

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Московский государственный агроинженерный университет
имени В. П. Горячкина

Н.Е. Кабдин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

*Методические рекомендации
по изучению дисциплины
и выполнению курсовой работы*

Москва 2002

2

УДК 62 – 83

Рецензент:
доктор технических наук, заведующий кафедрой
Московского государственного агроинженерного университета
имени В.П. Горячкина
Ю. А. Судник

Составитель: Кабдин Н.Е.

Автоматизированный электропривод. Методические рекомендации по изучению дисциплины и выполнению курсовой работы. Составлены в соответствии с программой дисциплины «Автоматизированный электропривод» для студентов факультета заочного образования, обучающихся по специальности 030500.01 «Профессиональное обучение (агроинженерия)». М.: МГАУ, 2002.– 40 с.

В методических рекомендациях изложена программа дисциплины, представлен список рекомендуемой литературы и 117 вариантов индивидуальных заданий по курсовой работе, а также методические указания по её выполнению. Для самостоятельной оценки уровня знаний по каждому разделу предложены контрольные вопросы.

© Московский государственный
агроинженерный университет
имени В.П. Горячкина, 2002

Введение

Электрический привод является основным потребителем электрической энергии в сельскохозяйственном производстве. Развитие электропривода на современном этапе имеет ряд особенностей, заключающихся в расширении области применения регулируемого электропривода, в интенсивном повышении технологических требований к динамическим и точностным показателям работы электропривода, в расширении и усложнении его функций, усложнении систем управления, создании унифицированных комплектных электроприводов путем использования современной микроэлектроники и компьютерной техники. В этих условиях инженер-педагог (электрик) должен знать и уметь использовать электрические машины, основы электроники, электрические аппараты, измерительную и компьютерную технику, владеть математическими методами теоретической механики и теории автоматического управления.

В результате изучения дисциплины студент должен приобрести знания по основам теории, методам расчета и выбора электропривода, принципам автоматического регулирования координат (скорости, тока, момента, положения и др.) электропривода, системам автоматического управления электроприводами сельскохозяйственного производства с учетом особенностей конкретных рабочих машин и агрегатов.

Дисциплина «Автоматизированный электропривод» состоит из трех разделов: раздел 1 – "Основы теории электропривода", раздел 2 – "Системы автоматического управления электроприводами", раздел 3 – "Электропривод в сельскохозяйственном производстве".

В первом разделе рассматриваются свойства механического звена электропривода, методы его анализа, вопросы формирования законов движения, электромеханические свойства электродвигателей, переходные процессы в электроприводах, способы регулирования координат, методы расчета мощности и выбор электродвигателей, энергетические показатели.

Во втором разделе рассматриваются общие принципы построения систем управления электроприводами, разомкнутые и замкнутые системы автоматического управления, электроприводы со специальными свойствами и характеристиками, общая методика выбора электропривода.

В третьем разделе рассматривается автоматизированный электропривод конкретных рабочих машин, установок и поточных линий сельскохозяйственного назначения.

Методические рекомендации по изучению дисциплины

Изучение дисциплины базируется на сочетании основных видов обучения: самостоятельной работы студентов в межсессионный период, лекций, лабораторных и практических занятий, консультаций в период сессий.

В качестве главной методической рекомендации следует считать необходимость акцентирования внимания, наряду с математическими выкладками, на понимании физического смысла проводимого анализа на этапе

постановки задачи, записи исходного математического описания и оценке полученных результатов. При этом необходимо обращать внимание на изучение общих физических закономерностей электропривода, взаимодействия элементов электромеханической системы, характера динамических процессов, особенностей управления электроприводами сельскохозяйственных машин, установок и поточных линий. Важным вопросом является обучение студентов практическим навыкам расчета статических характеристик, переходных процессов, выбора мощности электродвигателей и преобразователей, расчета энергетических показателей работы электропривода.

В качестве основных учебников по дисциплине рекомендуется использовать [1...5]. Для студентов, желающих изучить вопросы теории электропривода более полно и углубленно, следует использовать литературу [6... 11].

Для оценки степени усвоения и глубины проработки материала изучаемой дисциплины в конце каждого раздела приведены контрольные вопросы.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. М.: Энергоиздат, 1981.
2. Основы автоматизированного электропривода /Чиликин М.Г., Соколов М.М., Терехов В.М., Шинянский А.В./ М.: «Энергия», 1974.
3. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Москаленко В.В. Электрический привод. М.: Мастерство, 2000.
5. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. М.: «Колос», 1984.

Дополнительная

6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Л.: Энергоиздат, 1982.
7. Гайдукевич В.И., Титов В.С. Случайные нагрузки силовых электроприводов. М.: Энергоиздат, 1983.
8. Мусин А.М. Электропривод сельскохозяйственных машин и агрегатов. М.: Агропромиздат, 1985
9. Мэрфи Дж. Тиристорное управление двигателями переменного тока. М.: «Энергия», 1979.
10. Кабдин Н.Е. Основы теории электропривода. М.: МГАУ, 1997.

Содержание разделов дисциплины

Введение

Понятие «Электропривод». Состояние и перспективы развития электропривода в сельскохозяйственном производстве. Классификация электроприводов. Предмет, задачи и структура курса.

Контрольные вопросы

1. Значение автоматизированного электропривода в сельскохозяйственном производстве, его преимущества перед другими видами приводов.
2. Дайте определение понятия «Автоматизированный электропривод» (АЭП) и приведите его структурную схему.
3. Назовите функции, выполняемые электроприводом.
4. Назовите основные признаки, по которым принято классифицировать автоматизированные электроприводы.

Раздел 1. Основы теории электропривода

1.1. Механика электропривода

Общие сведения. Типовые статические нагрузки электропривода. Механические характеристики электродвигателей и основных сельскохозяйственных машин и механизмов. Установившееся движение электропривода. Статическая устойчивость.

Расчетные схемы механической части электропривода. Приведенное механическое звено. Уравнение движения электропривода и его анализ.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные категории моментов сопротивления статической нагрузки и поясните различие между ними.
2. Дайте определение механической характеристики электродвигателя и рабочей машины. Назовите их основные категории.
3. Что такое жесткость механической характеристики и как её определить?
4. Как определить параметры установившегося движения электропривода?
5. Что понимается под статической устойчивостью электропривода?
6. Исходя из каких условий моменты сопротивления и инерции приводятся к валу электродвигателя в системе "электродвигатель - рабочая машина"? Напишите формулы приведения.
7. Как изменится приведенный к валу двигателя момент сопротивления, если уменьшить передаточное число редуктора? h
8. Как изменится приведенный к валу двигателя момент инерции, если увеличить передаточное число редуктора?
9. Напишите уравнение движения электропривода с постоянным моментом инерции и проведите его анализ.
10. На какие свойства электропривода влияет величина приведенного момента инерции?

1.2. Электромеханические свойства двигателей

Область применения электродвигателей постоянного (ДПТ) и переменного тока, их преимущества и недостатки.

Электромеханические свойства двигателей постоянного и переменного тока,

уравнения их механических и электромеханических характеристик. Естественные и искусственные характеристики, их расчет и построение. Способы пуска электродвигателей. Тормозные режимы работы электродвигателей. Основные показатели регулирования скорости электропривода. Основные способы регулирования скорости электродвигателей постоянного и переменного тока.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение электромеханической характеристики электродвигателя.
2. Дайте определение естественной и искусственной механических характеристик электродвигателей.
3. Напишите основные соотношения между параметрами ДПТ независимого возбуждения, которые необходимы для вывода уравнений электромеханической и механической характеристик. Сделайте анализ полученных уравнений.
4. Назовите основные режимы работы ДПТ независимого возбуждения.
5. В каких квадрантах координатной плоскости ω , M изображаются механические характеристики ДПТ независимого возбуждения, соответствующие основным режимам работы? Изобразите их.
6. Какие причины и как влияют на модуль жесткости механических характеристик ДПТ независимого возбуждения?
7. Начертите механические характеристики ДПТ независимого возбуждения при уменьшении магнитного потока, величины приложенного к якорию напряжения?
8. Какими физическими причинами объясняется различие в форме естественных механических характеристик ДПТ при независимом и последовательном возбуждении?
9. Почему для ДПТ последовательного возбуждения невозможен режим генераторного торможения?
10. Как построить естественную механическую характеристику ДПТ последовательного возбуждения?
11. Каковы основные способы пуска ДПТ? Как производят расчет пускового реостата?
12. Каковы условия самовозбуждения ДПТ последовательного возбуждения в режиме динамического торможения?
13. Назовите основные способы регулирования скорости ДПТ, отметьте их достоинства и недостатки.
14. Начертите схему замещения асинхронного электродвигателя (АД) и назовите основные допущения, принятые при выводе уравнений электромеханической и механической характеристик.
15. Начертите электромеханическую характеристику АД и назовите ее характерные точки.
16. Начертите механическую характеристику АД и назовите ее характерные точки.
17. Назовите основные способы построения естественной механической

характеристики АД.

18. В каких диапазонах изменяется скольжение АД в двигательном режиме, в режиме генераторного и динамического торможения, в режиме торможения противовключением?
19. Что такое перегрузочная способность АД, какова ее зависимость от величины напряжения питающей сети?
20. Как изменится форма механической характеристики АД при увеличении активного сопротивления: а) в цепи ротора; б) в цепи статора; в) при уменьшении напряжения питающей сети?
21. Как осуществить режим динамического торможения АД? Основные схемы включения статорных обмоток.
22. Как изменится форма механической характеристики АД в режиме динамического торможения при увеличении активного сопротивления: а) в цепи ротора; б) в цепи статора?
23. Каким образом распределяется энергия при работе электродвигателя в режимах торможения (генераторном, динамическом и противовключением)?
24. Каковы достоинства и недостатки способа пуска АД непосредственным включением в сеть?
25. Перечислите способы уменьшения пускового тока АД с короткозамкнутым ротором. Каков их общий недостаток?
26. Дайте оценку способу регулирования угловой скорости ДПТ изменением сопротивления в цепи якоря. Приведите схемы включения и механические характеристики.
27. Дайте оценку способу регулирования угловой скорости ДЛТ изменением потока возбуждения. Приведите схемы включения и соответствующие электромеханические и механические характеристики.
28. Дайте оценку способу регулирования угловой скорости ДПТ изменением подводимого к якорю напряжения. Приведите основные схемы включения и механические характеристики.
29. Перечислите основные способы регулирования скорости АД.
30. Механические характеристики, преимущества и недостатки при регулировании угловой скорости АД с фазным ротором: а) введением резисторов в цепь ротора; б) изменением питающего напряжения.
31. В чем заключается принцип регулирования скорости АД путем изменения числа пар полюсов? Приведите наиболее часто встречаемые на практике схемы переключения статорной обмотки и получаемые при этом механические характеристики.
32. Напишите уравнение основного закона изменения напряжения при частотном регулировании скорости АД (формула Костенко). Проведите его анализ при постоянном и вентиляторном моментах нагрузки.

1.3. Переходные процессы в электроприводе

Общие сведения. Причины возникновения переходных процессов. Виды переходных процессов в электроприводе.

Механические переходные процессы в электроприводе с постоянным динамическим моментом, с динамическим моментом линейно и нелинейно зависящим от скорости. Электромеханические переходные процессы в электроприводе с учетом электромагнитной инерции двигателя.

Энергетические показатели работы электропривода в переходных режимах.

Контрольные вопросы

1. Каковы внешние и внутренние причины, вызывающие переходные процессы в электроприводе?
2. В чем заключается принципиальное различие между механическими и электромеханическими переходными процессами?
3. Что такое электромеханическая постоянная времени, ее физический смысл и способы определения?
4. Что такое электромагнитная постоянная, ее физический смысл?
5. Как изменится величина электромеханической постоянной при увеличении: а) модуля жесткости механической характеристики; б) момента инерции; в) дополнительного сопротивления в цепи якоря?
6. Начертите кривые изменения скорости, момента и тока якоря переходного процесса при пуске электропривода с линейными механическими характеристиками электродвигателя и рабочей машины.
7. В чем заключается сущность метода площадей, используемого для определения времени протекания переходных процессов?
8. Как повлияет на продолжительность пуска электропривода увеличение передаточного числа редуктора?
9. Как повлияет на продолжительность пуска асинхронного электропривода снижение напряжения питающей сети?
10. Как определить потери энергии при пуске, генераторном и динамическом торможении, торможении противовключением?
11. В чем заключается разница между статической и динамической механической характеристиками электродвигателя?
12. Назовите способы уменьшения потерь энергии в электроприводах в переходных режимах.
13. Как повлияет на величину потерь энергии при пуске снижение напряжения питающей сети?
14. В каком соотношении находятся потери энергии при пуске двухскоростного АД до максимальной скорости в одну ступень и в две ступени?

1.4. Выбор электродвигателей по мощности

Общие сведения. Нагрев и охлаждение электродвигателей. Номинальные режимы работы двигателей. Нагрузочные диаграммы электропривода.

Выбор двигателей по мощности при продолжительном, кратковременном, повторно-кратковременном и перемежающемся режимах работы. Проверка электродвигателей по механическим свойствам (по пуску и перегрузочной способности).

Контрольные вопросы

1. Чем определяется допустимый нагрев электродвигателя?
2. Назовите основные допущения при выводе уравнений нагрева и охлаждения электродвигателя.
3. Напишите уравнение теплового баланса для работающего электродвигателя.
4. Что такое коэффициент ухудшения условий охлаждения, его физический смысл?
5. Что такое постоянная времени нагрева, ее физический смысл и способы определения?
6. Чем объясняется, что у самовентилируемых электродвигателей постоянная времени нагрева значительно меньше постоянной времени охлаждения?
7. Как изменится постоянная времени нагрева электродвигателя при увеличении нагрузки на валу?
8. Как влияет температура окружающей среды на допустимую нагрузку электродвигателя?
9. Напишите в общем виде уравнения нагрева и охлаждения электродвигателя.
10. Какие номинальные режимы работы электроприводов предусмотрены ГОСТ 183-74?
11. Что представляют собой нагрузочная диаграмма рабочей машины и нагрузочная диаграмма электродвигателя? В чем их различие?
12. Назовите методы выбора электродвигателей по мощности при продолжительном режиме работы с переменной нагрузкой.
13. В чем состоит особенность метода эквивалентных величин при выборе электродвигателя по мощности? В каких случаях этот метод неприменим?
14. Что такое коэффициенты термической и механической перегрузки?
15. Как выбирают по мощности электродвигатель, предназначенный для продолжительного режима (S1), при работе в кратковременном режиме (S2)?
16. Что такое ПВ и ПН?
17. Как выбирают по мощности электродвигатель, предназначенный для продолжительного режима (S1), при работе в повторно-кратковременном режиме (S3)?
18. Как выбирают по мощности электродвигатель, предназначенный для повторно-кратковременного режима (S3), при работе в данном режиме?
19. Как изменится допустимое число включений в час АД с короткозамкнутым ротором при увеличении нагрузки на валу?
20. Как проверить выбранный по нагреву АД на возможность запуска и статическую устойчивость работы с учетом возможного снижения напряжения питающей сети?

Раздел 2. Системы автоматического управления Электроприводами

2.1. Общие сведения

Общие сведения. Понятие о регулировании координат электропривода. Общие принципы построения систем управления электроприводами. Разомкнутые и замкнутые системы автоматического управления. Обратные связи по скорости, току, напряжению и т.д. Аналоговые и дискретные элементы и устройства управления электроприводами. Микропроцессорные средства управления электроприводами.

Контрольные вопросы

1. Что в теории электропривода понимается под его координатами?
2. Что означает регулирование координат электропривода?
3. Назовите основные показатели, характеризующие способы регулирования угловой скорости электропривода.
4. В чем заключается необходимость регулирования момента (тока) электродвигателя?
5. В каких случаях возникает необходимость регулирования положения электропривода?
6. Какие системы управления электроприводами называются неавтоматизированными и автоматизированными?
7. Назовите основные принципы построения замкнутых систем регулируемого электропривода.
8. В чем заключается различие между разомкнутыми и замкнутыми системами управления электроприводами?
9. Какие виды обратных связей вам известны?
10. Какие аналоговые элементы применяются в замкнутых системах управления электроприводами?
11. Какие дискретные элементы применяются в замкнутых системах управления электроприводами?
12. Что такое микропроцессор, микроЭВМ и микропроцессорная система управления?

2.2. Разомкнутые системы автоматического управления электроприводами

Принципы автоматического управления пуском и торможением электродвигателей в разомкнутых контактно-релейных системах. Типовые узлы контактно-релейных схем управления пуском и торможением электродвигателей постоянного и переменного тока. Типовые схемы разомкнутых систем управления электроприводами постоянного и переменного тока.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные типы аппаратуры, используемой в системах управления электроприводами. Каковы их графические и буквенные обозначения на схемах?
2. Для какой цели в системах управления электроприводами применяют автоматические выключатели, тепловые реле, магнитные пускатели? Как производится их выбор?
3. Основные требования, предъявляемые к схемам автоматического управления электроприводами.
4. Назовите принципы автоматического управления пуском и торможением электродвигателей (ЭД) в разомкнутых релейно-контактных системах.
5. Начертите принципиальные схемы управления нереверсивным и реверсивным электроприводом с асинхронным короткозамкнутым электродвигателем (при использовании магнитных пускателей).
6. Составьте и объясните принципиальную схему автоматического управления пуском ДПТ с двумя ступенями пускового реостата в функции ЭДС.
7. Каково назначение блокировочного реле, используемого в схемах автоматического управления пуском ЭД в функции тока?
8. Составьте и объясните принципиальную схему автоматического управления пуском АД с тремя ступеням пускового реостата в функции времени с использованием пневматических реле времени.
9. Составьте и объясните принципиальную схему автоматического управления пуском АД с фазным ротором в функции времени (на основе электромагнитных реле времени).
10. Объясните устройство, принцип работы реле контроля скорости (РКС) и составьте схему автоматического управления торможением противовключением асинхронного короткозамкнутого двигателя.
11. Дайте сравнительный анализ схем автоматического управления пуском и торможением ЭД в функции тока, времени и скорости.

2.3. Замкнутые системы автоматического управления электроприводами

Регулирование скорости двигателей постоянного тока в системах: управляемый преобразователь – двигатель (УП-Д), импульсный регулятор напряжения – двигатель (ИРН-Д). Регулирование скорости асинхронного электродвигателя в системах: тиристорный регулятор напряжения – двигатель (ТРН-АД), преобразователь частоты – двигатель (ПЧ-АД). Каскадные схемы регулирования скорости асинхронного электропривода. Следящий электропривод. Электропривод с программным управлением. Электропривод с адаптивным управлением.

Контрольные вопросы

1. Какой тип управляемых преобразователей имеет наибольшее применение в регулируемом электроприводе постоянного тока? Приведите функциональную схему регулируемого электропривода постоянного тока в системе УП-Д.
2. Начертите основные схемы нереверсивного и реверсивного электропривода постоянного тока с трехфазными тиристорными преобразователями, приведите соответствующие механические характеристики.
3. Начертите структурные схемы замкнутой системы УП-Д: а) с отрицательной обратной связью по скорости; б) отрицательной обратной связью по напряжению; в) с положительной обратной связью по току якоря и приведите соответствующие механические характеристики. Дайте сравнительную оценку данных систем.
4. Начертите функциональные схемы и приведите механические характеристики регулируемого асинхронного электропривода в разомкнутой и замкнутой системах «тиристорный регулятор напряжения – двигатель».
5. Какие основные типы статических преобразователей частоты вам известны? Приведите их функциональные схемы и дайте сравнительную оценку.
6. Какой электропривод называется следящим?
7. Начертите структурные схемы следящего привода релейного и непрерывного действия и проведите их сравнительный анализ.
8. Что такое электропривод с программным управлением? Основные его виды.

2.4. Электроприводы со специальными свойствами и характеристиками

Электропривод с линейными электродвигателями. Электропривод с шаговым (ШД) и вентильным (ВД) электродвигателями.

Контрольные вопросы

1. Что такое линейный АД и каковы перспективы его использования в сельском хозяйстве?
2. Поясните принцип действия шагового электродвигателя, виды ШД.
3. Что такое вентильный электродвигатель? Какие коммутаторы используются в ВД?
4. Назовите особенности вентильного электропривода с индукторным двигателем.

2.5. Общая методика выбора электропривода

Особенности выбора электропривода сельскохозяйственных рабочих машин.

Выбор электропривода: по роду тока и уровню напряжения, по конструктивному исполнению и способу монтажа, по степени защищенности от воздействия окружающей среды, по частоте вращения и способу регулирования координат, по мощности из условий допустимого нагрева, обеспечения пуска, статической и динамической устойчивости электропривода.

Контрольные вопросы

1. Факторы, влияющие на выбор электродвигателей, работающих в сельскохозяйственном производстве.
2. Дайте сравнительную оценку электроприводов постоянного и переменного тока с точки зрения использования в условиях сельского хозяйства.
3. Каковы особенности выбора двигателей для регулируемого электропривода?
4. В каких случаях возникает необходимость использования асинхронных короткозамкнутых электродвигателей напряжением 660/380 В?

Раздел 3. Электропривод в сельскохозяйственном производстве

3.1. Общие вопросы автоматизированного электропривода в сельскохозяйственном производстве

Характерные особенности работы электропривода в условиях сельскохозяйственного производства. Приводные характеристики сельскохозяйственных машин и методы их экспериментального определения.

Проверка обеспечения пуска и устойчивой работы асинхронного электропривода при питании от источника соизмеримой мощности.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности работы электропривода при выполнении сельскохозяйственных технологических процессов?
2. Дайте определение приводным характеристикам рабочих машин.
3. Какие требования предъявляют приводные характеристики рабочих машин к электродвигателям?
4. Какие методы применяются для экспериментального определения приводных характеристик рабочих машин?
5. Объясните методику проверки обеспечения пуска и устойчивой работы электроприводов при питании от источника соизмеримой мощности?

3.2. Электропривод и автоматизация насосных и вентиляционных установок

Приводные характеристики и режимы работы насосов и вентиляторов. Выбор типа и расчет мощности электродвигателя. Принципы регулирования подачи насосов и вентиляторов.

Электропривод и автоматизация водоснабжающих установок башенного и безбашенного типа, установок орошения. Особенности работы, типовые схемы и

комплекты электрооборудования.

Электропривод и автоматизация вентиляционно-отопительных установок производственных сельскохозяйственных помещений. Особенности работы, типовые схемы и комплекты электрооборудования.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности приводных характеристик и режимов работы насосов и вентиляторов?
2. По каким параметрам выбирают тип и мощность электродвигателей насосов и вентиляторов?
3. В функции каких параметров и как регулируется подача насосов и вентиляторов?:
4. Проанализируйте работу основных принципиальных схем управления приводами насосов и вентиляторов.
5. Какие величины влияют на максимальное число включений в час электропривода насосных установок?

3.3. Электропривод центрифуг

Приводные характеристики и особенности пуска центрифуг. Выбор типа и расчет мощности электродвигателя.

Схемы электроприводов центрифуг (с центробежной муфтой скольжения, высокочастотный, многоскоростной и др.).

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности приводных характеристик и режимов работы центрифуг?
2. По каким параметрам выбирается тип и мощность электродвигателя для центрифуг?
3. В чем заключается особенность электропривода центрифуг?
4. На чем основан принцип действия устройств, облегчающих пуск электродвигателей центрифуг?

3.4. Электропривод кормоприготовительных и кормораздаточных машин

Приводные характеристики и особенности работы кормоприготовительных машин (измельчители, дробилки, смесители и др.). Выбор типа и расчет мощности электродвигателя. Автоматизация, типовые схемы и комплекты электрооборудования.

Приводные характеристики и режимы работы стационарных транспортеров. Выбор типа и расчет мощности электродвигателя. Автоматизация, типовые схемы и комплекты электрооборудования.

Приводные характеристики и режимы работы мобильных кормораздатчиков. Выбор типа и расчет мощности электродвигателя. Автоматизация, типовые схемы и комплекты электрооборудования.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности приводных характеристик, условий и режимов работы кормоприготовительных машин, стационарных и мобильных транспортных установок?
2. По каким параметрам выбирается тип и мощность электропривода для кормоприготовительных машин, стационарных и мобильных транспортных установок?
3. Проанализируйте работу типовых принципиальных, схем управления приводами кормоприготовительных машин и транспортных установок?
4. Какие мероприятия и устройства предусматриваются для снижения тока в период пуска и работы электродвигателей кормоприготовительных машин?

3.5. Электропривод установок и механизмов ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий

Приводные характеристики, режимы и особенности работы электроталей, кранов малой мощности. Выбор типа и расчет мощности электродвигателя. Типовые схемы управления и комплекты электрооборудования.

Приводные характеристики металло- и деревообрабатывающих станков, требования к электроприводу. Выбор типа и расчет мощности электродвигателя. Типовые схемы управления, электрооборудование станков.

Режимы работы и требования к электроприводу стенов для обкатки автотракторных двигателей внутреннего сгорания после ремонта. Выбор типа и расчет мощности электродвигателя. Схемы управления и комплекты электрооборудования.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности приводных характеристик, условий и режимов работы электроталей, кранов малой мощности, металло- и деревообрабатывающих станков, стенов для обкатки ДВС?
2. По каким параметрам выбирают тип и мощность электродвигателя для кранов малой мощности, металло- и деревообрабатывающих станков, стенов для обкатки ДВС?
3. Проанализируйте работу типовых принципиальных схем управления приводами электроталей, кранов малой мощности, стенов для обкатки ДВС.
4. С какой целью производятся холодная и горячая обкатки двигателей внутреннего сгорания на обкаточных стендах?

3.6. Электропривод и автоматизация поточных линий

Общие сведения. Требования к электроприводу и схемам автоматизации поточных линий. Характеристики поточных линий, применяемых в животноводстве, птицеводстве, растениеводстве, особенности электропривода и

систем автоматического управления.

Использование программируемых микроконтроллеров и управляющих микро ЭВМ для управления поточными линиями.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляют к схемам управления автоматизированным электроприводом поточных линий?
2. Каковы особенности автоматизированного электропривода поточных линий в животноводстве, птицеводстве, растениеводстве?
3. В каком порядке осуществляется пуск и остановка поточной линии?

Задание и методические указания по выполнению курсовой работы

Общие указания

Учебным планом по курсу "Автоматизированный электропривод" предусмотрено выполнение курсовой работы.

Задачей курсовой работы является закрепление теоретических знаний по курсу, развитие навыков самостоятельной работы, а также освоение методов расчета и выбора электроприводов сельскохозяйственных машин и установок.

Для выполнения курсовой работы студенту следует изучить теоретический материал по литературе и ответить на контрольные вопросы.

Пояснительная записка разделяется на части, разделы и подразделы, имеющие порядковые номера. Все страницы записки, включая рисунки и таблицы, нумеруются. Номер страницы проставляется внизу посередине, начиная с введения. Формулы также нумеруют, проставляя номер с правой стороны в круглых скобках. Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, расшифровывают непосредственно под ней. Значение каждого символа дают с новой строки, начиная первую строку со слова "где" без двоеточия после него.

Все расчёты в курсовой работе выполняются в Международной системе единиц измерения (СИ). Условные графические и буквенные обозначения в электрических схемах должны соответствовать требованиям действующих ГОСТов.

На титульном листе пояснительной записки указывается: а) наименование университета и кафедры; б) тема курсовой работы; в) номер варианта; г) фамилия, имя, отчество студента, шифр и дата выполнения работы. Внизу страницы – подпись студента.

В конце пояснительной записки приводится список использованной литературы.

Задание для курсовой работы

Часть 1

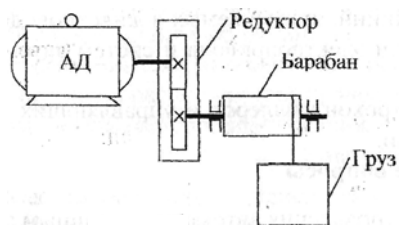


Рис. 1

1.1. Для главного привода подъемного механизма, выполненного по кинематической схеме, приведенной на рис. 1, в соответствии с индивидуальным заданием выбрать асинхронный электродвигатель (АД) с фазным ротором, тип и марку редуктора. Режим работы электропривода – повторно-кратковременный (S3).

1.2. Рассчитать сопротивления ступеней пускового реостата и определить пусковой ток в роторе электродвигателя и в сети.

1.3. Разработать схему автоматического управления пуском электродвигателя в функции параметра (тока, времени, скорости), указанного в задании. Количество ступеней пускового реостата должно соответствовать расчету (см. п. 1.2). Выбрать необходимую аппаратуру защиты и управления.

1.4. Для главного привода подъемного механизма определить сопротивления, которые требуется ввести в цепь ротора, чтобы груз двигался на подъем и на спуск со скоростью, равной 0,5 заданного значения. Построить искусственные механические характеристики и определить ток в роторе и в сети при указанных режимах работы.

Часть 2

2.1. Для привода подъемного механизма выбрать асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором с повышенным скольжением. Режим работы электропривода – S3. Построить естественную механическую характеристику и характеристики при напряжениях 0,5; 0,7 и 0,9 номинального значения.

2.2. Для привода подъемного механизма выбрать асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором основного исполнения. Режим работы электропривода – S3.

2.3. Определить время пуска электродвигателя, выбранного в п. 2.2, и построить зависимости $\omega = \varphi(t)$ и $M_{\text{дв}} = \psi(t)$.

2.4. Для электродвигателя, выбранного в п. 2.2, определить допустимое число включений в час.

Часть 3

3.1. Для привода подъемного механизма выбрать асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором с повышенным пусковым моментом, считая, что режим работы электропривода – кратковременный (S2) и время работы составляет 15 мин.

3.2. Определить превышение температуры двигателя в конце указанного времени

работы.

Часть 4

4.1. Рассчитать параметры схемы замещения по каталожным данным асинхронного электродвигателя, выбранного в п. 2.2.

4.2. Построить механические характеристики двигателя при частотном регулировании скорости по закону $\frac{U}{f} = const$ для частот 10, 25, 50 и 100 Гц.

При выполнении курсовой работы необходимо иметь в виду следующее:

1. Весом троса можно пренебречь.
2. Электродвигатели основного исполнения для привода подъемного механизма выбирать с синхронной частотой вращения: для четных вариантов $n_o = 1500$ об/мин, для нечетных – $n_o = 3000$ об/мин.
3. Отношение $\alpha = \frac{R_1}{R_2}$ принять равным единице.
4. Время цикла в повторно-кратковременном режиме принять равным, согласно ГОСТ 183, стандартному – 10 мин.
5. Момент сопротивления при спуске и подъеме считать неизменным.
6. Снижение напряжения при пуске принять равным 7,5%.
7. Постоянную времени нагрева T_n принять равной $C/2A$.

Вариант курсовой работы выдается преподавателем или выбирается студентом по двум последним цифрам шифра. Исходные данные для своего варианта, (скорость груза V , масса груза m , диаметр барабана d , момент инерции барабана J_o , КПД передачи η_n , продолжительность включения ПВ и тип схемы) приведены в приложении 1.

Методические советы

Часть 1

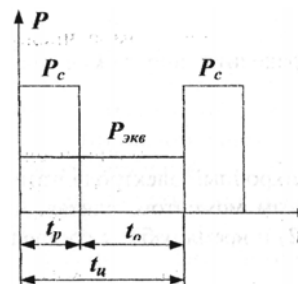


Рис. 2

1.1. С целью правильного выбора мощности электродвигателя подъемного механизма следует построить нагрузочную диаграмму (рис. 2), для чего необходимо определить мощность сопротивления P_c , время работы t_p и паузы t_o по выражениям:

$$P_c = \frac{mgV}{\eta_n} \quad (1)$$

где m – масса груза, кг;
 V – скорость груза, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с;
 η_n – КПД передачи;

$$t_p = t_u \frac{PB}{100} \quad (2)$$

где t_u – время цикла работы ($t_u = 10$ мин);
 PB – продолжительность включения, %;

$$t_0 = t_u - t_p \quad (3)$$

Выбор мощности электродвигателя производится по условию

$$P_u \geq P_{эв} \quad (4)$$

где P_u – номинальная мощность двигателя, кВт;

$P_{эв}$ – эквивалентная мощность по нагрузочной диаграмме, определяемая по выражению

$$P_{эв} = \sqrt{\frac{P_c^2 t_p}{t_p + \beta t_0}} \quad (5)$$

где β – коэффициент ухудшения охлаждения двигателя в период паузы ($\beta = 0,45 \dots 0,55$).

Для обеспечения надежного пуска двигателя следует сделать проверку по условию

$$k_u^2 M_n \geq M_{mp} + 0,25 M_n \quad (6)$$

где $k_u = \frac{U_n}{U_n}$ – действительное напряжение при пуске, о.е.;

U_n – действительное напряжение при пуске, В;

U_n – номинальное напряжение сети, В;

M_n – пусковой момент электродвигателя (Н·м), который принимается равным 0,8...0,9 момента критического;

M_{mp} – момент трогания рабочего органа подъемного механизма (Н·м), который приближенно можно определить по выражению

$$M_{mp} = \frac{P_c}{\omega_n} \quad (7)$$

где ω_n – номинальная угловая скорость электродвигателя, с⁻¹.

1.2. При расчете сопротивлений ступеней пускового реостата следует использовать графический способ, для чего необходимо построить естественную механическую характеристику асинхронного электродвигателя по полной формуле Клосса:

$$M = \frac{2M_k(1 + \alpha S_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2\alpha S_k} \quad (8)$$

где $M_k = \mu_k M_n$ – критический (максимальный) момент электродвигателя, Н·м;

μ_k – кратность критического момента;

$$\alpha = \frac{R_1}{R'_2}$$

R_1 – активное сопротивление обмотки статора, Ом;

R'_2 – приведенное активное сопротивление обмотки ротора, Ом;

S – текущие значения скольжения электродвигателя;

S_k – критическое скольжение электродвигателя

$$S_k = S_n \frac{\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 + 2S_n(\mu_k - 1)} - 1}{1 - 2S_n(\mu_k - 1)}, \quad (9)$$

где $S_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0}$ – номинальное скольжение электродвигателя;

n_0 – синхронная частота вращения, об/мин;

n_n – номинальная частота вращения, об/мин.

Переход от скольжения S к угловой скорости ω производят, используя формулу

$$\omega = \omega_0(1 - S), \quad (10)$$

где ω_0 – синхронная угловая скорость электродвигателя, с⁻¹.

Результаты расчета механической характеристики необходимо также представить в виде таблицы.

Построение пусковой диаграммы (рис. 3) следует начинать с определения максимального и переключающего (минимального) моментов по выражениям:

$$M_{max} = (0,8 \dots 0,9) M_k \quad (11)$$

$$M_{min} = (1,1 \dots 1,3) M_c$$

где $M_c = \frac{P_c}{\omega_n}$ – момент сопротивления подъемного механизма, Н·м.

После построения пусковой диаграммы необходимо определить масштаб сопротивления m_R (Ом/мм):

$$m_R = \frac{R_{2n}}{ab} \quad (12)$$

где $R_{2n} = \frac{E_{2k} S_n}{\sqrt{3} I_{2n}}$ – номинальное сопротивление ротора, Ом;

E_{2k} – ЭДС между кольцами неподвижного разомкнутого ротора, В;

I_{2n} – номинальный ток ротора, А;

ab – отрезок на пусковой диаграмме, соответствующий номинальному сопротивлению ротора, мм.

Тогда сопротивления ступеней пускового реостата

$$R_1 = m_R cd, \quad R_2 = m_R bc, \quad (13)$$

всего реостата:

$$R_{реос} = R_{2n} bd = R_1 + R_2 \quad (14)$$

Пусковой ток ротора определяют по выражению

$$I_{2мыс} = \frac{E_{2k}}{\sqrt{3(R_2 + R_{реос})}} \quad (15)$$

Определение пускового тока в сети основывается на соотношении:

$$\frac{I_{1н}}{I_{2н}} = \frac{I_{1мыс}}{I_{2мыс}} \quad (16)$$

то есть на том, что отношение токов статора и ротора в любом режиме работы электродвигателя остается постоянным.

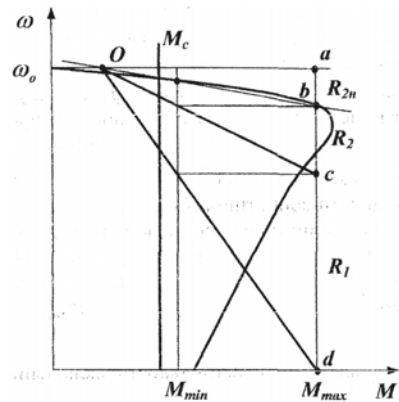


Рис. 3

1.3. Для управлений асинхронными двигателями широко используются релейно-контактные аппараты. При релейно-контактном управлении электродвигателем процесс его пуска обычно автоматизируется, что устраняет возможные при ручном управлении ошибки. Для пуска электродвигателя от персонала в этом случае требуется лишь нажать кнопку управления или повернуть в рабочее положение рукоятку командоконтроллера. У асинхронных электродвигателей с фазным ротором пусковые резисторы шунтируются по ступеням при помощи контакторов, управление которыми осуществляется в функции

ЭДС, тока или времени согласно заданию (см. приложение 1).

1.4. Добавочное сопротивление, введенное в цепь ротора, определяют, используя выражение:

$$\frac{S_e}{S_p} = \frac{R_{2n}}{R_{2n} + R_{2доб}} \quad (17)$$

где S_e , S_p – скольжения при работе с $M = M_c$ на естественной и искусственной механических характеристиках соответственно;

$R_{2доб}$ – добавочное сопротивление в цепи ротора, Ом.

Выражение (17) справедливо при одинаковом моменте на естественной и искусственной характеристиках.

Скольжение электродвигателя при работе на подъем

$$S_{под} = \frac{\omega_0 - 0,5\omega_c}{\omega_0} \quad (18)$$

на спуск груза

$$S_{спн} = \frac{\omega_0 + 0,5\omega_c}{\omega_0} \quad (19)$$

где ω_c – угловая скорость электродвигателя при работе на естественной характеристике при $M = M_c$.

Для построения характеристики электродвигателя при подъеме груза необходимо определить критическое скольжение.

Токи в сети и роторе при работе на искусственных характеристиках определяют так же, как в п. 1.2, при соответствующих значениях скольжения $S_{под}$, $S_{спн}$ и добавочного сопротивления $R_{2доб}$.

Часть 2

2.1. Для повторно-кратковременного режима работы (S3) выпускается серия специальных машин, рассчитанных на этот режим. Такими машинами являются электродвигатели с повышенным скольжением. Эти электродвигатели

рассчитываются на работу при следующих стандартных продолжительностях включения (ПВ): 15, 25, 40, 60 и 100 %. В технической характеристике таких двигателей приводят величины мощности двигателя для всех значений ПВ. За номинальную, мощность принимается мощность при ПВ = 40 %. Длительность рабочего цикла не должна превышать 10 мин. (ГОСТ 183).

Для выбора двигателя из данной серии необходимо определить фактическую продолжительность включения ПВ (указывается в задании) и мощность сопротивления P_c (по выражению 1).

Если продолжительность включения окажется нестандартной, то при выборе электродвигателя найденное значение мощности сопротивления следует пересчитать на ближайшее большее стандартное значение продолжительности включения:

$$P'_c = P_c \sqrt{\frac{\varepsilon_\phi}{\varepsilon_{cm}} + \alpha \left(\frac{\varepsilon_\phi}{\varepsilon_{cm}} - 1 \right)}, \quad (20)$$

где ε_{cm} – стандартное значение относительной продолжительности включения ($\varepsilon_{cm} = 0,15; 0,25; 0,4; 0,6$), о.е.;

$\varepsilon_\phi = \frac{t_p}{t_p + t_0}$ – фактическое значение относительной продолжительности

включения, о.е.;

P_c – мощность сопротивления при значении ε_ϕ , кВт;

P'_c – мощность сопротивления, приведенная к ближайшему большему стандартному значению ε_{cm} , кВт;

$\alpha = (0,5 \dots 0,7)$ – коэффициент потерь.

По полученному значению P'_c надо выбрать двигатель так, чтобы мощность двигателя при стандартной продолжительности включения удовлетворяла условию

$$P_{\varepsilon_{cm}} \geq P'_c \quad (21)$$

после чего двигатель необходимо проверить по условию надежного пуска (6).

Естественную, механическую характеристику следует построить по характерным точкам (рис. 4):

1. $\omega = \omega_0$; $M = 0$;

2. $\omega = \omega_n$; $M = M_n = \frac{P_n}{\omega_n}$;

3. $\omega = \omega_k = \omega_0 (1 - S_k)$; $M = M_k = \mu_k M_n$; (22)

4. $\omega = \omega_{min} \approx \frac{\omega_0}{7}$; $M = M_{min} = \mu_{min} M_n$;

5. $\omega = 0$; $M = M_n = \mu_n M_n$,

где μ_{min} – кратность минимального момента;

μ_n – кратность пускового момента;

μ_k – кратность критического момента;

ω_{min} – угловая скорость при минимальном моменте, c^{-1} .

Построение искусственных механических характеристик при изменении напряжения сети основывается на квадратичной зависимости момента асинхронного электродвигателя от величины приложенного напряжения. Для построения данных характеристик необходимо произвести пересчет моментов

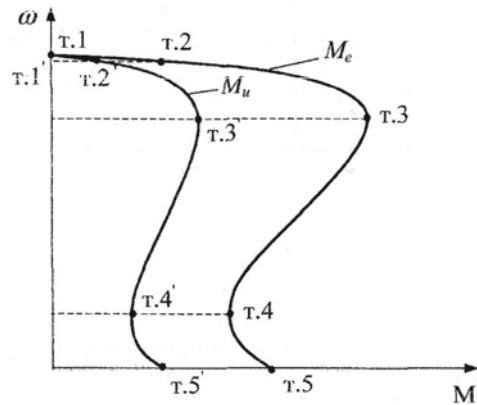


Рис. 4

для точек 2, 3, 4 и 5 (рис. 4) с номинального напряжения на напряжения, указанные в задании, по выражению

$$M_u = M_e \left(\frac{U_{\phi, \text{зад}}}{U_{\phi \text{н}}} \right)^2 \quad (23)$$

2.2. При повторно-кратковременном режиме работы (S3) могут быть использованы электродвигатели, предназначенные для продолжительного режима работы (S1). Поэтому выбор электродвигателя для привода подъемного механизма производится аналогично выбору двигателя с фазным ротором (п. 1.1). Выбранные электродвигатели необходимо проверить по условию надежного пуска (6).

2.3. Время пуска и спуск привода определяют на основе уравнения движения электропривода:

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{с.пр}} J_{\text{пр}} \frac{d\omega}{dt}, \quad (24)$$

где $M_{\text{дв}}$ – момент электродвигателя, Н·м;

$M_{\text{с.пр}}$ – момент сопротивления подъемного механизма, приведенный к валу электродвигателя, Н·м;

$J_{\text{пр}}$ – приведенный момент инерции системы «двигатель – подъемный механизм», кг·м².

Механическую характеристику двигателя $\omega = f_1(M_{\text{дв}})$ достаточно построить по характерным точкам (рис. 5) так же, как в п. 2.1.

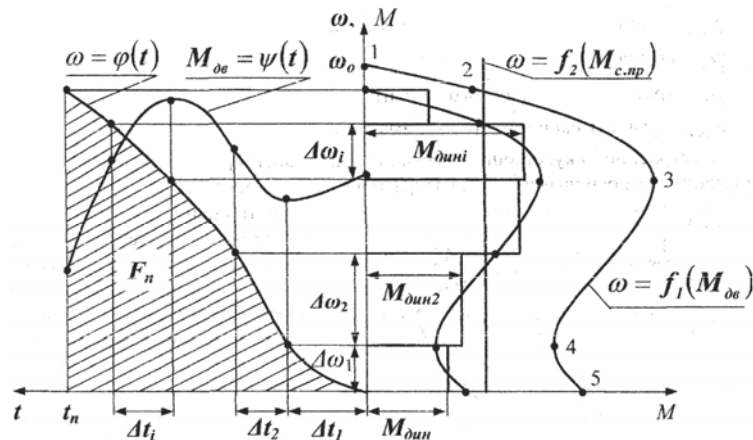


Рис. 5

Приведенный к валу электродвигателя момент сопротивления подъемного механизма определяют по выражению

$$M_{\text{с.пр}} = \frac{P_c}{\omega_n}, \quad (25)$$

который будет постоянным.

Механическую характеристику подъемного механизма $\omega = f_2(M_{\text{с.пр}})$ необходимо построить на том же графике, что и механическую характеристику электродвигателя $\omega = f_1(M_{\text{дв}})$ (рис. 5).

Приведенный к валу электродвигателя момент инерции $J_{\text{пр}}$ системы «двигатель – подъемный механизм» определяют по выражению

$$J_{\text{пр}} = \kappa J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{б}}}{i^2} + \frac{mV^2}{\omega_n^2} \quad (26)$$

где κ – коэффициент, учитывающий момент инерции механической передачи ($\kappa = 1,2$);

$J_{\text{б}}$ – момент инерции барабана подъемного механизма кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции ротора электродвигателя, кг·м²;

$i = \frac{\omega_n}{\omega_{\text{сн}}}$ – передаточное отношение редуктора;

$\omega_{\text{сн}} = \frac{2V}{d}$ – номинальная скорость барабана подъемного механизма, с⁻¹;

V – скорость подъема груза, м/с;

d – диаметр барабана, м;

m – масса груза, кг;

Используя построенные механические характеристики электродвигателя $\omega = f_1(M_{\text{дв}})$ и подъемного механизма $\omega = f_2(M_{\text{с.пр}})$, строят кривую динамического момента на основе соотношения $M_{\text{дв}} - M_{\text{с.пр}} = M_{\text{дин}}$. Затем кривую динамического момента заменяют ступенчатой линией с участками по скорости $\Delta\omega_i$, на которых динамический момент постоянен и равен его средней величине $M_{\text{дин}i}$ (рис. 5).

Тогда время пуска на каждом участке:

$$\Delta t_i = J_{\text{пр}} \frac{\Delta\omega_i}{M_{\text{дин}i}}, \quad (27)$$

где $\Delta\omega = \omega_{i+1} - \omega_i$ – интервал скорости на i -м участке, с⁻¹.

Полное время пуска

$$t_n = \sum_{i=1}^N \Delta t_i \quad (28)$$

где N – количество участков.

Результаты расчета необходимо свести в таблицу. Зависимость $M_{\text{дв}} = \psi(t)$ строится на основе графиков $\omega = \varphi(t)$ и $\omega = f_1(M_{\text{дв}})$.

2.4. Допустимое число включений в час для электродвигателя подъемного механизма, выбранного в п. 2.2, рассчитывается по формуле

$$h_{\text{доп}} = 3600 \frac{\Delta P_n \beta (1 - \varepsilon_\phi) + (\Delta P_n - \Delta P_\phi)}{\Delta A_n} \quad (29)$$

где ΔP_n – номинальные потери мощности, Вт;

ΔP_ϕ – фактические потери мощности (при нагрузке P_c), Вт;

β – коэффициент ухудшения охлаждения;
 ΔA_n – потери энергии в двигателе при пуске, Дж.
 Номинальные потери мощности

$$\Delta P_n = P_n \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \quad (30)$$

где η_n – номинальный КПД электродвигателя.

Фактические потери мощности при нагрузке P_c

$$\Delta P_\phi = \Delta P_c + \Delta P_V \left(\frac{P_c}{P_n} \right)^2, \quad (31)$$

где ΔP_c – постоянные потери мощности в электродвигателе, Вт;
 ΔP_V – переменные потери мощности в электродвигателе, Вт.

Постоянные и переменные потери могут быть найдены путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \Delta P_n = \Delta P_c + \Delta P_V; \\ \frac{\Delta P_c}{\Delta P_V} = \alpha, \end{cases} \quad (32)$$

где $\alpha = 0,5 \dots 0,7$ – коэффициент потерь.

Потери энергии при пуске

$$\Delta A_n = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \left[\frac{J_{np} \omega_0^2}{2} + M_c \left(\omega_0 t_n - \int_0^{t_n} \omega dt \right) \right]. \quad (33)$$

Интеграл $\int_0^{t_n} \omega dt$ можно приближенно вычислить графически, имея зависимость $\omega = \varphi(t)$ (рис. 5), который равен заштрихованной площади, то есть

$$F_n = \int_0^{t_n} \omega dt \quad (34)$$

Тогда потери энергии при пуске

$$\Delta A_n = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \left[\frac{J_{np} \omega_0^2}{2} + M_c (\omega_0 t_n - F_n) \right]. \quad (35)$$

Часть 3

3.1. Для полного использования электродвигателя по нагреву при работе в кратковременном режиме его следует перегружать, то есть выбирать, исходя из условия

$$P_n < P_c \quad (36)$$

Для количественной оценки перегрузки используются коэффициенты термической p_T и механической p_M перегрузок:

$$p_T = - \frac{1}{1 - \exp\left(-\frac{t_p}{T_n}\right)}; \quad (37)$$

$$p_M = \sqrt{p_T(\alpha + 1) - \alpha}, \quad (38)$$

где t_p – время работы, мин;

T_n – постоянная времени нагрева, мин;

$\alpha = (0,54 \dots 0,7)$ – коэффициент потерь.

Постоянная времени нагрева определяется по выражению:

$$T_n = \frac{C}{2A}, \quad (39)$$

где $C = c_0 m_{\text{дв}}$ – теплоемкость двигателя, Дж/°С;

c_0 – удельная теплоемкость стали, Дж/кг·°С;

$m_{\text{дв}}$ – масса электродвигателя, кг;

$A = \frac{\Delta P_n}{\tau_{\text{дон}}}$ – теплоотдача двигателя, Дж/с·°С;

ΔP_n – номинальные потери мощности в двигателе, Вт;

$\tau_{\text{дон}}$ – допустимое значение превышения температуры, соответствующее классу нагревостойкости изоляции (для класса изоляции В: $\tau_{\text{дон}} = 85$ °С; для класса изоляции F: $\tau_{\text{дон}} = 110$ °С; для класса изоляции H: $\tau_{\text{дон}} = 135$ °С).

Полное использование электродвигателей по нагреву ограничивается допустимой перегрузочной способностью, которая для асинхронных двигателей характеризуется кратностью критического момента μ_k . Поэтому при $\mu_k < p_M$ двигатель по нагреву будет недоиспользован и определяющим является кратность критического момента.

По известным для выбранного двигателя номинальной мощности P_n и коэффициенту механической перегрузки p_M определяют мощность P_k , которую может развивать данный двигатель, не перегреваясь, в течение времени t_p при кратковременном режиме работы:

$$P_k = p_M P_n. \quad (40)$$

При этом должно выполняться условие

$$P_k \geq P_c. \quad (41)$$

Кроме проверки по условию нагрева, двигатель проверяется по условию надежного пуска (6).

3.2. Превышение температуры двигателя в конце цикла работы может быть определено из уравнения кривой нагрева:

$$\tau_{t_p} = \tau_{\text{уст.ф}} \left[1 - \exp\left(-\frac{t_p}{T_n}\right) \right] \quad (42)$$

где $\tau_{\text{уст.ф}} = \tau_{\text{дон}} \frac{\Delta P_\phi}{\Delta P_n}$ – установившееся значение превышения температуры электродвигателя при нагрузке P_c , °С;

ΔP_ϕ – потери мощности при нагрузке P_c , кВт;

ΔP_n – номинальные потери мощности, кВт.

Часть 4

4.1. Для определения параметров двигателя (R_1 , R'_3 , X_1 , X'_2 , I'_n) достаточно воспользоваться упрощенной Г-образной схемой замещения.

Активное сопротивление статора R_1 может быть определено из выражения для переменных потерь мощности в двигателе:

$$\Delta P_V = 3I_m^2 R_1 + M_n (\omega_0 - \omega_n) \quad (43)$$

Переменные потери мощности ΔP_V определяются путем решения системы

уравнений (32).

Сумму реактивных сопротивлений статора и ротора ($X_k = X_1 + X'_2$) можно определить из выражения для критического момента двигателя:

$$M_k = \frac{3U_{\phi n}^2}{2\omega_0(R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2})}, \quad (44)$$

где $U_{\phi n}$ – номинальное фазное напряжение сети, В.

Активное сопротивление ротора R'_2 двигателя может быть определено следующим образом. Потери мощности в роторе в номинальном режиме с одной стороны определяются так:

$$\Delta P_{2n} = M_n(\omega_0 - \omega_n), \quad (45)$$

с другой стороны,

$$\Delta P_{2n} = 3(I'_{2n})^2 R'_2. \quad (46)$$

Тогда номинальный ток ротора

$$I'_{2n} = \sqrt{\frac{M_n(\omega_0 - \omega_n)}{3R'_2}} \quad (47)$$

Номинальный ток ротора можно определить также из упрощенной Г-образной схемы замещения:

$$I'_{2n} = \frac{U_{\phi n}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{S_n}\right) + X_k^2}} \quad (48)$$

Приравняв правые части выражений (47) и (48), получим:

$$\frac{M_n(\omega_0 - \omega_n)}{3R'_2} = \frac{U_{\phi n}^2}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{S_n}\right) + X_k^2} \quad (49)$$

Сопротивление R'_2 определяется из выражения (49) после необходимых преобразований.

4.2. С целью построения механических характеристик при частотном регулировании для каждого значения частоты достаточно определить синхронную угловую скорость ω_{0f} , критическое скольжение S_{kf} и соответствующую ему скорость ω_{kf} , критический момент M_{kf} , используя следующие выражения:

$$\omega_{0f} = \omega_0 \frac{f}{50}; \quad (50)$$

$$S_{kf} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_k \frac{f}{50}\right)^2}}; \quad (51)$$

$$\omega_{kf} = \omega_{0f}(1 - S_{kf}); \quad (52)$$

$$M_{kf} = \frac{3\left(U_{\phi n} \frac{f}{50}\right)^2}{2\omega_{0f} \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + \left(X_k \frac{f}{50}\right)^2} \right]}. \quad (53)$$

Задания к курсовой работе

№ варианта	Тип схемы	m, кг	V, м/с	d, м	J _б , кг·м ²	η _n	ПВ, %
1	2	3	4	5	6	7	8
01	В функции времени	1900	1,1	0,4	15	0,9	29
02		2000	1,1	0,4	20	0,85	44
03		2100	1,1	0,55	22	0,9	48
04		2200	1,1	0,55	24	0,85	52
05		2300	1,0	0,5	21	0,9	56
06	В функции тока	2400	1,0	0,5	23	0,85	34
07		2500	1,0	0,5	20	0,9	36
08		2600	0,9	0,45	20	0,85	20
09		2700	0,9	0,55	18	0,9	10
10		2800	0,8	0,5	18	0,85	30
11	В функции скорости	2900	0,7	0,4	16	0,9	50
12		3000	0,6	0,45	17	0,85	35
13		3100	0,6	0,55	22	0,9	35
14		3200	0,6	0,5	20	0,85	55
15		3300	0,6	0,55	22	0,9	13
16	В функции времени	3400	0,5	0,55	20	0,85	19
17		3500	0,5	0,6	22	0,9	29
18		3600	0,5	0,6	22	0,85	35
19		3700	0,4	0,6	24	0,9	12
20		3800	0,4	0,6	24	0,85	20
21	В функции скорости	500	1,5	0,4	17	0,9	12
22		700	1,5	0,5	20	0,8	20
23		900	1,5	0,4	17	0,85	30
24		1000	1,2	0,35	10	0,9	12
25		800	1,2	0,4	17	0,8	20
26	В функции времени	1200	1,2	0,35	10	0,85	30
27		1500	1,0	0,35	8	0,8	12
28		1700	1,0	0,35	10	0,85	20
29		1900	1,0	0,35	8	0,9	30
30		2000	0,8	0,4	10	0,8	12
31	В функции тока	2700	0,8	0,35	8	0,85	20
32		3000	0,8	0,35	10	0,9	30
33		2500	0,6	0,5	20	0,85	12
34		3300	0,6	0,4	8	0,9	20
35		3700	0,7	0,5	20	0,85	30

1	2	3	4	5	6	7	8
36	В функции скорости	3500	0,6	0,45	11	0,9	35
37		3100	0,7	0,5	12	0,8	45
38		1800	0,7	0,4	13	0,85	50
39		3200	0,9	0,35	14	0,9	55
40		2600	0,9	0,45	15	0,85	20
41	В функции времени	2100	0,9	0,5	16	0,8	20
42		2300	1,3	0,55	18	0,85	15
43		1400	1,3	0,45	19	0,9	18
44		1100	1,3	0,5	20	0,85	20
45		600	1,4	0,35	6	0,8	35
46	В функции тока	1500	1,4	0,4	7	0,85	28
47		1600	1,4	0,5	10	0,9	37
48		1700	1,1	0,55	8	0,85	46
49		2000	1,1	0,35	15	0,8	50
50		850	1,1	0,4	12	0,9	55
51	В функции скорости	800	1,6	0,35	6	0,8	12
52		900	1,6	0,4	7	0,85	15
53		1000	1,6	0,45	8	0,9	20
54		1100	0,7	0,5	15	0,85	29
55		1200	0,7	0,55	14	0,8	32
56	В функции времени	1300	0,7	0,35	13	0,85	35
57		1400	0,8	0,4	12	0,9	45
58		1500	0,8	0,45	10	0,85	50
59		850	0,8	0,5	11	0,8	48
60		950	0,9	0,55	9	0,85	30
61	В функции тока	1700	0,9	0,4	17	0,9	50
62		1600	0,9	0,45	20	0,85	34
63		1900	1,0	0,35	18	0,8	12
64		1800	1,0	0,5	21	0,85	35
65		2000	1,0	0,55	19	0,9	20
66	В функции скорости	2700	1,1	0,45	10	0,85	12
67		2500	1,1	0,55	11	0,8	17
68		2000	1,1	0,5	12	0,85	20
69		2100	1,2	0,45	17	0,9	28
70		2300	1,2	0,5	20	0,85	30
71	В функции времени	3000	1,2	0,55	17	0,8	35
72		1400	1,3	0,35	15	0,85	45
73		1500	1,3	0,4	13	0,9	49
74		1600	1,3	0,45	8	0,85	53
75		800	1,4	0,35	8	0,8	50

1	2	3	4	5	6	7	8
76	В функции тока	900	1,4	0,45	10	0,85	14
77		1000	1,4	0,4	12	0,9	17
78		1100	1,5	0,35	14	0,85	20
79		1200	1,5	0,45	16	0,8	28
80		1300	1,5	0,5	18	0,85	33
81	В функции скорости	1400	1,5	0,4	12	0,9	35
82		1500	1,4	0,35	15	0,85	45
83		1600	1,4	0,4	20	0,8	50
84		1700	1,4	0,45	22	0,85	20
85		1800	1,3	0,3	15	0,9	10
86	В функции времени	1900	1,3	0,35	14	0,85	32
87		2000	1,2	0,4	19	0,8	48
88		2200	1,2	0,45	24	0,85	22
89		2400	1,1	0,4	13	0,9	18
90		2600	1,1	0,35	21	0,85	45
91	В функции тока	2800	1,0	0,5	18	0,8	55
92		3000	1,0	0,55	20	0,85	50
93		600	1,6	0,3	6	0,9	20
94		700	1,6	0,35	7	0,85	30
95		800	1,6	0,4	8	0,8	35
96	В функции скорости	900	1,5	0,4	9	0,85	12
97		2000	1,2	0,5	15	0,9	18
98		1500	1,3	0,45	12	0,85	50
99		1700	1,2	0,4	14	0,8	20
100		2300	1,1	0,5	17	0,85	12
101	В функции времени	1500	1,3	0,4	15	0,9	11
102		1700	1,2	0,45	10	0,85	37
103		2500	1,1	0,35	20	0,8	28
104		2900	0,9	0,4	22	0,85	55
105		750	1,5	0,35	10	0,9	45
106	В функции тока	850	1,5	0,3	12	0,85	35
107		1400	1,0	0,35	16	0,8	20
108		3000	0,8	0,55	24	0,85	10
109		700	1,3	0,45	18	0,9	13
110		800	1,5	0,4	16	0,85	18
111	В функции скорости	900	1,4	0,35	14	0,8	30
112		1000	1,3	0,4	12	0,85	20
113		1100	1,4	0,45	18	0,9	28
114		1200	1,4	0,5	20	0,85	32
115		1300	1,3	0,55	22	0,8	38
116	В функции времени	1400	1,5	0,5	25	0,85	45
117		1500	1,5	0,55	19	0,9	50

Приложение 2

Технические данные электродвигателей серии 4А основного исполнения

Тип	P _н , кВт	I _н , А	n _н , об/мин	cosφ _н	η _н	κ _i	μ _н	μ _{min}	μ _κ	J _{дв} , кг·м ²	m, кг
4А80А2	1,5	3,3	2790	0,85	0,81	6,5	2,1	1,4	2,6	0,0018	17,5
4А80В2	2,2	4,6	2790	0,87	0,83	6,5	2,1	1,4	2,6	0,0021	20
4А90L2	3,0	6,1	2820	0,88	0,845	6,5	2,1	1,6	2,5	0,0035	26
4А100S2	4,0	7,9	2880	0,89	0,865	7,5	2,0	1,6	2,5	0,0059	34,5
4А100L2	5,5	10,0	2880	0,91	0,875	7,5	2,0	1,6	2,5	0,0075	41
4А112М2	7,5	14,8	2895	0,88	0,875	7,5	2,0	1,8	2,8	0,01	56
4А132М2	11,0	21,2	2895	0,90	0,88	7,5	1,7	1,5	2,8	0,023	93
4А160S2	15,0	28,5	2850	0,91	0,88	7,0	1,4	1,0	2,2	0,048	130
4А160М2	18,5	34,6	2850	0,92	0,885	7,0	1,4	1,0	2,2	0,053	165
4А180S2	22,0	41,7	2940	0,91	0,885	7,5	1,4	1,1	2,5	0,07	165
4А180М2	30,0	55,0	2940	0,92	0,90	7,5	1,4	1,1	2,5	0,085	185
4А200М2	37,0	70,0	2950	0,89	0,90	7,5	1,4	1,0	2,5	0,15	255
4А80В4	1,5	3,5	1400	0,83	0,77	5,0	2,0	1,6	2,2	0,0033	20,4
4А90L4	2,2	5,0	1420	0,83	0,80	6,0	2,1	1,6	2,4	0,0056	28,7
4А100S4	3,0	6,7	1435	0,83	0,82	6,0	2,0	1,6	2,4	0,0087	36
4А100L4	4,0	8,6	1430	0,84	0,84	6,0	2,1	1,6	2,4	0,011	42
4А112М4	5,5	11,5	1445	0,85	0,855	7,0	2,0	1,6	2,2	0,0175	56
4А132S4	7,5	15,1	1455	0,86	0,875	7,5	2,2	1,7	3,0	0,0275	77
4А132М4	11,0	22,0	1460	0,87	0,875	7,5	2,2	1,7	3,0	0,04	93
4А160S4	15,0	29,3	1465	0,88	0,885	7,0	1,4	1,0	2,3	0,10	135
4А160М4	18,5	35,7	1465	0,88	0,895	7,0	1,4	1,0	2,3	0,13	160
4А180S4	22,0	41,3	1470	0,90	0,90	6,5	1,4	1,0	2,3	0,19	175
4А180М4	30,0	56,0	1470	0,89	0,91	6,5	1,4	1,0	2,3	0,23	195
4А200М4	37,0	68,0	1475	0,90	0,91	7,0	1,4	1,0	2,5	0,37	270

Технические данные электродвигателей серии АИР основного исполнения

Тип	P _н , кВт	I _н , А	n _н , об/мин	cosφ _н	η _н	κ _i	μ _н	μ _{min}	μ _κ	J _{дв} , кг·м ²	m, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
АИР80А2	1,5	3,3	2850	0,85	0,81	7,0	2,1	1,6	2,2	0,0018	9,8
АИР80В2	2,2	4,6	2850	0,87	0,83	7,0	2,0	1,6	2,2	0,0021	13,2
АИР90L2	3,0	6,1	2850	0,88	0,845	7,0	2,0	1,6	2,2	0,0035	16,7
АИР100S2	4,0	8,0	2850	0,88	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2	0,0059	21,6
АИР100L2	5,5	10,7	2850	0,89	0,88	7,5	2,0	1,6	2,2	0,0075	27,4
АИР112М2	7,5	14,8	2895	0,88	0,875	7,5	2,0	1,6	2,2	0,01	41
АИР132М2	11,0	21,0	2910	0,9	0,88	7,5	1,6	1,2	2,2	0,023	64

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
АИР160S2	15,0	29,0	2910	0,89	0,90	7,0	1,8	1,7	2,7	0,039	100
АИР80В4	1,5	3,5	1395	0,83	0,78	5,5	2,2	1,6	2,2	0,0033	12,1
АИР90L4	2,2	5,0	1395	0,83	0,81	6,5	2,1	1,6	2,2	0,0056	17
АИР100S4	3,0	6,7	1410	0,83	0,82	7,0	2,0	1,6	2,2	0,0087	21,6
АИР100L4	4,0	8,5	1410	0,84	0,85	7,0	2,0	1,6	2,2	0,011	27,3
АИР112М4	5,5	11,4	1430	0,86	0,855	7,0	2,0	1,6	2,5	0,017	41
АИР132S4	7,5	15,0	1440	0,86	0,875	7,5	2,0	1,6	2,5	0,028	53
АИР132М4	11,0	22,2	1445	0,86	0,875	7,5	2,0	1,6	2,7	0,040	70
АИР160S4	15,0	28,4	1455	0,89	0,90	7,0	1,9	1,8	2,9	0,078	100
АИР160М4	18,5	35,1	1455	0,89	0,905	7,0	1,9	1,8	2,9	0,1	110
АИР180S4	22,0	42,5	1460	0,87	0,905	7,0	1,7	1,5	2,4	0,15	170
АИР180М4	30,0	57,0	1470	0,87	0,92	7,0	1,7	1,5	2,7	0,19	190

Технические данные электродвигателей серии RA основного исполнения

Тип	P _н , кВт	I _н , А	n _н , об/мин	cosφ _н	η _н	κ _i	μ _н	μ _{min}	μ _κ	J _{дв} , кг·м ²	m, кг
RA90S2	1,5	3,0	2835	0,87	0,79	6,5	2,8	2,3	3,0	0,001	13
RA90L2	2,2	4,0	2820	0,87	0,82	6,5	2,9	2,4	3,4	0,0015	15
RA100L2	3,0	6,0	2895	0,86	0,83	7,0	2,4	2,0	2,6	0,0038	20
RA112М2	4,0	9,0	2895	0,87	0,84	6,8	2,2	1,9	3,3	0,0082	41
RA132SA2	5,5	11,0	2880	0,89	0,89	6,5	2,4	2,0	3,0	0,0155	43
RA132SB2	7,5	15,0	2890	0,89	0,89	7,0	2,5	2,1	3,2	0,0185	49
RA160MA2	11,0	22,0	2940	0,89	0,875	6,8	2,0	1,8	3,3	0,0438	112
RA160MB2	15,0	29,0	2940	0,86	0,90	7,5	2,0	1,8	3,2	0,047	116
RA160L2	18,5	35,0	2940	0,88	0,90	7,5	2,0	1,8	3,2	0,0533	133
RA180М2	22,0	42,0	2940	0,89	0,905	7,5	2,1	1,8	3,5	0,0604	147
RA200LA2	30,0	55,0	2950	0,89	0,92	7,5	2,4	2,0	3,0	0,1164	170
RA200LB2	37,0	68,0	2950	0,89	0,92	7,5	2,4	2,0	3,0	0,1326	230
RA90L4	1,5	4,0	1420	0,80	0,785	5,5	2,3	1,9	2,8	0,0042	15,5
RA100LA4	2,2	5,0	1420	0,82	0,79	6,0	2,2	1,8	2,6	0,0048	22
RA100LB4	3,0	7,0	1420	0,81	0,81	6,2	2,2	1,9	2,6	0,0058	24
RA112М4	4,0	9,0	1430	0,84	0,855	6,5	2,2	1,9	2,9	0,0103	37
RA132S4	5,5	11,0	1450	0,85	0,85	7,0	2,4	2,0	3,0	0,0229	45
RA132М4	7,5	15,0	1455	0,83	0,83	7,0	2,8	2,3	3,2	0,0277	52
RA160MA4	11,0	22,0	1460	0,86	0,885	6,5	1,8	1,6	2,8	0,0613	110
RA160ML4	15,0	29,0	1460	0,87	0,90	7,0	1,9	1,6	2,9	0,0862	129
RA180М4	18,5	35,0	1460	0,89	0,905	7,0	1,9	1,6	2,9	0,1038	149
RA180L4	22,0	42,0	1460	0,88	0,91	7,0	2,1	1,6	2,9	0,1131	157
RA200L4	30,0	59,0	1475	0,86	0,91	7,7	2,7	2,2	3,2	0,32	200

Технические данные электродвигателей серии 4А с повышенным пусковым моментом

Тип	P _н , кВт	I _н , А	n _н , об/мин	cosφ _н	η _н	κ _i	μ _н	μ _{min}	μ _κ	J _{дв} , кг·м ²	m, кг
4AP160S4	15,0	29,9	1470	0,87	0,875	7,5	2,0	1,6	2,2	0,1	160
4AP160M4	18,5	36,4	1475	0,87	0,885	7,5	2,0	1,6	2,2	0,13	160
4AP180S4	22,0	42,6	1475	0,87	0,90	7,5	2,0	1,6	2,2	0,19	175
4AP180M4	30,0	58,1	1475	0,87	0,90	7,5	2,0	1,6	2,2	0,23	195
4AP200M4	37,0	70,0	1480	0,88	0,91	7,5	2,0	1,6	2,2	0,37	270
4AP160S6	11,0	23,5	980	0,83	0,855	7,0	2,0	1,6	2,2	0,14	135
4AP160M6	15,0	31,3	980	0,83	0,875	7,0	2,0	1,6	2,2	0,18	160
4AP180M6	18,5	40,3	980	0,80	0,87	6,0	2,0	1,6	2,2	0,22	195
4AP200M6	22,0	43,3	985	0,85	0,905	6,5	2,0	1,6	2,2	0,40	270
4AP200L6	30,0	58,4	990	0,86	0,905	6,5	2,0	1,6	2,2	0,45	310
4AP225M6	37,0	73,7	990	0,84	0,905	7,0	2,0	1,6	2,2	0,74	355
4AP160S8	7,5	17,6	730	0,75	0,86	6,0	1,8	1,5	2,0	0,14	135
4AP160M8	11,0	25,5	735	0,75	0,87	6,0	1,8	1,5	2,0	0,18	160
4AP180M8	15,0	34,1	730	0,77	0,865	5,5	1,8	1,5	2,0	0,25	195
4AP200M8	18,5	40,8	730	0,78	0,88	5,5	1,8	1,5	2,0	0,40	270
4AP200L8	22,0	47,1	730	0,80	0,885	5,5	1,8	1,5	2,0	0,45	310
4AP225M8	30,0	63,1	735	0,80	0,90	5,5	1,8	1,5	2,0	0,74	355
4AP250S8	37,0	86,5	740	0,72	0,90	5,5	1,8	1,5	2,0	1,16	490

Технические данные электродвигателей серии 4А с фазным ротором

Тип	P _н , кВт	I _н , А	n _н , об/мин	η _н	cosφ _н	μ _κ	Данные ротора	
							I _{2н} , А	E _{2кз} , В
4AK160S4	11,0	22,4	1435	0,865	0,86	3,0	22	305
4AK160M4	14,0	27,5	1445	0,885	0,87	3,5	29	300
4AK180M4	18,5	35,8	1455	0,89	0,88	4,0	38	295
4AK200M4	22,0	42,6	1465	0,9	0,87	4,0	45	340
4AK200L4	30,0	57,7	1465	0,905	0,87	4,0	55	350
4AK225M4	37,0	71,6	1450	0,9	0,87	3,0	160	160
4AK160S6	7,5	18,0	950	0,825	0,77	3,5	18	300
4AK160M6	10,0	24,0	960	0,845	0,76	3,8	20	310
4AK180M6	13,0	29,0	955	0,855	0,80	4,0	25	325
4AK200M6	18,5	39,5	965	0,88	0,81	3,5	35	360
4AK200L6	22,0	47,5	965	0,88	0,80	3,5	45	330
4AK225M6	30,0	60,0	965	0,89	0,85	2,5	150	140
4AK250S6	37,0	75,0	965	0,89	0,84	2,5	165	150

Технические данные электродвигателей серии 4А с повышенным скольжением

Тип	P _н , кВт при ПВ = 40 %	n _н , об/мин	I _н , А	η _н	cosφ _н	κ _i	μ _н	μ _{min}	μ _κ	Наибольшая допустимая мощность (кВт) при ПВ, %			J _{дв} , кг·м ²	m, кг
										15	25	60		
4AC90L4	2,4	1360	5,9	0,76	0,82	6,0	2,0	1,6	2,2	3,1	2,4	2,2	0,0055	28,7
4AC100S4	3,2	1395	7,8	0,77	0,82	6,0	2,0	1,6	2,2	4,0	3,7	2,8	0,0088	36
4AC100L4	4,25	1395	10,1	0,78	0,82	6,0	2,0	1,6	2,2	5,5	5,0	3,8	0,011	42
4AC112M4	5,6	1395	13,0	0,79	0,83	7,0	2,0	1,6	2,2	8,0	6,7	5,0	0,017	56
4AC132S4	8,5	1395	18,4	0,83	0,85	7,0	2,0	1,6	2,2	11,8	9,5	7,5	0,028	77
4AC132M4	11,8	1410	25,0	0,84	0,85	7,0	2,0	1,6	2,2	16,0	14,0	10,0	0,04	93
4AC160S4	17,0	1425	33,3	0,85	0,86	7,0	2,0	1,6	2,2	22,0	19,0	15,0	0,1	135
4AC160M4	20,0	1430	37,6	0,87	0,87	7,0	2,0	1,6	2,2	25,0	23,0	18,5	0,13	160
4AC180S4	21,0	1420	40,3	0,86	0,82	7,0	2,0	1,6	2,2	26,5	24,0	20,0	0,19	175
4AC180M4	26,5	1440	50,0	0,89	0,91	7,0	2,0	1,6	2,2	32,0	30,0	25,0	0,23	195
4AC200M4	31,5	1410	59,4	0,88	0,92	7,0	2,0	1,6	2,2	42,0	35,0	28,0	0,38	270
4AC200L4	40,0	1410	73,5	0,89	0,93	7,0	2,0	1,6	2,2	50,0	47,5	37,5	0,445	310
4AC80B2	2,5	2870	5,7	0,76	0,87	6,5	2,0	1,6	2,2	3,2	2,7	2,2	0,0021	20,4
4AC90L2	3,5	2870	7,7	0,80	0,86	6,5	2,0	1,6	2,2	4,6	4,0	3,2	0,0035	28,7
4AC100S2	4,8	2890	10,3	0,82	0,86	7,5	2,0	1,6	2,2	6,0	5,0	4,2	0,0059	36
4AC100L2	6,3	2910	13,5	0,82	0,86	7,5	2,0	1,6	2,2	8,4	7,0	5,8	0,0075	42
4AC112M2	8,0	2890	17,2	0,84	0,84	7,5	2,0	1,6	2,4	11,0	9,5	7,1	0,01	56
4AC132M2	11,0	2860	22,3	0,84	0,89	7,5	2,0	1,6	2,4	17,0	14,0	11,0	0,023	93

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	стр.
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ...	
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	
СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ.....	
Раздел 1. Основы теории электропривода.....	
Раздел 2. Системы автоматического управления электроприводами.....	
Раздел 3. Электропривод в сельскохозяйственном производстве.....	
ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ	
КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	

*Методические рекомендации по изучению
дисциплины и выполнению курсовой работы*

**КАБДИН
Николай Егорович**

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

План 2002 г., п. 127
Подписано к печати 15.12.02
Формат 60 x 84/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 2,5.
Тираж 300 экз.
Заказ № 2
Цена 25 р.
Московский государственный
агроинженерный университет
им. В.П. Горячкина

Отпечатано в лаборатории
оперативной полиграфии
Московского государственного
агроинженерного университета
им. В.П. Горячкина
127550, Москва, Тимирязевская, 58