

Федеральное агентство по образованию
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой АПП и Э

_____ А.Н. Рыбалев

«_____» _____ 2007 г.

Электромеханотроника
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
для специальности
220301– Автоматизация технологических процессов и производств
(по отраслям),
специализации Автоматизация технологических процессов тепловых
электрических станций

Составитель: А.Н. Рыбалев, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники АмГУ

Благовещенск

2007 г.

Учебно-методический комплекс дисциплины включает в себя следующие документы:

- 1. Рабочая программа дисциплины***
- 2. План-конспект лекций***
- 3. Методические указания к выполнению практических работ***
- 4. Методические указания к выполнению расчетно-графической работы***
- 5. Вопросы для тестирования***

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Е.С. Астапова
личная подпись, И.О.Ф

«__» _____ 200__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине «Электромеханотроника»

для специальности 22.03.01 «Автоматизация технологических процессов и производств», специализации «Автоматизация технологических процессов тепловых электрических станций»

Курс 4 _____

Семестр 7

Лекции 32 _____ (час.)

Экзамен 7

Практические (семинарские) занятия 16 _____ (час.) Зачет _____ (семестр)

Лабораторные занятия _____ (час.)

Самостоятельная работа 42 _____ (час.)

Всего часов 90

Составитель А.Н. Рыбалев, доцент кафедры автоматизации _____ про-
изводственных процессов и электротехники
(И.О.Ф., должность, ученое звание)

Факультет Энергетический

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта ВПО 657900 «Автоматизированные технологии и производства» и учебного плана специальности 22.03.01 «Автоматизация технологических процессов и производств»: блок общепрофессиональных дисциплин, дисциплины по выбору студентов ОПД.В 02 «Электромеханотроника»

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники

«__» _____ 200__ г., протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ А.Н. Рыбалев

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

«__» _____ 200__ г., протокол № _____

Председатель _____ А.Н. Рыбалев

СОГЛАСОВАНО

Начальник УМУ

_____ Г.Н. Горопчина

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель УМС факультета

_____ Ю.В. Мясоедов

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей кафедрой

_____ А.Н. Рыбалев

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Предметом изучения данной дисциплины являются электромеханические системы комплексной автоматизации промышленных установок и технологических процессов.

Основная цель изучения дисциплины заключается в овладении знаниями основ автоматизированного электропривода, его свойств, характеристик современных направлений развития вопросов энергетики электропривода.

Задача изучения данной дисциплины – овладение конкретными методами расчета параметров цепей электропривода, выбора схем и устройств управления.

Дисциплина базируется на курсах: «Прикладная механика», «Электрические машины», «Электротехника», «Теория автоматического управления», «Электрические аппараты», «Электрические измерения».

Знания и умения, приобретенные студентами при изучении дисциплины, используется в специальных курсах, в частности «Автоматизация технологических процессов и производств», «Проектирование систем автоматизации» и др.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС (32 час.)

1.1. Общая характеристика и принцип построения автоматизированных электромеханических систем - 2 час.

Понятие автоматического электропривода: примеры, краткий исторический очерк развития. Характеристика электропривода, как основного средства электрофикации и автоматизации производственных процессов и как основной нагрузки в системах электроснабжения. Классификация электроприводов.

Функции электропривода: понятие о регулировании его координат. Режим работы электропривода. Общие положения по регулированию тока, момента, скорости электропривода.

1.2. Основы механики электропривода – 2 час.

Структура механической части электропривода. Уравнение движения элементов механической части. Приведение моментов и сил сопротивления, а также масс и моментов инерции к одному элементу. Электромеханические системы с упругими связями. Двух- и трехмассовые системы. Уравнения движения.

1.3. Электроприводы постоянного тока – 6 час.

Механические и электромеханические характеристики двигателей постоянного тока независимого, последовательного и смешанного возбуждения. Режимы работы двигателей.

Нерегулируемый привод постоянного тока. Пуск и электрическое торможение двигателей постоянного тока. Ограничение тока в пуско-тормозных режимах. Типовые узлы релейно-контакторных схем управления.

Регулирование скорости двигателей постоянного тока. Способы регулирования. Технические и энергетические показатели способов регулирования. Система тиристорный преобразователь – двигатель: основные характеристики.

1.4. Асинхронные электроприводы – 8 час.

Естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики асинхронных двигателей. Формула Клосса. Режимы работы асинхронных двигателей.

Нерегулируемый привод переменного тока. Пуск и электрическое торможение асинхронных двигателей. Ограничение тока в пуско-тормозных режимах. Повышение пускового момента двигателей с фазным ротором. Типовые узлы релейно-контакторных схем управления пуском и торможением.

Регулирование скорости асинхронных двигателей. Способы регулирования. Технические и энергетические показатели способов регулирования. Система преобразователь частоты – асинхронный двигатель: основные характеристики. Типы преобразователей частоты.

Переходные процессы в электроприводах переменного тока. Обобщенная теория динамики машин переменного тока.

1.5. Синхронный электропривод – 4 часа.

Механическая и угловая характеристики синхронного двигателя. Пуск, торможение, регулирование скорости СД. Преобразователи частоты для синхронных двигателей. Вентильный электропривод. Компенсация реактивной мощности в синхронном электроприводе.

1.6. Потери энергии в электроприводе и способы их снижения. – 4 часа.

Постоянные и переменные потери энергии в электродвигателях. Потери энергии в двигательном режиме, их зависимость от нагрузки привода. Потери энергии в пуско-тормозных режимах, способы снижения. Пути энергосбережения в электроприводе. Энергетическая эффективность регулируемого электропривода.

1.7. Тепловые режимы и выбор мощности электродвигателей – 6 час.

Критерии выбора мощности электродвигателя: по условиям нагрева, перегрузочной способности, условиям пуска. Нагрузочные диаграммы механизмов и электропривода. Простейшая одноступенчатая тепловая модель двигателя. Метод средних потерь. Основные режимы работы электропривода: длительный кратковременный, повторно-кратковременный. Методы проверки мощности вы-

бранного электродвигателя по нагреву для двигательного режима с переменной нагрузкой (метод эквивалентных величин). Выбор мощности двигателя при повторно-кратковременных режимах работы. Понятие о допустимой частоте включения двигателя.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (16 час.)

1. Приведение статических моментов, сил и масс. – 4 часа.
2. Расчет и построение характеристик и кривых переходных режимов двигателя постоянного тока независимого возбуждения. – 2 часа.
3. Расчет и построение характеристик и кривых переходных режимов двигателя постоянного тока последовательного возбуждения. – 2 часа.
4. Расчет и построение характеристик и кривых переходных режимов асинхронного двигателя. – 4 часа.
5. Расчет мощности, выбор электродвигателей и проверка их по нагреву. – 4 часа.

3. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА (42 час.)

Самостоятельная работа студентов состоит в изучении ряда теоретических вопросов (22 часа) и выполнении расчетно-графической работы (20 часов).

3.1. Теоретические вопросы:

3.1.1. Основы релейно-контактного управления – 6 час.

Пуск, торможение, реверс и регулирование частоты вращения в разомкнутых системах автоматического управления. Пуск электропривода в функции времени, ЭДС, тока. Основные правила чтения схем релейно-контакторного управления. Защита, сигнализация, блокировки – основные проектные решения. Типовые релейно-контакторные схемы управления электроприводами.

3.1.2. Электроприводы со специальными свойствами и характеристиками – 6 час.

Применение в электроприводах двигателей с расширенными регулируемыми свойствами. Электропривод с линейными двигателями. Электропривод с двигателями повышенного быстродействия. Следящий электропривод.

Электропривод с программным управлением. Электропривод с адаптивным управлением.

3.1.3. Элементы теории автоматического управления электромеханическими системами – 10 час.

Принципы работы замкнутых систем автоматического регулирования. Понятие динамического звена. Математическое описание типовых динамических звеньев в автоматизированном электроприводе. Метод передаточных функций и его роль в анализе замкнутых систем электропривода. Виды и назначение обратных связей.

Аналитическое и экспериментальное определение передаточных функций отдельных динамических звеньев. Инженерные методы анализа замкнутых систем регулирования.

Переходные процессы в электроприводах постоянного тока. Механические и электромеханические переходные процессы и их влияние на работу привода. Расчет переходных процессов.

3.2. Тема расчетно-графической работы:

«Расчет системы автоматического регулирования скорости асинхронного электропривода в системе с тиристорным регулятором напряжения»

В качестве исходных данных выступают каталожные данные асинхронного двигателя и параметры его схемы замещения.

Этапы работы:

3.2.1. Построение статических характеристик электропривода.

3.2.2. Составление полной динамической модели электропривода.

3.2.3. Линеаризация уравнений динамики электропривода и получение его передаточной функции.

3.2.4 Расчет регулятора.

3.2.5. Моделирование полученной системы.

Формы контроля самостоятельной работы:

– экзамен (теоретические вопросы);

– проверка РГР.

4. ПЕРЕЧЕНЬ И ТЕМЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ФОРМ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

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

4.1. Общая характеристика и принцип построения автоматизированных электромеханических систем. Основы механики электропривода. Электроприводы постоянного тока.

4.2. Асинхронные электроприводы. Синхронные электроприводы.

5. ЭКЗАМЕН

Вопросы к экзамену:

5.1. Структура и основные элементы автоматизированного электропривода.

5.2. Механика электропривода. Уравнения механики в электроприводах с жесткими и упругими связями. Механические характеристики двигателей и механизмов.

5.3. Характеристики и режимы работы ДПТ с НВ.

5.4. Регулирование скорости ДПТ с НВ.

5.5. Пуск и торможение ДПТ с НВ.

5.6. Характеристики и режимы работы ДПТ с ПВ и СВ.

5.7. Регулирование скорости, пуск и торможение ДПТ с ПВ и СВ.

5.8. Характеристики и режимы работы АД.

5.9. Пуск и торможение АД.

5.10. Регулирование скорости АД.

5.11. Механическая и угловая характеристики СД.

5.12. Пуск, торможение, регулирование скорости СД.

5.13. Компенсация реактивной мощности в синхронном электроприводе.

5.14. Динамика машин переменного тока. Этапы получения эквивалентной двухфазной модели.

5.15. Динамика машин переменного тока. Выбор координатных осей эквивалентной двухфазной модели.

5.16. Нагрев и охлаждение двигателей. Тепловая модель двигателя. Метод средних потерь.

5.17. Режимы работы двигателей по условиям нагрева. Выбор двигателя для продолжительного режима. Методы эквивалентных величин.

5.18. Режимы работы двигателей по условиям нагрева. Выбор двигателя для кратковременного режима работы.

5.19. Режимы работы двигателей по условиям нагрева. Выбор двигателя для повторно-кратковременного режима работы. Методы средних потерь и эквивалентных величин при переменной теплоотдаче.

5.20. Дополнительные режимы S4–S8. Допустимая частоты включений двигателя в режимах S4–S5.

5.21. Основные задачи автоматики управления в нерегулируемом приводе.

5.22. Типовая схема пуска электропривода постоянного тока независимого возбуждения в функции времени.

5.23. Типовая схема пуска электропривода постоянного тока независимого возбуждения в функции ЭДС.

5.24. Типовая схема пуска электропривода постоянного тока независимого возбуждения в функции тока.

5.25. Типовые узлы защиты, сигнализации, блокировки в схемах управления двигателями.

5.26. Типовая схема управления нереверсивным асинхронным электроприводом с динамическим торможением.

5.27. Типовая схема управления реверсивным асинхронным электроприводом с торможением противовключением.

5.28. Устройство и принципы работы электропривода с линейными двигателями.

5.29. Устройство и принципы работы электропривода с двигателями повышенного быстродействия.

5.30. Устройство и принципы работы следящего электропривода.

5.31. Устройство и принципы работы электропривода с программным управлением.

5.31. Устройство и принципы работы электропривода электропривода с адаптивным управлением.

5.32. Математическое описание типовых динамических звеньев в автоматизированном электроприводе.

5.33. Передаточные функции элементов электропривода постоянного тока.

5.34. Переходные процессы в электроприводах постоянного тока.

5.35. Математическое описание электродвигателей переменного тока.

5.35. Виды и назначение обратных связей в замкнутых системах управления электроприводом.

5.36. Методы анализа и синтеза замкнутых систем непрерывного регулирования электропривода.

5.37. Методы анализа и синтеза замкнутых релейных систем регулирования электропривода.

Для допуска к экзамену достаточными основаниями являются выполнение, сдача и проверка РГР и всех практических заданий. В порядке исключения к экзамену может также быть допущен студент, не выполнивший одно задание.

Экзамен предусматривает 2 теоретических вопроса. Студент, не сдавший одно практическое задание и допущенный к экзамену в порядке исключения, отвечает также дополнительные вопросы по теме этого задания. Для подготовки ответа студенту отводится 40 мин. Для получения удовлетворительной оценки достаточно показать знание основных понятий по теме вопросов. Оценка «хорошо» выставляется студенту, показавшему способность экономического, математического, технического и др. обоснований применяемых решений. Оценка «отлично» выставляется, если, кроме того, студент правильно ответил на дополнительные вопросы по темам, смежным с темами основных вопросов.

При этом неправильные ответы на дополнительные вопросы могут служить основанием для снижения оценки до «удовлетворительно», если эти ответы свидетельствуют о слабом понимании материала.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. ПЕРЕЧЕНЬ ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ (ОСНОВНОЙ) ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. В.В. Москаленко. Электрический привод. Учеб. пособие. Доп. Мин. обр. РФ. М.: Мастерство: Высш. шк. 2000, 367 с.

1.2. Автоматизированные системы приводов технологического оборудования. Учеб. пособие. Рек. Мин. обр. РФ. О.Н. Трифонов, В.И. Иванов, Г.О. Трифонова. М.: СТАНКИН, 1998, 119 с.

1.3. В.Д. Сартаков. Микропроцессорное управление электроприводами. Учеб. пособие. В 2 частях. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. тех. ун-та, 1999, 200 с.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

2.1. Следящие приводы. Ред. Б.К. Чемоданова. В 3 т. Т. 1. Теория и проектирование следящих приводов. Научное издание. М.: Изд-во МГТУ им Н.Э.Баумана, 1999, 904 с. – для ознакомление с теорией следящего электропривода.

2.2. М.Г. Чиликин, В.И. Ключев, А.С. Сандлер. Теория автоматизированного электропривода. М.: Энергоиздат, 1979 – для детального изучения обобщенной теории электродвигателей.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ) КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			практич. (семина.)	лаборат.		содержание	час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	Общая характеристика и принцип построения автоматизированных электромеханических систем				Основные правила чтения схем релейно-контакторного управления.	2	1-е тестирование, экзамен
2	2	Основы механики электропривода	1. Приведение статических моментов, сил и масс.			Защита, сигнализация, блокировки – основные проектные решения.	2	непосредственный контроль выполнения, сдача работы, 1-е тестирование, экзамен
3	3	Механические и электромеханические характеристики двигателей постоянного тока независимого, последовательного и смешанного возбуждения. Режимы работы двигателей.				Защита, сигнализация, блокировки – основные проектные решения.	2	1-е тестирование, экзамен
4	3	Нерегулируемый привод постоянного тока. Пуск и электрическое торможение двигателей постоянного тока. Ограничение тока в пуско-тормозных режимах. Типовые узлы релейно-контакторных схем управления.	1. Приведение статических моментов, сил и масс.			Пуск, торможение, реверс и регулирование частоты вращения в разомкнутых системах автоматического управления. Пуск электропривода в функции времени, ЭДС, тока.	2	непосредственный контроль выполнения, сдача работы, 1-е тестирование, экзамен

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	3	Регулирование скорости двигателей постоянного тока. Способы регулирования. Технические и энергетические показатели способов регулирования. Система тиристорный преобразователь – двигатель: основные характеристики.				Типовые релейно-контакторные схемы управления электроприводами постоянного тока.		1-е тестирование, экзамен
6	4	Естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики асинхронных двигателей. Формула Клосса. Режимы работы асинхронных двигателей.	2. Расчет и построение характеристик и кривых переходных режимов двигателя постоянного тока независимого возбуждения.			Типовые релейно-контакторные схемы управления электроприводами переменного тока.		непосредственный контроль выполнения, сдача работы, 2-е тестирование, экзамен
7	4	Нерегулируемый привод переменного тока. Пуск и электрическое торможение асинхронных двигателей. Ограничение тока в пуско-тормозных режимах. Повышение пускового момента двигателей с фазным ротором. Типовые узлы релейно-контакторных схем управления пуском и торможением.				Электропривод с линейными двигателями. Электропривод с двигателями повышенного быстродействия.		2-е тестирование, экзамен

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	4	Регулирование скорости асинхронных двигателей. Способы регулирования. Технические и энергетические показатели способов регулирования. Система преобразователь частоты – асинхронный двигатель: основные характеристики. Типы преобразователей частоты.	3. Расчет и построение характеристик и кривых переходных режимов двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.			Следящий электропривод. Электропривод с программным управлением. Электропривод с адаптивным управлением.		непосредственный контроль выполнения, сдача работы, 2-е тестирование, экзамен
9	4	Переходные процессы в электроприводах переменного тока. Обобщенная теория динамики машин переменного тока.				Принципы работы замкнутых систем автоматического регулирования. Понятие динамического звена. Математическое описание типовых динамических звеньев в автоматизированном электроприводе		2-е тестирование, экзамен
10	5	Механическая и угловая характеристики синхронного двигателя. Пуск, торможение, регулирование скорости синхронного двигателя.	4. Расчет и построение характеристик и кривых переходных режимов асинхронного двигателя.			Метод передаточных функций и его роль в анализе замкнутых систем электропривода. Виды и назначение обратных связей		непосредственный контроль выполнения, сдача работы, 2-е тестирование, экзамен
11	5	Преобразователи частоты для синхронных двигателей. Вентильный электропривод. Компенсация реактивной мощности в синхронном электроприводе.				Аналитическое и экспериментальное определение передаточных функций отдельных динамических звеньев. Инженерные методы анализа замкнутых систем регулирования.		2-е тестирование, экзамен

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	6	Постоянные и переменные потери энергии в электродвигателях. Потери энергии в двигательном режиме, их зависимость от нагрузки привода. Потери энергии в пуско-тормозных режимах, способы снижения.	4. Расчет и построение характеристик и кривых переходных режимов асинхронного двигателя.			Выполнение РГР. Построение статических характеристик электропривода.		непосредственный контроль выполнения, сдача работы, экзамен
13	6	Пути энергосбережения в электроприводе. Энергетическая эффективность регулируемого электропривода.				Выполнение РГР. Составление полной динамической модели электропривода.		непосредственный контроль выполнения, сдача работы, экзамен
14	7	Критерии выбора мощности электродвигателя: по условиям нагрева, перегрузочной способности, условиям пуска. Нагрузочные диаграммы механизмов и электропривода. Простейшая одноступенчатая тепловая модель двигателя.	5. Расчет мощности, выбор электродвигателей и проверка их по нагреву			Выполнение РГР. Линеаризация уравнений динамики электропривода и получение его передаточной функции.		непосредственный контроль выполнения, сдача работы, экзамен
15	7	Метод средних потерь. Основные режимы работы электропривода: длительный кратковременный, повторно-кратковременный. Методы проверки мощности выбранного электродвигателя по нагреву для двигательного режима с переменной нагрузкой (метод эквивалентных величин).				Выполнение РГР. Расчет регулятора.		непосредственный контроль выполнения, сдача работы, экзамен

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	7	Выбор мощности двигателя при повторно-кратковременных режимах работы. Понятие о допустимой частоте включения двигателя	5. Расчет мощности, выбор электродвигателей и проверка их по нагреву.			Выполнение РГР. Моделирование полученной системы.		непосредственный контроль выполнения, сдача работы, экзамен

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Энергетический факультет

А.Н. Рыбалев

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА

ПЛАН-КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Учебное пособие

Благовещенск

2007

Содержание

<i>1. Общая характеристика и принцип построения автоматизированных электромеханических систем</i>	<i>3</i>
<i>2. Основы механики электропривода</i>	<i>3</i>
<i>3. Электроприводы постоянного тока</i>	<i>4</i>
<i>4. Асинхронные электроприводы</i>	<i>5</i>
<i>5. Синхронный электропривод</i>	<i>6</i>
<i>6. Потери энергии в электроприводе и способы их снижения</i>	<i>6</i>
<i>7. Тепловые режимы и выбор мощности электродвигателей</i>	<i>7</i>

1. Общая характеристика и принцип построения автоматизированных электромеханических систем

Понятие автоматизированного электропривода.

Примеры автоматизированного электропривода: электропривод лифта, электропривод насоса.

Краткий исторический очерк развития. Групповой и многодвигательный электроприводы, их сравнение. Структуры и элементная база систем управления и их развитие. Рост функциональных возможностей.

Характеристика электропривода, как основного средства электрофикации и автоматизации производственных процессов и как основной нагрузки в системах электроснабжения. Совместимость электроприводов с системой энергоснабжения.

Классификация электроприводов.

– по типу применяемых двигателей. Краткая характеристика основных типов электродвигателей;

– по назначению. Электроприводы общепромышленных механизмов, специальные электроприводы.

– по типу системы управления: регулируемый и нерегулируемый электропривод. Структура регулируемого электропривода.

Функции электропривода: понятие о регулировании его координат.

Режим работы электропривода. Установившийся и переходной режимы работы.

Общие положения по регулированию тока, момента, скорости электропривода.

2. Основы механики электропривода

Структура механической части электропривода с жесткими связями.

Уравнение движения элементов механической части. Приведение моментов и сил сопротивления, а также масс и моментов инерции к одному элементу.

Пример.

Механические характеристики двигателей и механизмов: определение, примеры. Жесткость механической характеристики двигателя. Примеры электроприводов, в которых требуются жесткие и мягкие характеристики.

Электромеханические системы с упругими связями. Двух- и трехмассовые системы. Уравнения движения. Пример составления для двух-массовой системы.

3. Электроприводы постоянного тока

Общая характеристика и сферы применения электропривода с ДПТ.

Механические и электромеханические характеристики двигателей постоянного тока независимого возбуждения. Режимы работы машины постоянного тока с независимым возбуждением: двигательный, идеального холостого хода, короткого замыкания, генераторный последовательно и параллельно с сетью. Уравнения баланса мощностей во всех режимах.

Нерегулируемый привод постоянного тока. Пуск и электрическое торможение двигателей постоянного тока с независимым возбуждением. Ограничение тока в пуско-тормозных режимах. Способы организации пуска и торможения: по принципам тока, ЭДС и скорости. Типовые узлы релейно-контакторных схем управления.

Регулирование скорости двигателей постоянного тока с независимым возбуждением. Способы: введением добавочного сопротивления в якорную цепь, изменением магнитного потока и тока якоря. Механические, электромеханические и энергетические характеристики электропривода при различных способах регулирования. Техническая реализация способов. Система тиристорный преобразователь – двигатель: основные характеристики.

Механические и электромеханические характеристики электроприводов постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения. Режимы работы электроприводов. Особенности пуска и торможения. Сферы применения.

4. Асинхронные электроприводы

Общая характеристика и сферы применения асинхронного электропривода.

Естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики асинхронных двигателей. Вывод формул на основе упрощенной схемы замещения. Формулы Клосса: полная и упрощенная. Понятие критического скольжения и критического момента. Режимы работы асинхронных машин: двигательный, идеального холостого хода, короткого замыкания, генераторный последовательно и параллельно с сетью. Построение механической характеристики по паспортным данным.

Нерегулируемый привод переменного тока. Пуск и электрическое торможение асинхронных двигателей. Ограничение тока в пуско-тормозных режимах введением добавочных сопротивлений и реакторов в статорную цепь, переключением обмотки статора на пониженную скорость, со «звезды» на «треугольник», с применением устройства мягкого пуска.

Повышение пускового момента двигателей с фазным ротором путем включения добавочного сопротивления в роторную цепь. Расчет пускового сопротивления. Типовые узлы релейно-контакторных схем управления пуском и торможением.

Регулирование скорости асинхронных двигателей. Способы регулирования: изменением сопротивления роторной цепи, изменением числа пар полюсов (примеры переключений секций обмотки статора), изменением питающего напряжения, частотное управление. Механические характеристики, технические и энергетические показатели способов регулирования.

Система преобразователь частоты – асинхронный двигатель: основные характеристики. Типовые законы частотного управления. Упрощенный вывод закона Костенко. Типы преобразователей частоты: непосредственный преобразователь, автономные инверторы тока и напряжения. Структура и функциональные возможности современных преобразователей частоты на основе инвертора напряжения с ШИМ-модуляцией.

Переходные процессы в электроприводах переменного тока. Механический и электромеханический переходные процессы. Обобщенная теория динамики машин переменного тока. Уравнения динамики в неподвижных и вращающихся осях.

5. Синхронный электропривод

Общая характеристика и сферы применения синхронного электропривода. Преимущества синхронного электропривода.

Механическая и угловая характеристики синхронного двигателя. Вывод уравнения угловой характеристики для неявнополюсной машины по ее векторной диаграмме. Уравнение характеристики для явнополюсной машины. Устойчивый и неустойчивый участки механической характеристики.

Режимы работы синхронных двигателей: режимы недовозбуждения, полного возбуждения, перевозбуждения, векторные диаграммы в данных режимах.

Компенсация реактивной энергии в синхронном электроприводе. Синхронный компенсатор.

Системы возбуждения синхронных двигателей.

Пуск синхронного электропривода. Пусковая обмотка СД. Процесс возбуждения при пуске. Условия пуска: «легкий» и «тяжелый» пуски. Одноосный эффект.

Торможение синхронного электропривода.

Регулирование скорости СД. Преобразователи частоты для синхронных двигателей. Вентильный электропривод.

6. Потери энергии в электроприводе и способы их снижения

Классификация потерь энергии в электроприводе. Постоянные и переменные потери.

Потери энергии в двигательном режиме, их зависимость от нагрузки привода. Вывод зависимости потерь от нагрузки, магнитного потока и скорости в относительных единицах. Определение оптимального магнитного потока, обеспе-

чивающего минимум потерь. Возможности снижения потерь при регулировании магнитного потока. Примеры.

Потери энергии в пуско-тормозных режимах, способы снижения. Вывод выражений для потерь для переходных процессов пуска, торможения противовключением, динамического торможения, реверса вхолостую и под нагрузкой.

Пути энергосбережения в электроприводе: «правильный» выбор двигателя, применение специальных энергосберегающих двигателей, применение специальных технических средств в нерегулируемом электроприводе, переход к регулируемому электроприводе, энергетическая оптимизация регулируемого привода.

Энергетическая эффективность регулируемого электропривода в установившихся и переходных режимах.

7. Тепловые режимы и выбор мощности электродвигателей

Критерии выбора мощности электродвигателя: по условиям нагрева, перегрузочной способности, условиям пуска. Нагрузочные диаграммы механизмов и электропривода.

Структура процесса преобразования энергии в электрической машины в различных режимах работы.

Ограничение температуры обмоток двигателя. Классы изоляции обмоток.

Простейшая одноступенчатая тепловая модель двигателя. Вывод дифференциального уравнения. Коэффициент передачи и постоянная времени нагрева машины, их зависимость от габарита двигателя. Общий вид переходного процесса нагрева.

Метод средних потерь. Формулировка, обоснование.

Номинальные режимы работы электропривода S1 – S3.

Длительный режим работы S1. Определение. Методы поверки мощности выбранного электродвигателя по нагреву для двигательного режима с переменной нагрузкой (метод эквивалентных тока, момента и мощности).

Кратковременный режим S2. Определение. Особенности двигателей режима S2.

Повторно-кратковременный режим S3. Определение. Понятие продолжительности включения. Выбор мощности двигателя при повторно-кратковременных режимах работы.

Учет ухудшения теплоотдачи в двигателях с независимой вентиляцией. Коэффициент ухудшения теплоотдачи. Уравнение метода средних потерь при переменной теплоотдаче.

Дополнительные режимы работы двигателей S4 – S8. Определения.

Понятие о допустимой частоте включения двигателя. Вывод выражения для допустимой частоты включения. Анализ выражения и определение зависимости допустимой частоты от параметров цикла и двигателя. Способы повышения допустимой частоты включения.

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Энергетический факультет

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА

**Методические указания к выполнению расчетно-графической
работы**

Благовещенск
2007

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПРИВЕДЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ, СИЛ И МАСС.....	5
2. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И КРИВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ.....	14
3. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И КРИВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ.....	31
4. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И КРИВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	46
5. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ, ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ПРОВЕРКА ИХ ПО НАГРЕВУ	64
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	80

1. ПРИВЕДЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ, СИЛ И МАСС

Пример: Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.1 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя вместе с шестерней $J_d = 0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и барабана вместе с шестерней $J_b = 1,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; передаточное число редуктора $i = 5$; КПД редуктора $h_p = 0,97$ и барабана $h_b = 0,95$; скорости двигателя $w_d = 90 \text{ с}^{-1}$ и подъема груза $V_z = 0,1 \text{ м/с}$; масса груза $m_z = 800 \text{ кг}$, определить значения приведенных к валу двигателя моментов инерции J и сопротивления M_c при подъеме груза.

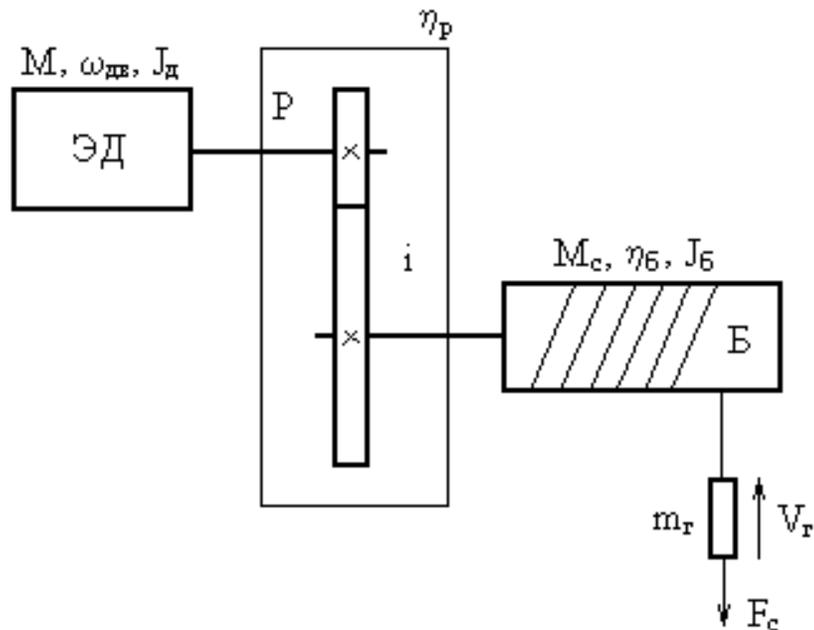


Рисунок 1.1

Решение

- 1 Определяем силу тяжести

$$F_c = m_z \cdot g = 800 \cdot 9,81 = 7848 \text{ Н}$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести.

- 2 Определяем радиус приведения

$$r = \frac{V_z}{w_d} = \frac{0,1}{90} = 1,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

- 3 Определяем приведенный момент сопротивления

$$M_c = \frac{F_c \cdot r}{h_M} = \frac{F_c \cdot V_z}{h_p \cdot h_b \cdot w_d} = \frac{7848 \cdot 0,1}{0,97 \cdot 0,95 \cdot 90} = 9,46 \text{ Н}$$

4 Определяем приведенный момент инерции

$$J = J_{\delta} + \frac{J_{\delta}}{i^2} + m_2 \cdot r^2 = 0,15 + \frac{1,8}{5^2} + 800 \cdot 0,00111^2 = 0,223 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Задача 1.1 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_{\delta} = 0,42 \text{ кгм}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,15 \text{ кгм}^2$, барабана $J_{\delta} = 6,5 \text{ кгм}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,35 \text{ кгм}^2$, $J_{z2} = 1,6 \text{ кгм}^2$, $J_{z3} = 0,39 \text{ кгм}^2$, $J_{z4} = 1,22 \text{ кгм}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 26$, $z_2 = 200$, $z_3 = 30$, $z_4 = 120$; скорость промежуточного вала редуктора $\omega_p = 20 \text{ с}^{-1}$; масса груза $m_2 = 420 \text{ кг}$, мощность на валу двигателя $P_{\delta} = 2,7 \text{ кВт}$; КПД редуктора $h_p = 0,96$ и барабана $h_{\delta} = 0,95$; определить частоту вращения вала n_{δ} двигателя, скорость подъема груза V_2 , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

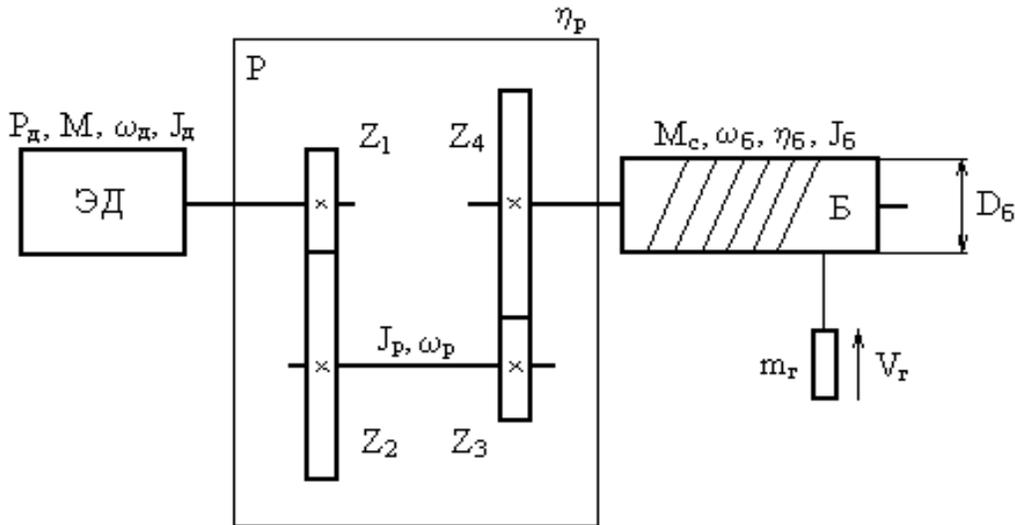


Рис. 1.2

Задача 1.2 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_{\delta} = 0,53 \text{ кгм}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,16 \text{ кгм}^2$, барабана $J_{\delta} = 7,5 \text{ кгм}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,11 \text{ кгм}^2$, $J_{z2} = 0,45 \text{ кгм}^2$, $J_{z3} = 0,36 \text{ кгм}^2$, $J_{z4} = 1,52 \text{ кгм}^2$; число зубьев шестерен $z_3 = 30$, $z_4 = 240$; момент на валу $M = 27,2 \text{ Нм}$ и частота вращения вала $n_{\delta} = 1834 \text{ об/мин}$ двигателя; КПД редуктора $h_p = 0,95$ и барабана $h_{\delta} = 0,95$; скорость подъема груза $V_2 = 0,48 \text{ м/с}$ и скорость промежуточного вала

редуктора $w_p = 64 \text{ с}^{-1}$, определить мощность на валу двигателя P_D , массу поднимаемого груза m_2 , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.3 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_D = 0,38 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 4,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 0,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 35$, $z_2 = 140$; мощность на валу $P_D = 2,9 \text{ кВт}$ и частота вращения вала $n_D = 1337 \text{ об/мин}$ двигателя; КПД редуктора $h_p = 0,96$ и барабана $h_b = 0,98$; скорость вращения $w_b = 3,5 \text{ с}^{-1}$ и диаметр $D_b = 0,4 \text{ м}$ барабана, определить скорость подъема V_2 и массу m_2 груза, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.4 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_D = 0,52 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,09 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 7,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, и шестерен $J_{z1} = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 1,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,0 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 20$, $z_2 = 120$, $z_3 = 30$, $z_4 = 150$; скорость промежуточного вала редуктора $w_p = 27 \text{ с}^{-1}$; КПД редуктора $h_p = 0,92$ и барабана $h_b = 0,93$; скорость подъема $V_2 = 0,8 \text{ м/с}$ и масса $m_2 = 650 \text{ кг}$ груза, определить мощность на валу P_D и частоту вращения вала n_D двигателя, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.5 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_D = 0,48 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,11 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 8,0 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 2,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,35 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_3 = 25$, $z_4 = 100$; момент на валу $M = 33,53 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и частота вращения вала $n_D = 573 \text{ об/мин}$ двигателя; частота вращения промежуточного вала редуктора $n_p = 57,3 \text{ об/мин}$; КПД барабана $h_b = 0,97$; скорость подъема $V_2 = 0,24 \text{ м/с}$ и масса $m_2 = 700 \text{ кг}$ груза, определить мощность на валу двигателя P_D , КПД редуктора h_p , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптималь-

ное передаточное число $i_{онм}$ пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.6 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,39 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 5,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 1,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 30$, $z_2 = 210$, $z_3 = 32$, $z_4 = 160$; КПД редуктора $h_p = 0,93$ и барабана $h_b = 0,94$; диаметр барабана $D_b = 0,3 \text{ м}$; мощность $P_d = 12,1 \text{ кВт}$ и момент $M = 43,28 \text{ Н}\cdot\text{м}$ на валу двигателя, определить скорость подъема V_2 и массу m_2 груза, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число $i_{онм}$ пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.7 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,37 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,13 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 6,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,12 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 0,78 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,44 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 24$, $z_2 = 168$, $z_3 = 35$, $z_4 = 210$; момент на валу двигателя $M = 43,0 \text{ Н}\cdot\text{м}$; частота вращения барабана $n_b = 38 \text{ об/мин}$; КПД редуктора $h_p = 0,9$; скорость подъема $V_2 = 0,7 \text{ м/с}$ и массу $m_2 = 910 \text{ кг}$ груза, определить мощность на валу двигателя P_d , КПД барабана h_b , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число $i_{онм}$ пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.8 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,35 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,12 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 4,9 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,33 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 1,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,33 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,47 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 34$, $z_2 = 170$; мощность на валу двигателя $P_d = 11,5 \text{ кВт}$; частота вращения промежуточного вала редуктора $n_p = 191 \text{ об/мин}$; КПД $h_b = 0,97$; диаметр $D_b = 0,5 \text{ м}$ барабана; скорость подъема $V_2 = 0,75 \text{ м/с}$ и масса $m_2 = 830 \text{ кг}$ груза, определить частоту вращения вала n_d двигателя, КПД редуктора h_p , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число $i_{онм}$ пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.9 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,08 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 7,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 2,0 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,52 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 0,9 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 32$, $z_2 = 288$, $z_3 = 40$, $z_4 = 160$; мощность на валу $P_d = 4,3 \text{ кВт}$ и частота вращения вала $n_d = 2235 \text{ об/мин}$ двигателя; КПД редуктора $h_p = 0,92$ и барабана $h_b = 0,96$; диаметр барабана $D_b = 0,2 \text{ м}$, определить скорость подъема V_2 и массу m_2 груза, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.10 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,08 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 5,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 24$, $z_2 = 120$, $z_3 = 30$, $z_4 = 180$; частота вращения вала $n_d = 1146 \text{ об/мин}$ двигателя; КПД редуктора $h_p = 0,91$ и барабана $h_b = 0,96$; диаметр барабана $D_b = 0,46 \text{ м}$, масса поднимаемого груза $m_2 = 350 \text{ кг}$, определить мощность на валу двигателя P_d , скорость подъема груза V_2 , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.11 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,41 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,14 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 6,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,21 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 0,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 30$, $z_2 = 120$, $z_3 = 40$, $z_4 = 280$; момент на валу двигателя $M = 27,54 \text{ Н}\cdot\text{м}$; КПД редуктора $h_p = 0,94$ и барабана $h_b = 0,95$; скорость подъема $V_2 = 0,52 \text{ м/с}$ и масса $m_2 = 540 \text{ кг}$ груза, определить мощность на валу P_d и частоту вращения вала n_d двигателя, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.12 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,43 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 5,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шес-

терен $J_{z1} = 0,09 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 0,63 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,23 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 28$, $z_2 = 168$, $z_3 = 32$, $z_4 = 192$; частота вращения промежуточного вала редуктора $n_p = 573 \text{ об/мин}$; КПД редуктора $h_p = 0,93$ и барабана $h_b = 0,98$; диаметр барабана $D_b = 0,18 \text{ м}$, масса поднимаемого груза $m_z = 750 \text{ кг}$, определить мощность на валу двигателя P_D , скорость подъема груза V_z , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.13 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,64 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,08 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 11 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 1,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_3 = 30$, $z_4 = 180$; момент на валу $M = 100 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и частота вращения $n_d = 350 \text{ об/мин}$ двигателя; частота вращения промежуточного вала редуктора $n_p = 50 \text{ об/мин}$; КПД барабана $h_b = 0,95$; скорость подъема $V_z = 0,2 \text{ м/с}$ и масса $m_z = 1500 \text{ кг}$ груза, определить мощность на валу двигателя P_D , КПД редуктора h_p , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.14 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,75 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 9 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 0,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,56 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 2,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_3 = 20$, $z_4 = 200$; момент на валу $M = 35,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и частота вращения вала $n_d = 2750 \text{ об/мин}$ двигателя; КПД редуктора $h_p = 0,75$ и барабана $h_b = 0,81$; скорость подъема груза $V_z = 0,45 \text{ м/с}$ и скорость промежуточного вала редуктора $w_p = 64 \text{ с}^{-1}$, определить мощность на валу двигателя P_D , массу поднимаемого груза m_z , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.15 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 12 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 1,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 20$, $z_2 = 220$, $z_3 = 50$, $z_4 = 150$; мощность на валу $P_D = 6 \text{ кВт}$ и частота

та вращения вала $n_d = 1900$ об/мин двигателя; КПД редуктора $h_p = 0,8$ и барабана $h_b = 0,85$; диаметр барабана $D_b = 0,3$ м, определить скорость подъема V_2 и массу m_2 груза, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.16 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,48$ кгм², промежуточного вала редуктора $J_p = 0,08$ кгм², барабана $J_b = 10$ кгм² и шестерен $J_{z1} = 0,35$ кгм², $J_{z2} = 1,3$ кгм², $J_{z3} = 0,6$ кгм², $J_{z4} = 1,2$ кгм²; число зубьев шестерен $z_1 = 30$, $z_2 = 150$, $z_3 = 40$, $z_4 = 240$; скорость промежуточного вала редуктора $w_p = 20$ с⁻¹; КПД редуктора $h_p = 0,82$ и барабана $h_b = 0,9$; скорость подъема $V_2 = 0,6$ м/с и масса $m_2 = 1000$ кг груза, определить мощность на валу P_d и частоту вращения вала n_d двигателя, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.17 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,52$ кгм², промежуточного вала редуктора $J_p = 0,12$ кгм², барабана $J_b = 9,4$ кгм² и шестерен $J_{z1} = 0,45$ кгм², $J_{z2} = 1,1$ кгм², $J_{z3} = 0,73$ кгм², $J_{z4} = 1,54$ кгм²; число зубьев шестерен $z_1 = 40$, $z_2 = 240$, $z_3 = 50$, $z_4 = 150$; мощность на валу двигателя $P_d = 4,5$ кВт; скорость промежуточного вала редуктора $w_p = 18$ с⁻¹; КПД редуктора $h_p = 0,9$ и барабана $h_b = 0,92$; масса груза $m_2 = 800$ кг, определить частоту вращения вала n_d двигателя, скорость подъема груза V_2 , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.18 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,42$ кгм², промежуточного вала редуктора $J_p = 0,14$ кгм², барабана $J_b = 6,5$ кгм² и шестерен $J_{z1} = 0,3$ кгм², $J_{z2} = 0,96$ кгм², $J_{z3} = 0,45$ кгм², $J_{z4} = 1,25$ кгм²; число зубьев шестерен $z_1 = 30$, $z_2 = 210$; мощность на валу двигателя $P_d = 14$ кВт; частота вращения промежуточного вала редуктора $n_p = 100$ об/мин; КПД $h_b = 0,92$, диаметр $D_b = 0,6$ м барабана; скорость подъема $V_2 = 0,785$ м/с и масса $m_2 = 900$ кг груза, определить частоту вращения вала n_d двигателя, КПД редуктора h_p , приве-

денный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.19 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,38 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,18 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 11 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 0,9 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,45 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 30$, $z_2 = 180$, $z_3 = 40$, $z_4 = 200$, момент на валу двигателя $M = 55 \text{ Н}\cdot\text{м}$; КПД редуктора $h_p = 0,85$ и барабана $h_b = 0,9$; скорость подъема $V_z = 0,3 \text{ м/с}$ и масса $m_z = 500 \text{ кг}$ груза, определить мощность на валу P_d и частоту вращения вала n_d двигателя, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.20 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,55 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,12 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 2,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 40$, $z_2 = 240$, $z_3 = 30$, $z_4 = 240$; КПД редуктора $h_p = 0,88$ и барабана $h_b = 0,91$; диаметр барабана $D_b = 0,5 \text{ м}$; мощность $P_d = 15 \text{ кВт}$ и момент $M = 38,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ на валу двигателя, определить скорость подъема V_z и массу m_z груза, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.21 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,085 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 6,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 1,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,45 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 25$, $z_2 = 125$; мощность на валу $P_d = 4,8 \text{ кВт}$ и частота вращения вала $n_d = 1450 \text{ об/мин}$ двигателя; КПД редуктора $h_p = 0,83$ и барабана $h_b = 0,95$; скорость вращения $w_b = 7,59 \text{ с}^{-1}$ и диаметр $D_b = 0,25 \text{ м}$ барабана, определить скорость подъема V_z и массу m_z груза, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.22 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,09 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 0,77 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,32 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,45 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 30$, $z_2 = 180$, $z_3 = 20$, $z_4 = 140$; частота вращения вала $n_d = 2440 \text{ об/мин}$ двигателя; КПД редуктора $h_p = 0,87$ и барабана $h_b = 0,91$; диаметр барабана $D_b = 0,3 \text{ м}$, масса поднимаемого груза $m_z = 650 \text{ кг}$, определить мощность на валу двигателя P_d , скорость подъема груза V_z , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.23 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,43 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,11 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 7,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 0,85 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,42 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,64 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 25$, $z_2 = 150$, $z_3 = 30$, $z_4 = 240$; момент на валу двигателя $M = 52,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$; частота вращения барабана $n_b = 24 \text{ об/мин}$; КПД редуктора $h_p = 0,85$; скорость подъема $V_z = 0,44 \text{ м/с}$ и массу $m_z = 800 \text{ кг}$ груза, определить мощность на валу двигателя P_d , КПД барабана h_b , приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_3 - z_4$, при том же передаточном числе пары $z_1 - z_2$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.24 Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,48 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,07 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, барабана $J_b = 6,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 1,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z3} = 0,52 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z4} = 1,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 30$, $z_2 = 120$, $z_3 = 30$, $z_4 = 180$; скорость промежуточного вала редуктора $w_p = 25 \text{ с}^{-1}$; КПД редуктора $h_p = 0,88$ и барабана $h_b = 0,91$; скорость подъема $V_z = 0,6 \text{ м/с}$ и масса $m_z = 840 \text{ кг}$ груза, определить мощность на валу P_d и частоту вращения вала n_d двигателя, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число i_{opt} пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

2. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И КРИВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Пример: Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 2,2$ кВт; напряжение $U_{ном} = 220$ В; ток $I_{ном} = 13$ А; частота вращения якоря $n_{ном} = 1000$ об/мин; КПД $\eta_{ном} = 0,7$, рассчитать и построить:

- 1 естественную электромеханическую характеристику;
 - 2 пусковую диаграмму для одноступенчатого пуска, если допустимый ток $I_{доп.п} = 2,65 I_{ном}$; определить величину сопротивления пускового реостата R_n ;
 - 3 электромеханическую характеристику динамического торможения, если в начале торможения скорость двигателя была $\omega_{ном}$; определить величину тормозного сопротивления R_m , включение которого в цепь якоря ограничивало бы силу тока якоря до $I_{доп.т} = 3 I_{ном}$;
 - 4 кривые переходного процесса при пуске;
 - 5 кривые переходного процесса при торможении;
- /значение суммарного приведенного момента инерции взять из примера предыдущего раздела/.

Решение

- 1 Для построения естественной характеристики, которая представляет собой прямую линию, достаточно определить координаты двух точек: номинального режима и холостого хода.

1.1 Определяем номинальную угловую скорость

$$\omega_{ном} = \frac{2p \cdot n_{ном}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1000}{60} = 105 \text{ с}^{-1}$$

1.2 Определяем номинальный момент

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{2200}{105} = 21 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

1.3 Определяем постоянную $c = k\Phi_{ном}$

$$c = \frac{M_{ном}}{I_{ном}} = \frac{21}{13} = 1,61 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$$

1.4 Определяем сопротивление якоря

$$R_{я} = \frac{U_{ном} - c \cdot \omega_{ном}}{I_{ном}} = \frac{220 - 1,61 \cdot 105}{13} = 3,92 \text{ Ом}$$

1.5 Определяем скорость холостого хода

$$\omega_0 = \frac{U_{ном}}{c} = \frac{220}{1,61} = 136,6 \text{ с}^{-1}$$

1.6 По координатам точек холостого хода ω_0 , θ и номинального режима $\omega_{ном}$, $I_{ном}$ строим естественную электромеханическую характеристику /характеристика 1, рисунок 2.1/.

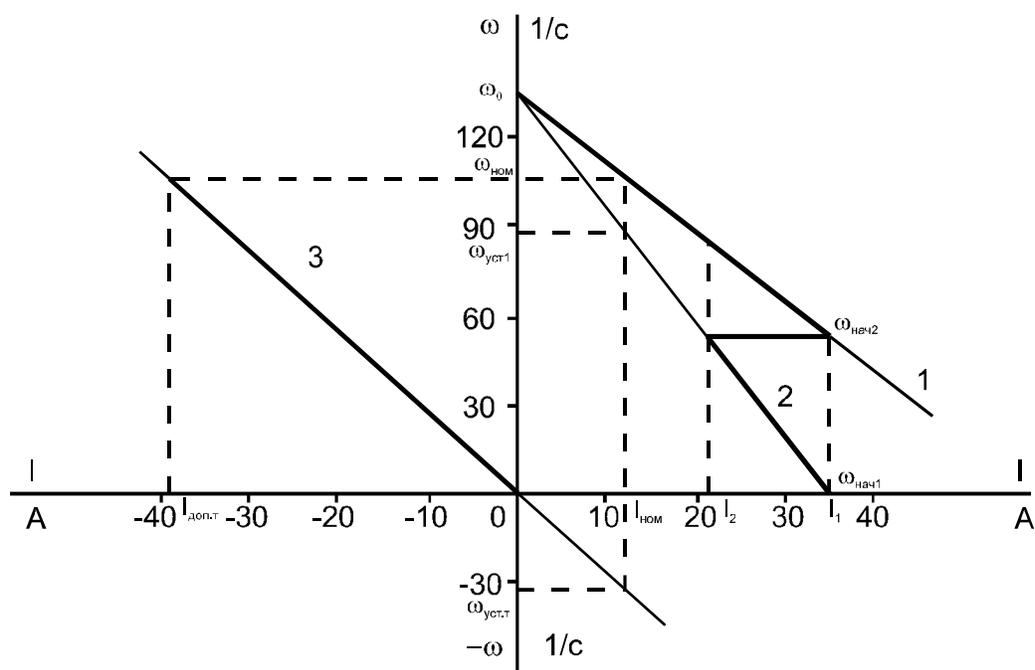


Рис. 2.1

2 Для построения пусковой характеристики достаточно определить координаты двух точек, соответствующие режимам холостого хода и короткого замыкания.

2.1 Определяем значение допустимого тока якоря при пуске

$$I_{доп.п} = 2,65 \cdot I_{ном} = 2,65 \cdot 13 = 34,45 \text{ А}$$

2.2 Определяем величину сопротивления пускового реостата

$$R_n = \frac{U_{ном}}{I_{доп.п}} - R_{я} = \frac{220}{34,45} - 3,92 = 2,47 \text{ Ом}$$

2.3 Определяем ток переключения для $m = 1$

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{R_{я}}{R_{я} + R_n} = 34,45 \cdot \frac{3,92}{3,92 + 2,47} = 21,1 \text{ А}$$

где $I_1 = I_{\text{доп.н}} = 34,45 \text{ A}$

2.4 По координатам точек холостого хода $/w_0, 0/$ и короткого замыкания $/0, I_1/$ строим пусковую электромеханическую характеристику /характеристика 2, рисунок 2.1/.

3 Электромеханическую характеристику динамического торможения строим по координатам двух точек $/0, 0/$ и $/w_0, I_{\text{доп.м}}/$.

3.1 Определяем значение допустимого тока якоря при торможении

$$I_{\text{доп.м}} = 3 \cdot I_{\text{ном}} = 3 \cdot 13 = 39 \text{ A}$$

3.2 Определяем величину тормозного сопротивления

$$R = \frac{U_{\text{ном}} \cdot (1-d)}{I_{\text{доп.м}}} - R_{\text{я}} = \frac{220 \cdot (1-0,231)}{39} - 3,92 = 4,34 \text{ Ом}$$

где $d = \frac{w_0 - w_{\text{нач.м}}}{w_0} = \frac{136,6 - 105}{136,6} = 0,231$

$$w_{\text{нач.м}} = w_{\text{ном}} = 105 \text{ c}^{-1}$$

3.3 Электромеханическая характеристика динамического торможения показана на рисунке 2.1 /характеристика 3/.

4 Расчет данных для построения кривых переходного процесса при пуске производится по уравнениям:

$$w = w_{\text{уст}} + (w_{\text{нач}} - w_{\text{уст}}) \cdot e^{-t/T_M}$$

$$i = I_c + (I_{\text{нач}} - I_c) \cdot e^{-t/T_M}$$

4.1 Расчет для первой ступени пуска /разгон по пусковой характеристике – 2/

4.1.1 Определяем значения токов

установившееся $I_c = I_{\text{ном}} = 13 \text{ A}$

начальное $I_{\text{нач}} = I_1 = 34,45 \text{ A}$

4.1.2 Определяем значения скорости двигателя установившееся при $I_c = I_{ном} = 13 \text{ A}$

$$w_{уст1} = w_0 - I_c \cdot \frac{R_{я} + R_n}{c} = 136,6 - 13 \cdot \frac{3,92 + 2,47}{1,61} = 85 \text{ c}^{-1}$$

начальное $w_{нач1} = 0$

4.1.3 Определяем электромеханическую постоянную времени

$$T_{M1} = \frac{J \cdot (R_{я} + R_n)}{c^2} = \frac{0,223 \cdot (3,92 + 2,47)}{1,61^2} = 0,55 \text{ c}$$

4.1.4 Расчетные формулы для первой ступени пуска примут вид:

$$w = 85 + (0 - 85) \cdot e^{-t/0,55} = 85 \cdot \left(1 - e^{-t/0,55}\right) \text{ c}^{-1}$$

$$i = 13 + (34,45 - 13) \cdot e^{-t/0,55} = 13 + 21,45 \cdot e^{-t/0,55} \text{ A}$$

4.1.5 Определяем время разгона на первой ступени пуска

$$t_1 = T_{M1} \cdot \ln \frac{I_1 - I_c}{I_2 - I_c} = 0,55 \cdot \ln \frac{34,45 - 13}{21,1 - 13} = 0,54 \text{ c}$$

4.1.6 Подставляя в расчетные формулы ряд значений t от $t_1 = 0$ до $t_1 = 0,54$ c, получаем значения w и i , которые сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

$t, \text{ c}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,54
$w, \text{ c}^{-1}$	0	14,13	25,9	35,74	43,93	50,75	53
$I, \text{ A}$	34,45	30,88	27,91	25,43	23,36	21,64	21,1

4.2 Расчет для второй ступени пуска /разгон по естественной характеристике – 1/.

4.2.1. Определяем значения скорости двигателя, установившееся при $I_c = I_{ном} = 13 \text{ A}$

$$w_{уст2} = w_{ном} = 105 \text{ c}^{-1}$$

начальное при $I_1 = 34,45 \text{ A}$

$$w_{нач2} = w_0 - I_1 \cdot \frac{R_{я}}{c} = 136,6 - 34,45 \cdot \frac{3,92}{1,61} = 53 \text{ c}^{-1}$$

4.2.2. Определяем электромеханическую постоянную времени

$$T_{M2} = \frac{J \cdot R_{\Sigma}}{c^2} = \frac{0,223 \cdot 3,92}{1,61^2} = 0,34 \text{ c}$$

4.2.3. Расчетные формулы для второй ступени пуска примут вид:

$$w = 105 + (53 - 105) \cdot e^{-t/0,34} = 105 - 52 \cdot e^{-t/0,34} \text{ c}^{-1}$$

$$i = 13 + 21,45 \cdot e^{-t/0,34} \text{ A}$$

4.2.5 Определяем время разгона на второй ступени пуска

$$t_2 = 4 \cdot T_{M2} = 4 \cdot 0,34 = 1,16 \text{ c}$$

4.2.5 Подставляя в расчетные формулы ряд значений t от $t_2 = 0$ до $t_2 = 1,16 \text{ c}$, получаем значения w и i , которые сведены в таблицу 2.2

Таблица 2.2

t_2, c	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,16
w, c^{-1}	53	76,12	88,96	96,09	100,0	102,25	105
i, A	34,45	24,91	19,61	16,67	15,04	14,13	13

4.3 По данным расчета строим кривые переходного процесса при пуске $w = f(t)$ и $i = f(t)$, которые показаны на рисунке 2.2

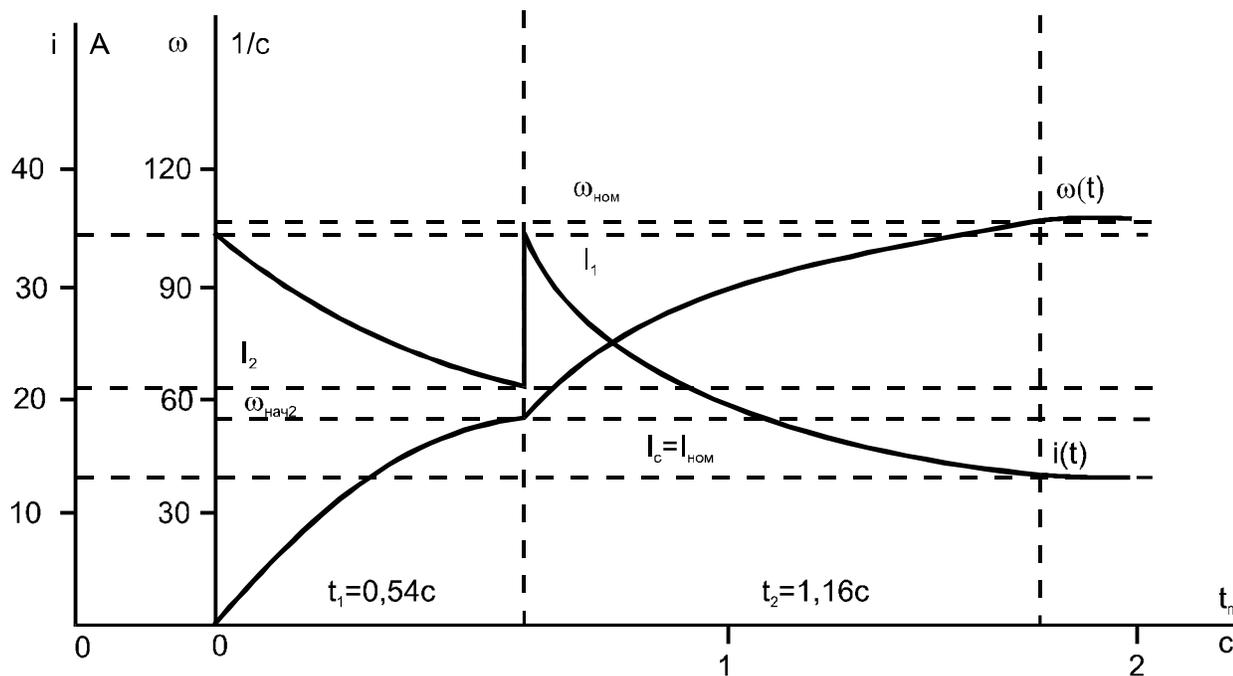


Рис. 2.2

5 Расчет данных для построения кривых переходного процесса при торможении производится по уравнениям:

$$w = -\Delta w_c + (w_{нач.т} + \Delta w_c) \cdot e^{-t/T_M}$$

$$i = I_c - (I_{нач.т} + I_c) \cdot e^{-t/T_M}$$

5.1 Определяем абсолютное значение перепада скорости двигателя /см. рисунок 2.1/.

$$\Delta w_c = w_{нач.т} \cdot \frac{I_c}{I_{нач.т}} = 105 \cdot \frac{13}{-39} = -35 \text{ c}^{-1}$$

где: $w_{нач.т} = w_{ном} = 105 \text{ c}^{-1}$

$$I_{нач.т} = I_{дон.т} = 39 \text{ A}$$

$$w_{уст.т} = -35 \text{ c}^{-1}$$

Определяем электромеханическую постоянную времени

$$T_M = \frac{J \cdot (R_{я} + R_m)}{c^2} = \frac{0,223 \cdot (3,92 + 4,34)}{1,61^2} = 0,71 \text{ c}$$

5.2 Расчетные формулы примут вид:

$$w = -35 + (105 + 35) \cdot e^{-t/0,71} = -35 + 140 \cdot e^{-t/0,71} \text{ c}^{-1}$$

$$i = 13 - (39 + 13) \cdot e^{-t/0,71} = 13 - 52 \cdot e^{-t/0,71} \text{ A}$$

5.3 Определяем время торможения

$$t_m = T_M \cdot \ln \frac{I_{нач.т} + I_c}{I_c} = 0,71 \cdot \ln \frac{39 + 13}{13} = 0,985 \text{ c}$$

5.4 Подставляя в расчетные формулы ряд значений t от $t_m = 0$ до $t_m = 0,985 \text{ c}$, получаем значения w и i , которые сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

$t, \text{ c}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,985
$w, \text{ c}^{-1}$	105	70,6	44,7	25,14	10,36	0
$i, \text{ A}$	-39	-26,23	-16,6	-9,33	-3,85	0

5.5 По данным расчета строим кривые переходного процесса при торможении $w = f(t)$ и $i = f(t)$, которые показаны на рисунке 2.3.

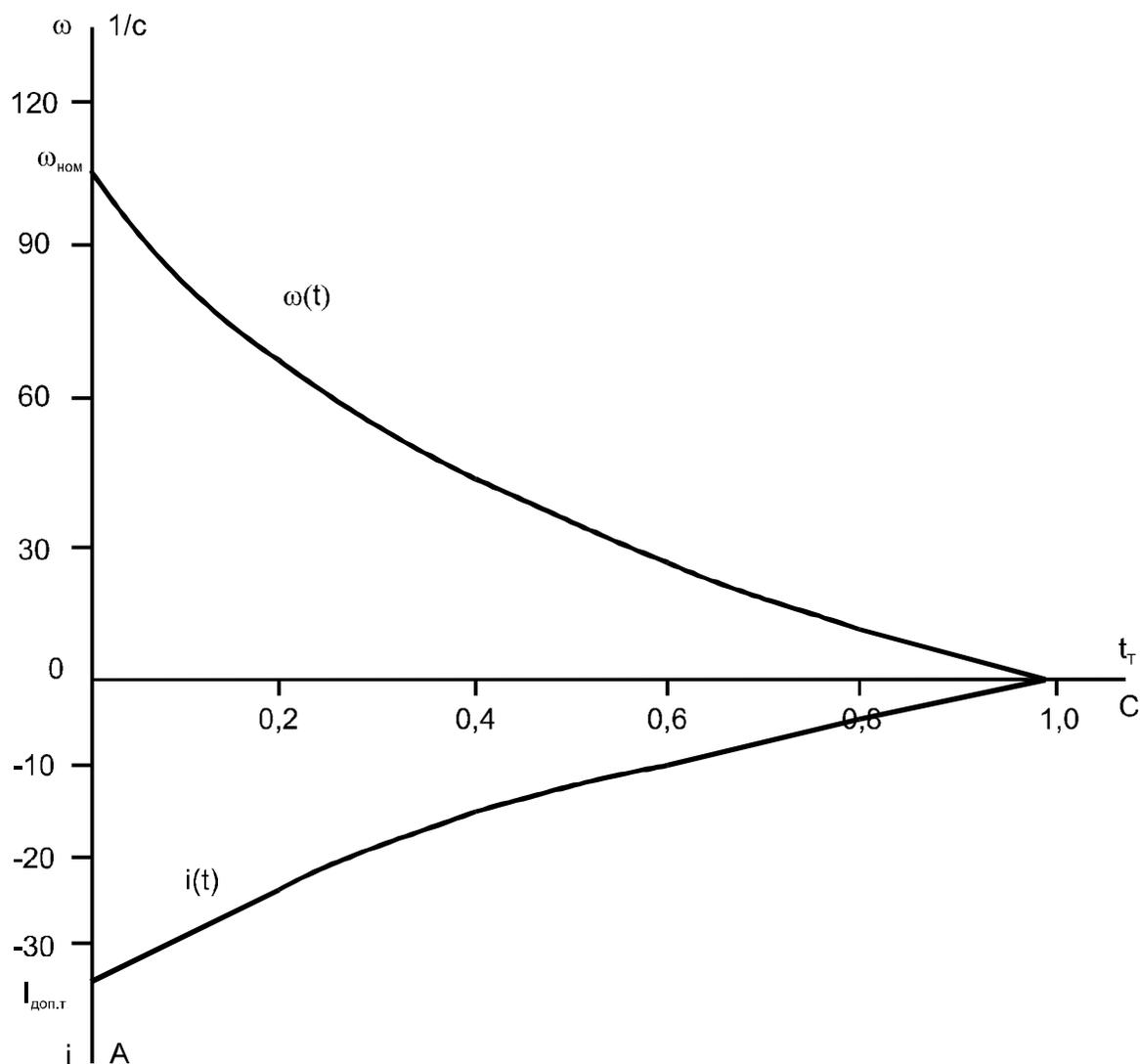


Рис. 2.3

Задача 2.1 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные : мощность на валу $P_{ном} = 1,5 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; скорость вращения якоря $w_{ном} = 157,1 \text{ с}^{-1}$; КПД $h_{ном} = 0,83$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_{\delta} = 1,6 \text{ Ом}$; определить частоту вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 0,8 M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;

3. пусковую диаграмму, если токи переключения равны $I_1 = 2I_{ном}$ и $I_2 = 1,4I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т} = 4,3I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.2 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P = 5,45$ кВт; напряжение $U_{ном} = 110$ В; скорость холостого хода $w_0 = 260,9$ с⁻¹; КПД $\eta_{ном} = 0,77$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_δ ; при котором частота вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 0,77M_{ном}$ будет равна $n_\delta = 2000$ об/мин; определить добавочное сопротивление R_δ и частоту вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму для трехступенчатого пуска, если ток переключения $I_2 = 1,185I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить силу тока якоря в начале торможения, если тормозное сопротивление $R_m = 1,25$ Ом;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.3 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: ток $I_{ном} = 33,7$ А; напряжение $U_{ном} = 220$ В; частоту вращения якоря $n_{ном} = 3000$ об/мин; КПД $\eta_{ном} = 0,81$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_\delta = 0,6$ Ом; определить частоту вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 0,93M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;
3. пусковую диаграмму для трехступенчатого пуска, если ток переключения $I_1 = 2,5I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т} = 3,6I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске;

6. кривые переходного процесса при торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.4 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные : мощность на валу $P_{ном} = 3,5 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 10,5 \text{ А}$; частоту вращения холостого хода $n_0 = 1702 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_{ном} = 0,88$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_d ; при котором скорость вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 1,1 M_{ном}$ будет равна $\omega_d = 130,1 \text{ с}^{-1}$; определить добавочное сопротивление R_d и частоту вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму для трехступенчатого пуска, если ток переключения $I_2 = 1,4 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить силу тока якоря в начале торможения, если тормозное сопротивление $R_m = 12,7 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.5 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные : мощность, потребляемая двигателем, $P = 3,76 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 17,1 \text{ А}$; частоту вращения якоря $n_{ном} = 2200 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_{ном} = 0,85$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_d = 0,5 \text{ Ом}$; определить частоту вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 0,98 M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;
3. пусковую диаграмму для трехступенчатого пуска, если ток переключения $I_1 = 2,1 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т} = 4,5 I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.6 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные : мощность на валу $P_{ном} = 2,2 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном} = 110 \text{ В}$; частоту вращения холостого хода $n_0 = 823 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_{ном} = 0,82$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;

2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_δ ; при котором частота вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 0,87 \times M_{ном}$ будет равна $n_\delta = 650 \text{ об/мин}$; определить добавочное сопротивление R_δ и частоту вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму, если токи переключения равны $I_1 = 2,1 I_{ном}$ и $I_2 = 1,51 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить силу тока якоря в начале торможения, если тормозное сопротивление $R_m = 2,6 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.7 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P = 5,84 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; частоту вращения якоря $n_{ном} = 3000 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_{ном} = 0,87$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_\delta = 0,5 \text{ Ом}$; определить скорость вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 0,82 \times M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;
3. пусковую диаграмму для трехступенчатого пуска, если ток переключения $I_2 = 1,16 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т} = 3,4 I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.8 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: ток $I_{ном} = 11,2 \text{ А}$; напряжение $U_{ном} = 440 \text{ В}$; скорость холостого хода $w_0 = 119,65 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном} = 0,75$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_δ ; при котором скорость вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 0,75 \times M_{ном}$ будет равна $w_\delta = 94,2 \text{ с}^{-1}$; определить добавочное сопротивление R_δ и частоту вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму, если токи переключения равны $I_1 = 2 I_{ном}$ и $I_2 = 1,26 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;

4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить силу тока якоря в начале торможения, если тормозное сопротивление $R_m = 6,6 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.9 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P=6,54 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; скорость вращения якоря $\omega_{ном} = 230,4 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном} = 0,81$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_d ; при котором частота вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 0,95 \times M_{ном}$ будет равна $n_d = 1900 \text{ об/мин}$; определить добавочное сопротивление R_d и скорость вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму для трехступенчатого пуска, если ток переключения $I_2=1,55 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т}=2,7 I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.10 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном}=2,2 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 10,9 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,92$, скорость вращения якоря $\omega_{ном} = 314,1 \text{ с}^{-1}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_d = 0,4 \text{ Ом}$; определить частоту вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 0,85 \times M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;
3. пусковую диаграмму, если токи переключения равны $I_1 = 2,2 I_{ном}$ и $I_2 = 1,4 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т} = 3 I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.11 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P=3,81 \text{ кВт}$; ток $I_{ном}=34,64 \text{ А}$; скорость холостого хода $w_0 = 171,1 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном}=0,84$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_δ ; при котором частота вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 0,91 M_{ном}$ будет равна $n_\delta = 1250 \text{ об/мин}$; определить добавочное сопротивление R_δ и скорость вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму для трехступенчатого пуска, если ток переключения $I_1=2,4 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить силу тока якоря в начале торможения, если тормозное сопротивление $R = 1,3 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1./

Задача 2.12 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 3,8 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном} = 110 \text{ В}$; скорость холостого хода $w_0 = 172 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном} = 0,83$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_\delta = 0,25 \text{ Ом}$; определить скорость вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 0,95 M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;
3. пусковую диаграмму для трехступенчатого пуска, если ток переключения $I_1=2,1 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить силу тока якоря в начале торможения, если тормозное сопротивление $R_m = 0,5 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1./

Задача 2.13 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P=111,73 \text{ кВт}$; частоту вращения якоря $n_{ном} = 1500 \text{ об/мин}$; напряжение $U_{ном}=220 \text{ В}$; КПД $\eta_{ном} = 0,895$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_\delta = 0,035 \text{ Ом}$; определить скорость вращения якоря двигателя для момента сопротивления

- $M_c = 1,12 M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;
3. пусковую диаграмму для четырехступенчатого пуска, если ток переключения $I_2 = 1,33 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
 4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т} = 2,5 I_{ном}$;
 5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.14 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: ток $I_{ном} = 74 \text{ A}$; напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; скорость холостого хода $w_0 = 366,3 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном} = 0,86$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_δ ; при котором скорость вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 0,83 M_{ном}$ будет равна $w_\delta = 245 \text{ с}^{-1}$; определить добавочное сопротивление R_δ и частоту вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму, если токи переключения равны $I_1 = 1,6 I_{ном}$ и $I_2 = 1,1 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить силу тока якоря в начале торможения, если тормозное сопротивление $R_m = 0,6 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.15 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P = 8,58 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном} = 440 \text{ В}$; скорость вращения якоря $w_{ном} = 148 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном} = 0,91$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_δ ; при котором частота вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 0,95 M_{ном}$ будет равна $n_\delta = 1000 \text{ об/мин}$; определить добавочное сопротивление R_δ и скорость вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму для четырехступенчатого пуска, если ток переключения $I_2 = 1,15 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;

4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т} = 4I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.16 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P=14,828 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 33,7 \text{ А}$; частоту вращения якоря $n_{ном} = 3000 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_{ном} = 0,81$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_d = 0,9 \text{ Ом}$; определить частоту вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 0,87M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;
3. пусковую диаграмму для трехступенчатого пуска, если ток переключения $I_1=1,92I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т}=3,2I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.17 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 17 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном}=440 \text{ В}$; скорость холостого хода $w_0 = 145,2 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном} = 0,91$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_d = 1,5 \text{ Ом}$; определить скорость вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 0,76M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;
3. пусковую диаграмму для четырехступенчатого пуска, если ток переключения $I_1=1,86I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить силу тока якоря в начале торможения, если тормозное сопротивление $R_m = 1,2 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.18 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные : мощность , потребляемая двигателем , $P=13,02 \text{ кВт}$; ток $I_{ном}= 118 \text{ А}$; скорость холостого хода $w_0 = 185,5 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном}=0,845$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_δ ; при котором частота вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 1,05 \times M_{ном}$ будет равна $n_\delta = 1310 \text{ об/мин}$; определить добавочное сопротивление R_δ и скорость вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму для четырехступенчатого пуска, если ток переключения $I_1=1,72 \times I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках ; определить силу тока якоря в начале торможения , если тормозное сопротивление $R_m=0,25 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.19 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 75 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном}=220 \text{ В}$; частоту вращения холостого хода $n_0 = 849,3 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_{ном} = 0,88$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_δ ; при котором частота вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 0,98 \times M_{ном}$ будет равна $n_\delta = 620 \text{ об/мин}$; определить добавочное сопротивление R_δ и частоту вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму, если токи переключения равны $I_1 = 1,64 \times I_{ном}$ и $I_2 = 1,05 \times I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости , соответствующей заданному моменту сопротивления , при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках ; определить силу тока якоря в начале торможения , если тормозное сопротивление $R_m=0,2 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.20 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные : мощность на валу $P_{ном} = 32 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном}=440 \text{ В}$; скорость вращения якоря $w_{ном} = 105 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном} = 0,887$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_{\delta} = 0,35 \text{ Ом}$; определить частоту вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 1,08 \times M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;
3. пусковую диаграмму, если токи переключения равны $I_1 = 1,8 I_{ном}$ и $I_2 = 1,2 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т} = 2,8 I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.21 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 25 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 264 \text{ А}$; частоту вращения холостого хода $n_0 = 868,7 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_{ном} = 0,86$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_{δ} ; при котором скорость вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 0,78 \times M_{ном}$ будет равна $w_{\delta} = 58 \text{ с}^{-1}$; определить добавочное сопротивление R_{δ} и частоту вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму для четырехступенчатого пуска, если ток переключения $I_2 = 0,95 I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики динамического торможения со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить силу тока якоря в начале торможения, если тормозное сопротивление $R_m = 0,06 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.22 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: ток $I_{ном} = 286 \text{ А}$; напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; частоту вращения якоря $n_{ном} = 1000 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_{ном} = 0,875$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_{\delta} = 0,1 \text{ Ом}$; определить частоту вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 1,15 \times M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;

3. пусковую диаграмму для четырехступенчатого пуска, если ток переключения $I_1=1,9I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т}=3,1I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.23 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 19 \text{ кВт}$; ток $I_{ном}=213 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,81$, скорость вращения якоря $w_{ном} = 63 \text{ с}^{-1}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_\delta = 0,2 \text{ Ом}$; определить частоту вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 0,75M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;
3. пусковую диаграмму, если токи переключения равны $I_1=1,42I_{ном}$ и $I_2=1,02I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;
4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить тормозное сопротивление R_m , если допустимое значение тока якоря $I_{доп.т}=2,7I_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 2.24 Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P=48,84 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном} = 110 \text{ В}$; скорость холостого хода $w_0 = 122,1 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном}=0,86$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; соответствующие включению в цепь якоря добавочного сопротивления R_δ ; при котором частота вращения якоря для момента сопротивления $M_c = 0,92M_{ном}$ будет равна $n_\delta = 770 \text{ об/мин}$; определить добавочное сопротивление R_δ и частоту вращения якоря при работе двигателя с такой же нагрузкой на естественной характеристике;
3. пусковую диаграмму для четырехступенчатого пуска, если ток переключения $I_2=1,18I_{ном}$; определить сопротивления ступеней пускового реостата;

4. механическую и электромеханическую характеристики торможения противовключением со скорости, соответствующей заданному моменту сопротивления, при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках; определить силу тока якоря в начале торможения, если тормозное сопротивление $R_m=0,1 \text{ Ом}$;
5. кривые переходного процесса при пуске и торможении;
/значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

3. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И КРИВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Пример: Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные : мощность на валу $P_{ном} = 3 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; ток $I_{ном} = 19 \text{ А}$; частота вращения якоря $n_{ном}=960 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_{ном} = 0,8$; допустимый ток якоря $I_{доп} = 2I_{ном}$, определить пусковое сопротивление, рассчитать и построить естественные и искусственные /реостатные/ механические и электромеханические характеристики.

Решение

- 1 Определяем номинальную угловую скорость

$$\omega_{ном} = \frac{2p \cdot n_{ном}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 960}{60} = 100 \text{ с}^{-1}$$

- 2 Определяем номинальный момент

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{3000}{100} = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- 3 Для значений тока, соответствующих относительным значениям универсальной характеристики /таблица 3.1/ $I = I_x \times I_{ном}$, определяем значения момента $M = M_x \times M_{ном}$ и угловой скорости $\omega_e = \omega_x \times \omega_{ном}$.

Таблица 3.1

I_x	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
M_x	0,1	0,27	0,47	0,74	1,0	1,3	1,6	1,9	2,22	2,54	2,84	3,1
w_x	3,0	1,9	1,33	1,11	1,0	0,92	0,81	0,74	0,69	0,64	0,6	0,57

Результаты расчета сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

I, A	6,8	9,4	11,4	16,2	19,0	22,8	28,4	34,2	38,0	41,8
$M, H\cdot m$	3,0	8,1	14,4	22,2	30,0	39,0	48,0	66,6	76,2	85,2
w_e, c^{-1}	300,0	190,0	132,0	111,0	100,0	92,0	81,0	69,0	64,0	60,0
w_w, c^{-1}	265,5	159,1	105,5	78,0	64,2	51,0	33,53	17,2	0,13	0

- 4 По полученным значениям, представленным в таблице 3.2, строим естественные механическую и электромеханическую характеристики, которые показаны на рисунках 3.1 и 3.2.

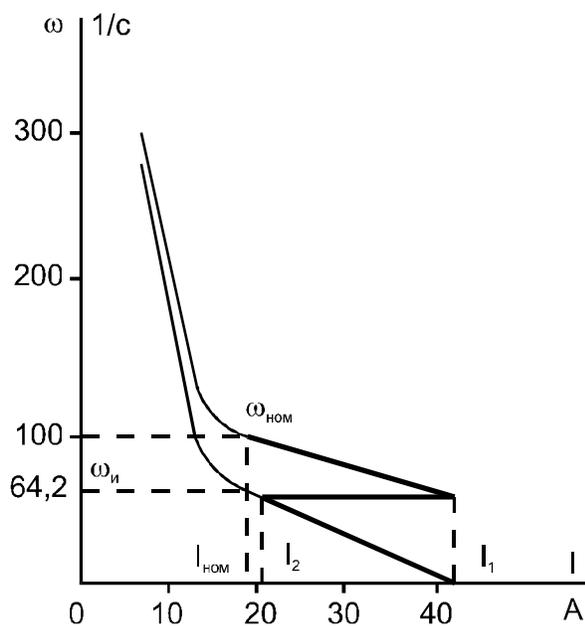


Рис. 3.1

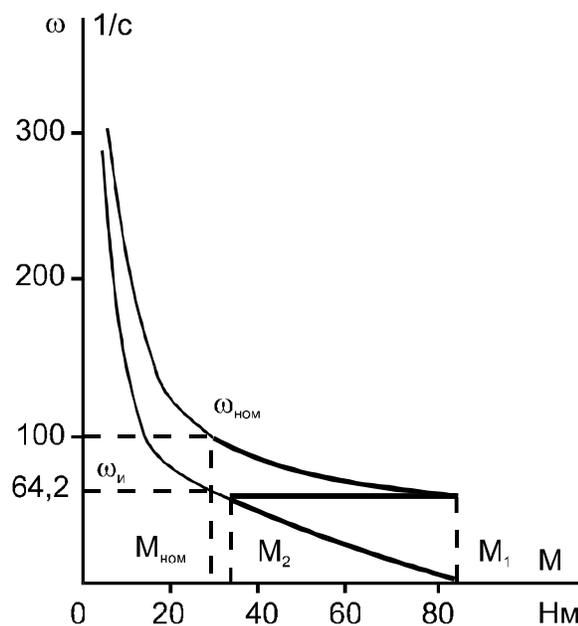


Рис. 3.2

- 5 Определяем номинальное сопротивление двигателя

$$R_{ном} = \frac{U_{ном}}{I_{ном}} = \frac{220}{19} = 11,6 \text{ Ом}$$

6 Определяем сопротивление цепи якоря

$$R_{\delta\sigma} = R_{\gamma} + R_{\sigma\delta} = 0,75 \cdot R_{ном} \cdot (1 - h_{ном}) = 0,75 \cdot 11,6 \cdot (1 - 0,8) = 1,74 \text{ Ом}$$

7 Определяем пусковое сопротивление

$$R_n = \frac{U_{ном}}{I_{\delta\sigma}} - R_{\delta\sigma} = \frac{220}{2,2 \cdot 19} - 1,74 = 3,52 \text{ Ом}$$

8 Значения угловой скорости на пусковых характеристиках, соответствующие различным значениям тока и момента, определяем по формуле:

$$W_{ui} = W_{ei} \cdot \frac{U_{ном} - I_i \cdot (R_{\delta\sigma} + R_n)}{U_{ном} - I_i \cdot R_{\delta\sigma}} = W_{ei} \cdot \frac{220 - I_i \cdot (1,74 + 3,52)}{220 - I_i \cdot 1,74};$$

Результаты расчета сведены в таблицу 3.2. Искусственные характеристики показаны на рисунках 3.1 и 3.2.

9 Определяем скорость двигателя на пусковой характеристике для номинального тока $I_{ном}=19\text{А}$

$$W_u = W_{ном} \cdot \frac{U_{ном} - I_{ном} \cdot (R_{\delta\sigma} + R_n)}{U_{ном} - I_{ном} \cdot R_{\delta\sigma}} = 100 \cdot \frac{220 - 19 \cdot (1,74 + 3,52)}{220 - 19 \cdot 1,74} = 64,2 \text{ с}^{-1}$$

10 Считая ток (момент) переключения $I_1 = I_{\delta\sigma} = 2,2 \cdot 19 = 41,8 \text{ А}$ ($M_1 = M_{\delta\sigma} = 2,84 \times 30 = 85,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$), определяем значение тока $I_2 = 20,5 \text{ А}$ и момента $M_2 = 34 \text{ Н}\cdot\text{м}$ переключения по пусковым характеристикам на рисунках 3.1 и 3.2, на которых показаны и пусковые диаграммы.

Задача 3.1 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; ток $I_{ном} = 16 \text{ А}$; КПД $h_{ном} = 0,71$; частота вращения якоря $n_{ном} = 1100 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_{δ} ; при котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n = 0,45 n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_{δ} и скорость двигателя для $I_c = 0,6 I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;

3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 1,9 I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) \times w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырёх ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.2 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 4 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 13 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,7$; частота вращения якоря $n_{ном} = 1050 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 4 \text{ Ом}$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 4 \text{ Ом}$; определить скорость двигателя для $M_c = 0,85 M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2,5 I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) \times w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырёх ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.3 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P = 14,75 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 67 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,81$; частота вращения якоря $n_{ном} = 1100 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_d ; при котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n = 0,4 n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_d и скорость двига-

теля для $I_c = 0,8I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя ;

3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска , если допустимое значение тока двигателя $I_{доп}=2,1I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07)w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.4 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 440 В$; мощность на валу $P_{ном} = 17 кВт$; ток $I_{ном} = 47 А$; частота вращения якоря $n_{ном} = 970 об/мин$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_\delta = 4,7 Ом$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_\delta = 4,7 Ом$; определить скорость двигателя для $I_c = 0,9I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска , если допустимое значение тока двигателя $I_{доп}=2,3I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07)w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.5 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 220 В$; мощность на валу $P_{ном} = 8 кВт$; КПД $\eta_{ном} = 0,79$; частота вращения якоря $n_{ном} = 800 об/мин$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_δ ; при

котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n=0,5n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_d и скорость двигателя для $M_c = 0,6M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;

3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп}=2I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07)w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.6 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 440 В$; КПД $\eta_{ном} = 0,8$; мощность, потребляемая двигателем, $P = 8,8 кВт$; частота вращения якоря $n_{ном}=1180 об/мин$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 4,5 Ом$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 4,5 Ом$; определить скорость двигателя для $I_c = 0,9I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп}=2,2I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07)w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.7 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 5,5 кВт$; ток $I_{ном}=33 А$; КПД $\eta_{ном} = 0,76$; частота вращения якоря $n_{ном} = 1200 об/мин$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;

2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_d ; при котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n=0,7n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_d и скорость двигателя для $I_c = 0,9I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп}=2,2I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07)w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырёх ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.8 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; мощность, потребляемая двигателем, $P = 28,6 \text{ кВт}$; КПД $\eta_{ном} = 0,84$; частота вращения якоря $n_{ном}=970 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_d ; при котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n=0,8n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_d и скорость двигателя для $I_c = 0,8I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп}=2,3I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07)w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырёх ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.9 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; ток $I_{ном} = 98 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,83$; частота вращения якоря $n_{ном} = 960 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_d ; при котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n=0,6n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_d и скорость двигателя для $M_c=0,75M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп}=1,95I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07)w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.10 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 6,7 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 19 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,8$; частота вращения якоря $n_{ном} = 800 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 4,3 \text{ Ом}$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 4,3 \text{ Ом}$; определить скорость двигателя для $I_c = 0,83I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп}=2,2I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07)w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.11 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; мощность,

потребляемая двигателем, $P = 6,15 \text{ кВт}$; КПД $\eta_{ном} = 0,73$; частота вращения якоря $n_{ном} = 900 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_d ; при котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n = 0,75 n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_d и скорость двигателя для $I_c = 1,1 I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2 I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырёх ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.12 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 440 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 32 \text{ кВт}$; КПД $\eta_{ном} = 0,86$; частота вращения якоря $n_{ном} = 900 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 3 \text{ Ом}$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 3 \text{ Ом}$; определить скорость двигателя для $M_c = 0,6 M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2,1 I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырёх ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.13 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P=7,26 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 33 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,76$; частота вращения якоря $n_{ном}=1200 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_d ; при котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n=0,9n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_d и скорость двигателя для $I_c = 0,6I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска , если допустимое значение тока двигателя $I_{доп}=2,1I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) \times w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.14 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P=167,2 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 380 \text{ А}$; мощность на валу $P_{ном} = 150 \text{ кВт}$; частота вращения якоря $n_{ном} = 460 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 0,46 \text{ Ом}$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 0,46 \text{ Ом}$; определить скорость двигателя для $M_c = 0,85 \times M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска , если допустимое значение тока двигателя $I_{доп}=2I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) \times w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;

5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.15 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 16 \text{ кВт}$; КПД $\eta_{ном} = 0,82$; частота вращения якоря $n_{ном} = 650 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_d ; при котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n = 0,5 n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_d и скорость двигателя для $M_c = 1,14 M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2,2 I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырёх ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.16 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 440 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 70 \text{ кВт}$; КПД $\eta_{ном} = 0,88$; частота вращения якоря $n_{ном} = 500 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 1,26 \text{ Ом}$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 1,26 \text{ Ом}$; определить скорость двигателя для $M_c = 0,6 M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2 I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозно-

го реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;

5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.17 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 32 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 170 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,86$; частота вращения якоря $n_{ном} = 900 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_d ; при котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n = 0,65 n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_d и скорость двигателя для $I_c = 0,8 I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2,5 I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.18 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 440 \text{ В}$; мощность, потребляемая двигателем, $P = 44 \text{ кВт}$; КПД $\eta_{ном} = 0,84$; частота вращения якоря $n_{ном} = 525 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 3,3 \text{ Ом}$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 3,3 \text{ Ом}$; определить скорость двигателя для $I_c = 1,14 I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2,2 I_{ном}$;

4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) \times w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.19 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; ток $I_{ном} = 36,5 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,75$; частота вращения якоря $n_{ном} = 850 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики, соответствующие включению в цепь двигателя добавочного сопротивления R_δ ; при котором частота вращения якоря при номинальном моменте будет равна $n = 0,85 \times n_{ном}$; определить добавочное сопротивление R_δ и скорость двигателя для $M_c = 1,25 \times M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2,4 \times I_{ном}$.
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) \times w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.20 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 55 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 145 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,86$; частота вращения якоря $n_{ном} = 510 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_\delta = 1,61 \text{ Ом}$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_\delta = 1,61 \text{ Ом}$; определить скорость двигателя для $I_c = 1,3 \times I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;

3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2,1 I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) \times w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.21 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность, потребляемая двигателем, $P = 18,9 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 43 \text{ А}$; мощность на валу $P_{ном} = 15 \text{ кВт}$; частота вращения якоря $n_{ном} = 660 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 1,7 \text{ Ом}$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 1,7 \text{ Ом}$; определить скорость двигателя для $M_c = 0,88 \times M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
3. пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2,5 I_{ном}$;
4. диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) \times w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
5. графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.22 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: мощность на валу $P_{ном} = 185 \text{ кВт}$; ток $I_{ном} = 467 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,9$; частота вращения якоря $n_{ном} = 410 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 3,47 \text{ Ом}$;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 3,47 \text{ Ом}$; опреде-

- литель скорость двигателя для $M_c = 0,74 \times M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
- пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2 \times I_{ном}$;
 - диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) \times w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
 - графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.23 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$; ток $I_{ном} = 248 \text{ А}$; КПД $\eta_{ном} = 0,86$; частота вращения якоря $n_{ном} = 720 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

- естественные механическую и электромеханическую характеристики;
- искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 1,59 \text{ Ом}$; определить скорость двигателя для $M_c = 1,15 \times M_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
- пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 2,5 \times I_{ном}$;
- диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07) \times w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырех ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
- графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 3.24 Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 110 \text{ В}$; мощность, потребляемая двигателем, $P = 25,3 \text{ кВт}$; КПД $\eta_{ном} = 0,83$; частота вращения якоря $n_{ном} = 3600 \text{ об/мин}$, рассчитать и построить:

- естественные механическую и электромеханическую характеристики; определить, как меняется номинальная частота вращения якоря при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 0,74 \text{ Ом}$;
- искусственные механическую и электромеханическую характеристики при включении в цепь двигателя добавочного сопротивления $R_d = 0,74 \text{ Ом}$; опреде-

- лить скорость двигателя для $I_c = 0,7I_{ном}$ при включении и отсутствии добавочного сопротивления в цепи двигателя;
- пусковую диаграмму и определить сопротивления ступеней пускового реостата для двухступенчатого пуска, если допустимое значение тока двигателя $I_{доп} = 1,9I_{ном}$;
 - диаграмму динамического торможения с самовозбуждением со скорости $w = w_{ном}$ до $w = (0,05 \div 0,07)w_{ном}$ и определить сопротивления ступеней тормозного реостата для трех-четырёх ступенчатого торможения при том же допустимом значении тока двигателя;
 - графоаналитическим методом кривые переходных процессов при пуске и торможении /значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

4. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И КРИВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Пример: Для асинхронного двигателя, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 220 В$; скольжение $s = 0,1$; мощность на валу $P_{ном} = 1,8 кВт$; ток ротора $I_{2ном} = 35 А$; скорость вращения ротора $w_{ном} = 94,23 с^{-1}$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 2$, рассчитать и построить:

- естественную механическую характеристику;
 - искусственную /реостатную/ механическую характеристику, если $s_{ку} = 1$; определить добавочное сопротивление в цепи ротора;
 - пусковую диаграмму для одноступенчатого пуска, если $M_n = M_I = M_K$;
 - графоаналитическим методом график разгона двигателя, если момент сопротивления на валу $M_c = M_{ном}$; определить время разгона;
- /Значение приведенного момента инерции взять из примера раздела 1/.

Решение

- Определяем скорость холостого хода

$$w_0 = \frac{w_{ном}}{1 - s_{ном}} = \frac{94,23}{1 - 0,1} = 104,7 с^{-1}$$

- Определяем номинальный момент

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{w_{ном}} = \frac{1800}{94,23} = 19,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3 Определяем максимальный момент

$$M_{\kappa} = 2 \cdot M_{ном} = 2 \cdot 19,1 = 38,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4 Определяем критическое скольжение

$$S_{ке} = S_{ном} \cdot (I_m + \sqrt{I_m^2 - 1}) = 0,1 \cdot (2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 0,37$$

5 Для различных значений скольжений определяем

а) скорость

$$w = w_0 \cdot (1 - S) = 104,7 \cdot (1 - S)$$

б) момент на валу

$$M_2 = \frac{2 \cdot M_{\kappa}}{\frac{S}{S_{\kappa}} + \frac{S_{\kappa}}{S}} = \frac{2 \cdot 38,2}{\frac{0,37}{0,37} + \frac{0,37}{S}}$$

6 Для тех же значений скольжений определяем значения моментов на искусственной /реостатной/ характеристике, если $s_{ки} = 1$

$$M_u = \frac{2 \cdot M_{\kappa}}{\frac{S}{S_{ки}} + \frac{S_{ки}}{S}} = \frac{2 \cdot 38,2}{\frac{1}{1} + \frac{1}{S}}$$

Результаты расчета сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

S	0	0,1	0,2	0,37	0,4	0,6	0,8	1,0
$w, \text{с}^{-1}$	104,7	94,23	83,76	65,96	62,82	41,88	20,94	0
$M_{\sigma}, \text{Н} \cdot \text{м}$	0	19,1	31,96	38,2	38,08	34,13	29,1	24,86
$M_{\omega}, \text{Н} \cdot \text{м}$	0	7,56	14,69	24,86	26,34	33,71	37,27	38,2

7 Определяем сопротивление ротора

$$R_p = \frac{M_{ном} \cdot w_0 \cdot S_{ном}}{3 \cdot I_{2ном}^2} = \frac{19,1 \cdot 104,7 \cdot 0,1}{3 \cdot 35^2} = 0,054 \text{ Ом}$$

8 Определяем добавочное сопротивление в цепи ротора

$$R_{\partial 2} = R_p \cdot \left(\frac{S_{\kappa u}}{S_{\kappa e}} - 1 \right) = 0,054 \cdot \left(\frac{1}{0,37} - 1 \right) = 0,092 \text{ Ом}$$

9 Определяем скольжение переключения для $m = 1$

$$S_2 = S_e = 0,37, \text{ так как } S_e = S_{\kappa e}$$

10 Определяем момент переключения

$$M_2 = \frac{2 \cdot M_{\kappa}}{\frac{S_{\kappa u}}{S_2} + \frac{S_2}{S_{\kappa u}}} = \frac{2 \cdot 38,2}{\frac{1}{0,37} + \frac{0,37}{1}} = 24,86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковая диаграмма показана на рисунке 4.1.

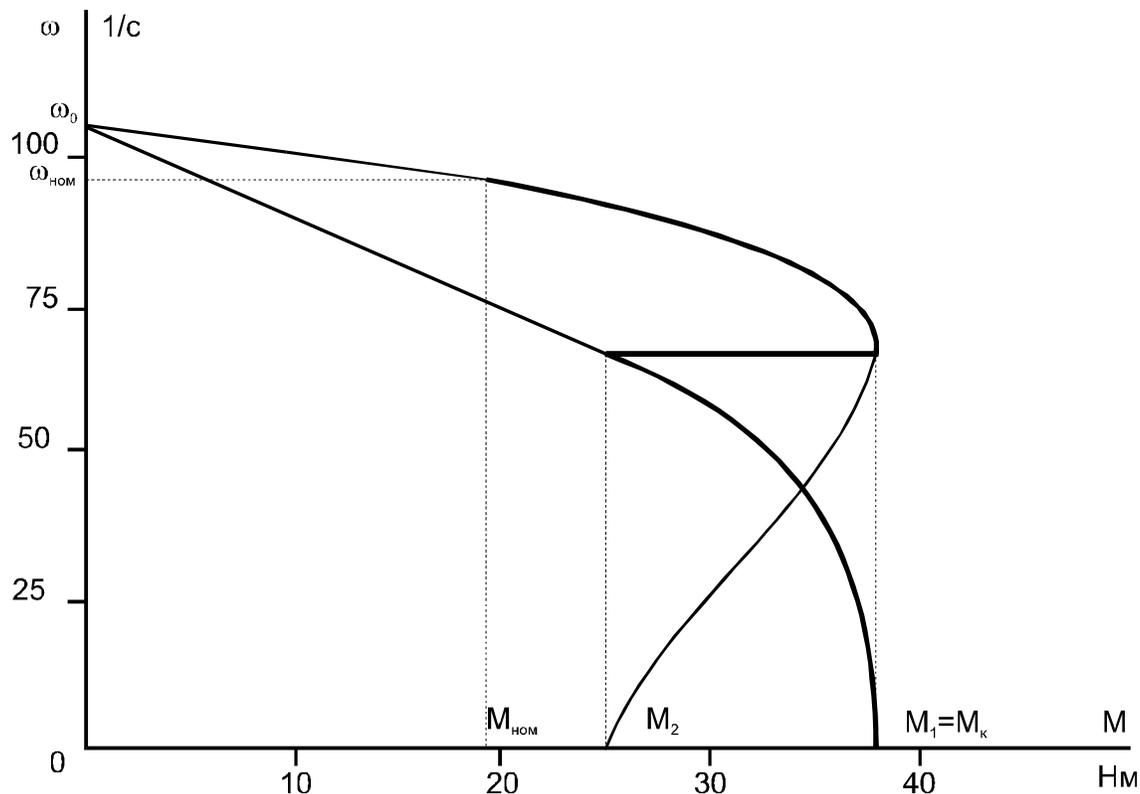


Рисунок 4.1

11 Для построения кривой и определения времени разгона двигателя построим совместную характеристику $M_{дин} = f(\omega)$, где $M_{дин} = M - M_c$ /рисунок 4.2/.

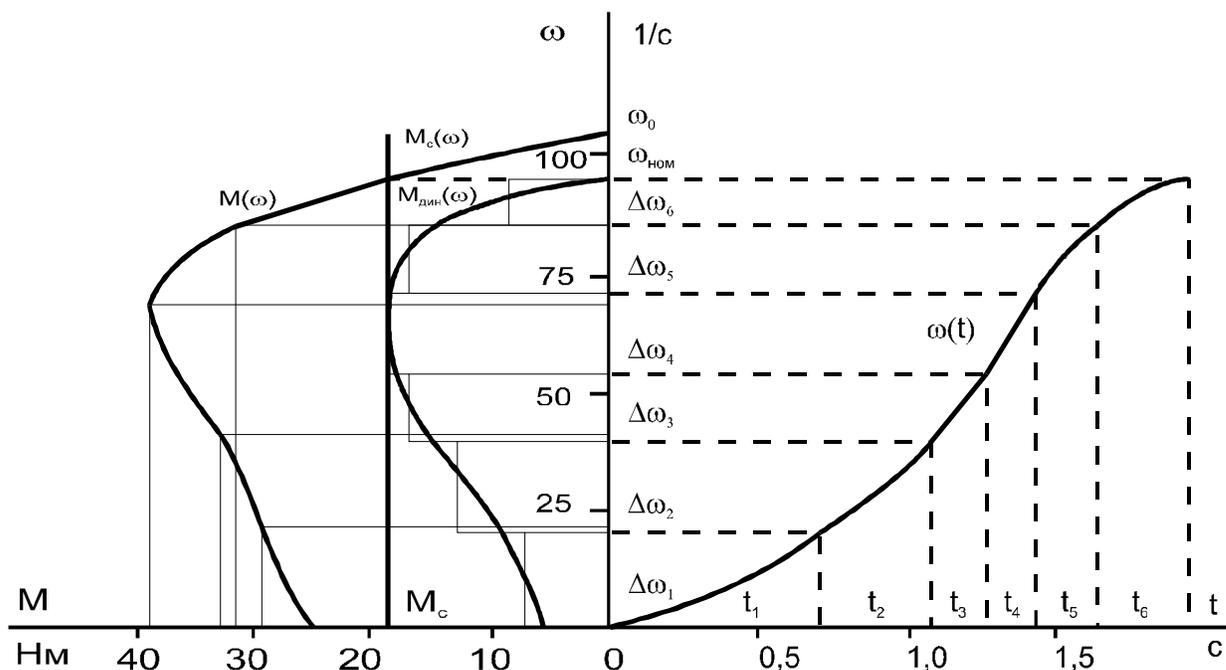


Рисунок 4.2

12 Разбиваем характеристику $M_{дин} = f(\omega)$ на участки, считая на каждом участке $M_{дин} = const$, для каждого участка определяем время разгона /приведенный момент инерции $J = 0,223 \text{ кг}\cdot\text{м}^2/$.

$$\Delta t_i = J \cdot \frac{\Delta \omega_i}{M_{динi}}$$

Результаты расчета сведены в таблицу 4.2

Таблица 4.2

$D\omega, \text{с}^{-1}$	20	20	15	15	14	10,23
$M_{дин}, \text{Н}\cdot\text{м}$	6,6	12,4	17,2	19,0	16,0	6,9
$Dt, \text{с}$	0,67	0,36	0,19	0,18	0,20	0,33

$$t = \sum_{i=1}^6 \Delta t_i = 0,67 + 0,36 + 0,19 + 0,18 + 0,2 + 0,33 = 1,93 \text{ с}$$

13 Определяем время разгона двигателя

Задача 4.1 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; скольжение $s_{ном} = 4\%$; мощность на валу $P_{ном} = 2 \text{ кВт}$; число пар полюсов $p = 3$; ток ротора $I_{2ном} = 15 \text{ А}$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 2$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 20% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д}$, при котором критическое скольжение будет $s_{ки} = 3s_{ке}$; определить добавочное сопротивление $R_{2д}$ и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,85M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 15 + 0,3 \cdot \sqrt{W} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.2 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 6 \text{ кВт}$; число пар полюсов $p = 2$; ток ротора $I_{2ном} = 25 \text{ А}$; частота вращения ротора $n_{ном} = 1455 \text{ об/мин}$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 2,2$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 25% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д}$, при котором критическое скольжение будет $s_{ки} = 2,5s_{ке}$; определить добавочное сопротивление $R_{2д}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,85M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;

- б. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 26 - \left(\frac{w}{50} \right)^2, \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1 \times M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.3 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; скольжение $s_{ном} = 4,5\%$; мощность на валу $P_{ном} = 10,5 \text{ кВт}$; ток ротора $I_{2ном} = 40 \text{ А}$; частота вращения магнитного поля $n_0 = 3000 \text{ об/мин}$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 1,9$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 5% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д} = 0,103 \text{ Ом}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_1 = 0,9 \times M_K$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
- б. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 25 + 0,0001 \cdot w^2, \text{ если момент при пуске должен быть равен}$$

$M_n = 1,1 \times M_c$; определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.4 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; скольжение $s_{ном} = 5\%$; мощность на валу $P_{ном} = 5,8 \text{ кВт}$; ток ротора $I_{2ном} = 23 \text{ А}$; число пар полюсов $p = 2$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 2,1$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 30% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д} = 0,48 \text{ Ом}$;

4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,8M_K$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 33 - 0,0004 \cdot \omega^2 \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен}$$

$M_n = 1,1M_c$; определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.5 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 9 \text{ кВт}$; число пар полюсов $p = 1$; ток ротора $I_{2ном} = 30 \text{ А}$; частота вращения ротора $n_{ном} = 2910 \text{ об/мин}$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 2,25$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 15%;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д}$, при котором критическое скольжение будет $s_{ки} = 3s_{ке}$; определить добавочное
4. сопротивление и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,9M_K$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 20 + \sqrt[3]{\omega^2} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.6 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 1,4 \text{ кВт}$; скольжение $s_{ном} = 6\%$; ток ротора $I_{2ном} = 12 \text{ А}$; частота вращения магнитного поля $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 2,4$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на **10%**;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления R_{2d} , при котором критическое скольжение будет $s_{ки} = 2,5s_{ке}$; определить добавочное сопротивление R_{2d} ;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_1 = 0,95M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 20 - \sqrt{0,5 \cdot w} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.7 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 13 \text{ кВт}$; частота вращения ротора $n_{ном} = 2880 \text{ об/мин}$; ток ротора $I_{2ном} = 50 \text{ А}$; число пар полюсов $p = 1$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 2,3$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на **20%**;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2d} = 0,18 \text{ Ом}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_1 = 0,75M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 35 + \left(\frac{w}{150} \right)^3 \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.8 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 2,7 \text{ кВт}$; ток ротора $I_{2ном} = 18 \text{ А}$; число пар полюсов $p = 3$; скольжение $s_{ном} = 4,5\%$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 2,1$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 25% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д} = 0,131 \text{ Ом}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,95 \times M_K$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 30 - \sqrt{w + 50} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1 \times M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.9 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 7,5 \text{ кВт}$; скольжение $s_{ном} = 2\%$; ток ротора $I_{2ном} = 30 \text{ А}$; частота вращения магнитного поля $n_0 = 1500 \text{ об/мин}$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 2,4$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 5% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д}$, при котором критическое скольжение будет $s_{ки} = 4 \times s_{ке}$; определить добавочное сопротивление $R_{2д}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,8 \times M_K$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = \frac{75}{0,01 \cdot w + 3}$$

, если момент при пуске должен быть равен $M_n = 1,1 \times M_c$;

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.10 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 1,8 \text{ кВт}$; скольжение $s_{ном} = 5\%$; ток ротора $I_{2ном} = 14 \text{ А}$; число пар полюсов $p = 3$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 2,2$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 30% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д}$, при котором критическое скольжение будет $s_{ки} = 3,5 \times s_{ке}$; определить добавочное сопротивление $R_{2д}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_1 = 0,85 \times M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = \frac{110}{6 - 0,01 \cdot w}, \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1 \times M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.11 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 6,5 \text{ кВт}$; частота вращения ротора $n_{ном} = 1440 \text{ об/мин}$; ток ротора $I_{2ном} = 28 \text{ А}$; число пар полюсов $p = 2$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 1,9$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 15% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д} = 0,23 \text{ Ом}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_1 = 0,9 \times M_k$ при $M_c = M_{ном}$;

5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 30 - \sqrt{w} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1 \times M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.12 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 15 \text{ кВт}$; скольжение $s_{ном} = 3,5\%$; частота вращения магнитного поля $n_0 = 3000 \text{ об/мин}$; ток ротора $I_{2ном} = 60 \text{ А}$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 2$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 10% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д} = 0,075 \text{ Ом}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_1 = 0,85 \times M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 30 + \sqrt{w} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1 \times M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.13 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 18 \text{ кВт}$; скольжение $s_{ном} = 6\%$; ток ротора $I_{2ном} = 59 \text{ А}$; частота вращения магнитного поля $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 2,4$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 10% ;

3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления R_{2d} , при котором критическое скольжение будет $s_{ки} = 2,75s_{ке}$; определить добавочное сопротивление R_{2d} ;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,8M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 230 - \sqrt{0,5 \cdot w} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.14 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; скольжение $s_{ном} = 4\%$; мощность на валу $P_{ном} = 5,8 \text{ кВт}$; ток ротора $I_{2ном} = 19 \text{ А}$; число пар полюсов $p = 2$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 3,2$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 30%;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2d} = 0,28 \text{ Ом}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,75M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 60 - 0,0004 \cdot w^2 \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен}$$

$M_n = 1,1M_c$; определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.15 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу

$P_{ном}=26 \text{ кВт}$; скольжение $s_{ном} = 5\%$; ток ротора $I_{2ном} = 68 \text{ А}$; число пар полюсов $p = 3$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 1,8$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 30% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д}$, при котором критическое скольжение будет $s_{ки} = 1,75 s_{ке}$; определить добавочное сопротивление $R_{2д}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,9 M_K$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = \frac{620}{4 - 0,01 \cdot w} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1 M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.16 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном}=8,2 \text{ кВт}$; скольжение $s_{ном} = 2\%$; ток ротора $I_{2ном} = 23 \text{ А}$; частота вращения магнитного поля $n_0 = 1500 \text{ об/мин}$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 2,8$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 5% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д} = 0,23 \text{ Ом}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,85 M_K$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = \frac{160}{0,01 \cdot w + 5} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1 M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.17 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 В$; мощность на валу $P_{ном} = 11 кВт$; число пар полюсов $p = 2$; ток ротора $I_{2ном} = 43 А$; частота вращения ротора $n_{ном} = 1455 об/мин$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 3,4$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 25%;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д}$, при котором критическое скольжение будет $s_{крит} = 2,75 s_{ке}$; определить добавочное сопротивление $R_{2д}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,75 M_K$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 100 - \left(\frac{w}{50} \right)^2, \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1 M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.18 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 В$; мощность на валу $P_{ном} = 3,5 кВт$; скольжение $s_{ном} = 3\%$; частота вращения магнитного поля $n_0 = 3000 об/мин$; ток ротора $I_{2ном} = 13,5 А$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 2,3$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 15%;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д} = 0,25 Ом$;

4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_l = 0,8M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 10 + \sqrt{w} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.19 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 22 \text{ кВт}$; ток ротора $I_{2ном} = 63 \text{ А}$; число пар полюсов $p = 3$; скольжение $s_{ном} = 4,5\%$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 3,1$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 25% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д}$, при котором критическое скольжение будет $s_{крит} = 3,25s_{ке}$; определить добавочное сопротивление $R_{2д}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_l = 0,9M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 130 - \sqrt{w + 50} \quad , \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.20 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; скольжение $s_{ном} = 4,5\%$; мощность на валу $P_{ном} = 5 \text{ кВт}$; ток ротора $I_{2ном} = 16,2 \text{ А}$; частота вращения магнитного поля $n_0 = 3000 \text{ об/мин}$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 3,1$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 5% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2d} = 0,22 \text{ Ом}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_1 = 0,75 M_K$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 30 + 0,0001 \cdot \omega^2$$

, если момент при пуске должен быть равен

$$M_n = 1,1 M_c; \text{ определить время разгона.}$$

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.21 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 1,7 \text{ кВт}$; частота вращения ротора $n_{ном} = 2895 \text{ об/мин}$; ток ротора $I_{2ном} = 12 \text{ А}$; число пар полюсов $p = 1$; перегрузочная способность двигателя $M_K/M_{ном} = 2,35$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 15% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления R_{2d} , при котором критическое скольжение будет $s_{ки} = 3,75 s_{ке}$; определить добавочное сопротивление R_{2d} ;

4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_1 = 0,8M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 5 - \sqrt[5]{w}$$
 , если момент при пуске должен быть равен $M_n = 1,1M_c$;

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.22 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 В$; скольжение $s_{ном} = 4\%$; мощность на валу $P_{ном} = 30 кВт$; число пар полюсов $p = 3$; ток ротора $I_{2ном} = 72 А$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 2,7$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 20% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2д} = 0,18 Ом$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_1 = 0,85M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 155 + 0,1 \cdot \sqrt{w}$$

, если момент при пуске должен быть равен $M_n = 1,1M_c$;

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.23 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные : напряжение $U_{ном} = 380 В$; мощность на валу $P_{ном} = 16 кВт$; число пар полюсов $p = 2$, ток ротора $I_{2ном} = 46,3 А$; частота враще-

ния ротора $n_{ном} = 1425 \text{ об/мин}$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 2,1$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 15% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления R_{2d} , при котором критическое скольжение будет $s_{ки} = 2,75s_{ке}$; определить добавочное сопротивление R_{2d} ;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,8M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 90 + \sqrt[5]{W^2}$$

, если момент при пуске должен быть равен $M_n = 1,1M_c$;

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

Задача 4.24 Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего следующие паспортные данные: напряжение $U_{ном} = 380 \text{ В}$; мощность на валу $P_{ном} = 2.2 \text{ кВт}$; частота вращения ротора $n_{ном} = 2880 \text{ об/мин}$; ток ротора $I_{2ном} = 11.1 \text{ А}$; число пар полюсов $p = 1$; перегрузочная способность двигателя $M_k/M_{ном} = 2,6$, рассчитать и построить:

1. естественную механическую характеристику;
2. искусственную механическую характеристику при снижении напряжения сети на 20% ;
3. искусственную /реостатную/ механическую характеристику, соответствующую включению в цепь ротора добавочного сопротивления $R_{2d} = 0,31 \text{ Ом}$;
4. пусковую диаграмму и сопротивления ступеней пускового реостата для трех – четырехступенчатого пуска с пусковым моментом $M_n = M_I = 0,85M_k$ при $M_c = M_{ном}$;
5. кривые переходного процесса при пуске, используя графоаналитический метод;
6. графическим методом график разгона по реостатной характеристике при работе двигателя с нагрузкой, имеющей механическую характеристику

$$M_c = 8 + \left(\frac{w}{150} \right)^3, \text{ если момент при пуске должен быть равен } M_n = 1,1 M_c;$$

определить время разгона.

/Значение приведенного момента инерции взять из задачи 1/.

5. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ, ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ПРОВЕРКА ИХ ПО НАГРЕВУ

Пример: Для нагрузочной диаграммы, показанной на рисунке 5.1 выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0=1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$.
 Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев, если коэффициент потерь $a = 0,3$.

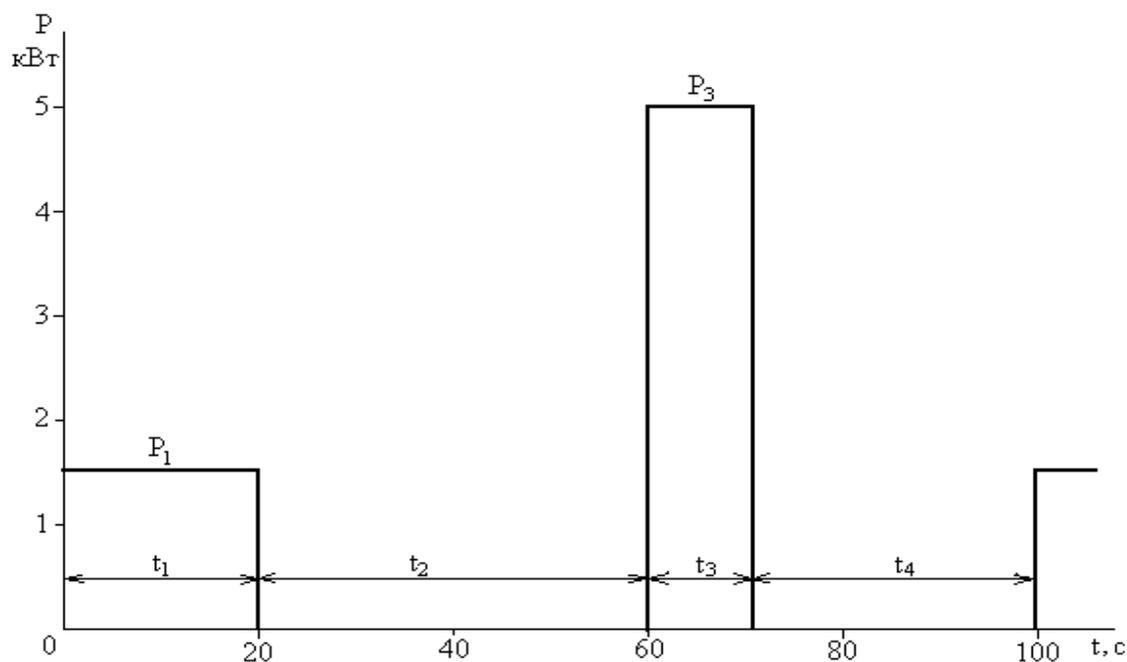


Рисунок 5.1

Решение

1 Для выбора электродвигателя определим:

1.1 Эквивалентную мощность

$$P'_9 = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_3}} = \sqrt{\frac{2,5^2 \cdot 20 + 5^2 \cdot 10}{20 + 10}} = 3,54 \text{ кВт}$$

1.2. Продолжительность включения

$$ПВ\% = \frac{t_1 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \cdot 100\% = \frac{20 + 10}{20 + 40 + 10 + 30} \cdot 100\% = 30\%$$

1.3. Мощность электродвигателя, приведенная к нормативной $ПВ\% = 25\%$

$$P_9 = P'_9 \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_n}} = 3,54 \cdot \sqrt{\frac{30}{25}} = 3,87 \text{ кВт}$$

1.4. Выбираем (таблица 5.1) электродвигатель МТФ 111-6 с паспортными данными:

$$P_{ном} = 4,1 \text{ кВт}$$
$$n_{ном} = 895 \text{ об/мин}$$

$$I_1 = 10,4 \text{ А}$$
$$\cos \varphi = 0,73$$

$$h_{ном} = 70\%$$
$$M_k/M_{ном} = 1,9$$

2 Для проверки двигателя на перегрузочную способность определим:

2.1 Номинальный момент

$$M_{ном} = 9,55 \frac{P_{ном}}{n_{ном}} = 9,55 \frac{4,1 \cdot 10^3}{895} = 43,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.2 Критический момент

$$M_k = 1,9 \cdot M_{ном} = 1,9 \cdot 43,75 = 83,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.3 Частоту вращения на участке с наибольшей нагрузкой (3 участок с $P = 5 \text{ кВт}$). Для этого, считая рабочую часть механической характеристики линейной, составим пропорцию:

$$\frac{S_{ном}}{S_3} = \frac{P_{ном}}{P_3} \quad \text{или} \quad \frac{n_0 - n_{ном}}{n_0 - n_3} = \frac{P_{ном}}{P_3}, \text{ откуда}$$

$$n_3 = n_0 - \frac{P_3}{P_{ном}} (n_0 - n_{ном}) = 1000 - \frac{5}{4,1} (1000 - 895) = 872 \text{ об/мин}$$

2.4 Наибольший момент нагрузки

т.е. $M_{3m} = 54,76 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\kappa} = 83,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – двигатель выдержит нагрузку.

$$M_{3m} = 9,55 \frac{P_3}{n_3} = 9,55 \frac{5 \cdot 10^3}{872} = 54,76 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3 Для проверки электродвигателя на перегрев определим:

3.1. Номинальную мощность потерь

$$\Delta P_{\text{ном}} = K + V_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{1}{h_{\text{ном}}} - 1 \right) = 4,1 \cdot \left(\frac{1}{0,7} - 1 \right) = 1,76 \text{ кВт}$$

3.2. Мощность постоянных потерь

$$K = \frac{a}{1+a} \cdot \Delta P_{\text{ном}} = \frac{0,3}{1+0,3} \cdot 1,76 = 0,41 \text{ кВт}$$

3.3. Номинальную мощность переменных потерь

$$V_{\text{ном}} = \frac{\Delta P_{\text{ном}}}{1+a} = \frac{1,76}{1+0,3} = 1,35 \text{ кВт}$$

3.4. Мощность потерь на участках

$$\Delta P_1 = K + V_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{P_1}{P_{\text{ном}}} \right)^2 = 0,41 + 1,35 \cdot \left(\frac{2,5}{4,1} \right)^2 = 0,91 \text{ кВт}$$

3.5. Мощность средних потерь

$$P'_{\text{cp}} = \frac{\Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_3 \cdot t_3}{t_1 + t_3} = \frac{0,91 \cdot 20 + 2,42 \cdot 10}{20 + 10} = 1,41 \text{ кВт}$$

Мощность средних потерь, приведенная к нормативной $\text{ПВ}\% = 25\%$

$$\Delta P_{\text{cp}} = P'_{\text{cp}} \cdot \frac{\text{ПВ}}{\text{ПВ}_n} = 1,41 \cdot \frac{30}{25} = 1,7 \text{ кВт}$$

т.е. $\Delta P_{\text{cp}} = 1,7 \text{ кВт} < \Delta P_{\text{ном}} = 1,76 \text{ кВт}$ – двигатель будет работать в нормальном тепловом режиме.

Крановые асинхронные электродвигатели с фазным ротором
($n_0=1000$ об/мин; $U=380$ В)

Таблица 5.1

Тип электро- двигателя	P_2 , кВт				n об/ мин	I_1 , А	\cos φ	η , %	I_2 , А	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном.}}}$
	15 %	25 %	40 %	60 %						
MTF 011-6	2	1,7	1,4	1,2	850	5,9	0,72	60	12,0	2,0
					885	5,3	0,65	61	9,1	
					910	5,1	0,59	60	7,5	
					885	10,4	0,78	68	18,5	
MTF 012-6	3,1	2,7	2,2	1,7	840	8,9	0,74	62	15,0	1,9
					890	7,6	0,68	64	11,5	
					920	7,04	0,57	64	8,4	
					850	12,8	0,81	66	21,0	
MTF 111-6	4,5	4,1	3,5	2,8	870	11,7	0,79	68	18,7	1,9
					895	10,4	0,73	70	15,0	
					920	9,1	0,65	72	11,5	
					895	17,5	0,78	72	23,0	
MTF 112-6	6,5	5,8	5	4	915	16,0	0,74	74	20,2	2,4
					930	14,4	0,7	75	16,9	
					950	13,2	0,62	74	13,0	
					895	27,5	0,78	74	30,0	
MTF 211-6	10,5	9	7,5	6	915	24,0	0,74	77	25,0	2,1
					930	21,0	0,7	77	19,8	
					945	18,5	0,63	78	15,5	
					925	37,0	0,76	75	56,9	
MTF 311-6	14	13	11	9	935	34,5	0,74	77	51,0	2,5
					945	30,5	0,69	79	42,0	
					960	28,0	0,63	77	34,0	
					965	29,0	0,78	71	32,0	
MTF 312-6	14,5	17,5	15	12	945	46,5	0,8	80	61	2,6
					950	42,5	0,77	81	54	
					955	38,0	0,73	82	46	
					965	34,0	0,66	81	36	
MTF 411-6	30	27	22		945	69,5	0,80	82	86	2,6
					955	64	0,77	83	77	
					965	55	0,73	83,5	60	

				18	970	49	0,67	83	41	
--	--	--	--	----	-----	----	------	----	----	--

Таблица 5.1 Продолжение

Тип электро- двигателя	P_2 , кВт				n об/ мин	I_1 , А	$\cos j$	h , %	I_2 , А	$M_{\text{макс}}$ $M_{\text{ном}}$
	15 %	25 %	40 %	60 %						
МТФ 412-6	40	36	30	25	960	94	0,77	84,0	100	2,5
					965	86	0,75	84,5	88	
					970	75	0,71	85,5	73	
					975	70	0,65	83,5	61	
МТН 512-6	65	55	44	33	955	137	0,82	88	130	2,7
					960	120	0,74	88	106	
					970	99	0,76	89	86	
					980	85	0,67	88	63	
МТН 611-6	85	75	58	45	940	175	0,86	86	204	2,7
					950	154	0,85	87	180	
					960	127	0,80	87	140	
					970	107	0,74	86	108	
МТН 612-6	112	95	80	60	950	225	0,86	88	207	2,8
					960	193	0,85	88	176	
					965	171	0,81	88	148	
					975	140	0,75	87	111	

Для всех задач температуру окружающей среды принять $t_{o.c.} = 25^\circ\text{C}$.

Задача 5.1 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
t , с	10	220	160	15	150	20	15	10
P , кВт	15	–	–	10	–	4	12	6

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,6$, постоянная времени нагрева $T_n=7$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,2$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **E**.

Задача 5.2 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

<i>Участки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	25	150	10	210	25	40	110	30
<i>M, Н·м</i>	19	–	38	–	9	57	–	29

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,45$, постоянная времени нагрева $T_n=10$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,15$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **B**.

Задача 5.3 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

<i>Участки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>T, с</i>	45	35	100	90	80	180	50	20
<i>P, кВт</i>	6	17	–	–	10	–	7	2

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,55$, постоянная времени нагрева

$T_n=25$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,4$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **F**.

Задача 5.4 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
$t, с$	40	70	90	90	60	110	35	105
$M, Н\cdot м$	6	–	–	19	38	–	57	29

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,35$, постоянная времени нагрева $T_n=30$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,7$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **E**.

Задача 5.5 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
$t, с$	15	140	10	180	10	20	5	220
$P, кВт$	18	–	6	–	3	15	20	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,5$, постоянная времени нагрева $T_n=6$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,1$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **B**.

Задача 5.6 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

<i>Участки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	30	20	120	100	50	25	200	55
<i>M, Нм</i>	95	171	–	–	285	430	–	162

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,6$, постоянная времени нагрева $T_n = 15 \text{ с}$, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,3$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса *F*.

Задача 5.7 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

<i>Участки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	70	40	30	100	50	50	180	80
<i>P, кВт</i>	3	2	6	–	–	11	–	5

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,4$, постоянная времени нагрева $T_n = 18 \text{ с}$, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,3$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса *E*.

Задача 5.8 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с син-

хронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
$t, \text{ с}$	140	70	50	40	80	20	90	110
$M, \text{ Н}\cdot\text{м}$	267	–	–	191	57	172	–	95

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,5$, постоянная времени нагрева $T_n = 40 \text{ с}$, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,9$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **B**.

Задача 5.9 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
$t, \text{ с}$	10	180	35	15	120	190	10	40
$P, \text{ кВт}$	19	–	46	24	–	–	12	25

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,55$, постоянная времени нагрева $T_n = 14 \text{ с}$, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,45$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **F**.

Задача 5.10 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

<i>Участки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	20	55	170	90	15	45	25	180
<i>M, Нм</i>	29	114	–	–	171	95	67	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,45$, постоянная времени нагрева $T_n = 17$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,28$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса *E*.

Задача 5.11 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

<i>Участки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	50	130	60	30	45	70	15	200
<i>P, кВт</i>	2	–	–	8	4	5	3	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,35$, постоянная времени нагрева $T_n = 16$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,4$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса *B*.

Задача 5.12 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

<i>Участки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	90	30	70	150	90	65	60	45
<i>M, Нм</i>	19	–	134	67	–	29	–	76

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,4$, постоянная времени нагрева $T_n=21$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,7$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса F .

Задача 5.13 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
t, c	25	20	100	55	120	50	200	30
$P, кВт$	45	18	–	17	–	30	–	10

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,6$, постоянная времени нагрева $T_n=17$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,3$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса E .

Задача 5.14 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
t, c	30	70	15	200	60	50	45	130
$M, Нм$	76	48	29	–	–	19	38	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,55$, постоянная времени нагрева

$T_n=19$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,4$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **B**.

Задача 5.15 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

<i>Участки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	10	40	25	25	210	110	30	150
<i>P, кВт</i>	4	6	2	1	–	–	3	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,35$, постоянная времени нагрева $T_n=10$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,25$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **F**.

Задача 5.16 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

<i>Участки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	10	220	20	140	180	5	15	10
<i>M, Н·м</i>	57	–	143	–	–	190	171	29

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,5$, постоянная времени нагрева $T_n=5$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,15$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **E**.

Задача 5.17 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
$t, \text{ с}$	40	90	105	60	110	90	35	70
$P, \text{ кВт}$	1	–	3	4	–	2	6	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,3$, постоянная времени нагрева $T_n = 25 \text{ с}$, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,7$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **B**.

Задача 5.18 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
$t, \text{ с}$	10	15	220	15	160	20	10	150
$M, \text{ Н}\cdot\text{м}$	95	143	–	114	–	38	57	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,45$, постоянная времени нагрева $T_n = 6 \text{ с}$, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,15$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **F**.

Задача 5.19 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с син-

хронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
$t, \text{ с}$	90	60	150	30	70	90	65	45
$P, \text{ кВт}$	2	–	7	–	14	–	3	8

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,6$, постоянная времени нагрева $T_n = 30 \text{ с}$, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,75$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **E**.

Задача 5.20 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
$t, \text{ с}$	35	190	40	15	10	180	120	10
$M, \text{ Нм}$	439	–	239	228	181	–	–	114

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,3$, постоянная времени нагрева $T_n = 12 \text{ с}$, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,5$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **B**.

Задача 5.21 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	25	55	180	45	20	90	170	15
<i>P, кВт</i>	7	12	–	10	3	–	–	18

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,5$, постоянная времени нагрева $T_n=15$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,25$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **F**.

Задача 5.22 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	35	80	20	100	45	180	50	90
<i>M, Н·м</i>	162	95	19	–	57	–	67	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,45$, постоянная времени нагрева $T_n=25$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,75$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **E**.

Задача 5.23 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	110	70	20	40	140	90	80	50
<i>P, кВт</i>	10	–	18	20	28	–	6	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,4$, постоянная времени нагрева $T_n=40$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,9$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **B**.

Задача 5.24 Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U = 380$ В (таблица 5.1).

<i>Участки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>t, с</i>	30	80	100	50	70	180	40	50
<i>M, Н·м</i>	57	48	–	105	29	–	19	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,55$, постоянная времени нагрева $T_n=23$ с, коэффициент ухудшения охлаждения $b_0 = 0,4$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса **F**.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 415с.
2. Чиликин М.Г., Соколов М.М., Терехов В.М., Шинявский А.В. Основы автоматизированного электропривода. – М.: Энергия, 1974. – 568с.
3. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576с.
4. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода. – М.: Энергия, 1971. – 432с.

Страницы из приведенной литературы для теоретической подготовки материала, необходимого для решения задач соответствующих разделов, представлены в таблице 6.

Таблица 6

Номер в списке	Страницы к разделам				
	1	2	3	4	5
1	16 – 21	29 – 36 64 – 74 133 – 138	175 – 182	36 – 39 193 – 199 201 – 206	273 – 282 396 – 400
2	14 – 29	46 – 63 365 – 369	63 – 78 369 – 374	83 – 93 383 – 387	508 – 517 540 – 545
3	26 – 31	53 – 65 267 – 285	65 – 70	45 – 48 74 – 82	348 – 359 380 – 385
4	-	25 – 40 159 – 174	40 – 49	51 – 59 155 – 159	219 – 225 238 – 242

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Энергетический факультет

А.Н. Рыбалев

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА

**Методические указания к выполнению расчетно-графической
работы**

Благовещенск
2007

Содержание

<i>1. Исходные данные и задание</i>	<i>3</i>
<i>2. Математическое описание асинхронного двигателя</i>	<i>4</i>
<i>3. Методические указания к выполнению работы</i>	<i>6</i>

1. Исходные данные и задание

В качестве исходных данных выступают каталожные данные асинхронного двигателя и параметры его схемы замещения, приведенные в табл.1 по вариантам.

Таблица 1. Параметры асинхронного двигателя

№ вар.	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность, P_n , кВт	Ном. КПД, η_n , %	Ном. $\cos\phi$	Параметры Т-образной схемы замещения, отн. ед					Ном. скольжение, s_n , %	Крит. скольжение, $s_{кр}$, %	Момент инерции ротора, J_d , кгм ²
					X_0	R_1	X_1	R_2'	X_2'			
Синхронная скорость 3000 об/мин												
1	4AA50BA3Y	0,12	60	0,7	2,3	0,11	0,076	0,12	0,14	9,7	51	0,00028
2	4AA56DA3Y	0,18	66	0,76	2	0,17	0,052	0,094	0,067	8	46	0,00042
3	4AA56B2Y3	0,25	68	0,77	2,4	0,16	0,053	0,11	0,79	7,5	51	0,00047
4	4AA63ABY3	0,37	70	0,88	2,5	0,14	0,052	0,096	0,08	8,3	50,5	0,00076
5	4AA63B2AY3	0,55	73	0,86	2,5	0,13	0,049	0,096	0,063	8,5	54,5	0,0009
6	4A71A2Y3	0,75	77	0,87	2,6	0,12	0,052	0,064	0,077	5,9	38	0,00097
7	4A71A2Y3	1,1	77,5	0,87	2,8	0,13	0,054	0,069	0,084	6,3	39	0,0011
8	4A80A2Y3	1,5	81	0,85	2,5	0,084	0,051	0,049	0,081	4,2	35,5	0,0018
9	4A80B2Y3	2,2	88	0,87	2,7	0,076	0,05	0,049	0,087	4,3	38	0,0021
10	4A90Г2Y3	3	84,5	0,88	3,4	0,072	0,057	0,047	0,01	4,3	32,5	0,0035
Синхронная скорость 1500 об/мин												
11	4AA56A4Y3	0,12	63	0,66	1,2	0,18	0,067	0,15	0,15	8,2	49	0,0007
12	4AA56A4Y3	0,13	64	0,64	1,3	0,16	0,9	0,16	0,176	8,9	50,5	0,00079
13	4AA63A4Y3	0,25	66	0,65	1,4	0,15	0,82	0,14	0,17	8	48	0,0012
14	4AA63B4Y3	0,37	68	0,69	1,4	0,17	0,86	0,14	0,13	9	48	0,0014
15	4A71A4Y3	0,55	70,5	0,7	1,6	0,13	0,86	0,11	0,2	7,3	39	0,0013
16	4A71B4Y3	0,75	72	0,73	1,5	0,11	0,84	0,11	0,2	7,5	40	0,0014
17	4A80A4Y3	1,1	75	0,81	1,7	0,12	0,73	0,068	0,12	5,4	34	0,0032
18	4A80B4Y3	1,5	77	0,83	1,9	0,12	0,078	0,069	0,12	5,8	34,5	0,0033
19	4A90B4Y3	2,2	80	0,83	2,1	0,098	0,076	0,06	0,13	5,1	33	0,0056
20	4A90A4Y3	3	82	0,83	2,2	0,078	0,079	0,053	0,13	4,4	31	0,0087
Синхронная скорость 1000 об/мин												
21	4AA63A6Y3	0,18	56	0,62	1,3	0,24	0,15	0,22	0,18	11,5	55,5	0,0013
22	4AA63B6Y3	0,25	59	0,62	1,4	0,18	0,13	0,21	0,19	10,8	62,5	0,0022
23	4AA71A6Y3	0,37	64,5	0,69	1,3	0,17	0,12	0,15	0,16	9,2	49	0,0017
24	4AA71B6Y3	0,55	67,5	0,71	1,4	0,16	0,11	0,15	0,17	10	49	0,002
25	4A80A6Y3	0,75	69	0,74	1,5	0,16	0,12	0,12	0,2	8,4	37	0,0031
26	4A80B6Y3	1,1	74	0,74	1,6	0,12	0,11	0,11	0,19	8	38	0,0046
27	4A906Y3	1,5	75	0,74	1,8	0,11	0,11	0,088	0,21	6,4	31	0,0073
28	4A1006Y3	2,2	81	0,73	1,9	0,09	0,11	0,067	0,21	5,1	25,5	0,013
29	4A112MA6Y3	3	81	0,76	1,9	0,085	0,074	0,063	0,1	4,7	37	0,017

Задание:

Рассчитать систему автоматической регуляции скорости асинхронного электропривода в системе с тиристорным регулятором напряжения. Для этого:

1. Построить естественную и семейство искусственных механических характеристик двигателя при пониженном напряжении. По характеристикам определить минимальное значение напряжения, при котором двигатель, нагруженный номинальным моментом, продолжает устойчиво работать. Определить диапазон регуляции скорости при номинальной нагрузке. В середине диапазона напряжений выбрать «рабочее» напряжение и «рабочую» точку.

2. Построить Simulink-модель асинхронного двигателя по его уравнениям во вращающейся системе координат. Момент инерции привода принять равным $J = 1,2 J_d$. С помощью модели исследовать переходные процессы в двигателе, связанные с пуском, изменением напряжения и нагрузки на валу.

3. Линеаризовать уравнения асинхронного двигателя в окрестностях рабочей точки путем их разложения в ряд Тейлора и получить систему линейных уравнений двигателя. Получить передаточные функции электропривода по каналу управления $\Delta U \rightarrow \Delta \omega$ и возмущения нагрузкой $\Delta M_c \rightarrow \Delta \omega$.

4. По полученным передаточным функциям любым известным методом либо с помощью имитационного моделирования найти настройки ПИ-регулятора, обеспечивающие 20% перерегулирование и максимальное быстродействие при отработке задания.

5. Построить Simulink-модели систем управления с исходной и линеаризованной моделями АД и сравнить поведение при небольших отклонениях задания по скорости и небольших возмущениях нагрузкой.

2. Математическое описание асинхронного двигателя

1. Уравнения потокосцеплений, момента и скорости двигателя во вращающихся со скоростью поля x - y осях имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Psi_{1x}}{dt} = u_{1x} - \frac{r_1 L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{1x} + \frac{r_1 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{2x} + \omega_{0эл} \Psi_{1y}; \\ \frac{d\Psi_{1y}}{dt} = u_{1y} - \frac{r_1 L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{1y} + \frac{r_1 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{2y} - \omega_{0эл} \Psi_{1x}; \\ \frac{d\Psi_{2x}}{dt} = -\frac{r'_2 L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{2x} + \frac{r'_2 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{1x} + (\omega_{0эл} - p_n \omega) \Psi_{2y}; \\ \frac{d\Psi_{2y}}{dt} = -\frac{r'_2 L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{2y} + \frac{r'_2 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{1y} - (\omega_{0эл} - p_n \omega) \Psi_{2x}; \\ M = \frac{p_n L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} (\Psi_{1y} \Psi_{2x} - \Psi_{1x} \Psi_{2y}); \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} M - \frac{1}{J} M_c, \end{array} \right. \quad (1)$$

где

Ψ_1 и Ψ_2 – вектора потокосцеплений статора и ротора;

u_1 – вектор напряжения статора;

ω – угловая скорость ротора двигателя;

$\omega_{0эл}$ – круговая частота электрического тока статора, которая в нашей работе неизменная и равна 314,16 рад/сек, что соответствует частоте 50 Гц;

M и M_c – электромагнитный момент двигателя и приведенный момент сил статического сопротивления.

L_1, L_2, L_{12} – индуктивности обмоток статора и ротора и взаимная индуктивность;

r_1 и r'_2 – активное сопротивление статора и приведенное активное сопротивление ротора по Т-образной схеме замещения его фазы;

p_n – число пар полюсов машины.

Проекция потокосцеплений на оси x, y и угловая скорость ω являются переменными состояниями двигателя.

Входными воздействиями являются: напряжение u_1 (управление) и момент сопротивления на валу M_c (возмущение).

Поскольку вектор u_1 в системе координат x, y всегда неподвижен (вектора Ψ_1 и Ψ_2 неподвижны только в установившемся режиме), его можно расположить произвольно. Для простоты примем $u_{1x} = u, u_{1y} = 0$. Таким образом, мы привязываем

ваем ось x к направлению вектора напряжения. Амплитуда вектора напряжения в модели (1) определяется через амплитуду напряжения фазы двигателя:

$$u = \sqrt{3}U_{\phi}. \quad (2)$$

Таким образом, в пространстве состояний АД описывается пятью нелинейными дифференциальными уравнениями первого порядка для состояний, имеет два входа и один выход (скорость ω).

Индуктивности L_1, L_2, L_{12} находятся через параметры Т-образной схемы замещения:

$$L_1 = \frac{x_1 + x_0}{\omega_{0эл}}, L_2 = \frac{x'_2 + x_0}{\omega_{0эл}}, L_{12} = \frac{x_0}{\omega_{0эл}}. \quad (3)$$

В табл.1 параметры Т-образной схемы замещения фазы двигателя приведены в относительных единицах:

$$Z = \frac{z}{z_6}, \quad (4)$$

где z_6 – «базовое» сопротивление, определяемое как отношение номинального напряжения фазы двигателя к его номинальному току:

$$z_6 = \frac{U_{\phi,н}}{I_n} = \frac{220В}{I_n}. \quad (5)$$

Номинальный ток находится по формуле

$$I_n = \frac{P_n [Вт]}{3U_{\phi,н} \eta_n \cos \varphi_n}. \quad (6)$$

Таким образом, для определения r_1, r'_2, x_1, x'_2 и x_0 необходимо найти номинальный ток и определить «базовое» сопротивление z_6 . После чего, пользуясь данными табл.1, найдем:

$$r_1 = R_1 z_6, r'_2 = R'_2 z_6, x_1 = X_1 z_6, x'_2 = X'_2 z_6, x_0 = X_0 z_6. \quad (7)$$

3. Методические указания к выполнению работы

1. Механическая характеристика двигателя есть, по сути, зависимость $\omega = \omega(M)$ в статике, и поэтому может быть определена из системы (1), если все производные в ней положить равными нулю.

По напряжению фазы (для естественной характеристики $U_{\phi} = 220 \text{ В}$) по формуле (2) находим амплитуду вектора u .

Задаваясь значением скорости ω , решаем систему из четырех линейных алгебраических уравнений (первых четырех уравнений системы (1) при равенстве нулю производных) и находим проекции векторов потокосцеплений Ψ_{1x} , Ψ_{1y} , Ψ_{2x} и Ψ_{2y} .

Подставляя найденные значения в пятое уравнение системы, находим момент двигателя.

Повторяя расчеты, строим зависимости $\omega = \omega(M)$ при различных напряжениях.

Минимальное значение напряжения можно определить как такое значение, при котором максимальный момент двигателя по механической характеристике равен его номинальному значению.

По полученным графикам находим диапазон регулирования скорости и рабочую точку (рис. 1).

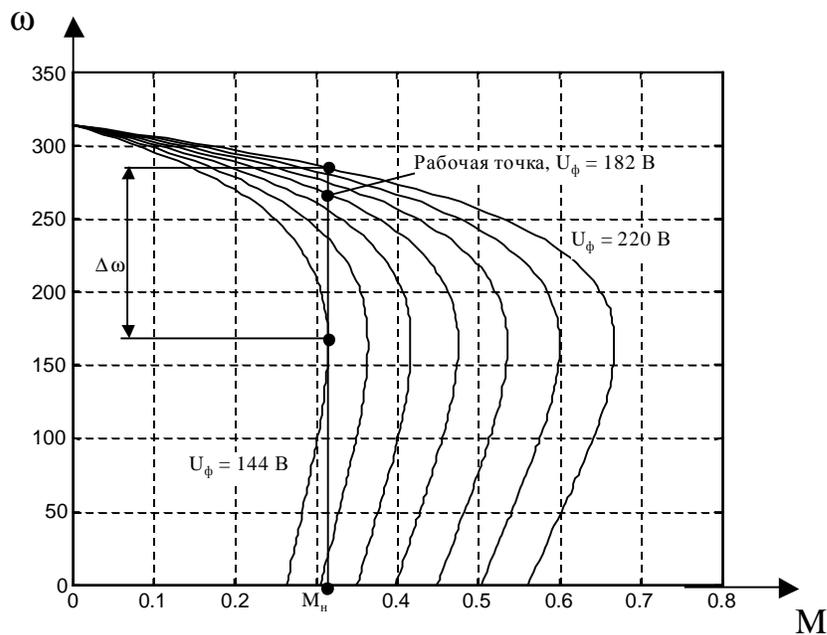


Рис. 1. К определению диапазона регулирования и рабочей точки

2. Примерный вид Simulink-модели двигателя, построенной по уравнениям (1), показан на рис. 2. Эту модель следует дополнить средствами задания напря-

жения и момента сопротивления, а также средствами вывода временных графиков.

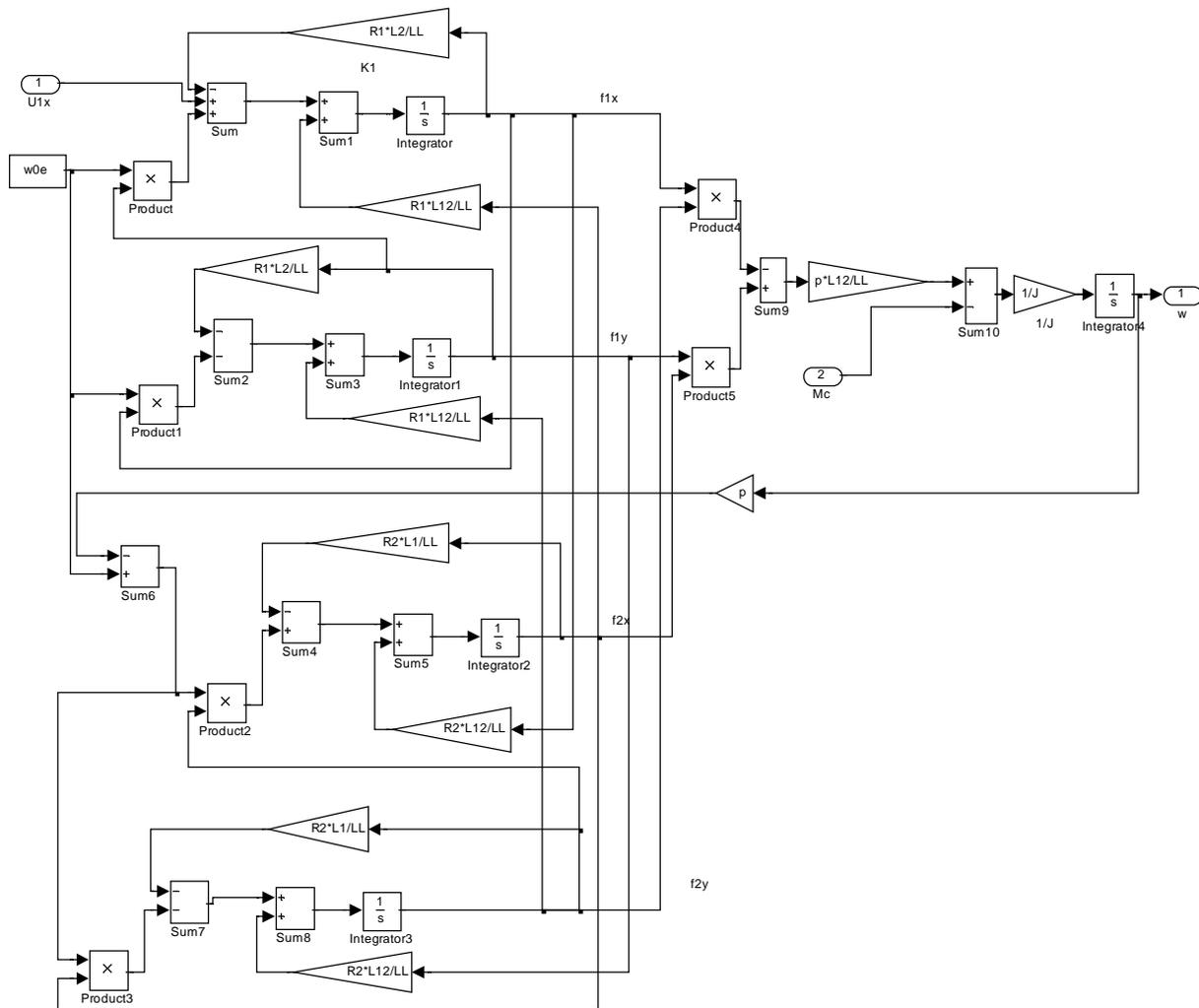


Рис.2. Simulink-модель двигателя

3. Подставив правую часть уравнения момента из (1) в дифференциальное уравнение для скорости, получим систему из пяти нелинейных дифференциальных уравнений. Разлагая эти уравнения в ряд Тейлора в окрестности рабочей точки (рабочие напряжение, скорость, номинальный момент сопротивления), получим систему линейных дифференциальных уравнений. Представим ее в виде уравнений в пространстве состояния, дополнив уравнением выхода (8,9)

$$\begin{bmatrix} \frac{d\Delta\Psi_{1x}}{dt} \\ \frac{d\Delta\Psi_{1y}}{dt} \\ \frac{d\Delta\Psi_{2x}}{dt} \\ \frac{d\Delta\Psi_{2y}}{dt} \\ \frac{d\Delta\omega}{dt} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{1x} \\ \Delta\Psi_{1y} \\ \Delta\Psi_{2x} \\ \Delta\Psi_{2y} \\ \Delta\omega \end{bmatrix} + B \begin{bmatrix} \Delta u_{1x} \\ \Delta M_c \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\Delta\omega = C \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{1x} \\ \Delta\Psi_{1y} \\ \Delta\Psi_{2x} \\ \Delta\Psi_{2y} \\ \Delta\omega \end{bmatrix} + D \begin{bmatrix} \Delta u_{1x} \\ \Delta M_c \end{bmatrix} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] \times \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{1x} \\ \Delta\Psi_{1y} \\ \Delta\Psi_{2x} \\ \Delta\Psi_{2y} \\ \Delta\omega \end{bmatrix} + [0 \ 0] \times \begin{bmatrix} \Delta u_{1x} \\ \Delta M_c \end{bmatrix} \quad (9)$$

Введя полученные матрицы A,B,C,D в Matlab, с помощью функции ss сконструируем МИМО- объект и получим передаточные функции по двум каналам:

```
ssmod = ss(A,B,C,D);
tfmod = tf(ssmod)
```

4. Построим Simulink-модель системы автоматического регулирования частоты (рис. 3) с ПИ-регулятором, используя линеаризованное описание объекта

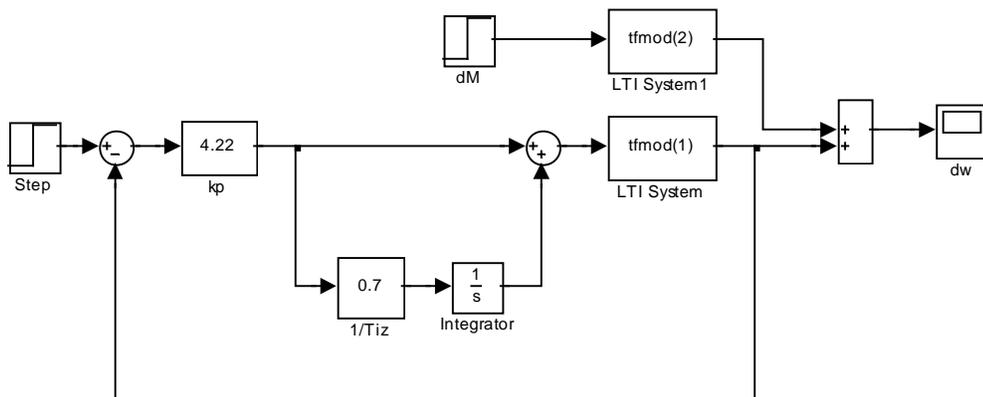


Рис.3. Модель системы регулирования

В модели блоки tfmod(1), tfmod(2) – передаточные функции объекта по управлению и возмущению.

С помощью блоков «kp» и «1/Tiz» типа Slider Gain экспериментально найдем параметры настройки регулятора: коэффициент и постоянную времени изодрома.

5. Simulink-модели систем управления с исходной и линеаризованной моделями АД разместим в одном окне (рис. 4).

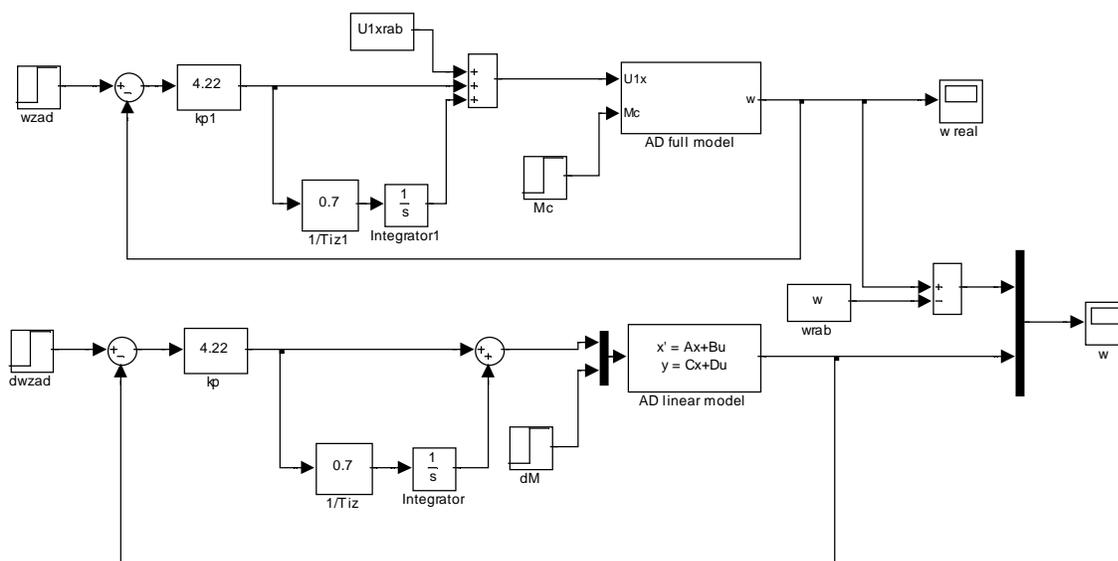


Рис. 4. Сравнение моделей системы

Настройку блоков Step осуществим в соответствии с графиками, приведенными на рис. 5.

В течение промежутка времени $0 \dots t_1$ происходит выход первой модели на рабочую точку.

В течение промежутка времени $t_1 \dots t_2$ наблюдаем отработку системами изменения задания по скорости.

С момента времени t_2 наблюдаем отработку системами возмущения в виде изменения момента сил сопротивления на валу асинхронного двигателя.

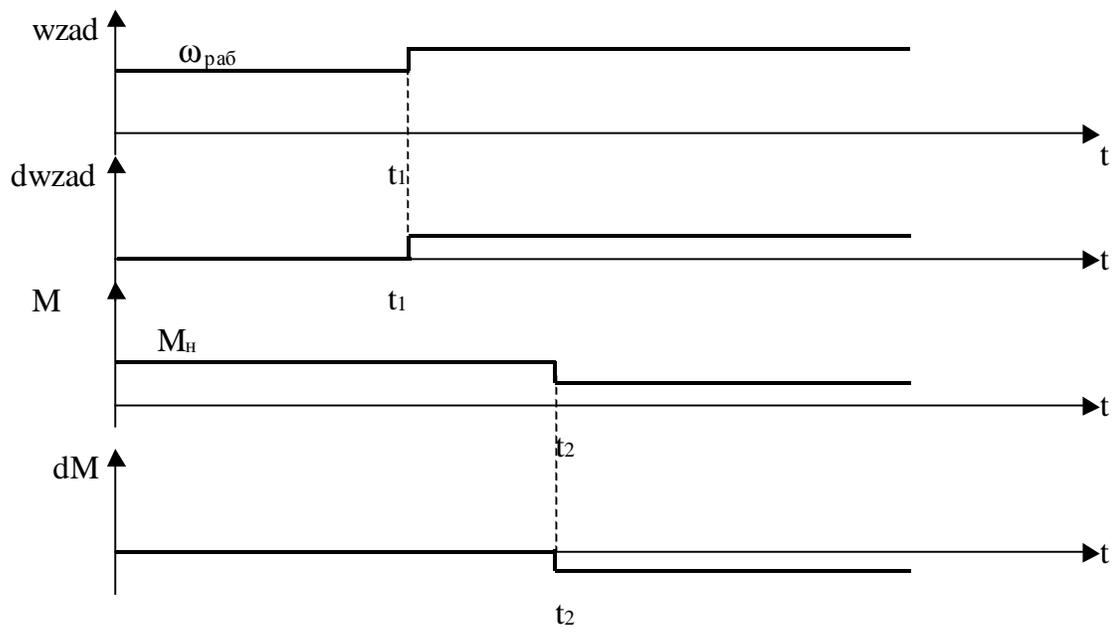


Рис.5. Настройка блоков Step

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Энергетический факультет

А.Н. Рыбалев

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА

ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ

Благовещенск
2007

Содержание

<i>Введение.....</i>	<i>3</i>
<i>Раздел 1. Механика электропривода.....</i>	<i>4</i>
<i>Раздел 2. Характеристики и режимы работы машин постоянного тока..</i>	<i>7</i>
<i>Раздел 3. Пуск, торможение и регулирование скорости двигателей постоянного тока.....</i>	<i>11</i>
<i>Раздел 4. Характеристики и режимы работы асинхронной машины</i>	<i>14</i>
<i>Раздел 5. Пуск, торможение, регулирование скорости асинхронного двигателя.....</i>	<i>17</i>
<i>Раздел 6. Синхронный электропривод.....</i>	<i>19</i>
<i>Раздел 7. Тепловые режимы работы электроприводов и потери энергии в них</i>	<i>21</i>

Введение

Приведенные в пособии вопросы используются для компьютерного тестирования знаний студентов специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств», специализации «Автоматизация технологических процессов тепловых электрических станций» по дисциплине «Электромеханотроника».

Вопросы охватывают основные темы, изучаемые студентами в данном курсе, и сгруппированы по разделам:

1. Механика электропривода;
2. Характеристики и режимы работы машин постоянного тока;
3. Пуск, торможение и регулирование скорости двигателей постоянного тока;
4. Характеристики режимы работы асинхронной машины;
5. Пуск, торможение и регулирование скорости асинхронного двигателя;

Тестирование является составной частью процедуры промежуточного контроля знаний (в ходе изучения дисциплины), а также используется для контроля остаточных знаний (после окончания изучения дисциплины).

Раздел 1. Механика электропривода

1. Механическая мощность на выходном валу редуктора в двигательном режиме работы привода

- 1) равна мощности на входном валу;
- 2) меньше мощности на входном валу;
- 3) больше мощности на входном валу.

2. Механическая мощность на валу равна

- 1) произведению вращающего момента на угловую скорость вала;
- 2) произведению вращающего момента на частоту вращения вала;
- 3) отношению вращающего момента к частоте вращения вала.

3. Механическая характеристика «вентиляторной» нагрузки представляет зависимость вращающего момента от угловой скорости как

- 1) линейную;
- 2) квадратическую;
- 3) гиперболическую.

4. Механическая характеристика двигателя это

- 1) зависимость угловой скорости от тока двигателя;
- 2) зависимость угловой скорости от напряжения двигателя;
- 3) зависимость угловой скорости от вращающего момента двигателя;

5. Для построения системы регулирования скорости движения механизма

- 1) предпочтительнее использовать двигатели с мягкой механической характеристикой;
- 2) предпочтительнее использовать двигатели с жесткой механической характеристикой;

3) одинаково хорошо подходят как двигатели с жесткой механической характеристикой, так и двигатели с мягкой механической характеристикой;

6. Механическая характеристика является жесткой, если

1) с увеличением момента нагрузки скорость двигателя уменьшается незначительно;

2) с увеличением момента нагрузки скорость двигателя увеличивается незначительно;

3) с уменьшением скорости ток двигателя остается неизменным.

7. Абсолютно жесткой является механическая характеристика

1) асинхронного двигателя;

2) синхронного двигателя;

3) двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

8. Жесткость механической характеристики асинхронных двигателей и двигателей постоянного тока в ряду двигателей одной серии

1) уменьшается с увеличением габарита (мощности) двигателя;

2) увеличивается с увеличением габарита (мощности) двигателя;

3) остается неизменной с увеличением габарита (мощности) двигателя;

9. Механическая характеристика подъемных механизмов характеризуется

1) сильной зависимостью вращающего момента на входном валу механизма от скорости вращения вала;

2) независимостью вращающего момента на входном валу механизма от скорости вращения вала;

3) слабой зависимостью вращающего момента на входном валу механизма от скорости вращения вала.

10. Механическая характеристика нагрузки типа «вязкое трение» представляет зависимость вращающего момента от угловой скорости как

- 1) линейную;
- 2) квадратическую;
- 3) гиперболическую.

11. Мягкой является механическая характеристика

- 1) асинхронного двигателя;
- 2) двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением;
- 3) двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

12. Естественная механическая характеристика двигателя постоянного тока определяется

- 1) при номинальном напряжении питания при отсутствии дополнительных сопротивлений в цепях якоря и возбуждения;
- 2) при включении дополнительного сопротивления в цепи якоря для ограничения тока номинальным значением;
- 3) при нагружении двигателя номинальным моментом нагрузки.

13. Механическая характеристика двигателя является искусственной, если, например,

- 1) вращающий момент двигателя отличен от номинального;
- 2) скорость двигателя отлична от номинальной;
- 3) напряжение якоря отлично от номинального.

14. Одно-массовая модель механической части электропривода применяется

- 1) если механические соединения электропривода можно считать абсолютно жесткими;
- 2) если среди механических соединений есть упругие;

- 3) исключительно в случае безредукторного (прямого) соединения двигателя с механизмом.

15. Двух-массовая модель механической части электропривода привода меняется если число существенно упругих соединений равно

- 1) нулю;
- 2) одному;
- 3) двум.

Раздел 2. Характеристики и режимы работы машин постоянного тока

1. Идеальная скорость холостого хода двигателя постоянного тока определяется только

- 1) напряжением якоря;
- 2) напряжением якоря и магнитным потоком машины;
- 3) напряжением якоря и сопротивлением якорной цепи.

2. Наклон механической характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при номинальном возбуждении определяется только

- 1) напряжением якоря;
- 2) сопротивлением якорной цепи;
- 3) напряжением якоря и сопротивлением якорной цепи.

3. Ток короткого замыкания (пусковой) двигателя постоянного тока определяется только

- 1) напряжением якоря;
- 2) напряжением якоря и магнитным потоком машины;
- 3) напряжением якоря и сопротивлением якорной цепи.

4. В двигательном режиме работы механическая характеристика электрической машины лежит

- 1) исключительно в первом квадранте;
- 2) исключительно в третьем квадранте;
- 3) в первом и в третьем квадрантах.

5. В генераторном режиме работы механическая характеристика электрической машины лежит

- 1) исключительно в втором квадранте;
- 2) исключительно в четвертом квадранте;
- 3) во втором и четвертом квадрантах.

6. В режиме рекуперативного торможения электрическая машина

- 1) преобразует механическую энергию вала в электрическую, которую отдает в электрическую сеть за вычетом потерь, уходящих на нагрев машины;
- 2) преобразует механическую энергию вала в электрическую, которая полностью рассеивается на активном сопротивлении якоря, вызывая нагрев двигателя;
- 3) преобразует механическую энергию вала в электрическую, кроме того потребляет электрическую энергию из сети; вся энергия идет на нагрев машины.

7. В режиме торможения противовключением электрическая машина

- 1) преобразует механическую энергию вала в электрическую, которую отдает в электрическую сеть за вычетом потерь, уходящих на нагрев машины;
- 2) преобразует механическую энергию вала в электрическую, которая полностью рассеивается на активном сопротивлении якоря, вызывая нагрев двигателя;

3) преобразует механическую энергию вала в электрическую, кроме того потребляет электрическую энергию из сети; вся энергия идет на нагрев машины.

8. В режиме динамического торможения электрическая машина

1) преобразует механическую энергию вала в электрическую, которую отдает в электрическую сеть за вычетом потерь, уходящих на нагрев машины;

2) преобразует механическую энергию вала в электрическую, которая полностью рассеивается на активном сопротивлении якоря, вызывая нагрев двигателя;

3) преобразует механическую энергию вала в электрическую, кроме того потребляет электрическую энергию из сети; вся энергия идет на нагрев машины.

9. Наиболее энергетически выгодным режимом торможения является режим

1) торможения противовключением;

2) рекуперативного торможения;

3) динамического торможения.

10. Наименее энергетически выгодным режимом торможения является режим

1) торможения противовключением;

2) рекуперативного торможения;

3) динамического торможения.

11. При переходе в режим рекуперативного торможения из двигательного режима

1) скорость машины меняет знак, ток не меняет;

2) скорость машины не меняет знак, ток меняет;

3) скорость и ток меняют знак.

12. При переходе в режим торможения противовключением из двигательного режима

- 1) скорость машины меняет знак, ток не меняет;
- 2) скорость машины не меняет знак, ток меняет;
- 3) скорость и ток меняют знак.

13. Какой из видов ДПТ имеет наиболее жесткую механическую характеристику?

- 1) ДПТ независимого возбуждения;
- 2) ДПТ последовательного возбуждения;
- 3) ДПТ смешанного возбуждения.

14. При переходе в режим динамического торможения из двигательного режима

- 1) скорость машины меняет знак, ток не меняет;
- 2) скорость машины не меняет знак, ток меняет;
- 3) скорость и ток меняют знак.

15. При одном и том же сопротивлении якорной цепи при переходе в режим торможения

- 1) в режиме рекуперативного торможения ток больше чем в режиме динамического торможения;
- 2) в режиме динамического торможения ток больше чем в режиме рекуперативного торможения;
- 3) в режиме рекуперативного торможения ток равен току в режиме динамического торможения.

Раздел 3. Пуск, торможение и регулирование скорости двигателей постоянного тока

1. В каком режиме якорь двигателя «закорачивается» на добавочное сопротивление?

- 1) торможения противовключением;
- 2) рекуперативного торможения;
- 3) динамического торможения.

2. При переходе в какой режим не требуется ограничение тока ДПТ с НВ в нерегулируемом электроприводе?

- 1) торможение противовключением;
- 2) рекуперативное торможение;
- 3) динамическое торможение.

3. Наиболее эффективным способом регулирования скорости ДПТ с НВ является

- 1) изменение напряжения якоря;
- 2) изменение добавочного сопротивления в якорной цепи;
- 3) изменение магнитного потока машины.

4. Наименее эффективным способом регулирования скорости ДПТ с НВ является

- 1) изменение напряжения якоря;
- 2) изменение добавочного сопротивления в якорной цепи;
- 3) изменение магнитного потока машины.

5. При каком способе регулирования скорости ДПТ с НВ можно получить скорость выше скорости идеального холостого хода, рассчитанной по естественной характеристике?

- 1) изменение напряжения якоря;
 - 2) изменение добавочного сопротивления в якорной цепи;
 - 3) изменение магнитного потока машины.
6. При каком способе регулирования скорости ДПТ с НВ наклон электро-механической и механической характеристик не изменяются?
- 1) изменение напряжения якоря;
 - 2) изменение добавочного сопротивления в якорной цепи;
 - 3) изменение магнитного потока машины.
7. Чем ограничен ток машины постоянного тока?
- 1) ничем;
 - 2) формой электро-механической характеристики;
 - 3) условиями нормальной коммутации коллектора.
8. При каком принципе организации пускового режима ДПТ сигнал на закорачивание добавочных сопротивлений в якорной цепи подается реле напряжения?
- 1) принцип времени;
 - 2) принцип ЭДС;
 - 3) принцип тока.
9. В каком режиме может работать ДПТ последовательного возбуждения с «нормальным» включением обмотки возбуждения?
- 1) торможение противовключением;
 - 2) рекуперативное торможение;
 - 3) динамическое торможение.
10. Какой из видов ДПТ запрещается пускать при отсутствии нагрузки на валу?
- 1) ДПТ независимого возбуждения;

- 2) ДПТ последовательного возбуждения;
- 3) ДПТ смешанного возбуждения.

11. В каком порядке необходимо подавать напряжение при пуске ДПТ?

- 1) сначала на обмотку возбуждения, потом на якорь;
- 2) сначала на якорь, потом на обмотку возбуждения;
- 3) в произвольном порядке.

12. Недостатком способа регулирования скорости ДПТ с помощью изменения добавочного сопротивления в якорной цепи является

- 1) снижение жесткости механической характеристики;
- 2) плохие энергетические показатели;
- 3) 1) и 2).

13. Какой режим торможения применяется в нерегулируемом нереверсивном электроприводе с ДПТ с НВ?

- 1) торможение противовключением;
- 2) рекуперативное торможение;
- 3) динамическое торможение.

14. Какой режим торможения применяется в нерегулируемом реверсивном электроприводе с ДПТ с НВ?

- 1) торможение противовключением;
- 2) рекуперативное торможение;
- 3) динамическое торможение.

15. Какой режим торможения применяется в регулируемом реверсивном электроприводе с ДПТ с НВ?

- 1) торможение противовключением;
- 2) рекуперативное торможение;

3) динамическое торможение.

Раздел 4. Характеристики и режимы работы асинхронной машины

1. Скольжение s асинхронной машины определяется через его угловую скорость ω и угловую скорость идеального холостого хода ω_0 следующим образом

1) $s = \omega/\omega_0$;

2) $s = \omega_0/\omega$;

3) $s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$;

4) $s = (\omega - \omega_0)/\omega$;

5) $s = (\omega_0 - \omega)/\omega$;

6) $s = (\omega - \omega_0)/\omega_0$.

2. Зависимость вращающего момента асинхронного двигателя от скорости вращения ротора

1) монотонно убывающая;

2) имеет максимум;

3) монотонно возрастающая.

3. Критическое скольжение асинхронных двигателей средней и большой мощности

1) нескольких десятков процентов;

2) нескольких процентов;

3) нескольких десятых процента.

4. При увеличении сопротивления роторной цепи критическое скольжение

1) увеличивается;

- 2) уменьшается;
- 3) остается неизменным.

5. Критическое скольжение асинхронной машины в двигательном режиме по модулю

- 1) больше, чем в генераторном;
- 2) меньше, чем в генераторном;
- 3) равно критическому скольжению в генераторном режиме.

6. Критический момент асинхронной машины в двигательном режиме по модулю

- 4) больше, чем в генераторном;
- 5) меньше, чем в генераторном;
- 6) равно критическому скольжению в генераторном режиме.

6. Увеличение напряжения питания асинхронного двигателя на 20% вызовет увеличение его критического момента на

- 1) 9,5%;
- 2) 20%;
- 3) 40%;
- 4) 44%.

7. При увеличении сопротивления роторной цепи критический момент асинхронного двигателя

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) остается неизменным.

8. Работа асинхронной машины в большинстве случаев неустойчива при скольжениях,

- 1) от нуля до критического;
- 2) от критического до единицы;
- 3) больших единицы.

9. При работе асинхронной машины в двигательном режиме, ее скольжение

- 1) $s < 0$;
- 2) $0 < s < 1$;
- 3) $s > 1$.

10. При работе асинхронной машины в режиме рекуперативного торможения, ее скольжение

- 1) $s < 0$;
- 2) $0 < s < 1$;
- 3) $s > 1$.

11. При работе асинхронной машины в режиме торможения противовключения, ее скольжение

- 1) $s < 0$;
- 2) $0 < s < 1$;
- 3) $s > 1$.

12. Асинхронная машина из двигательного режима переходит в режим рекуперативного торможения, если

- 1) момент сил сопротивления превысит критический момент машины в двигательном режиме;
- 2) скорость вращения ротора превысит синхронную скорость машины;
- 3) изменить порядок чередования фаз машины.

13. Что произойдет, если перегрузить подъемник, приводимый в движение асинхронным двигателем (вверх)?

- 1) двигатель выйдет из строя из-за недопустимого увеличения тока;
- 2) подъемник начнет снижаться с постоянной скоростью; двигатель будет испытывать повышенный нагрев;
- 3) подъемник начнет снижаться, набирая скорость (падать); двигатель будет испытывать повышенный нагрев.

14. Кратность максимального момента асинхронного двигателя средней мощности лежит в примерном диапазоне

- 1) 1,5 ... 2,5;
- 2) 1 ... 1,5;
- 3) 2,5...3,5.

15. Кратность пускового тока асинхронного двигателя средней мощности лежит в примерном диапазоне

- 1) 1...2;
- 2) 2...5;
- 3) 5...7;
- 4) 7...12.

Раздел 5. Пуск, торможение, регулирование скорости асинхронного двигателя

1. Регулирование скорости асинхронного двигателя путем изменения питающего напряжения может применяться

- 1) для двигателей любой мощности;
- 2) только для двигателей малой мощности;
- 3) только для двигателей большой мощности.

2. Закон частотного управления асинхронным двигателем $U/f = \text{const}$ в широком диапазоне регулирования скорости обеспечивает поддержание

- 1) постоянной жесткости механических характеристик;
- 2) постоянной перегрузочной способности;
- 3) постоянного значения критического скольжения.

3. Закон частотного управления асинхронным двигателем $U/f = \text{const}$ является приближенным, поскольку при его обосновании не учтено

- 1) падение напряжения на активном сопротивлении статора;
- 2) изменение индуктивных сопротивлений машины при изменении частоты;
- 3) наличие квадратичной зависимости критического момента от напряжения.

4. Введение дополнительного сопротивления в роторную цепь асинхронного двигателя с фазным ротором позволяет

- 1) повысить пусковой момент электропривода;
- 2) регулировать скорость электропривода в определенном диапазоне;
- 3) улучшить энергетические показатели электропривода.

5. Добавочные сопротивления в цепи статора асинхронного двигателя применяются для

- 1) увеличения пускового момента;
- 2) ограничения пускового тока;
- 3) уменьшения пускового момента.

6. При изменении числа пар полюсов многоскоростного двигателя, изменение его механической характеристики определяется

- 1) изменением скорости идеального холостого хода;
- 2) изменением сопротивления секций обмотки;

- 3) изменением сопротивления фаз обмотки;
 - 4) изменением напряжения фаз обмотки.
7. Динамическое торможение асинхронного двигателя осуществляется путем
- 1) закорачивания фаз статора через добавочные сопротивления;
 - 2) изменения чередования двух фаз;
 - 3) подачей на две фазы постоянного напряжения.
8. При каком способе электрического торможения асинхронного двигателя используется реле контроля скорости?
- 1) торможение противовключением;
 - 2) динамическое торможение;
 - 3) рекуперативное торможение.
9. В системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель может использоваться
- 1) торможение противовключением;
 - 2) динамическое торможение;
 - 3) рекуперативное торможение.
10. Для «вентиляторной» нагрузки наиболее предпочтительным является закон частотного управления
- 1) $U/f = \text{const}$;
 - 2) $U^2/f = \text{const}$;
 - 3) $U/f^2 = \text{const}$.

Раздел 6. Синхронный электропривод

1. Преимуществом синхронного двигателя перед асинхронным является
 - 1) абсолютно жесткая механическая характеристика;

- 2) возможность регулирования потребления реактивной мощности;
 - 3) простота конструкции.
2. Угол нагрузки синхронного двигателя – это угол между векторами
- 1) напряжения и тока;
 - 2) напряжения и ЭДС;
 - 3) тока и ЭДС.
3. Максимальный вращающий момент синхронного двигателя с неявнополюсным ротором имеет место при угле нагрузки
- 1) 0° ;
 - 2) 45° ;
 - 3) 90° ;
 - 4) 180° .
4. Реактивный вращающий момент возникает при работе
- 1) синхронной машины с явнополюсным ротором;
 - 2) синхронной машины с неявнополюсным ротором;
 - 3) любой синхронной машины.
5. Минимальное потребление энергии синхронным двигателем имеет место в
- 1) режиме недовозбуждения;
 - 2) режиме полного возбуждения;
 - 3) режиме перевозбуждения.
6. Коэффициент мощности синхронного двигателя в режиме полного возбуждения равен
- 1) 0;
 - 2) 0,5;
 - 3) 1.

7. Гасящее сопротивление при пуске синхронного двигателя включается в
- 1) якорную цепь;
 - 2) цепь индуктора;
 - 3) как в цепь якоря, так и в цепь индуктора.
8. Одноосный эффект при пуске синхронного двигателя наблюдается, если
- 1) обмотка возбуждения отключена от питания (цепь возбуждения разомкнута);
 - 2) обмотка возбуждения отключена от питания и замкнута на гасящее сопротивление;
 - 3) обмотка возбуждения подключена к питанию;
9. В вентильном электроприводе с синхронным двигателем обязательно осуществляется измерение
- 1) тока якоря;
 - 2) скорости ротора;
 - 3) углового положения ротора.
10. Отличительной особенностью безщеточной системы возбуждения синхронной машины является наличие в ее составе
- 1) тиристорного регулятора напряжения;
 - 2) возбудителя постоянного тока;
 - 3) обращенного синхронного генератора.

Раздел 7. Тепловые режимы работы электроприводов и потери энергии в них

1. Простейшая одноступенчатая тепловая модель двигателя основана на предположении, что

- 1) машина – однородное тело;
 - 2) теплоотдача во внешнюю среду
 - 3) теплоемкость машины пропорциональна разности температур машины и среды.
2. Постоянная времени нагрева машины приблизительно пропорциональна
- 1) ее габариту;
 - 2) квадрату ее габарита;
 - 3) третьей степени ее габарита.
3. Постоянная времени нагрева равна
- 1) отношению коэффициента теплоемкости машины к коэффициенту теплоотдачи;
 - 2) величине, обратной коэффициенту теплоотдачи;
 - 3) отношению коэффициента теплоотдачи машины к коэффициенту теплоемкости.
4. Коэффициент передачи машины по нагреву, связывающий превышение температуры с потерями энергии равен
- 1) отношению коэффициента теплоемкости машины к коэффициенту теплоотдачи;
 - 2) величине, обратной коэффициенту теплоотдачи;
 - 3) отношению коэффициента теплоотдачи машины к коэффициенту теплоемкости.
5. К переменным потерям относят
- 1) потери в якоре двигателя постоянного тока;
 - 2) потери в якоре синхронного двигателя;
 - 3) потери от тока возбуждения двигателя постоянного тока;
 - 4) потери от тока намагничивания асинхронного двигателя.

6. К постоянным потерям относят

- 1) потери в якоре двигателя постоянного тока;
- 2) потери в якоре синхронного двигателя;
- 3) потери от тока возбуждения двигателя постоянного тока;
- 4) потери от тока намагничивания асинхронного двигателя.

7. Метод эквивалентного тока предполагает, что переменные потери энергии в двигателе пропорциональны

- 1) току двигателя;
- 2) квадрату тока двигателя;
- 3) не зависит от тока.

8. Метод эквивалентного момента предполагает, что вращающий момент двигателя

- 1) не зависит от тока;
- 2) пропорционален току;
- 3) пропорционален квадрату тока.

9. Метод эквивалентной мощности предполагает, что мощность двигателя

- 1) не зависит от момента;
- 2) пропорциональна моменту;
- 3) пропорциональна квадрату момента.

10. Средняя мощность двигателя в номинальном режиме равна номинальной мощности

- 1) только для двигателей S1;
- 2) только для двигателей S3;
- 3) для всех двигателей.

11. Продолжительность включения определяется через время работы t_p и время паузы t_o как

- 1) t_p / t_o ;
- 2) $t_p / (t_p + t_o)$;
- 3) $t_p / (t_p - t_o)$;

12. Максимально допустимое число включений в час по условиям нагрева определяют для двигателей, работающих в режиме

- 1) S1;
- 2) S2;
- 3) S3;
- 4) S4;
- 5) S5.

13. Дополнительное охлаждение двигателей, питаемых от современных преобразователей частоты, применяется в связи с

- 1) повышенным нагревом двигателя от основной гармоники тока;
- 2) повышенным нагревом двигателя от высших гармоник тока;
- 3) ухудшением теплоотдачи двигателя при работе на пониженных скоростях.

14. Для двигателя режима S3 средняя мощность потерь в номинальном режиме

- 1) меньше номинальной мощности потерь;
- 2) равна номинальной мощности потерь;
- 3) больше номинальной мощности потерь.

