

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 03.02.2025 14:12:50
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a3d42dd37e57fc11eabb175e945df4a4851fda36d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 30 » 01 2025 г.



**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ ДЛЯ НАНОСИСТЕМНОЙ
ТЕХНИКИ**

Методические рекомендации по выполнению
самостоятельной работы
для студентов направления
«Нанотехнологии и микросистемная техника»

Курск 2025

УДК 62.83

Составители: А.С. Яцун, Е.Н. Политов

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *П.А. Безмен*

Электрические приводы для наносистемной техники: методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы для студентов направления «Нанотехнологии и микросистемная техника»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.С. Яцун, Е.Н. Политов. Курск, 2025. - 23 с.

Изложен тематический план по дисциплине «Электрические приводы для наносистемной техники», а также вопросы и задания для самостоятельного рассмотрения.

Предназначены для студентов направления «Нанотехнологии и микросистемная техника» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *30.09.25* . Формат 60x84 1\16
Усл.печ.л. 1,34. Уч.изд.л. 1,28 . Тираж 10 экз. Заказ *54* .
Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94.

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Электрические приводы для наносистемной техники» является формирование у студентов базовых знаний об эффектах и процессах, лежащих в основе функционирования электроприводов для наносистемной техники, микромеханических и микроэлектромеханических систем.

Основными задачами изучения дисциплины являются: формирование представлений об основных тенденциях развития современной микросистемной техники, классификации микроэлектромеханических систем, областях их применения; изучение классификации и области применения электроприводов для наносистемной техники.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ

Общие теоретические сведения

Электрический привод (сокращённо — Электропривод) — это электромеханическая система для приведения в движение исполнительных механизмов рабочих машин и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса. Современный электропривод — это совокупность множества электромашин, аппаратов и систем управления ими. Он является основным потребителем электрической энергии (до 60 %) и главным источником механической энергии в промышленности [2,3].

И настоящее время электропривод является основным видом привода стационарных машин и механизмов, а во многих случаях и гидромелиоративных, транспортных, сельскохозяйственных и других подвижных машин.

Достоинства электрического привода:

- 1) мощность электродвигателя для привода рабочей машины может быть подобрана достаточно близкой к требуемой;
- 2) электрический двигатель в пожарном отношении менее опасен, чем, например, тепловой двигатель внутреннего сгорания;
- 3) электропривод позволяет быстро, а если нужно, то и часто, пускать и останавливать машину, плавно тормозить ее;
- 4) при изменении нагрузки на валу электродвигатель не требует специальных регуляторов подачи электроэнергии из сети. Увеличение подводимой к двигателю электроэнергии происходит автоматически с ростом нагрузки;
- 5) электропривод позволяет подобрать такой тип электродвигателя, механическая характеристика которого лучше, чем других двигателей, подходит к характеристике рабочей машины;
- 6) при электроприводе (воздействуя на электродвигатель, преобразователь или передачу) можно ступенчато или плавно регулировать частоту вращения рабочей машины в необходимых диапазонах;
- 7) электрический двигатель способен преодолевать длительные и значительные перегрузки, создаваемые рабочей машиной;

8) электрический привод позволяет получить наибольшую быстроходность и наивысшую производительность рабочей машины;

8) электрический двигатель позволяет экономить электроэнергию, а в отдельных случаях, при рекуперативном торможении, отдавать ее в электрическую сеть (при этом механическая энергия преобразуется в электрическую)

10) при электроприводе можно проще и полнее автоматизировать машины и установки;

11) электродвигатель имеет более высокий к.п.д. по сравнению с другими типами двигателей;

12) электродвигатели выпускают с высокой степенью уравновешенности, что позволяет встраивать их в рабочие машины, облегчать фундамент, а иногда и полностью отказываться от фундамента.

Сервопривод - это система привода, которая в широком диапазоне регулирования скорости обеспечивает динамичные, высокоточные процессы и обеспечивает хорошую их повторяемость. Это система, предназначенная для отработки момента, скорости и позиции с заданной точностью и динамикой. Классический сервопривод состоит из двигателя, датчика позиции и системы управления, имеющей три контура регулирования (по позиции, скорости и току).

В настоящее время, сервоприводы применяются там, где недостаточно точности регулирования обычных общепромышленных преобразователей частоты.

Применение высококачественных сервоприводов необходимо в высокопроизводительном оборудовании, где главным критерием является производительность.

Сервоприводами оснащаются прецизионные системы поддержания скорости и позиционирования промышленных роботов и высокоточных станков. Сервоприводы также устанавливаются на координатно-сверлильных станках, на различных технологических транспортных системах, на различных вспомогательных механизмах и др. В приводах подач современных станков с ЧПУ обеспечивающих перемещения рабочих органов станка, на сегодняшний день применяются в основном шаговые двигатели, либо сервоприводы

Обсуждаемые вопросы:

1. Классификация электромеханических преобразователей.
2. назначение и классификация электроприводов
3. Общие сведения об электрических приводах
4. Основные характеристики электроприводов
5. Порядок выбора электродвигателя
6. Расчет электропривода
7. Примеры выбора и расчета электроприводов
8. Назначение и классификация следящих приводов:
9. Применение сервоприводов
10. Основные методы и способы моделирования следящего привода

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Определение ЭМ и МС. Обобщенная функциональная схема автоматизированного электропривода.
2. Классификация ЭМС.
3. Типовые механические характеристики исполнительных устройств.
4. Типовые механические характеристики электродвигателей.
5. Условие статической устойчивости электропривода.
6. Примеры механических характеристик различных типов электродвигателей.
7. Приведение моментов и сил сопротивления для уравнения движения электропривода.
8. Приведение инерционных масс и моментов инерции для уравнения движения электропривода.
9. Время ускорения и замедления электропривода. Определение наивыгоднейшего передаточного отношения.

2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Общие теоретические сведения

ЭМП состоит из цилиндрического стального корпуса, в который помещается токопроводящая (обычно медная) обмотка, представляющая собой цилиндрический соленоид. С обеих сторон корпус закрывается стальными крышками. На одну из крышек устанавливается стальная вставка. В отверстие другой крышки вставляется стальной якорь. Между якорем и сердечником должен оставаться рабочий зазор. Величина рабочего зазора определяет максимальный ход якоря. При пропускании электрического тока через обмотку якорь создает тяговое усилие, стремясь втянуться внутрь обмотки. Для возврата якоря в исходное положение при отключении тока может использоваться пружина [2,3].

Обсуждаемые вопросы:

1. Назначение и классификация электроприводов постоянного тока
2. Основные характеристики и параметры привода постоянного тока
3. Расчет параметров привода постоянного тока

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения: схема включения, вывод уравнения механической характеристики.
2. Схема включения и механическая характеристика ДПТ НВ при пуске.
3. Механические характеристики ДПТ НВ в тормозных режимах.
4. Механические характеристики ДПТ последовательного возбуждения.
5. Механические характеристики ДПТ последовательного возбуждения в тормозных режимах.
6. Механические характеристики ДПТ смешанного возбуждения.
7. Механические характеристики АД.
8. Механические характеристики АД в тормозных режимах.

9. Схемы включения обмоток статора АД при динамическом торможении.
10. Механическая и угловая характеристики СД.
11. Основные показатели регулирования угловой скорости электроприводов.
12. Регулирование угловой скорости ДПТ НВ изменением магнитного потока.
13. Реостатное и импульсное параметрическое регулирование угловой скорости ДПТ НВ.
14. Схема однофазного преобразователя для ДПТ НВ и принцип ее работы.
15. Регулирование угловой скорости ДПТ НВ изменением подводимого к якору напряжения.
16. Регулирование угловой скорости ДПТ НВ изменением напряжения на якоре с помощью управляемых тиристорных выпрямителей.
17. Регулирование угловой скорости ДПТ НВ изменением напряжения на якоре посредством импульсных регуляторов напряжения (широтно-импульсных преобразователей)
18. Регулирование угловой скорости ДПТ НВ при шунтировании якоря.
19. Регулирование угловой скорости ДПТ последовательного возбуждения.
20. Регулирование угловой скорости ДПТ последовательного возбуждения шунтированием обмотки якоря или обмотки возбуждения.
21. Реостатное и импульсное параметрическое регулирование угловой скорости асинхронного электропривода.
22. Регулирование угловой скорости АД изменением напряжения, подводимого к статору.
23. Регулирование угловой скорости АД переключением числа полюсов.
24. Законы частотного управления АД.
25. Общая характеристика преобразовательных устройств для частотно-регулируемых электромеханических систем.
26. Принцип действия и основные характеристики автономных инверторов (тока и напряжения).
27. Принцип действия инвертора с ШИМ.

28. Регулирование частоты АД посредством асинхронного преобразователя частоты (АПЧ).
29. Статический преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока.
30. Шаговые двигатели. Конструкция и принцип действия. Режим работы и основные характеристики.

3 ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ МИКРОДВИЖИТЕЛИ.

Обсуждаемые вопросы:

1. Основы теории классической электродинамики
2. Понятие об электрических микродвигателях
3. Электростатические сенсоры и актуаторы
4. Электромагнитные преобразователи
5. Электродинамические актуаторы
6. Конструкции электромеханических микродвигателей
7. Преимущества и недостатки электромеханических микродвигателей
8. Основы теории нечеткой логики

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Достоинства и недостатки электростатических преобразователей.
2. Принцип работы и виды электростатических микродвигателей.
3. Скребущий шаговый микродвигатель. S-образный электростатический актюатор.
4. Электростатический сегнетоэлектрический планарный двигатель.
5. Электростатический зарядовый микроактюатор. Электростатический мускул. Встречно-штыревой актюатор для больших смещений.
6. Принцип работы электростатического микронасоса.
7. Принцип работы DLP-проекторных систем.
8. Принцип работы GLV-проекторных систем.
9. Емкостной МЭМС микрофон.
10. Емкостные акселерометры. Конструкции и принцип работы.
11. Принцип работы одноосного МЭМС гироскопа.
12. Принцип работы двуосного МЭМС гироскопа.
13. Достоинства и недостатки электромагнитных преобразователей. Электромагнитные силы.
14. Магнитное и магнито-электромагнитное преобразование энергии.
15. Электродвигатель и генератор постоянного тока.
16. Генератор переменного тока. Обратная ЭДС. Использование катушек индуктивности с сердечником. Универсальный двигатель.

17. Двигатель переменного тока. Синхронный, асинхронный и трёхфазный двигатели.
18. Электромагнитные актюаторы. Магнитоэлектрический двигатель. Магнитный балочный актюатор.
19. Электромагнитный торсионный актюатор. Двухосный электромагнитный торсионный актюатор.
20. Двухнаправленный магнитный балочный актюатор. Бистабильный магнитный актюатор.
21. Электростатические силы при постоянном напряжении. Электростатические силы при постоянном заряде.

4 МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Обсуждаемые вопросы:

1. Современное состояние отрасли МЭМС-технологий
2. Перспективные технологии в области создания микро- и нанодвижителей нового поколения
3. Проблемы развития отрасли МЭМС-технологий
4. Динамические свойства элементов МЭМС.
5. Затухающие и вынужденные колебания.
6. Эффекты масштабирования в МЭМС.
7. Масштабирование геометрических размеров и механических систем. Масштабирование электрических систем. Свойства материалов при масштабировании.

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Мембранные микроактюаторы.
2. Технология пьезоструйной и термоструйной печати.
3. Влияние краевых эффектов на электрическую ёмкость и электростатические силы в МЭМС.
4. Плоскопараллельный актюатор. Эффект схлопывания и способы его устранения.
5. Встречно-штыревые актюаторы. Виды конструкций и эффекты неустойчивости в них. Эффект электростатического размягчения в МЭМС.
6. Принцип работы интегрального микромеханического реле.
7. Перспективные материалы для микро- и нанодвижителей
8. Перспективные технологии производства микро- и нанодвижителей
9. Примеры современных перспективных МЭМС-технологий

КОМПЕТЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

Задача 1

Привод механизма моторизованного столика микроскопа состоит из электродвигателя и редуктора.

По заданным характеристикам привода требуется:

1. Подобрать электродвигатель
2. Построить кинематическую схему передаточного механизма
3. Определить общее передаточное отношение привода и разбить его по ступеням

Требуемая выходная мощность $10+0,5N$ Вт

Требуемая скорость движения столика $0,1+0,01N$ м/с,

где N – номер варианта

Задача 2

Привод механизма позиционирования микроскопа состоит из электродвигателя и редуктора.

По заданным характеристикам привода требуется:

1. Подобрать электродвигатель
2. Определить общее передаточное отношение привода и разбить его по ступеням
3. Найти крутящие моменты на валах

Требуемый выходной крутящий момент $5+0,3N$ (Н·м)

Требуемая частота вращения главного вала $5+0,25N$ (об/мин),

где N – номер варианта

Задача 3

Измерение размера структурных составляющих наноматериалов осуществляется электронно-микроскопическими методами.

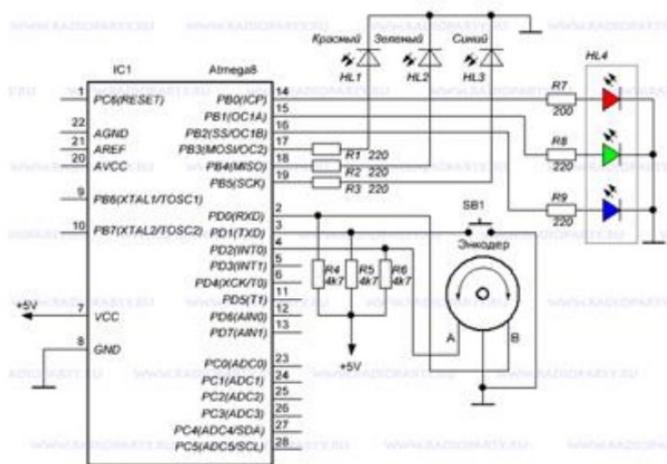
Напишите код программы цифровой системы управления микроприводом поворотного столика зондового микроскопа для заданных технических характеристик:

Скорость поворота столика $1+0,1N$ рад/с,

Крутящий момент на валу столика $50-N$ (Нм),
 N – номер варианта

Задача 4

Для управления приводом мехатронного наноаналитического прибора разработана принципиальная электрическая схема системы управления. Опишите ее составные части и предложите алгоритм работы программы



Задача 5

Привести структурную схему микродвижителя, описать функциональное назначение каждого блока схемы (по вариантам).

Задача 6

Привод регулятора оси вращения предметного стола микроскопа состоит из электродвигателя и редуктора.

По заданным характеристикам привода требуется:

1. Подобрать электродвигатель
2. Определить общее передаточное отношение привода и разбить его по ступеням
3. Найти крутящие моменты на валах

Требуемый выходной крутящий момент $8+0,2N$ (Н·м)

Требуемая частота вращения главного вала $10+0,2N$ (об/мин),

ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

1.1 Какого технологического участка НЕТ на МЭМС-производстве

1. Металлообработка
2. Формирование маски
3. Магнетронное напыление
4. Фотолитографии

1.2 Какие технологии применяются для создания микро-электромеханических устройств?

- a) электронно-лучевой эпитаксии
- b) миниатюризации токарно-фрезерных работ
- c) лазерной резки
- d) мощностной кавитации e) нет правильного ответа.

1.3 Жесткость механической характеристики электропривода – это...

- a) отношение разности электромагнитных моментов, развиваемых электродвигателем, к соответствующей разности угловых скоростей электропривода.
- b) отношение максимальной и номинальной частот вращения электродвигателя.
- c) отношение разности угловых скоростей электропривода к соответствующей разности электромагнитных моментов, развиваемых электродвигателем.
- d) отношение максимального и номинального моментов, развиваемых двигателем.
- e) нет правильного ответа.

1.4 Что НЕ входит в состав электропривода?

- a) редуктор
- b) исполнительный орган

- c) электродвигатель
- d) датчик обратной связи
- e) система управления

1.5 Двигатель постоянного тока последовательного возбуждения ...

- a) не имеет режима торможения противовключением.
- b) не имеет режима динамического торможения.
- c) не имеет режима идеального холостого хода.
- d) имеет режим торможения с отдачей энергии в сеть.
- e) не имеет все перечисленные режимы.

1.6 Какой эффект возникает при подаче электрического напряжения на кристалл и изменении его толщины?

- a) высокоточная обработка металлов
- b) исследования проницаемости потической решетки
- c) разработка альтернативных источников питания
- d) Исследования новых материалов и миниатюризация

1.7 Какое номинальное напряжение для пьезоприводов?

- a) 100...1500В
- b) 0...5В
- c) 0...5000В
- d) 5...24В

1.8 Какой номинальный ход сигнальной тяги пьезоэлектропривода?

- a) 20...200мкм
- b) 0...20мкм
- c) 0...200мкм
- d) 200...1000мкм
- e) 0...0,2мм

1.9 Индикаторная диаграмма позволяет ...

- a) следить за равномерностью подачи жидкости
- b) диагностировать техническое состояние насоса

- c) определить максимально возможное давление, развиваемое насосом
- d) устанавливать условия бескавитационной работы
- e) нет правильного ответа

1.10 Химическое управление актуаторами НЕ может осуществляться при помощи...

- a) уровня электростатического заряда
- b) состава окружающей среды
- c) кислотности среды
- d) уровня освещенности

1.11 Частота вращения шагового двигателя регулируется ...

- a) Скоростью переключения питания обмоток статора или ротора
- b) Частотой питающего напряжения.
- c) Сквозностью широтно-импульсного модулированного сигнала.
- d) Уровнем питающего постоянного напряжения
- e) Уровнем тока

1.12 Какой номинальный режим работы электродвигателя отсутствует по стандарту?

- a) режим ударно-импульсной нагрузки.
- b) режим повторно-кратковременной нагрузки.
- c) режим работы при периодическом изменении частоты вращения и нагрузки.
- d) режим продолжительной нагрузки.
- e) режим кратковременной нагрузки.

1.13 В вентильном электродвигателе используется ...

- a) датчик положения ротора.
- b) датчик частоты вращения.
- c) датчик магнитного поля.
- d) датчик направления вращения.
- e) датчик температуры.

1.14 По принципу работы шаговый двигатель относится к ...

- a) синхронным двигателем.
- b) асинхронным двигателем.
- c) двигателям постоянного тока независимого возбуждения.
- d) двигателям постоянного тока последовательного возбуждения.
- e) вентильным двигателям.

1.15 Мощность, которая передается от приводного двигателя к валу насоса называется ...

Выберите один ответ:

- полезная мощность
- подведенная мощность
- нет правильного ответа
- гидравлическая мощность
- механическая мощность

1.16 Параметрические датчики ...

Выберите один ответ:

- преобразуют значение одного параметра контролируемого процесса в другой, удобный для считывания.
- имеют управляемый параметр.
- преобразуют измеряемую физическую величину в пропорциональный электрический сигнал.
- в настоящее время недоступны для понимания и использования в технике.
- преобразуют один электрический сигнал в другой.

1.17 Какой тип привода применяется для активных (управляемых) амортизаторов автомобилей?

Выберите один ответ:

- Магнитострикционный
- Термобиметаллический
- Электро-реологический (ERA)
- Пьезоэлектрический
- Магнито-реологический (MRA)

1.18 Какое число определяет соотношение инерционных сил и сил упругости в твердом теле:

Выберите один ответ:

- Фруда
- Коши
- Рейнольдса
- Фурье
- Вебера

1.19 Какой номинальный режим работы электродвигателя отсутствует по стандарту?

Выберите один ответ:

- режим кратковременной нагрузки.
- режим работы при периодическом изменении частоты вращения и нагрузки.
- режим продолжительной нагрузки.
- режим повторно-кратковременной нагрузки .
- режим ударно-импульсной нагрузки.

1.20 Механическая характеристика синхронного электродвигателя является

Выберите один ответ:

- никакой из перечисленных.

- абсолютно жесткой.
- жесткой.
- абсолютно мягкой.
- мягкой.

1.21 В тензометрических датчиках заложен принцип зависимости сопротивления проводника от

Выберите один ответ:

- частоты вращения.
- освещенности.
- деформации.
- силы тока.
- температуры.

1.22 Для чего могут применяться приводы из сплавов с памятью формы (FGL)?

Выберите один ответ:

- дистанционного управления
- терморегуляторы всех видов
- ультразвуковые усилители
- микровентильаторы
- расширительные клапаны

1.23 Какого технологического участка НЕТ на МЭМС-производстве

Выберите один ответ:

- Химобработка
- Фотолитографии
- Металообработка

- Магнетронное напыление
- Формирование маски

1.24 Какую характеристику можно получить при регулировании сопротивления в цепи якоря ДПТ?

Выберите один ответ:

- нет правильного ответа.
- реостатную.
- емкостную.
- индуктивную.
- естественную.

1.25 На каком эффекте работает термобиметаллический привод?

Выберите один ответ:

- Изменения направления тока при тепловом расширении.
- ни одно из указанных.
- Нагревании жестко соединенных металлов различного теплового расширения
- Текучести металлов при высоких токах
- Сглаживания пульсаций переменного тока в сплавах.

1.26 Мощность, которая передается от приводного двигателя к валу насоса называется ...

Выберите один ответ:

- механическая мощность
- нет правильного ответа
- подведенная мощность
- полезная мощность
- гидравлическая мощность

1.27 Как называется комбинация MEMS 3D-акселерометра, 3D-гироскопа и 3D-магнитометра

Выберите один ответ:

- GPS-позиционер
- 9D-Unit
- IMU-модуль
- всеми перечисленными способами.
- MEMS-UniMeasurer

1.28 Отношение расхода жидкости к площади живого сечения называется ...

Выберите один ответ:

- максимальной скоростью потока
- средней скоростью потока
- минимальным расходом потока
- нет правильного ответа
- средним расходом потока жидкости

1.29 Сельсины возможно использовать в следующих режимах:

Выберите один ответ:

- индуктивном или резистивном.
- нет правильного ответа.
- емкостном или индуктивном.
- индикаторном или трансформаторном.
- двигательном или генераторном.

1.30 Бесконтактные датчики

Выберите один ответ:

- неконкурентны перед датчиками, непосредственно контактирующими с измеряемыми объектами.
- наиболее дорогие за счет повышенной сложности конструкции.
- снижают достоверность измеряемых величин из-за возможного влияния неконтролируемых помех.
- наиболее дешевые, т. к. имеют упрощенную конструкцию.
- обладают повышенной надежностью, т. к. не имеют изнашиваемых при контакте элементов.