

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем управления

***ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ***

Методические указания и контрольные задания
для студентов специальности I-53 01 07
«Информационные технологии и управление
в технических системах»
заочной формы обучения

Минск 2007

УДК 004:62
ББК 32.97:30
Э 45

Составитель
А. В. Марков

Э 45 **Элементы** и устройства систем управления : метод. указания и контрольные задания для студ. спец. I-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» заоч. формы обуч. / сост. А. В. Марков. – Минск : БГУИР, 2007. – 24 с.

Издание содержит программу изучения, методические указания, вопросы для самопроверки и контрольные задания по основным разделам электромагнитных и электромашинных элементов автоматики: электромагнитным реле, усилителям, тахогенераторам, исполнительным двигателям постоянного и переменного тока, поворотным трансформаторам, сельсином.

УДК 004:62
ББК 32.97:30

© Марков А. В., составление, 2007
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2007

1. ЭЛЕКТРОМАШИННЫЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ

Тема 1.1. Общие вопросы электромашинных устройств

Электрические машины как элемент системы управления.

Генераторы постоянного тока. Принцип действия электрической машины постоянного и переменного тока. Реакция якоря и коммутация в машинах постоянного тока. Классификация генераторов в зависимости от способа включения обмотки возбуждения. Основные характеристики генераторов с независимым, параллельным и параллельно-последовательным включением обмотки возбуждения.

Тахогенераторы постоянного тока. Выходные характеристики. Функции, выполняемые тахогенераторами постоянного тока в системах автоматического управления. Передаточная функция тахогенератора.

[1, гл. 1–7; 2, гл. 14].

Методические указания

При изучении раздела «Генераторы постоянного тока» необходимо уяснить принцип наведения ЭДС в обмотке машины постоянного тока, работу коллектора, который совместно со щеточным устройством служит для преобразования переменной ЭДС, индуктируемой в обмотке, в постоянное напряжение, снимаемое со щеток генератора постоянного тока. Уяснить, что любая электрическая машина является электромеханическим преобразователем энергии. Уметь пояснить характеристики исходя из физических процессов, происходящих в генераторе.

Изучить назначение тахогенератора в системах автоматического управления, основные требования, предъявляемые к ним, статические и динамические характеристики, погрешности и способы их устранения.

Вопросы для самопроверки

1. Пояснить влияние реакции якоря на работу генератора постоянного тока и на выходную характеристику тахогенератора.
2. Привести способы, улучшающие коммутацию в машинах постоянного тока.
3. Привести основные уравнения, описывающие работу генератора и тахогенератора в установившемся и переходном режимах работы.

Тема 1.2. Двигатели постоянного тока

Принцип работы двигателя постоянного тока. Уравнения ЭДС якорной цепи и уравнение моментов в установившемся и переходном режимах. Характеристики двигателей с независимым параллельным и смешанным включением. Способы регулирования скорости.

Исполнительные двигатели постоянного тока в системах автоматики. Якорное и полюсное управление исполнительными двигателями постоянного тока. Механические, регулировочные характеристики и характеристики мощности при якорном и полюсном управлении. Моментные и бесконтактные двигатели постоянного тока.

Передаточные функции исполнительных двигателей постоянного тока.

[1, гл. 9; 2, гл. 11].

Методические указания

При изучении данной темы необходимо обратить внимание на энергетическую диаграмму двигателя, характеристики, способы регулирования скорости, особенности конструкции исполнительных двигателей, способы управления.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните, почему пусковые токи в двигателях в несколько раз превышают номинальные токи.
2. Чем объяснить жесткость механических характеристик двигателей с независимым и параллельным включением обмотки возбуждения?
3. Почему двигатели с последовательным возбуждением не могут работать без момента нагрузки на валу?
4. Поясните физические процессы, происходящие в двигателе постоянного тока при регулировании его скорости изменением магнитного потока, напряжения и величины сопротивления включенного в обмотку якоря.
5. Что такое напряжение трогания и почему оно возрастает с ростом момента на валу двигателя?
6. Сравните характеристики исполнительных двигателей постоянного тока с якорным и полюсным управлением.
7. Каким динамическим звеном является автоматический исполнительный двигатель постоянного тока в системах управления?

Тема 1.3. Трансформаторы

Однофазные трансформаторы. Конструкция. Принцип работы. Холостой ход и короткое замыкание однофазного трансформатора. Схема замещения.

Автотрансформаторы, импульсные и пиковые трансформаторы. Особенности их работы и область применения.

[1, гл. 11–14].

Методические указания

При изучении работы трансформатора важно уяснить связь между намагничивающей силой первичной и вторичной обмоток и зависимость тока первичной обмотки от нагрузки трансформатора, вытекающие из неизменности приложенного напряжения. Уяснить особенности работы автотрансформатора, импульсного и типового трансформатора.

Вопросы для самопроверки

1. Чем определяется величина магнитного потока в однофазном трансформаторе?
2. Чем объясняется синусоидальное изменение во времени магнитного потока в однофазном трансформаторе?
3. Чем объясняется наличие третьей гармоники в кривой тока и магнитное запаздывание в однофазном трансформаторе?
4. Какие опыты необходимо провести, чтобы определить потери в стали и меди однофазного трансформатора?
5. Почему при одинаковых весогабаритных показателях автотрансформатор по сравнению с трансформатором имеет большую проходную мощность?
6. Поясните принцип работы импульсного трансформатора.
7. Какие условия необходимо выполнить в пиковых трансформаторах, чтобы получить вторичное напряжение в виде пика?

Тема 1.4. Асинхронные машины

Конструкция и принципы работы асинхронных машин. Режимы работы асинхронной машины. ЭДС машины переменного тока. Основные уравнения, описывающие работу асинхронной машины. Приведение вращающегося асинхронного двигателя к неподвижному. Приведение обмотки ротора к обмотке статора. Схема замещения асинхронного двигателя. Энергетическая диаграмма, электромагнитный момент и механические характеристики. Способы регулирования скорости. Статическая устойчивость асинхронных двигателей.

Однофазные асинхронные двигатели. Конструкция. Принцип работы. Область применения.

Двухфазные асинхронные исполнительные двигатели. Особенности работы при круговом и эллиптическом полях. Метод симметричных составляющих, применяемый при исследовании однофазных и двухфазных исполнительных двигателей. Способы управления двухфазными двигателями. Схемы замещения. Механические и регулировочные характеристики. Условия получения кругового поля. Двухфазный асинхронный двигатель как нелинейное звено системы автоматического управления. Методы линеаризации. Передаточная функция.

[1, гл. 30–34; 2, гл. 9–10].

Методические указания

При изучении данной темы необходимо твердо усвоить способ образования вращающегося магнитного поля посредством полей, неподвижных в пространстве, но изменяющихся во времени. Необходимо уяснить, что намагничивающие силы статора и ротора, вращаясь с одной и той же скоростью, неподвижны относительно друг друга. Уяснить аналогию между физическими процессами, происходящими в трансформаторе и в асинхронной машине: процессом приведения вращающейся машины к неподвижной и процессом приведения обмотки ротора к обмотке статора, на основе чего для асинхронной вращающейся машины можно привести схему замещения, аналогичную схеме замещения трансформатора.

При изучении двухфазных асинхронных двигателей необходимо уяснить различие физических процессов при работе машины при круговом и эллиптическом магнитном поле, изучить метод симметричных составляющих, позволяющий анализировать работу машины при эллиптическом поле, способы управления двухфазными асинхронными двигателями, статические и динамические характеристики, функции, выполняемые в системах автоматического управления.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните, почему скорость вращения трехфазных асинхронных двигателей зависит от момента на валу.
2. Чем обусловлен большой пусковой ток и небольшой пусковой момент трехфазных асинхронных двигателей?
3. Как можно повысить пусковой момент трехфазных асинхронных двигателей?
4. Поясните, почему трехфазная асинхронная машина является трансформатором обобщенного типа.
5. Перечислите условия получения кругового поля в двухфазных исполнительных двигателях.
6. Поясните различие в работе двухфазного исполнительного двигателя при круговом и эллиптическом магнитном поле.
7. Поясните, почему для исследования работы трехфазного асинхронного двигателя используют одну схему замещения, а для двухфазного исполнительного – четыре.
8. Чем объясняется наличие самохода у двухфазных исполнительных двигателей и каким способом его можно устранить?
9. Поясните, почему двухфазный исполнительный двигатель при конденсаторном управлении не может работать при круговом поле по всей механической характеристике в отличие от амплитудного и фазового управления.

10. Сравните механические характеристики трехфазного асинхронного двигателя при изменении напряжения на статоре с механическими характеристиками двухфазного исполнительного двигателя при амплитудном управлении и поясните, почему у трехфазных асинхронных двигателей скорость идеального холостого хода остается постоянной, а у двухфазного исполнительного двигателя зависит от величины коэффициента сигнала.

Тема 1.5. Асинхронные тахогенераторы

Конструкция, принцип работы и назначение асинхронного тахогенератора в системах автоматического управления. Выходная характеристика. Погрешности и способы их устранения. Передаточная функция.

[2, гл. 14].

Методические указания

При изучении данной темы необходимо освоить методику получения аналитического выражения выходной характеристики асинхронного тахогенератора на основе метода симметричных составляющих. Исследовать погрешности асинхронного тахогенератора и пути их уменьшения. Изучить назначение асинхронных тахогенераторов в системах автоматики и их динамические свойства.

Вопросы для самопроверки

1. Чем объясняется нелинейность выходной характеристики асинхронного тахогенератора при холостом ходе?
2. Почему с уменьшением нагрузочного сопротивления в выходной обмотке тахогенератора уменьшается крутизна выходной характеристики?
3. Дайте определение амплитудной, фазовой и нулевой погрешностям.
4. Как осуществить компаундирование по амплитуде и компаундирование по фазе асинхронных тахогенераторов?
5. Почему повышение частоты питания обмотки управления асинхронного тахогенератора уменьшает его амплитудную погрешность?
6. Какие существуют методы уменьшения нулевой погрешности?

Тема 1.6. Поворотные трансформаторы

Конструкция поворотного трансформатора. Синусно-косинусный поворотный трансформатор. Погрешность. Первичное и вторичное симметрирование. Линейный поворотный трансформатор с первичным и

вторичным симметрированием. Поворотный трансформатор-построитель. Использование поворотного трансформатора в режиме фазовращателя.

Передающая функция поворотного трансформатора. Назначение поворотного трансформатора в системах автоматики.

[2, гл. 16; 3, гл. 8].

Методические указания

При изучении темы «Поворотные трансформаторы» необходимо обратить внимание на конструктивные особенности машины, обеспечивающие изменение взаимоиндуктивности между обмотками статора и ротора при повороте последнего по синусоидальному закону с высокой степенью точности.

Изучить схемы соединения обмоток, обеспечивающие изменение выходного напряжения поворотного трансформатора в зависимости от угла поворота ротора по синусовому, косинусовому или линейному законам. Ознакомиться с работой поворотного трансформатора в режиме построителя и фазовращателя.

Вопросы для самопроверки

1. Чем обусловлена погрешность синусно-косинусного поворотного трансформатора?
2. Поясните, почему при первичном симметрировании поворотного трансформатора изменяется его входное сопротивление?
3. Отметьте достоинства и недостатки вторичного симметрирования.

Тема 1.7. Сельсины

Сельсины в системах синхронной связи. Индикаторный режим работы сельсинов. Синхронизирующий момент. Коэффициент крутизны. Трансформаторный режим работы сельсинов. Классы точности сельсина-датчика и сельсина-приемника в индикаторном и трансформаторном режимах. Передающая функция сельсинов.

[2, гл. 15; 3, гл. 8].

Методические указания

При изучении темы «Сельсины в системе синхронной связи» необходимо твердо усвоить, что основным параметром, определяющим работу синхронной передачи, является угол рассогласования. Необходимо усвоить физические процессы, приводящие к возникновению синхронизирующего момента с использованием пространственной и временной диаграмм.

Изучить работу сельсинов в трансформаторном режиме и использование данного режима в системах синхронной связи.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните работу сельсинов в индикаторном режиме.
2. Поясните возникновение моментов синхронизации при рассогласовании сельсинов.
3. Поясните работу сельсинов в трансформаторном режиме.
4. Приведите схему синхронной связи при работе сельсинов в трансформаторном режиме.

Тема 1.8. Синхронные двигатели

Синхронные двигатели: конструкция, принцип работы. Бесконтактные синхронные двигатели с постоянными магнитами. Электромагнитный синхронизирующий момент синхронных двигателей неявнополюсной конструкции. Синхронные реактивные двигатели. Гистерезисные двигатели. Реактивные двигатели.

[2, гл. 4; 3, гл. 2].

Методические указания

При изучении данной темы необходимо уяснить физические процессы возникновения электромагнитного момента и реактивного момента в синхронных двигателях. Выяснить причины отсутствия пускового момента и изучить способы пуска. Разобраться в физических процессах, позволяющих работать синхронным двигателям при отстающем, опережающем коэффициенте мощности и при коэффициенте мощности, равном единице. Изучить особенности работы реактивных, гистерезисных и редукторных двигателей.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните физические процессы возникновения электромагнитного и реактивного моментов у синхронных двигателей.
2. Поясните причину отсутствия пускового момента у синхронных двигателей. Способы пуска синхронных двигателей.
3. Поясните, почему синхронные двигатели могут работать с отстающим, опережающим $+\cos \varphi$ и $-\cos \varphi$.
4. Чем объясняется большой пусковой момент и момент входа в синхронизм у гистерезисных двигателей?
5. Что позволяет получить низкую скорость вращения редукторных двигателей и чем она определяется?

Тема 1.9. Шаговые двигатели

Шаговые двигатели: конструкция, принцип работы. Шаговый двигатель как исполнительное устройство в дискретных системах. Режимы работы шагового двигателя. Управление шаговыми двигателями. Блоки системы управления: коммутатор, усилитель, формирователь и др. Динамика шагового привода.

[2, гл. 12; 3, гл. 2].

Методические указания

При изучении данной темы необходимо уяснить принцип работы шаговых двигателей, изучить блоки системы управления. Сравнить работу шаговых двигателей в разомкнутой и замкнутой системах управления. Обратит внимание на причины потери шага при работе шаговых двигателей в разомкнутых системах управления и возможность работы с максимальным моментом в замкнутых системах управления.

Вопросы для самопроверки

1. Чем определяется величина углового шага шаговых двигателей? Способы дробления шага.
2. Поясните работу шагового двигателя в статическом и квазистатическом режимах.
3. Как осуществляется принудительное и естественное торможение шаговых двигателей?
4. Чем определяется частота свободных колебаний шагового двигателя?
5. Чем определяются переходные режимы работы шагового двигателя?
6. Что называется частотой приемлемости и чем она определяется?
7. Чем определяется статический синхронизирующий момент и статическая устойчивость шаговых двигателей?
8. Какими параметрами определяется частота собственных колебаний шагового двигателя?
9. Дайте определение постоянной времени шагового двигателя.
10. Дайте определение коэффициента внутреннего демпфирования.

Тема 1.10. Коллекторные двигатели переменного тока

Коллекторные двигатели переменного тока. Универсальные коллекторные двигатели: конструкция, принцип работы, особенности коммутации, способы регулирования скорости. Сравнение работы универсального коллекторного двигателя на постоянном и переменном токе.

[3, гл. 11].

Методические указания

При изучении коллекторных двигателей переменного тока необходимо обратить внимание на особенности возникновения электромагнитного момента, уяснить причины пульсации момента, выяснить причины более тяжелых условий коммутации по сравнению с коммутацией в машинах постоянного тока. Изучить механические характеристики и способы регулирования скорости.

Вопросы для самопроверки

1. Чем обусловлены пульсации электромагнитного момента и скорости коллекторных двигателей?
2. Чем обусловлены более тяжелые условия коммутации универсального коллекторного двигателя при работе на переменном токе по сравнению с работой на постоянном токе?
3. Почему при работе на постоянном токе коэффициент полезности двигателя универсальных коллекторных двигателей выше, чем при работе на переменном токе?
4. Каким образом можно сблизить механические характеристики универсальных коллекторных двигателей при работе на постоянном и переменном токе?

Тема 1.11. Тепловые режимы электрических машин. Выбор типа и мощности двигателя

Нагрев и охлаждение электрических машин. Тепловые режимы работы двигателя. Виды нагрузочных моментов. Выбор двигателя при длительной нагрузке. Выбор двигателя при кратковременном и повторно-кратковременном режимах работы. Выбор двигателя при нагрузочном моменте, зависящем от угла поворота. Упрощенный выбор двигателя для следящих систем. Выбор двигателя для систем большой мощности. Выбор двигателя для систем малой мощности. Выбор двигателя следящей системы при синусоидальном законе движения. Выбор шагового двигателя. Выбор двигателей, работающих в заторможенном режиме.

[3, гл. 15].

Методические указания

При изучении данной темы необходимо освоить методы выбора двигателя для работы в системах автоматического управления в зависимости от вида и закона изменения нагрузочного момента и режима работы двигателя, обратить внимание на расчет оптимального значения коэффициента передачи редуктора.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните проверку двигателя на нагрев методом эквивалентного тока, методом эквивалентного момента или методом эквивалентной мощности. При каких условиях работы двигателя предпочтительнее тот или иной метод?
2. Приведите примеры нагрузочных моментов двигателя.
3. Как определяется среднеквадратичная скорость вращения двигателя при длительном режиме нагрузки?
4. Каким образом выбирается двигатель при поворотно-кратковременной нагрузке по эквивалентному методу?
5. Приведите сравнительный анализ выбора двигателя для следящих систем большой мощности и малой мощности.
6. Какими параметрами определяется оптимальное передаточное отношение редуктора в следящих системах при синусоидальном законе движения?

2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ

Тема 2.1. Введение

Применение электромагнитных устройств в системах автоматического управления. Основные этапы исторического развития электромагнитных устройств и перспективы дальнейшего развития на основе новых материалов.

Связь между магнитными и электрическими величинами. Магнитные свойства вещества. Магнитные моменты. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики. Доменная структура и магнитная анизотропия ферромагнетиков. Процессы намагничивания ферромагнетиков. Статическая и динамическая петли гистерезиса. Частные циклы. Статические параметры ферромагнетиков.

[3, гл. 1].

Методические указания

При изучении данной темы необходимо получить представление о перспективах развития электромагнитных устройств автоматики на базе новых материалов. Необходимо изучить физические процессы, происходящие в ферромагнитных материалах при перемагничивании.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните кривую намагничивания ферромагнетика на основе доменной структуры вещества.
2. Назовите основные магнитные величины и единицы измерения в системе СИ.
3. Как получить предельную петлю гистерезиса и частные циклы?
4. Как получить статическую и динамическую петли гистерезиса?

Тема 2.2. Нереверсивный магнитный усилитель без обратной связи

Конструкция и принцип действия простейшего магнитного усилителя (МУ) на одном сердечнике. Характеристики ферромагнитных сердечников МУ. МУ на двух сердечниках. Идеальный МУ, основные режимы работы. Основные уравнения МУ. Коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности.

Реальный МУ. Статическая характеристика идеального и реального МУ. Построение статической характеристики линеаризованного МУ графоаналитическим методом.

[3, гл. 2].

Методические указания

При изучении этой темы необходимо обратить особое внимание на физические процессы в магнитных усилителях. Уяснить основные расчетные соотношения. Обратит внимание на различия между идеальным и реальным магнитными усилителями и их статическими характеристиками.

Вопросы для самопроверки

1. Чем вызвана необходимость выполнения МУ на двух сердечниках?
2. Какие МУ называются идеальными, линеаризованными и линейными?
3. Поясните физическую сущность основного уравнения МУ.

Тема 2.3. Магнитные усилители с обратной связью

Виды обратных связей в МУ. Статические характеристики МУ с внешней обратной связью. Статические характеристики МУ с внутренней обратной связью (с самонасыщением). Коэффициенты усиления МУ по току, напряжению и мощности с внешней и внутренней обратными связями. Смещение в МУ.

[3, гл. 3].

Методические указания

При изучении темы необходимо обратить внимание на схемы магнитных усилителей с внешней и внутренней обратными связями (самонасыщением). Обратит внимание на особенность работы магнитного усилителя с самонасыщением и его статическую характеристику.

Вопросы для самопроверки

1. Как осуществляются внешняя и внутренняя обратные связи в МУ?
2. Особенность работы МУ с внешней обратной связью.
3. Сравните статические характеристики МУ с внешней обратной связью и самонасыщением.
4. Смещение в МУ.

Тема 2.4. Двухтактные (реверсивные) магнитные усилители

Особенности построения схем реверсивных МУ. Реверсивные МУ с выходом на постоянном токе. Реверсивные МУ с выходом на переменном токе: дифференциальная, мостовая, трансформаторная схемы.

[3, гл. 4].

Методические указания

При изучении темы обратить внимание на принципы построения схем реверсивных магнитных усилителей. При изучении реверсивных магнитных усилителей с выходом на постоянном токе обратить внимание на их низкий коэффициент полезного действия и схемные решения, устраняющие замыкание постоянного тока через оба усилителя. Изучить схемы быстродействующих и многокаскадных усилителей.

Вопросы для самопроверки

1. Чем объяснить низкий коэффициент полезного действия реверсивных МУ с выходом на постоянном токе?
2. Проведите сравнительную оценку работы дифференциальной, мостовой и трансформаторной схем реверсивных МУ с выходом на переменном токе.

Тема 2.5. Динамика магнитных усилителей

Постоянная времени МУ без обратной связи, без учета запаздывания в рабочей цепи и с учетом запаздывания. Связь постоянной времени МУ с коэффициентом полезного действия. Передаточная функция МУ. Передаточная функция МУ с обратной связью. Добротность МУ. Способы повышения быстродействия.

[3, гл. 3].

Методические указания

При изучении данной темы необходимо обратить внимание на зависимость постоянной времени магнитного усилителя от параметров магнитного усилителя, величины и вида обратной связи, уяснить, чем вызвано чистое запаздывание магнитного усилителя. Изучить способы повышения быстродействия магнитного усилителя.

Вопросы для самопроверки

1. Чем определяется быстродействие МУ?
2. Почему положительная обратная связь повышает быстродействие МУ?
3. Каким динамическим звеном является МУ в системах автоматического управления?

Тема 2.6. Электромагнитное реле

Классификация и конструкция электромагнитного реле. Реле постоянного тока, нейтральные и поляризованные. Герконы.

Тяговые и механические характеристики реле. Временные параметры реле. Методы изменения времени срабатывания и отпускания реле. Методы искрогашения.

Электромагнитные реле переменного тока. Конструкция двухфазного реле переменного тока. Реле переменного тока с короткозамкнутым витком. Основные характеристики реле переменного тока. Тяговая характеристика.

Бесконтактные магнитные реле. Виды релейных характеристик. Основные параметры, характеризующие работу бесконтактных реле. Способы получения релейного режима МУ с внешней положительной обратной связью и в МУ с самонасыщением. Бесконтактные магнитные реле с выходом на постоянном и переменном токе.

[3, гл. 16].

Методические указания

При изучении этой темы необходимо ознакомиться с конструкцией реле постоянного и переменного тока. Обратит особое внимание на согласование тяговой и механической характеристики. Изучить способы изменения тока срабатывания и тока отпускания реле, времени срабатывания и способы искрогашения. Изучить особенности конструкции и тяговых характеристик реле переменного тока, работающего при постоянном токе в обмотке реле или при постоянном напряжении, приложенном к обмотке.

Вопросы для самопроверки

1. Представьте конструкцию нейтрального и поляризованного реле.
2. Представьте на графике тяговую и механическую характеристики реле, обеспечивающие его нормальное срабатывание и отпускание.
3. Какие параметры реле определяют его тяговую характеристику?
4. Объясните назначение штифта отлипания в конструкции реле.
5. Сравните тяговые характеристики реле постоянного и переменного тока.
6. Чем объясняется наличие вибрации якоря реле переменного тока?
7. Приведите характеристику бесконтактного магнитного реле.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Контрольные задания должны выполняться после изучения соответствующих разделов курса. Расчет и пояснения следует выполнять в ученической тетради. Страницы, формулы и рисунки должны быть пронумерованы, приведены ссылки на использованную литературу.

ЗАДАНИЕ 1

Определить скорость вращения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением, данные которого приведены в табл. 1, при тормозном моменте на валу $M = 0,6M_{н.см}$ и дополнительном сопротивлении в цепи якоря $r = 2r_{я}$. Реакцией якоря и падением напряжения в контакте щеток пренебречь.

Пояснение

При номинальной нагрузке момент на валу двигателя

$$M_{н} = \frac{P}{\omega_{н}} [H \cdot м],$$

где $\omega_{н} = \frac{p \cdot n_{н}}{30}$ – угловая номинальная скорость двигателя.

Электромагнитный номинальный момент, развиваемый двигателем, при этом равен

$$M_{ЭН} = \frac{I_{ан} \cdot E_{н}}{\omega_{н}} [H \cdot м],$$

где $E_{н} = V_{н} = I_{ам} \cdot r_a [B]$.

Известно, что $M_{ЭН} = M_o + M_{н}$, тогда

$$M_o = M_{ЭН} - M_{н} [H \cdot м].$$

Определим $M_{э}$ электромагнитный момент двигателя при нагрузке $0,6 \cdot M_{н}$:

$$M_{э} = M_o + 0,6M_{н}.$$

Величину тока якоря I_a при моменте $M = 0,6 \cdot M_i$ определим из условия пропорциональности момента току якоря при постоянном потоке:

$$M_{н} = C_{н} \cdot \Phi \cdot I_{ам} \text{ и } M = C_{м} \cdot \Phi \cdot I_a$$

Таким образом,

$$I_a = I_{н} \cdot \frac{M_{э}}{M_{эм}}.$$

Номинальная скорость двигателя равна

$$n = \frac{U_i - I_a \cdot (R_a + R_{э})}{C_E \cdot \Phi}, \quad [\text{об} / \text{мин}].$$

Скорость вращения двигателя при $M=0,6 \cdot M_H$ и добавочном сопротивлении

$$n = n_H \frac{U_H - I_a \cdot (R_a + r_{\text{э}})}{U_H - I_{\text{ан}} \cdot R_a}, [\text{об/мин}].$$

Тогда

$$n = n_H \frac{U_H - I_a \cdot (R_a + r_{\text{э}})}{U_H - I_{\text{ан}} \cdot R_H}.$$

Для данного двигателя определить:

- 1) потери в меди в номинальном режиме;
- 2) постоянные потери;
- 3) ток холостого хода;
- 4) КПД двигателя;
- 5) рассчитать механические характеристики двигателя, задавая значением момента от 0,1 до 1,5М; при отсутствии и при его включении.

Привести их на одном чертеже [1].

Таблица 1

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_H, \text{кВт}$	68	43	22	92	60	30	70	40	25	90
$U_H, \text{В}$	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
$I_{\text{ан}}, \text{А}$	346	225	118	460	305	160	350	205	120	430
$n_H, \text{об/мин}$	1460	1550	590	1470	980	600	1500	1400	600	1450
$r_a, \text{Ом}$	0,023	0,05	0,15	0,014	0,032	0,085	0,17	0,09	0,2	0,02
$I_{\text{сн}}, \text{А}$	3,1	3,1	2,3	3,8	4,2	3,4	3,0	2,5	3,1	3,5

ЗАДАНИЕ 2

В соответствии с табл. 2 вариантов задания рассчитать однофазный двухобмоточный трансформатор. При этом необходимо:

- 1) определить отдаваемую трансформатором мощность;
- 2) выбрать сердечник;
- 3) определить число витков обмоток;
- 4) определить ток первичной обмотки при холостом ходе и при номинальной нагрузке. Рассчитать процентное значение тока холостого хода от номинального тока первичной обмотки;

- 5) определить диаметры и выбрать марки проводов обмотки;
- 6) разместить обмотки в окне трансформатора и дать эскиз размещения;
- 7) рассчитать потери и КПД трансформатора при номинальной нагрузке;
- 8) определить температуру нагрева трансформатора и сравнить ее с допустимой;
- 9) проанализировать, как изменятся потери трансформатора, рассчитанного на частоту 50 Гц, при включении на напряжение с частотой 400 Гц, и трансформаторов, рассчитанных на 400 Гц, на напряжение с частотой 50 Гц [5].

Таблица 2

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_1, В$	220	220	20	220	220	115	220	40	115	220
$U_2, В$	56	112	250	380	320	56	56	112	500	320
$I_2, А$	0,08	0,11	0,07	0,04	0,15	0,04	0,06	0,07	0,04	0,16
$f, Гц$	50	50	50	50	50	400	400	400	400	400

ЗАДАНИЕ 3

Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором и напряжением равным 220 В при соединении обмоток статора треугольником имеет следующие характеристики:

- 1) сопротивления обмоток статора и ротора r_1, X_1, r_2, X_2 ;
- 2) число витков на фазу статора и ротора w_1 и w_2 ;
- 3) обмоточные коэффициенты $K_{1об}$ и $K_{2об}$;
- 4) число пар полюсов p .

Приняв, что число фаз статора равно числу фаз ротора, и пренебрегая током холостого хода, определить:

1. Токи статора $I_{1н}$ и ротора $I_{2н}$ при пуске, пусковой момент M_n и $\cos \varphi$ при пуске двигателя с замкнутым накоротко ротором.

2. Токи статора I_1 , и ротора I_2 , вращающий момент M при работе двигателя со скольжением $S_1 = 3\%$ и при отсутствии добавочного сопротивления в цепи ротора.

3. Величину добавочного сопротивления r_x , которое необходимо включить в ротор, чтобы получить пусковой момент M_n , равный критическому моменту M_k , а также пусковые токи при этом сопротивлении.

4. Критическое сопротивление S_k и критический момент M_k при отсутствии добавочного сопротивления в цепи ротора.

Пояснения

1. Так как $m_1 = m_2$, то $K_2 = K_1 = \frac{w_1 \cdot K_{об1}}{w_2 \cdot K_{об2}}$.

Параметры короткого замыкания: $r'_2 = K_e^2 r_1$; $X'_2 = K_e^2 X_2$; $r_k = r_1 + r'_2$;

$$X_k = X_1 + X'_2; \quad z_k = \sqrt{r_k^2 + X_k^2}.$$

Определим пусковые токи I_{1n} и I_{2n} при работе двигателя с короткозамкнутым ротором ($S = 1$):

$$I_{1n} = \frac{U \Phi}{z_k}; \quad I_{2n} = K_1 \cdot I_n.$$

Синхронная скорость поля равна $n_o = \frac{60f_1}{p}$ и $w_o = \frac{\pi \cdot n_o}{30}$.

Пусковой вращающий момент равен $M_n = \frac{m_2 \cdot I_2^2 \cdot \frac{r_2}{S}}{w_o}$.

Коэффициент мощности при пуске: $\cos j_n = \frac{r_k}{z_k}$.

2. Найдём токи и момент двигателя при вращении со скольжением $S = 3\%$, считая двигатель заторможенным с сопротивлением ротора. Новые параметры короткого замыкания при этом:

$$r_{k1} = r_1 + K_e \cdot \frac{z_2}{S}; \quad z_{k1} = \sqrt{r_{k1}^2 + X_k^2}.$$

Ток статора $I_1 = \frac{U_1}{z_{k1}}$ и ротора $I_2 = K_1 \cdot I_1$.

Электромагнитный вращающий момент:

$$M = \frac{m_2 \cdot I_2^2 \cdot \frac{r_2}{S}}{w_o}.$$

Пусковой вращающий момент достигает максимального значения при условии

$$S_n = \frac{r'_2 + r_k}{x_k} = 1.$$

Следовательно, $r'_2 + r'_x = 1$. Откуда $r'_x = x_k - r'_2$ и $r_x = \frac{r'_x}{K^2_e}$.

Для определения токов и момента двигателя с пусковым сопротивлением в каждой фазе ротора найдем параметры короткого замыкания при сопротивлении ротора:

$$X_k = r'_2 + r'_x = R'_2; \quad r_k = r_1 + r'_2 + r'_x;$$

$$z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2}.$$

$$\text{Токи при пуске: } I_{1n} = \frac{U_1}{z_k}; \quad I_{2n}^2 = K_I \cdot I_{1n}.$$

$$\text{Пусковой момент: } M_n = \frac{m_2 \cdot I_{2n}^2 \cdot \frac{R_2}{S}}{\omega_0}.$$

Коэффициент мощности при пуске с сопротивлением:

$$\cos j_n = \frac{r_k}{z_k}.$$

$$\text{Критическое скольжение: } s_k = \frac{r'_2}{x_k}.$$

$$\text{Критический момент: } M_k = \frac{m_2 \cdot U_1^2}{4 \cdot p \cdot f \cdot [r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}]}.$$

Заключение

Сравнить пусковые токи при отсутствии и наличии пускового сопротивления и пояснить, почему при включении добавочного сопротивления возрастает пусковой момент и уменьшается пусковой ток [1].

Таблица 3

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_1, \text{Ом}$	0,03	1,12	0,05	0,82	0,13	0,44	0,1	0,19	0,05	0,07
$r_2, \text{Ом}$	0,25	0,18	0,2	0,15	0,08	0,21	0,18	0,11	0,3	0,21
$X_1, \text{Ом}$	0,18	3,0	0,25	2,12	0,47	1,22	0,38	0,66	0,2	0,25
$X_2, \text{Ом}$	1,4	0,4	1,1	0,3	0,48	0,64	1,0	0,35	1,6	1,5
$S_H, \%$	3,5	3,0	2,7	3,3	3,0	6,0	2,7	3,0	2,5	3,5
w_1	48	288	63	204	96	162	87	126	52	60
w_2	120	100	112	80	72	100	112	80	135	125
$K_{об1}$	0,95	0,934	0,95	0,943	0,95	0,84	0,95	0,94	0,93	0,97
$K_{об2}$	0,96	0,955	0,85	0,95	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96

ЛИТЕРАТУРА

1. Пиотровский, Л. М. Электрические машины / Л. М. Пиотровский. – М. : Энергия, 1982.
2. Юферов, Ф. М. Электрические машины автоматических устройств / Ф. М. Юферов. – М. : Высш. школа, 1988.
3. Волков, Н. И. Электромашинные устройства автоматики / Н. И. Волков, В. П. Миловзоров. – М. : Энергия, 1986.
4. Миловзоров, В. П. Электромашинные устройства автоматики / В. П. Миловзоров. – М. : Высш. шк., 1983.
5. Тищенко, Н. М. Проектирование магнитных и полупроводниковых элементов автоматики / Н. М. Тищенко. – М. : Энергия, 1979.
6. Фираго, Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск : Техноперспектива, 2006.
7. Фираго, Б. И. Теория электропривода. / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск : Техноперспектива, 2004.
8. Иванов-Цыганов, А. И. Электропреобразовательные устройства РЭС / А. И. Иванов-Цыганов. – М. : Высш. шк., 1991.

Св. план 2007, поз. 44

Учебное издание

ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания и контрольные задания
для студентов специальности I-53 01 07
«Информационные технологии и управление
в технических системах»
заочной формы обучения

С о с т а в и т е л ь
Марков Александр Владимирович

Редактор М. В. Тезина
Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать 07.08.2007.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,3.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,51.
Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6