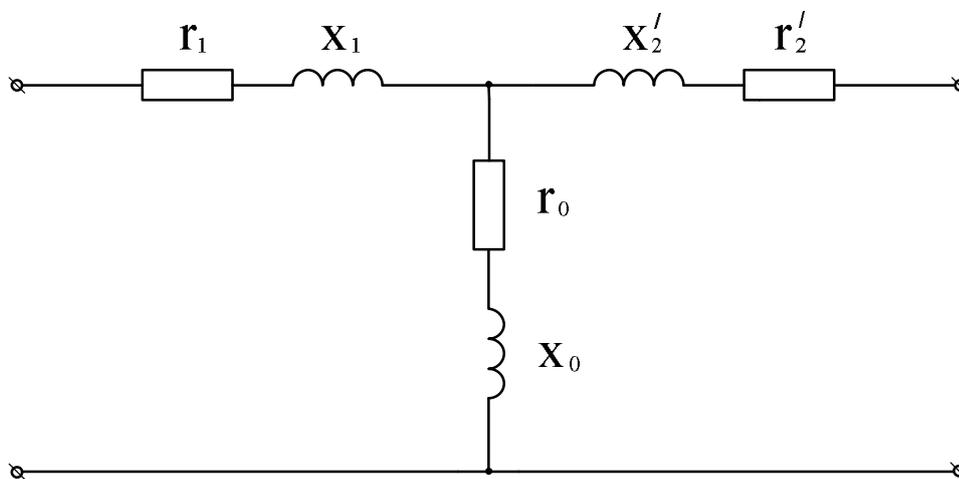


Рис. 1.2. T-образная схема замещения одной фазы трансформатора

Номинальные токи первичной и вторичной обмоток:

$$I_{1H} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6} = 9,6 \text{ А};$$

$$I_{2H} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,3 \text{ А.}$$

Первичная и вторичная обмотки трансформатора соединены в звезду, поэтому фазные напряжения и токи:

$$U_{1\phi} = \frac{U_{BH}}{\sqrt{3}} = \frac{6}{\sqrt{3}} = 3,464 \text{ кВ};$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{2H}}{\sqrt{3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,231 \text{ кВ};$$

$$I_{1\phi} = I_{1H} = 9,6 \text{ А}; \quad I_{2\phi} = I_{2H} = 144,3 \text{ А.}$$

Коэффициенты трансформации фазных и линейных напряжений

$$K_{\phi} = K_{л} = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{6}{0,4} = 15.$$

Определяем сопротивления обмоток:

а) сопротивление короткого замыкания

$$Z_K = \frac{U_{к\phi}}{I_{к\phi}} = \frac{U_K \cdot U_{1\phi}}{I_{1\phi}} = \frac{0,055 \cdot 3,464 \cdot 10^3}{9,6} = 19,9 \text{ Ом};$$

$$r_K = \frac{P_K}{3I_{к\phi}^2} = \frac{P_K}{3I_{1\phi}^2} = \frac{2,4 \cdot 10^3}{3 \cdot 9,6^2} = 8,7 \text{ Ом};$$

$$x_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2} = \sqrt{19,9^2 - 8,7^2} = 17,9 \text{ Ом.}$$

б) сопротивления первичной обмотки

$$r_1 = r'_2 = \frac{r_K}{2} = \frac{8,7}{2} = 4,35 \text{ Ом};$$

$$x_1 = x'_2 = \frac{x_K}{2} = \frac{17,9}{2} = 8,95 \text{ Ом.}$$

в) сопротивления вторичной обмотки

$$r_2 = \frac{r'_2}{K^2_{\phi}} = \frac{4,35}{15^2} = 0,0193 \text{ Ом};$$

$$x_2 = \frac{x'_2}{K^2_{\phi}} = \frac{8,95}{15^2} = 0,0398 \text{ Ом}.$$

Определяем сопротивления намагничивающей цепи:

$$Z_0 = \frac{U_{1\phi}}{I_{0\phi}} = \frac{U_{1\phi}}{i_0 I_{1\phi}} = \frac{3464}{0,07 \cdot 9,6} = 5180 \text{ Ом};$$

$$r_0 = \frac{P_0}{3I_{0\phi}^2} = \frac{P_0}{3(i_0 I_{1\phi})^2} = \frac{0,6 \cdot 10^3}{3 \cdot (0,07 \cdot 9,6)^2} = 447 \text{ Ом};$$

$$x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{5180^2 - 447^2} = 5160 \text{ Ом}.$$

Для построения внешней характеристики  $U_2(\beta)$  определяем потерю напряжения во вторичной обмотке трансформатора:

$$\Delta U_2 = \beta(U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2),$$

где  $U_a$  и  $U_p$  – соответственно активное и реактивное падение напряжений;

$$U_a = U_k \cdot \cos \varphi_k ; \quad \cos \varphi_k = \frac{r}{Z_k};$$

$$U_a = 5,5 \cdot \frac{8,7}{19,9} = 2,4 \text{ \%};$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 2,4^2} = 4,95 \text{ \%}.$$

Для построения внешней характеристики трансформатора и КПД  $\eta(\beta)$  воспользуемся следующими формулами:

$$U_2 = \frac{U_{\text{нн}}}{100} \cdot (100 - \Delta U_2 \text{ \%});$$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 \cdot P_k}$$

Задаваясь различными значениями  $\beta$ , находим соответствующие значения напряжения  $U_2$  и КПД  $\eta$ . Результаты расчетов заносим в таблицу. По результатам расчетов строим зависимости  $U_2(\beta)$  и  $\eta(\beta)$ .

Определяем, при какой нагрузке трансформатор имеет максимальный КПД:

$$\beta_m = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{0,6}{2,4}} = 0,5;$$

$$\eta = 0,969.$$

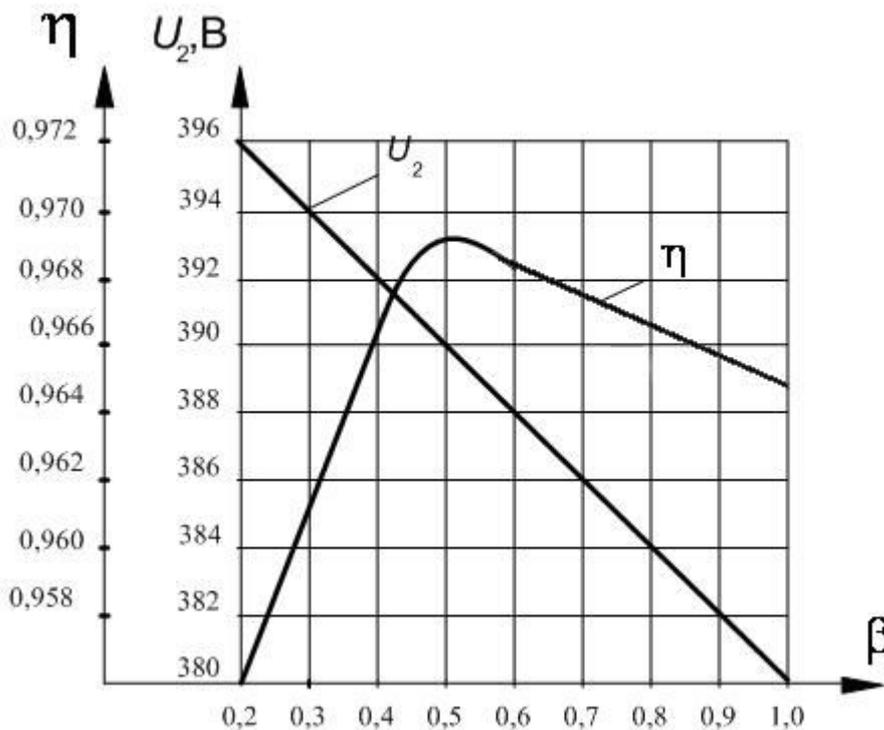


Рис. 1.3. Внешняя характеристика и зависимость  $\eta(\beta)$  трансформатора

# Исходные данные для решения задачи 1

Таблица 1.1

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 8, 15							
Схема соединения обмоток – $Y/\Delta$							
Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$P_k$ , кВт	$U_k$ , %	$i_0$ , %
		ВН	НН				
1	160	35	0,4	0,610	2,800	6,6	2,4
2	100	6,3	0,4	0,330	2,100	4,6	2,6
3	63	6,3	0,4	0,360	1,350	4,7	4,5
4	10	6	0,4	0,105	0,335	5,5	10,0
5	20	10	0,4	0,220	0,600	5,5	10,0
6	30	6,3	0,4	0,250	0,850	5,5	8,0
7	50	6,3	0,525	0,350	1,325	5,5	7,0
8	180	35	10,5	1,50	4,100	6,5	8,0
9	100	10	0,525	0,730	2,400	5,5	7,5
0	180	6,3	0,525	1,00	4,000	5,5	6,0

Таблица 1.2

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 11							
Схема соединения обмоток – $Y/\Delta$							
Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$P_k$ , кВт	$U_k$ , %	$i_0$ , %
		ВН	НН				
1	25	6,3	0,4	0,105	0,600	4,5	3,2
2	40	6,3	0,23	0,240	0,880	4,5	4,5
3	40	10	0,4	0,160	0,940	4,6	3,0
4	63	6,3	0,4	0,360	1,350	4,7	4,5
5	100	6,3	0,4	0,330	2,100	4,6	2,6
6	100	35	0,4	0,430	2,100	6,6	4,16
7	160	35	0,4	0,610	2,800	6,6	2,4
8	250	10	0,4	1,050	3,900	4,6	3,0
9	250	35	0,4	0,960	3,900	6,6	2,3
0	320	10	0,525	1,350	4,650	4,5	5,5

Таблица 1.3

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 6, 9							
Схема соединения обмоток – $Y/\Delta$							
Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$P_k$ , кВт	$U_k$ , %	$i_0$ , %
		ВН	НН				
1	1000	10	0,4	2,45	12,2	5,5	1,4
2	1600	10	0,4	3,30	18,0	5,5	1,3
3	1000	35	0,4	2,75	12,2	6,5	1,5
4	1600	35	0,4	3,65	18,0	6,5	1,4
5	2500	10	0,4	4,60	25,0	5,5	1,0
6	2500	35	0,4	5,10	25,0	6,5	1,1
7	1000	10	0,23	2,45	12,8	5,5	1,4
8	1600	10	0,23	3,30	18,9	5,5	1,3
9	1000	35	0,23	2,75	12,8	6,5	1,5
0	1600	35	0,23	3,65	18,9	6,5	1,4

Таблица 1.4

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 5, 10, 12								
Схема соединения обмоток – $Y/\Delta$								
Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$U_k$ , %	$i_0$ , %	$\eta$ , %	$\varphi_2$
		ВН	НН					
1	25	6,3	0,4	0,105	4,5	3,2	96,6	$0^0$
2	25	6,3	0,23	0,105	4,5	3,2	96,5	$-90^0$
3	40	6,6	0,23	0,240	4,5	4,5	96,6	$-60^0$
4	40	10	0,4	0,160	4,6	3,0	96,7	$-30^0$
5	25	10	0,4	0,135	4,5	3,2	96,5	$+30^0$
6	100	35	0,4	0,465	6,5	2,6	97,0	$+60^0$
7	100	35	0,23	0,465	6,5	2,6	96,9	$+90^0$
8	160	10	0,23	0,565	4,5	2,4	97,5	$-45^0$
9	250	10	0,23	0,820	4,5	2,3	97,7	$+45^0$
0	250	35	0,23	1,000	6,5	2,3	97,6	$-15^0$

Таблица 1.5

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 3, 7, 14							
Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$r_k$ , Ом	$x_k$ , Ом	Схема соединения обмоток
		ВН	НН				
1	25	6,3	0,4	0,105	38,14	60,41	Y/Δ
2	40	10	0,4	0,160	59,23	98,57	Y/Y
3	100	35	0,23	0,465	253,4	755,6	Y/Δ
4	160	10	0,23	0,565	10,84	25,92	Y/Δ
5	250	10	0,23	0,820	6,20	16,90	Y/Δ
6	250	35	0,23	1,000	75,9	301,2	Y/Δ
7	25	10	0,4	0,135	95,12	152,8	Y/Y
8	160	35	0,4	0,610	133,9	487,7	Y/Y
9	100	6,3	0,4	0,330	8,30	16,25	Y/Y
0	63	6,3	0,4	0,360	13,47	26,63	Y/Y

Таблица 1.6

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 3, 4, 6, 7							
Схема соединения обмоток – Y/Δ							
Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$U_k$ , %	$i_0$ , %	$\eta^*$ , %
		ВН	НН				
1	250	35	0,23	3,885	6,5	2,3	98,1
2	250	10	0,23	3,885	4,5	2,3	98,2
3	160	10	0,23	2,783	4,5	2,4	98,1
4	1600	10	0,23	18,9	5,5	1,3	98,8
5	100	35	0,4	1,970	6,5	2,6	97,7
6	63	6,3	0,4	1,350	4,7	4,5	97,3
7	160	35	0,4	2,800	6,6	2,4	98,0
8	1000	35	0,23	12,8	6,5	1,5	98,5
9	40	6,3	0,23	0,880	4,5	4,5	97,2
0	25	6,3	0,4	0,600	4,5	3,2	97,5

\* КПД определен при коэффициенте нагрузки  $\beta = 0,5$  и  $\cos \varphi = 0,8$

Таблица 1.7

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 3, 16, 17								
Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$U_k$ , %	$x_k$ , Ом	$i_0$ , %	Схема соединения обмоток
		ВН	НН					
1	25	6,3	0,23	0,105	4,5	59,16	3,2	Y/Δ
2	40	10	0,4	0,160	4,6	98,57	3,0	Y/Y
3	100	35	0,4	0,465	6,5	759,0	2,6	Y/Δ
4	160	10	0,23	0,565	4,5	25,92	2,4	Y/Δ
5	250	35	0,23	1,000	6,5	309,0	2,3	Y/Δ
6	1600	10	0,4	3,300	5,5	3,37	1,3	Y/Y
7	2500	10	0,4	4,600	5,5	2,16	1,0	Y/Y
8	1000	10	0,23	2,450	5,5	5,35	1,4	Y/Δ
9	160	35	0,4	0,610	6,6	488,0	2,4	Y/Δ
0	63	6,3	0,4	0,360	4,7	26,36	4,5	Y/Y

Таблица 1.8

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 4, 5, 19								
Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$U_k$ , %	$\eta$ , %	$r_k$ , Ом	$i_0$ , %	Схема соединения обмоток
		ВН	НН					
1	1600	35	0,23	6,5	98,2	9,03	1,4	Y/Δ
2	1000	10	0,23	5,5	98,1	1,28	1,4	Y/Δ
3	2500	35	0,4	6,5	98,5	4,89	1,1	Y/Δ
4	1600	10	0,4	5,5	98,3	0,70	1,3	Y/Y
5	250	10	0,23	4,5	97,7	6,20	2,3	Y/Δ
6	25	6,3	0,4	4,5	96,5	38,14	3,2	Y/Y
7	40	6,3	0,23	4,5	96,6	21,78	4,5	Y/Δ
8	25	10	0,4	4,5	96,4	95,12	3,2	Y/Y
9	100	35	0,23	6,5	96,9	253,44	2,6	Y/Y
0	165	35	0,4	6,6	97,4	133,9	2,4	Y/Y

Таблица 1.9

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 4, 18								
Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$U_k$ , %	$\eta$ , %	$x_k$ , Ом	$i_0$ , %	Схема соединения обмоток
		ВН	НН					
1	180	35	10,5	2,3	96,3	414,4	8	Y/Y
2	100	35	0,525	2,4	96,0	740,1	8	Y/ $\Delta$
3	50	10	0,4	2,6	95,8	96,46	8	Y/Y
4	30	6,3	0,4	2,8	95,6	62,41	8	Y/Y
5	20	10	0,4	3,0	95,1	230,7	10	Y/Y
6	10	6	0,4	3,3	94,8	157,3	10	Y/Y
7	180	6,3	0,525	2,2	96,6	11,1	6	Y/ $\Delta$
8	100	10	0,525	2,4	96,2	49,51	7,5	Y/ $\Delta$
9	50	6,3	0,525	2,6	96,0	38,28	7	Y/ $\Delta$
0	30	10	0,4	2,8	95,4	157,5	9	Y/ $\Delta$

Таблица 1.10

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 8, 13								
Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$r_k$ , Ом	$x_k$ , Ом	$r_m$ , Ом	$x_m$ , Ом	Схема соединения обмоток
		ВН	НН					
1	180	10	0,525	12,64	27,84	755	7904	Y/Y
2	100	10	0,525	23,95	49,51	1295	13271	Y/ $\Delta$
3	100	6,3	0,525	9,5	19,65	562	5918	Y/Y
4	20	6,3	0,4	59,4	91,57	2200	21940	Y/ $\Delta$
5	10	10	0,4	334,2	436,78	13969	99026	Y/ $\Delta$
6	63	6,3	0,4	13,47	26,36	1775	13893	Y/Y
7	100	6,3	0,4	8,3	16,25	1931	15134	Y/Y
8	160	35	0,4	133,9	487,7	50650	315263	Y/ $\Delta$
9	50	6,3	0,525	20,98	38,28	1131	11282	Y/Y
0	30	6,3	0,4	37,38	62,41	1778	16446	Y/ $\Delta$

## Задача 2

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором характеризуется следующими величинами: номинальная мощность  $P_H$ ; ток  $I_H$ ; частота вращения  $n_H$ ; скольжение  $s_H$ ; коэффициент полезного действия  $\eta_H$ ; мощность, потребляемая из сети  $P_{1H}$ ; коэффициент мощности  $\cos \varphi_{1H}$  при номинальной нагрузке; номинальный момент  $M_H$ ; кратность максимального момента относительно номинального  $M_{\max} / M_H$ ; кратность пускового момента относительно номинального  $M_{\Pi} / M_H$ ; кратность пускового тока относительно номинального  $I_{\Pi} / I_H$ ; критическое скольжение  $s_{\text{кр}}$ ; число пар полюсов обмотки статора  $p$ ; синхронная частота вращения  $n_0$ .

Двигатель питается от сети с линейным напряжением  $U_H$ .

Номинальное фазное напряжение обмотки статора  $U_{1\phi}=220$  В.

Числовые значения заданных величин и номера пунктов задания, подлежащих выполнению, указаны в табл. 2.1. – 2.10.

Задание: сформулировать условие задачи для своего варианта и выполнить следующее:

1. Определить способ соединения обмотки статора.
2. Начертить схему.
3. Определить число пар полюсов обмотки статора.
4. Определить значение пускового тока.
5. Определить частоту вращения двигателя при  $M = 0,9 M_{\max}$ .
6. Определить частоту вращения двигателя при  $M = 1,4 M_H$ .
7. Определить значение максимального момента.
8. Определить значение максимального момента, развиваемого двигателем при скольжениях:  $s_H$ ;  $s_{\text{кр}}$ ; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 0 и построить график механической характеристики  $n(M)$  двигателя.
9. Определить максимальный момент и соответствующее ему критическое скольжение.
10. Определить значение пускового момента при снижении напряжения на 15 % относительно номинального.
11. Определить значение максимального момента при снижении напряжения на 10 % относительно номинального.
12. Определить установившуюся частоту вращения при моменте нагрузки  $M = 1,5 M_H$ .
13. Определить коэффициент мощности при номинальной нагрузке.
14. Определить коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке.
15. Определить мощность на валу и коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке.

16. Определить мощность, потребляемую двигателем из сети при номинальной нагрузке.

17. Определить, можно ли запустить двигатель под нагрузкой при напряжении сети, пониженном на 15 % относительно номинального, если статический момент сопротивления нагрузки  $M_c = M_n$ .

## Методические указания к задаче 2

Изучение асинхронного двигателя необходимо начинать с его устройства и принципа действия. Необходимо обратить внимание на электромагнитные процессы, возникающие в двигателе при пуске и в процессе работы. Эксплуатационные параметры асинхронного двигателя наглядно демонстрируются при помощи механических и рабочих характеристик.

Механические характеристики могут быть построены по данным каталога. Известно, что вращающий момент двигателя

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s_{\text{кр}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{кр}}}},$$

где  $M_{\text{кр}}$  – критический (максимальный) вращающий момент двигателя;

$s$  – скольжение ротора;

$s_{\text{кр}}$  – скольжение, при котором двигатель развивает критический момент.

Зная отношение критического момента к номинальному  $M_{\max}/M_n = \lambda$

и определив номинальный момент

$$M_n = 9550 \cdot \frac{P_n}{n_n},$$

где  $P_n$  – номинальная мощность двигателя в кВт;

$n_n$  – номинальная скорость вращения ротора в об/мин, можно получить выражение для  $s_{\text{кр}}$ :

$$s_{\text{кр}} = s_n \left( \lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right).$$

Задаваясь значениями от 0 до 1, строят механическую характеристику  $M(s)$ . Характеристики  $n(M)$  получается из характеристики  $M(s)$ , учитывая, что скорость вращения вала двигателя

$$n = n_0(1 - s),$$

где  $n_0$  – частота вращения магнитного поля статора (синхронная частота вращения).

Вращающий момент асинхронного двигателя при заданном скольжении прямо пропорционален квадрату напряжения питания двигателя, поэтому понижение напряжения в электрической сети, питающей двигатель, отрицательно сказывается на его работе. Резкое снижение пускового и максимального моментов затрудняет, а иногда делает невозможным пуск производственных машин и снижает допустимые кратковременные перегрузки двигателя.

*Пример 2.* Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором питается от сети с линейным номинальным напряжением  $U_H = 380$  В. Задано: номинальная мощность двигателя; номинальное фазное напряжение обмотки статора  $P_H = 10$  кВт; номинальная частота вращения ротора; номинальный КПД  $\eta_H = 0,84$ ; номинальный коэффициент мощности  $\cos\varphi_H = 0,85$ ; крайность пускового тока  $I_n/I_H = 6,5$ ; перегрузочная способность двигателя  $\lambda = M_{\max}/M_i$ .

Определить: способ соединения и число пар полюсов обмотки статора, потребляемую мощность, номинальный и критический (максимальный) вращающие моменты, пусковой ток, номинальное и критическое скольжение. Начертить схему включения двигателя в сеть и построить механическую характеристику  $n(M)$ .

*Решение:*

Решение задачи начинается с изображения схемы включения трехфазного асинхронного двигателя в сеть с номинальным напряжением  $U_H = 380$  В. Так как к фазе обмотки статора необходимо подвести напряжение  $U_{1\phi} = 220$  В, то статорную обмотку следует включить по схеме «звезда» ( $U_H = \sqrt{3} \cdot U_{1\phi}$ ).

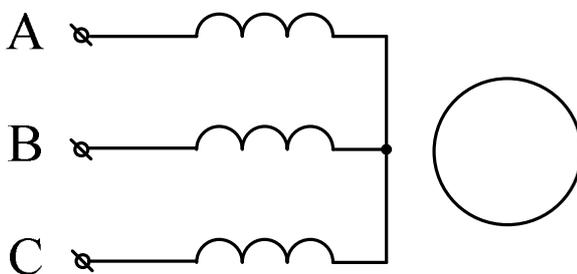


Рис. 2.1. Схема асинхронного двигателя

Частота вращения магнитного поля статора

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_1}{p},$$

где  $p$  – число пар полюсов;  $f_1$  – частота питающей сети.

При  $f_1 = 50$  Гц величины  $n_0$  имеют значения, представленные в табл.

$p$	1	2	3	4	5
$n_0$ , об/мин	3000	1500	1000	750	600

Зная, что ротор двигателя при номинальной нагрузке вращается с частотой  $n_H$ , близкой к  $n_0$ , находим в ряду частот  $n_0$  ближайшее большее значение к заданному значению  $n_H$ :  $n_0 = 1500$  об/мин. При этом число пар полюсов  $p = 2$ .

Потребляемая мощность

$$P_{\text{ин}} = \frac{P_H}{\eta_H} = \frac{10}{0,84} = 11,9 \text{ кВт.}$$

Номинальный и максимальный моменты

$$M_H = 9550 \frac{P_H}{n_H} = 9550 \frac{10}{1420} = 67,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_K = \lambda \cdot M_H = 1,8 \cdot 67,3 = 121 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальный и пусковой токи

$$I_H = \frac{P_{\text{ин}}}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi_H} = \frac{11,9 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 21,3 \text{ А};$$

$$I_{\text{п}} = \left( \frac{I_{\text{п}}}{I_H} \right) \cdot I_H = 6,5 \cdot 21,3 = 138 \text{ А}.$$

Номинальное и критическое скольжение

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 0,053;$$

$$s_{\text{кр}} = s_H \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,053 \cdot (1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1}) = 0,175.$$

Для построения механической характеристики  $n(M)$  воспользуемся следующими формулами:

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s_{\text{кр}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{кр}}}};$$

$$n = n_0 (1-s).$$

Задаваясь различными значениями  $s$  в интервале от 0 до 1, находим соответствующие значения момента и частоты вращения. Результаты расчетов заносим в таблицу. По результатам расчетов строим механическую характеристику  $n(M)$ .

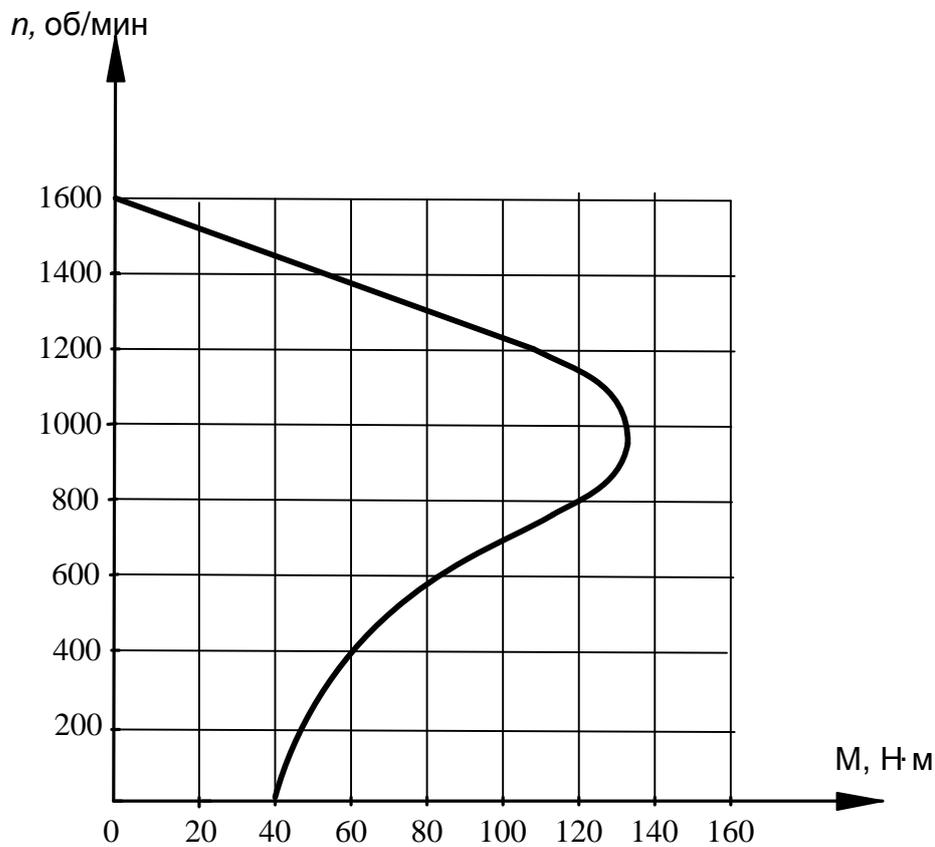


Рис. 2.2. Механическая характеристика асинхронного двигателя

## Исходные данные для решения задачи 2

Таблица 2.1

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 3, 4, 8							
Вариант	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/мин	$\eta_n$ , %	$\cos \varphi_{1n}$	$\frac{M_{\max}}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_n}$	$U_n$ , В
1	5,5	2880	87,5	0,91	2,5	7,5	380
2	7,5	1455	87,5	0,86	3,0	7,5	220
3	11,0	975	86,0	0,86	2,0	6,0	380
4	15,0	730	87,0	0,82	2,0	6,0	220
5	18,5	975	88,0	0,87	2,0	5,0	380
6	22,0	1470	90,0	0,90	2,3	6,5	220
7	30,0	590	88,0	0,81	1,9	6,0	380
8	37,0	980	91,0	0,89	2,3	6,5	220
9	45,0	1475	92,0	0,90	2,5	7,0	380
0	55,0	490	91,0	0,75	1,8	6,0	220

Таблица 2.2

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 3, 6, 14						
Вариант	$U_n$ , В	$M_n$ , Н·м	$n_n$ , об/мин	$I_n$ , А	$\cos \varphi_{1n}$	$\frac{M_{\max}}{M_n}$
1	220	490	585	109	0,80	1,7
2	380	260	1470	75	0,89	2,0
3	220	402	2970	388	0,90	2,2
4	380	536	980	101	0,90	1,8
5	220	516	740	130	0,89	1,7
6	380	180	2925	102	0,90	2,2
7	220	71,5	2940	72	0,91	2,5
8	380	288	730	45	0,84	2,0
9	220	143	1470	71,5	0,90	2,3
0	380	731	980	137	0,90	1,8

Таблица 2.3

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 5, 7, 14							
Вариант	$U_H$ , В	$p$	$M_H$ , Н·М	$I_H$ , А	$\cos \varphi_{1H}$	$s_H$ , %	$s_{кр}$ , %
1	380	5	728	96	0,78	1,67	5,47
2	380	1	60	34,5	0,92	2,00	8,30
3	380	2	487	134	0,92	2,00	7,46
4	220	5	890	199	0,79	1,67	5,47
5	220	4	516	130	0,89	1,33	3,99
6	220	3	536	175	0,90	2,00	6,59
7	380	1	120	70	0,89	1,83	8,60
8	380	4	715	101	0,90	2,00	6,15
9	220	5	653	145	0,80	2,50	7,68
0	220	2	650	307	0,92	2,00	7,46

Таблица 2.4

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 3, 8, 10						
Вариант	$U_H$ , В	$n_H$ , об/МИН	$I_H$ , А	$\cos \varphi_{1H}$	$\eta_H$ , %	$\frac{M_{max}}{M_H}$
1	220	1435	11,6	0,83	82,0	2,4
2	380	950	9,2	0,81	82,0	2,5
3	220	2900	25,6	0,88	87,5	2,8
4	380	720	13,6	0,74	83,0	2,6
5	220	1460	38,0	0,83	87,5	3,0
6	380	970	16,5	0,81	85,5	2,5
7	220	2940	71,9	0,91	88,5	2,5
8	380	590	79,2	0,78	91,0	1,8
9	380	735	37,9	0,84	88,5	2,2
0	220	1470	96,4	0,90	91,0	2,3

Таблица 2.5

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 3, 11, 14						
Вариант	$U_H$ , В	$M_{\max}$ , Н·м	$s_{кр}$ , %	$n_H$ , об/мин	$I_H$ , А	$\cos \varphi_{1H}$
1	220	1311	5,47	590	166	0,78
2	220	243	8,60	2945	97	0,90
3	220	965	6,59	980	175	0,90
4	220	974	7,46	1470	232	0,92
5	380	1602	5,47	590	115	0,79
6	380	877	3,99	740	75	0,89
7	380	726	6,20	2960	165	0,90
8	380	1290	4,85	1480	177	0,92
9	220	2185	5,47	590	268	0,80
0	380	1207	3,99	740	101	0,90

Таблица 2.6

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 3, 12					
Вариант	$U_H$ , В	$P_{1H}$ , кВт	$\eta_H$ , %	$\frac{M_{\max}}{M_H}$	$n_H$ , об/мин
1	380	12,79	86,0	2,0	975
2	380	25,00	88,0	2,2	2915
3	380	33,33	90,0	2,1	735
4	380	40,66	91,0	2,5	1475
5	220	50,00	90,0	1,8	585
6	380	60,77	90,5	1,8	490
7	220	80,65	93,0	2,3	1480
8	220	97,29	92,5	2,0	980
9	220	118,27	93,0	2,3	740
0	220	97,83	92,0	2,2	2945

Таблица 2.7

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 8, 13							
Вариант	$U_H$ , В	$P_{1H}$ , кВт	$I_H$ , А	$\eta_H$ , %	$s_H$ , %	$n_0$ , об/мин	$s_{кр}$ , %
1	380	49,18	95,7	91,5	1,66	600	5,47
2	220	41,11	121,6	90,0	1,8	3000	8,60
3	380	43,72	75,0	91,5	2,0	750	6,15
4	220	59,78	175,0	92,0	2,0	1000	6,59
5	380	80,65	136,0	93,0	1,3	1500	4,85
6	220	33,15	109,0	90,5	2,5	600	7,68
7	380	107,53	184,0	93,0	1,3	3000	5,40
8	220	106,95	305,0	93,5	1,3	1500	4,85
9	380	81,52	155,0	92,0	1,66	600	5,47
0	220	60,44	172,9	91,0	1,8	3000	8,60

Таблица 2.8

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 3, 15, 17							
Вариант	$U_H$ , В	$n_H$ , об/мин	$I_H$ , А	$\cos \varphi_{1H}$	$M_{max}$ , Н·м	$s_{кр}$ , %	$M_{п} / M_H$
1	380	2880	7,9	0,89	33,15	19,0	2,0
2	380	720	10,47	0,70	137,96	20,0	1,9
3	380	590	64,0	0,81	922,6	5,86	1,2
4	380	1470	134,0	0,92	974,0	7,46	1,1
5	380	980	99,0	0,92	964,8	6,59	1,1
6	220	2850	8,0	0,87	19,16	25,0	2,1
7	220	590	165	0,78	1311	5,47	1,0
8	220	1480	235	0,90	968,0	4,85	1,1
9	220	740	130	0,89	877,2	3,99	1,1
0	220	965	21,28	0,80	136,07	16,77	2,0

Таблица 2.9

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 8, 14							
Вариант	$U_H$ , В	$P_H$ , кВт	$n_0$ , об/мин	$\cos \varphi_{1H}$	$I_H$ , А	$I_H / I_H$	$\frac{M_{\max}}{M_H}$
1	220	100,0	2960	0,90	220	7,0	2,2
2	220	15,0	2940	0,91	345	7,0	2,2
3	380	30,0	735	0,81	376	6,0	2,1
4	380	45,0	740	0,84	537	6,0	2,0
5	220	22,0	2940	0,91	539	7,5	2,5
6	220	37,0	2945	0,89	912	7,5	2,5
7	380	55,0	2945	0,92	749	7,5	2,5
8	380	110,0	740	0,85	1376	6,5	2,3
9	220	90,0	1480	0,91	1959	7,0	2,3
0	380	75,0	590	0,80	930	6,0	1,8

Таблица 2.10

Пункты задания, подлежащие выполнению: 1, 2, 4, 5, 9, 16							
Вариант	$U_H$ , В	$P_H$ , кВт	$n_H$ , об/мин	$\cos \varphi_{1H}$	$\eta_H$ , %	$I_H / I_H$	$M_{\max} / M_H$
1	380	15,0	1465	0,88	88,5	7,0	2,3
2	220	18,5	975	0,85	87,0	6,0	2,0
3	380	22,0	730	0,84	89,0	5,5	2,0
4	220	30,0	590	0,81	88,0	6,0	1,9
5	380	55,0	490	0,78	90,5	5,5	1,8
6	220	45,0	2945	0,91	91,0	7,0	2,2
7	380	37,0	1475	0,90	91,0	7,0	2,5
8	220	55,0	985	0,89	91,5	6,5	2,1
9	380	75,0	735	0,85	92,0	5,5	1,9
0	220	90,0	590	0,82	91,5	5,5	1,8