

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Профиль «Робототехника в электромеханических системах»  
РПД Б1.В.06 «Элементы систем автоматики»



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**



**УТВЕРЖДАЮ**  
Зам. директора филиала ФГБОУ ВО  
«НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
канд. техн. наук, доцент  
В.В. Рожков  
«06» 03 2026 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Элементы систем автоматики**

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Направление подготовки (специальность): **13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

Профиль: **«Робототехника в электромеханических системах»**

Уровень высшего образования: **бакалавриат**

Нормативный срок обучения: **4 года**

Форма обучения: **очная**

Год набора: **2026**

Смоленск

Программа составлена с учетом ОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», утвержденного ректором ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Н.Д. Роголевым 20.12.2023.

**Программу составил:**



подпись

к.т.н., доцент В.В. Рожков  
ФИО

« 24 » февраля 2026 г.

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Электромеханических систем»  
« 25 » февраля 2026 г., протокол № 2

**Зам. заведующего кафедрой «Электромеханические системы»:**



подпись

к.т.н., доцент В.А. Чернов  
ФИО

« 05 » марта 2026 г.

РПД адаптирована для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

**Ответственный в филиале по работе  
с ЛОВЗ и инвалидами**



подпись

зам. начальника УУ Е.В. Зуева  
ФИО

« 05 » марта 2026 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью освоения дисциплины** является подготовка обучающихся к проектной деятельности путем формирования знаний, умений и навыков в области электротехники и электромеханики, современных методов анализа элементов автоматики для современных автоматизированных электроприводов.

**Задачи:** изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина Элементы систем автоматики относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

- Электрические машины;
- Силовая электроника;
- Основы механики роботов.

Перечень последующих дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной дисциплиной:

- Силовые преобразователи энергии;
- Электрические и электронные аппараты;
- Специальные электрические машины для средств автоматизации.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

| Компетенция   | Индикаторы достижения компетенций   | Результаты обучения  |
|---|---|--|
| ПК-4. Готов определять параметры оборудования робототехнических систем (их компонентов) | ПК-4.1 Применяет средства определения параметров оборудования робототехнических систем (их компонентов)   | Знает: основные устройства и элементы систем автоматики<br>Умеет: использовать положения теории автоматизированного электропривода применительно к робототехническим системам<br>Владеет: навыками моделирования объектов электропривода и систем автоматики |
|   | ПК-4.2 Использует полученную от электромеханического объекта информацию для определения параметров оборудования робототехнических систем (их компонентов) | Знает: математический аппарат анализа динамики<br>Умеет: применять методы анализа объектов автоматики<br>Владеет: навыками численных методов   |



**Содержание дисциплины:**

| № | Наименование видов занятий и тематик, содержание   |
|---|--|
| 1 | <p>Лекционные занятия:</p> <p>1.1. Понятие системы автоматического электропривода. Классификация элементов автоматического электропривода. Основные координаты и характеристики управляемого звена. Структура звена с обратной связью по напряжению. ЭДС как регулируемая выходная координата. Управляемый источник с обратной связью по напряжению.</p> <p>1.2. Формирование желаемых статических характеристик управляемого преобразователя с обратной связью по напряжению (положительной и отрицательной) в случае линейности характеристики управления Внешняя характеристика: жесткая со свойствами источника напряжения с малым статизмом (меньше естественного), и мягкая, а также со свойствами источника тока. Ограничение по току и напряжению. Определение статических характеристик при нелинейности характеристики управления методом графического построения в трех координатных плоскостях.</p> <p>1.3. Генератор постоянного тока как управляемый источник. Статические характеристики при различных схемах включения с учетом нелинейности характеристики управления. Структурные схемы для анализа динамических свойств генератора постоянного тока. Электромашинные усилители (ЭМУ). Статические характеристики ЭМУ. Структурные схемы для анализа динамики.</p> <p>1.4. Типовые трехфазные схемы. Угол управления, способы построения схем импульсно-фазового управления (СИФУ). Выпрямленное напряжение и ЭДС. ТП как объект регулирования. Логическая часть СИФУ УВ. Выходная часть СИФУ. Режим ведомого сетью инвертора. Логическое устройство при раздельном управлении. Реверсивный двухмостовой ТП в системе ТП - двигатель постоянного тока (ТП-Д) как управляемый источник. Раздельное и совместное управление.</p> <p>1.5. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) в системе привода постоянного тока как управляемые источники. Классификация ШИП. Способы искусственной коммутации тиристоров. Нереверсивный и реверсивный ШИП, его характеристики.</p> <p>1.6. Силовые параметрические преобразователи со свойствами источника тока в системе ТПД. Типовые схемы, их характеристики. Регулируемый источник тока на базе тиристорного преобразователя.</p> <p>1.7. Тиристорный преобразователь частоты с непосредственной связью с сетью (НПЧ) с естественной коммутацией. Требования к СИФУ.</p> <p>1.8. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока в системе частотного управления двигателем переменного тока.</p> <p>1.9. Шаговые, вентильные и вентильно-индукторные двигатели (ШД, ВД, ВИД), области их применения, способы управления. Статические и динамические характеристики. Требования к схемам управления</p> <p>1.10. Управляющие элементы дискретного действия. Промышленные серии логических элементов. Типовые логические элементы и их функции. Реализация логических функций на основе базовых элементов и-не, или-не. Оптимизация логических функций с помощью карт Карно. Триггеры.</p> <p>1.11. Технологические датчики. Датчики скорости. Тахогенераторы постоянного и переменного тока (асинхронные). Основные характеристики и параметры. Оптические датчики скорости. Датчики углов и линейных перемещений: сельсины, синус- косинусные вращающиеся трансформаторы, Основные характеристики и параметры. Типовые схемы включения и преобразования сигналов.</p> <p>1.12. Датчики электрических величин тока и напряжения.</p> <p>1.13. Аналоговые регуляторы на основе операционных усилителей. Схемы включения и</p> |

|   |   |
|---|---|
|   | <p>характеристики основных типов регуляторов: П, И, ПИ, ПИД.<br/>                 1.14. Дискретные сигналы, способы их представления. Дискретизация аналоговых непрерывных сигналов.<br/>                 1.15. Разностные уравнения как аналоги дифференциальных уравнений. Модель разностного уравнения произвольного порядка. Понятия рекурсивных и нерекурсивных схем.<br/>                 1.16. Линейные цифровые фильтры, их элементная база. Решение разностного уравнения программно рекуррентным методом.<br/>                 1.17. Решение разностных уравнений «классическим» методом. Принужденная и свободные составляющие в решении, методика их определения на примере. Корни характеристического уравнения. Условия устойчивости.</p>   |
| 2 | <p>Практические занятия:<br/>                 2.1. Статические характеристики управляемого преобразователя при его линейной и нелинейной характеристике управления и обратной связью по напряжению.<br/>                 2.2. Генератор постоянного тока с обратной связью по току как управляемый источник.<br/>                 2.3. Управляемый трехфазный тиристорный выпрямитель как звено в системе ТП-Д.<br/>                 2.4. Преобразователь частоты со звеном постоянного тока типа УВ и автономного инвертора тока (АИТ) в системе частотного регулирования скоростью асинхронного двигателя.<br/>                 2.5. Датчики электрических и неэлектрических величин.<br/>                 2.6. Схемы включения и характеристики основных типов регуляторов: П, И, ПИ, ПИД.<br/>                 2.7. Управляющие элементы дискретного действия.<br/>                 2.8. Решение разностных уравнений «классическим» методом.</p> |
| 3 | <p>Расчетно-графическая работа на тему:<br/>                 «Генератор постоянного тока» (часть 1),<br/>                 «Тиристорный преобразователь частоты» (часть 2),<br/>                 «Управляющие элементы дискретного действия» (часть 3).</p>  |
| 4 | <p>Самостоятельная работа студентов:<br/>                 4.1. Проработка лекционного материала.<br/>                 4.2. Подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуальных заданий (домашняя работа).<br/>                 4.3. Подготовка к срезам знаний – проверочным работам, проходящих на практических занятиях.<br/>                 4.4. Выполнение расчетно-графической работы.</p>  |

**Текущий контроль:** контрольные работы на практических занятиях номер 1 – номер 7; защита расчетно-графической работы.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Таблица - Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной занятости по дисциплине

| № п/п | Виды учебных занятий | Образовательные технологии   |
|-------|----------------------|--|
| 1     | Лекции               | Классическая (традиционная, информационная) лекция<br>Интерактивная лекция (лекция-визуализация)<br>Интерактивная лекция (проблемная лекция) |
| 2     | Практические занятия | Технология обучения на основе решения задач и выполнения упражнений  |

|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  | Технологии проведения практических занятий в форме семинара: тематический семинар, проблемный семинар, семинар с подготовленными докладами, семинар в форме диспута с привлечением специалиста в сфере профессиональной деятельности выпускников и т.п. |
| 3 | Самостоятельная работа студентов (внеаудиторная) | Информационно-коммуникационные технологии (доступ к ЭИОС филиала, к ЭБС филиала, доступ к информационно-методическим материалам по дисциплине)  |
| 4 | Контроль (промежуточная аттестация: зачет)       | Технология устного опроса<br>Технология письменного контроля  |

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ – ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

К промежуточной аттестации студентов по дисциплине могут привлекаться представители работодателей, преподаватели последующих дисциплин, заведующие кафедрами.

Оценка качества освоения дисциплины включает как текущий контроль успеваемости, так и промежуточную аттестацию.

### **Оценочные материалы текущего контроля успеваемости:**

Примерные вопросы по лекционному материалу дисциплины:

1. Понятие системы автоматического электропривода. Классификация элементов автоматического электропривода. Основные координаты и характеристики управляемого звена. Структура звена с обратной связью по напряжению. ЭДС как регулируемая выходная координата.
2. Формирование желаемых статических характеристик управляемого преобразователя с обратной связью по напряжению (положительной и отрицательной) в случае линейности характеристики управления
3. Внешняя характеристика: жесткая со свойствами источника напряжения с малым статизмом (меньше естественного), и мягкая, а также со свойствами источника тока. Ограничение по току и напряжению.
4. Определение статических характеристик при нелинейности характеристики управления методом графического построения в трех координатных плоскостях при отрицательной и положительной обратной связи по напряжению. Возможность самовозбуждения.
5. Электромашинные преобразователи электрической энергии. Генератор постоянного тока как управляемый источник. Статические характеристики при различных схемах включения с учетом нелинейности характеристики управления. Структурные схемы для анализа динамических свойств генератора постоянного тока.
6. Обратимость режимов. Двигательный режим. Способы регулирования скорости вращения.
7. Электромашинный усилитель (ЭМУ) как двухступенчатый управляемый источник.
8. Управляемый тиристорный преобразователь (ТП) в системе привода постоянного тока. Трехфазная мостовая как наиболее употребительная типовая схема. Угол управления, способы построения схем импульсно-фазового управления (СИФУ).
9. Выпрямленное напряжение и ЭДС трехфазного мостового УВ, временные диаграммы

переменных. Импульсы управления, требования к ним. ТП как объект регулирования.

10. Синхронизация СИФУ с сетью. Получение гладких синусоидальных сигналов, синфазных с «грязными» синусоидальными входными напряжениями сети. Активный фильтр на операционном усилителе для получения «чистых» сигналов, синфазных с «грязной» сетью.

11. Формирование логических сигналов управления тиристорами трехфазного управляемого выпрямителя.

12. Построение выходной части СИФУ трехфазного управляемого выпрямителя (трансформаторный вариант).

13. Коммутация в трехфазном мостовом управляемом выпрямителе. Внешняя характеристика при постоянном угле управления. Три режима в зависимости от угла управления и коммутации.

14. Режим прерывистых токов в трехфазном мостовом управляемом выпрямителе при углах управления больше  $60^\circ$ .

15. Динамические свойства трехфазного мостового выпрямителя при малых отклонениях от установившегося режима

16. Режим ведомого сетью инвертора. Опрокидывание.

17. Реверсивный двухмостовой ТП в системе ТП- двигатель постоянного тока (ТП-Д) как управляемый источник. Раздельное и совместное управление.

18. Работа мостов при движении вперед, торможении, реверсе. Логическое устройство в системе реверсивного ТПД при раздельном управлении мостами.

19. Широтно-импульсные тиристорные преобразователи (ШИП) в системе привода постоянного тока как управляемые источники. Нереверсивный и реверсивный ШИП. Тиристорный ШИП с искусственной коммутацией методом емкостного прерывания токов.

20. Транзисторные ШИП, алгоритмы управления ключами (симметричные и несимметричные).

21. Силовые параметрические преобразователи со свойствами источника тока в системе ТПД. Типовые схемы: вентильно- емкостные и индуктивно-емкостные, их характеристики.

22. Тиристорные коммутаторы из двух встречно-параллельных тиристоров как устройство регулирования напряжения в цепи переменного тока.

23. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока в системе частотного управления двигателем переменного тока. Типовые схемы с автономным тиристорным инвертором напряжения (АИН) и тока (АИТ) с поочередной коммутацией силовых ключей на частоте выходной сети.

24. Временные диаграммы импульсов управления для трехфазного АИТ при частотном регулировании скорости АД. Основные узлы СИФУ, их назначение

25. Система трехфазный мостовой УВ+АИТ с отсекающими диодами +короткозамкнутый АД при частотном регулировании скорости вращения. Простейшие соотношения для основной гармоники входного тока, напряжений (ЭДС), при пренебрежении процессами коммутации.

26. Момент (мгновенный и средний) на валу АД в системе трехфазный УВ+ АИТ с отсекающими диодами при частотном регулировании скорости.

27. Перенапряжения в схеме УВ+АИТ с отсекающими диодами +АД, меры по снижению их.

28. Генератор, управляемый напряжением, в составе СИФУ трехфазного АИТ. Принцип преобразования входного напряжения в последовательность импульсов с частотой, пропорциональной напряжению. Схема, временные диаграммы.

29. Выходная часть СИФУ тиристорного моста с трансформаторной развязкой.

26. Тиристорный преобразователь частоты с непосредственной связью с сетью (НПЧ) с естественной коммутацией на базе трехфазных мостовых УВ для частотного управления асинхронными двигателями. Возможная схема, ее работа.

27. Шаговые, вентильные, вентильно- индукторные двигатели. Принцип работы, конструк-

ция, характеристики, области их применения.

28. Схемы включения вентильно- индукторных и шаговых двигателей. Возможные алгоритмы управления.

29. Логические переменные и логические функции. Законы алгебры логики.

30. Элементы дискретной логики в интегральном исполнении низкого уровня: И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Примеры построения схем для реализации заданных логических функций.

31. Синтез комбинационных логических схем для реализации заданной логической функции нескольких переменных. Возможности оптимизации с применением карт Карно. Примеры.

32. Логическое уравнение элемента памяти при двух входных переменных. Диаграммы истинности. Построение триггера на элементах низкого уровня интеграции. RS-триггер как основной элемент памяти.

33. Построение различного типа триггеров: D, T. Их свойства при обработке входных логических сигналов. Двухтактные триггеры. Универсальный JK-триггер. Делители частоты на триггерах.

34. Тахогенераторы на базе микромашин постоянного тока и асинхронных с полым ротором.

35. Фотоимпульсный датчик скорости и угла поворота вала. Устройство. Импульсные последовательности на выходе с временным сдвигом на четверть периода. Возможности определения направления вращения

36. Датчики угла поворота в системах автоматизированного электропривода. Сельсины. Принцип работы, конструкция, схемы включения

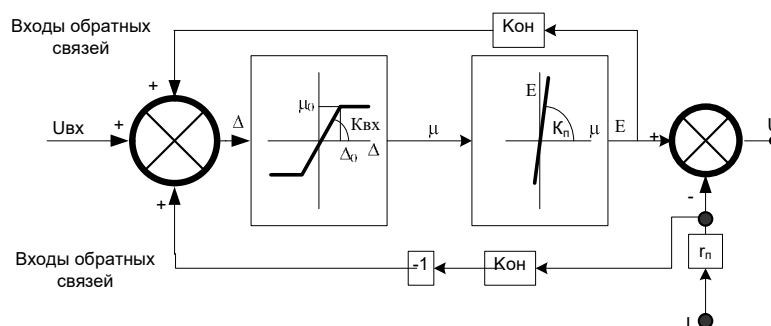
37. Датчики угла поворота в системах автоматизированного электропривода. Синус- косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ). Принцип работы, конструкция, схемы включения.

38. Датчики электрических величин (тока). Принципы построения, схемы, временные диаграммы.

39. Аналоговые регуляторы на основе операционных усилителей (ОУ). Схемы включения и характеристики основных типов регуляторов: П-, И-, ПИ-, ПИД-регуляторы.

### Примеры вопросов и задач к практическим занятиям:

#### Управляемый источник с ОС по напряжению



#### Задача 1.

Управляемый источник со структурой рис. 1.1. имеет отрицательную обратную связь для получения жесткой внешней характеристики. Дано:

- коэффициент усиления преобразователя  $K_{пр}=10$  о.е.,
- выходное номинальное напряжение  $U_{ном}=230$  В,
- внутреннее сопротивление преобразователя  $r_{н}=0.01$  Ом,
- входное номинальное напряжение  $U_{вх.ном}=10$  В,
- естественный статизм внешней характеристики источника  $\delta_{ест}=0.05$  (5%).

Требуется уменьшить статизм внешней характеристики с 5% до 1.25% в диапазоне токов от нуля до двойного номинального.

Требуется:

- определить модуль коэффициента обратной связи по напряжению  $|K_{он}|$ ,
- определить коэффициент усиления по входу  $K_{вх}$ ,
- определить уровни ограничений  $\Delta_0$  и  $\mu_0$ ,
- определить диапазон изменения входного напряжения  $U_{вх}$ ,
- построить внешнюю характеристику в диапазоне  $0 < I < 3I_n$ .

Решение

Из (1.16) имеем выражение для статизма внешней характеристики источника в диапазоне линейности:

$$\delta = \frac{E_{нач} - U}{E_{нач}} = \frac{\Delta U(I)}{E_{нач}} = -\frac{I \cdot r_{II}}{E_{нач}} \cdot \frac{1}{1 + K_{вх} \cdot K_{пр} \cdot |K_{он}|} = \delta_{ест} \cdot \frac{1}{1 + K_{вх} \cdot K_{пр} \cdot |K_{он}|} \quad (13.1)$$

Отношение естественного статизма к статизму в замкнутой системе составляет:

$$\frac{\delta_{ест}}{\delta} = 1 + K_{вх} \cdot K_{пр} \cdot |K_{он}|$$

По условию задачи это отношение должно составлять  $\frac{5}{1.25} = 4$ , откуда имеем:

$$4 = 1 + K_{вх} \cdot K_{пр} \cdot |K_{он}|, \text{ или } K_{вх} \cdot K_{пр} \cdot |K_{он}| = 3.$$

С учетом заданного коэффициента преобразователя  $K_{пр}=10$  имеем:

$$K_{вх} \cdot |K_{он}| = \frac{3}{10} = 0.3 \quad (13.2)$$

Поскольку в диапазоне токов, меньших критического, требуется статизм в 1.25% (0.0125),

то из условия  $\delta = \frac{E_{нач} - U_{ном}}{E_{нач}}$  следует, что начальная ЭДС  $E_{нач}$  в режиме холостого хода равна:

$$E_{нач} = U_{ном} \cdot \frac{1}{1 - \delta} = 230 \cdot \frac{1}{1 - 0.0125} = 232.5 \text{ В.}$$

Тогда из (1.10) с учетом того, что входное номинальное напряжение равно 10В, а

$$4 = 1 + K_{вх} \cdot K_{пр} \cdot |K_{он}|, \text{ следует:}$$

$$E_{нач} = U_{вх} \cdot \frac{K_{вх} \cdot K_{пр}}{1 + K_{вх} \cdot K_{пр} \cdot |K_{он}|}$$

$$\frac{E_{нач}}{U_{вхном}} = \frac{232.5}{10} = \frac{K_{вх} \cdot 10}{4} = K_{вх} \cdot 2.5, \text{ откуда имеем:}$$

$$K_{вх} = \frac{232.5}{10 \cdot 2.5} = 9.32 \quad (13.3)$$

Тогда из (13.2) имеем величину модуля коэффициента обратной связи по напряжению:

$$|K_{он}| = \frac{0.3}{9.32} = 0.0322 \quad (13.4)$$

Сигнал  $\mu_x$  в режиме холостого хода есть отношение ЭДС холостого хода (начальная ЭДС  $E_{нач}=232.5$  В) к коэффициенту усиления преобразователя  $K_{пр}=10$ , т.е.

$$\mu_x = 23.25 \text{ о.е} \quad (13.5)$$

Сигнал  $\Delta_x$  при этом имеет величину

$$\Delta_x = \frac{\mu_x}{K_{вх}} = \frac{23.25}{9.32} = 2.5 \text{ В} \quad (13.6)$$

Этот результат можно получить и по-другому. В режиме холостого хода имеем:

$$\Delta_x = U_{\text{вх}} - |K_{\text{он}}| \cdot E_{\text{нач}} = 10 - 0.0322 \cdot 232.5 = 2.5 \text{ В}$$

При работе в номинальном режиме ЭДС получит приращение в соответствии с (1.11):

$$\Delta E(I) = I \cdot r_n \cdot \frac{K_{\text{вх}} K_n \cdot |K_{\text{он}}|}{1 + K_{\text{вх}} \cdot K_n \cdot |K_{\text{он}}|} \cdot \frac{E_{\text{нач}}}{E_{\text{нач}}} = \delta \cdot K_{\text{вх}} \cdot K_n \cdot |K_{\text{он}}| \cdot E_{\text{нач}} \quad (13.7)$$

Тогда результирующая ЭДС в номинальном режиме составит:

$$E_{\text{ном}} = E_{\text{нач}} + \delta \cdot K_{\text{вх}} \cdot K_n \cdot |K_{\text{он}}| \cdot E_{\text{нач}} = E_{\text{нач}} \cdot (1 + \delta \cdot K_{\text{вх}} \cdot K_n \cdot |K_{\text{он}}|) = 232.5 \cdot (1 + 0.0125 \cdot 3) = 241.2 \text{ В}$$

Номинальный ток равен

$$I_{\text{ном}} = \frac{E_{\text{ном}} - U_{\text{ном}}}{r_{\text{п}}} = \frac{241.2 - 230}{0.01} = 1120 \text{ А} \quad (13.8)$$

ЭДС при двойном номинальном токе будет иметь приращение вдвое большее, чем при номинальном режиме, и составлять результирующую величину:

$$E_{2I_{\text{ном}}} = E_{\text{нач}} + 2 \cdot \delta \cdot K_{\text{вх}} \cdot K_n \cdot |K_{\text{он}}| \cdot E_{\text{нач}} = E_{\text{нач}} \cdot (1 + 2 \cdot \delta \cdot K_{\text{вх}} \cdot K_n \cdot |K_{\text{он}}|) = 232.5 \cdot (1 + 2 \cdot 0.0125 \cdot 3) = 250 \text{ В} \quad (13.9)$$

Эта величина ЭДС  $E_{\text{max}}=250$  В является максимальной при двойном номинальном токе  $2I_{\text{ном}}=2240$ А. При больших токах ЭДС остается неизменной на достигнутом максимальном уровне 250В.

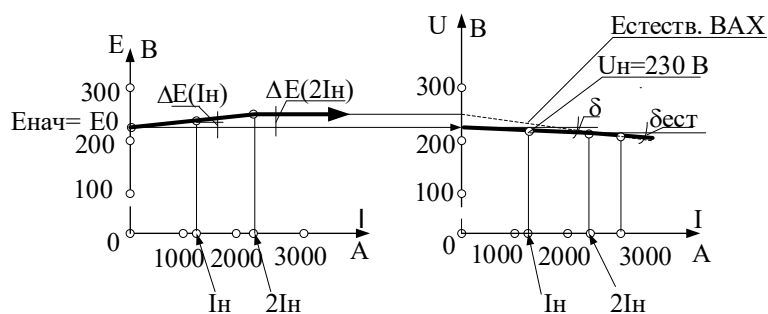
Уровни ограничений входного блока находим из условий:

$$\mu_0 = \frac{E_{\text{max}}}{K_{\text{п}}} = \frac{250}{10} = 25 \quad (13.10)$$

$$\Delta_0 = \frac{\mu_0}{K_{\text{вх}}} = \frac{25}{9.32} = 2.48 \text{ В} \quad (13.11)$$

Входное напряжение остается постоянным, равным 10В.

Характеристики ЭДС  $E(I)$  и внешняя характеристика источника  $U(I)$  приведены на рис.13.1.



### Задача 2.

Привести схемы:

- тахогенератора постоянного тока;
- асинхронного тахогенератора.

Указать их достоинства и недостатки.

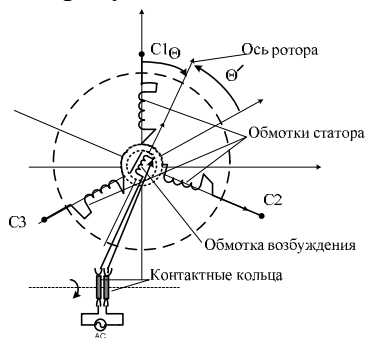
### Задача 3.

В фотоимпульсном датчике скорости имеется две последовательности меток с одинаковым числом на оборот диска. Зачем это делается?

Пусть диск вращается со скоростью 1500 об/мин. Пусть число меток на оборот равно 2500. Определить частоту импульсов в Гц.

Задача 4.

Схема какого устройства приведена на рисунке? Каково его назначение

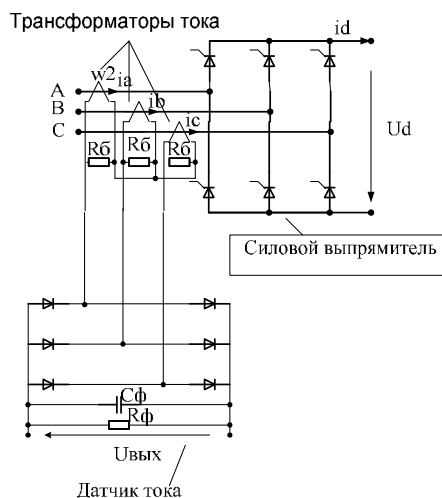


Задача 5.

Дать определение СКВТ с позиций электрических машин.

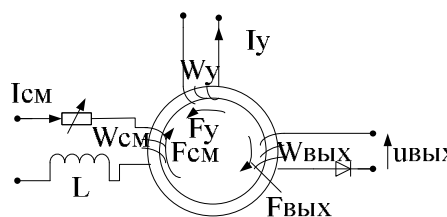
Задача 6.

Нарисовать временные диаграммы токов первичных обмоток трансформаторов тока приведенного датчика. Зачем нужны резисторы, шунтирующие вторичные обмотки? Откуда снимается выходной сигнал датчика?



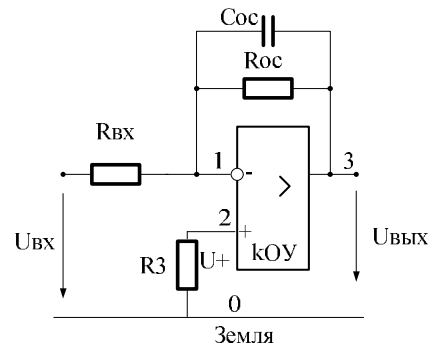
Задача 7.

Из какого материала выполняется сердечник импульсного датчика тока, приведенного на рисунке? Дать объяснение.



Задача 8.

Для схемы инерционного звена на ОУ, приведенной на рисунке, передаточная функция в операторной форме имеет вид;



$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = -\frac{K}{1 + pT}$$

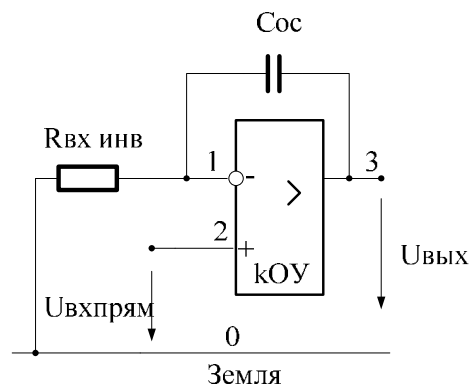
$$K = -\frac{R_{\text{ос}}}{R_{\text{вх}}}$$

$$T = R_{\text{ос}} \cdot C$$

Используя ее, нарисовать качественно амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики.

Задача 9.

Вывести формулу для передаточной функции приведенной схемы.



### Оценочные средства промежуточной аттестации:

#### Примеры вопросов к зачету:

1. Понятие системы автоматического электропривода. Классификация элементов автоматического электропривода. Основные координаты и характеристики управляемого звена. Структура звена с обратной связью по напряжению. ЭДС как регулируемая выходная координата.
2. Формирование желаемых статических характеристик управляемого преобразователя с обратной связью по напряжению (положительной и отрицательной) в случае линейности характеристики управления
3. Внешняя характеристика: жесткая со свойствами источника напряжения с малым статизмом (меньше естественного), и мягкая, а также со свойствами источника тока. Ограничение по току и напряжению.
4. Определение статических характеристик при нелинейности характеристики управления методом графического построения в трех координатных плоскостях при отрицательной и положительной обратной связи по напряжению. Возможность самовозбуждения.
5. Электромашинные преобразователи электрической энергии. Генератор постоянного тока как управляемый источник. Статические характеристики при различных схемах включения с учетом нелинейности характеристики управления. Структурные схемы для анализа динамических

свойств генератора постоянного тока.

6. Обратимость режимов. Двигательный режим. Способы регулирования скорости вращения.

7. Электромашинный усилитель (ЭМУ) как двухступенчатый управляемый источник.

8. Управляемый тиристорный преобразователь (ТП) в системе привода постоянного тока. Трехфазная мостовая как наиболее употребительная типовая схема. Угол управления, способы построения схем импульсно-фазового управления (СИФУ).

9. Выпрямленное напряжение и ЭДС трехфазного мостового УВ, временные диаграммы переменных. Импульсы управления, требования к ним. ТП как объект регулирования.

10. Синхронизация СИФУ с сетью. Получение гладких синусоидальных сигналов, синфазных с «грязными» синусоидальными входными напряжениями сети. Активный фильтр на операционном усилителе для получения «чистых» сигналов, синфазных с «грязной» сетью.

11. Формирование логических сигналов управления тиристорами трехфазного управляемого выпрямителя.

12. Построение выходной части СИФУ трехфазного управляемого выпрямителя (трансформаторный вариант).

13. Коммутация в трехфазном мостовом управляемом выпрямителе. Внешняя характеристика при постоянном угле управления. Три режима в зависимости от угла управления и коммутации.

14. Режим прерывистых токов в трехфазном мостовом управляемом выпрямителе при углах управления больше  $60^{\circ}$ .

15. Динамические свойства трехфазного мостового выпрямителя при малых отклонениях от установившегося режима

16. Режим ведомого сетью инвертора. Опрокидывание.

17. Реверсивный двухмостовой ТП в системе ТП- двигатель постоянного тока (ТП-Д) как управляемый источник. Раздельное и совместное управление.

18. Работа мостов при движении вперед, торможении, реверсе. Логическое устройство в системе реверсивного ТПД при раздельном управлении мостами.

19. Широтно-импульсные тиристорные преобразователи (ШИП) в системе привода постоянного тока как управляемые источники. Нереверсивный и реверсивный ШИП. Тиристорный ШИП с искусственной коммутацией методом емкостного прерывания токов.

20. Транзисторные ШИП, алгоритмы управления ключами (симметричные и несимметричные).

21. Силовые параметрические преобразователи со свойствами источника тока в системе ТПД. Типовые схемы: вентильно-емкостные и индуктивно-емкостные, их характеристики.

22. Тиристорные коммутаторы из двух встречно-параллельных тиристоров как устройство регулирования напряжения в цепи переменного тока.

23. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока в системе частотного управления двигателем переменного тока. Типовые схемы с автономным тиристорным инвертором напряжения (АИН) и тока (АИТ) с поочередной коммутацией силовых ключей на частоте выходной сети.

24. Временные диаграммы импульсов управления для трехфазного АИТ при частотном регулировании скорости АД. Основные узлы СИФУ, их назначение

25. Система трехфазный мостовой УВ+АИТ с отсекающими диодами +короткозамкнутый АД при частотном регулировании скорости вращения. Простейшие соотношения для основной гармоника входного тока, напряжений (ЭДС), при пренебрежении процессами коммутации.

26. Момент (мгновенный и средний) на валу АД в системе трехфазный УВ+ АИТ с отсекающими диодами при частотном регулировании скорости.

27. Перенапряжения в схеме УВ+АИТ с отсекающими диодами +АД, меры по снижению их.

28. Генератор, управляемый напряжением, в составе СИФУ трехфазного АИТ. Принцип преобразования входного напряжения в последовательность импульсов с частотой, пропорциональной напряжению. Схема, временные диаграммы.

29. Выходная часть СИФУ тиристорного моста с трансформаторной развязкой.

30. Тиристорный преобразователь частоты с непосредственной связью с сетью (НПЧ) с естественной коммутацией на базе трехфазных мостовых УВ для частотного управления асинхронными двигателями. Возможная схема, ее работа.

31. Шаговые, вентильные, вентильно-индукторные двигатели. Принцип работы, конструкция, характеристики, области их применения.

32. Схемы включения вентильно-индукторных и шаговых двигателей. Возможные алгоритмы управления.

33. Логические переменные и логические функции. Законы алгебры логики.

34. Элементы дискретной логики в интегральном исполнении низкого уровня: И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Примеры построения схем для реализации заданных логических функций.

35. Синтез комбинационных логических схем для реализации заданной логической функции нескольких переменных. Возможности оптимизации с применением карт Карно. Примеры.

36. Логическое уравнение элемента памяти при двух входных переменных. Диаграммы истинности. Построение триггера на элементах низкого уровня интеграции .RS- триггер как основной элемент памяти.

37. Построение различного типа триггеров: D, T. Их свойства при обработке входных логических сигналов. Двухтактные триггеры. Универсальный JK-триггер. Делители частоты на триггерах.

38. Тахогенераторы: на базе микромашин постоянного тока и асинхронных с полым ротором

39. Фотоимпульсный датчик скорости и угла поворота вала. Устройство. Импульсные последовательности на выходе с временным сдвигом на четверть периода. Возможности определения направления вращения

40. Датчики угла поворота в системах автоматизированного электропривода. Сельсины. Принцип работы, конструкция, схемы включения

41. Датчики угла поворота в системах автоматизированного электропривода. Синус-косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ). Принцип работы, конструкция, схемы включения.

42. Датчики электрических величин (тока). Принципы построения, схемы, временные диаграммы.

43. Аналоговые регуляторы на основе операционных усилителей (ОУ). Схемы включения и характеристики основных типов регуляторов: П, И, ПИ, ПИД.

44. Статические характеристики управляемого преобразователя при его линейной и нелинейной характеристике управления и обратной связью по напряжению.

45. Генератор постоянного тока с обратной связью по току как управляемый источник.

46. Управляемый трехфазный тиристорный выпрямитель как звено в системе ТП-Д.

47. Широтно-импульсный преобразователь (ШИП) в системе привода постоянного тока.

48. Преобразователь частоты со звеном постоянного тока типа УВ и автономного инвертора тока (АИТ) в системе частотного регулирования скоростью асинхронного двигателя.

49. Шаговые и вентильные двигатели как объекты управления.

50. Управляющие элементы дискретного действия.

51. Датчики электрических и неэлектрических величин.

52. Анализ динамики двигателя постоянного тока в системе с ШИП (без регулятора).

В филиале используется система с традиционной шкалой оценок – "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно", "зачтено", "не зачтено" (далее - пятибалльная система).

Форма промежуточной аттестации по настоящей дисциплине – **зачет** с оценкой.

Применяемые критерии оценивания по дисциплинам (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

| Оценка по дисциплине  | Критерии оценки результатов обучения по дисциплине  |
|---|---|
| «отлично»/<br>«зачтено (отлично)»/<br>«зачтено»                     | Выставляется обучающемуся, обнаружившему всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практическое задание. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «эталонный».                                  |
| «хорошо»/<br>«зачтено (хорошо)»/<br>«зачтено»                       | Выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющему предусмотренные задания, усвоившему основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнивший практическое задание, но допустивший при этом не принципиальные ошибки. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «продвинутый».  |
| «удовлетворительно»/<br>«зачтено (удовлетворительно)»/<br>«зачтено» | Выставляется обучающемуся, обнаружившему знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, знакомому с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившему погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающему необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившему другие практические задания из того же раздела дисциплины.. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «пороговый».  |
| «неудовлетворительно»/ не зачтено                                   | Выставляется обучающемуся, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции на уровне «пороговый», закреплённые за дисциплиной, не сформированы. |

| Оценка по дисциплине | Критерии оценки результатов обучения по дисциплине |
|----------------------|--|
|                      | рованы.  |

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Учебное и учебно-лабораторное оборудование

Лекционные занятия проводятся в учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; демонстрационным оборудованием: персональным компьютером (ноутбуком); переносным (стационарным) проектором.

Практические занятия проводятся в учебной аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной.

Для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине используется помещение для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональным компьютерами с подключением к сети "Интернет" и доступом в ЭИОС филиала.

## 8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

### для слепых и слабовидящих:

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;

- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;

- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;

- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;

- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

### для глухих и слабослышащих:

- лекции оформляются в виде электронного документа;

- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;

- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

**для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;

- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере;

- используется специальная учебная аудитория для лиц с ЛОВЗ – ауд. 106 главного учебного корпуса по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр-д, д.1, здание энергетического института (основной корпус).

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены филиалом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**для слепых и слабовидящих:**

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

**для глухих и слабослышащих:**

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

**для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература.

1. Розанов, Юрий Константинович. Силовая электроника : учеб. для вузов по направлению подготовки "Электротехника, электромеханика и электротехнологии", для системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации персонала РАО / Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, А. А. Кваснюк .— М.: МЭИ, 2007 .— 631, [1] с. : ил. — ISBN 978-5-383-00169-1: 660.00.

2. Соколовский, Георгий Георгиевич. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учеб. для вузов по спец. 140604 "Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов" / Г. Г. Соколовский .— М.: Академия, 2006 .— 264, [1] с. : ил. — ISBN 5-7695-2306-9 : 174.24.

**Дополнительная литература.**

1. Гордеев, А.С. Основы автоматики: учебное пособие для вузов / А.С. Гордеев; Министерство сельского хозяйства РФ, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мичуринский государственный аграрный университет». - Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2006. - 213 с.: табл., схем. - ISBN 5-94664-088-7; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364672>
2. Саватеева И.С. Исследование характеристик преобразователей: уч. пособие по курсу «Элементы систем автоматики» - Смоленск, СФ МЭИ, 2003. - 43с.

**Список авторских методических разработок.**

1. Крутиков К.К. Нелинейные цепи и устройства на практических примерах. [Текст]: уч. пособие / К.К. Крутиков, В.В. Рожков. – Смоленск, 2014. – 208 с.



### ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| Но-<br>мер<br>из-<br>ме-<br>не-<br>ния | Номера страниц            |                           |            |  | Всего<br>стра-<br>ниц в<br>доку-<br>менте | Наименование<br>и № документа,<br>вводящего<br>изменения | Подпись, Ф.И.О.<br>внесшего измене-<br>ния в данный эк-<br>земпляр | Дата<br>внесения из-<br>менения в<br>данный эк-<br>земпляр | Дата<br>введения из-<br>менения |
|--|---------------------------|---------------------------|------------|--|---|--|--|--|---------------------------------|
|  | из-<br>ме-<br>нен-<br>ных | за-<br>ме-<br>нен-<br>ных | но-<br>вых | ан-<br>ну-<br>ли-<br>ро-<br>ванн<br>ых |   |  |  |  |                                 |
| 1                                      | 2                         | 3                         | 4          | 5                                      | 6   | 7  | 8  | 9  | 10                              |
|  |                           |                           |            |  |   |  |  |  |                                 |