

Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»

Рабочая программа учебной дисциплины

Системы управления преобразователями электрической энергии

(Наименование дисциплины)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль)

«Электроснабжение»

(Направление подготовки / Профиль)

Бакалавр

(Квалификация)

Кафедра разработчик

Естественных наук и профессиональных коммуникаций

Год набора

2027

Вид учебной деятельности	Трудоемкость (объем) дисциплины
	Очная форма
	л
Зачетные единицы	3
Общее количество часов	108
Аудиторные часы контактной работы обучающегося с преподавателями:	32
– Лекционные (Л)	16
– Практические (ПЗ)	16
– Лабораторные (ЛЗ)	
– Семинарские (СЗ)	
Самостоятельная работа обучающихся (СРО)	76
К (Р-Г) Р (П) (+;-)	
Тестирование (+;-)	
ДКР (+;-)	
Зачет (+;-)	+
Зачет с оценкой (+;- (Кол-во часов))	
Экзамен (+;- (Кол-во часов))	

Волгоград 2026

Содержание

Раздел 1. Организационно-методический раздел	3
Раздел 2. Тематический план.....	5
Раздел 3. Содержание дисциплины.....	6
Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся	8
Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся.....	10
Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами).....	14
Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	16
Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии	17
Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	17

Раздел 1. Организационно-методический раздел

1.1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Системы управления преобразователями электрической энергии» входит в «Эктивные дисциплины» подготовки обучающихся по направлению подготовки **13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Электроснабжение»**.

Целью дисциплины является формирование **компетенций** (в соответствии с ФГОС ВО и требованиями к результатам освоения основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО)):

ПК-2 Способен осуществлять организационно-техническое, технологическое и ресурсное обеспечение работ, а также планирование и координацию деятельности по эксплуатации электроэнергетических и электротехнических объектов

Дескрипторы универсальной компетенции:

ПК-2.1 Осуществляет организационно-техническое, технологическое и ресурсное обеспечение работ по эксплуатации электроэнергетических и электротехнических объектов.

ПК-2.2 Обеспечивает планирование и координацию деятельности по эксплуатации электроэнергетических и электротехнических объектов

Перечисленные компетенции формируются в процессе достижения индикаторов компетенций:

Обобщенная трудовая функция/ трудовая функция	Код и наименование дескриптора компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенций (из ПС)
– Профессиональный стандарт Специалист по эксплуатации трансформаторных подстанций и распределительных пунктов и управлению режимами работы муниципальных электрических сетей, утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 329н от 25.04.2023	ПК-2.1 Осуществляет организационно-техническое, технологическое и ресурсное обеспечение работ по эксплуатации электроэнергетических и электротехнических объектов. ПК-2.2 Обеспечивает планирование и координацию деятельности по эксплуатации электроэнергетических и электротехнических объектов	Знает: ИД 1 ПК.2.1 Нормативные правовые акты и методические документы, регламентирующие деятельность объекта электроэнергетики и электротехники, эксплуатационные требования к ним, требования охраны труда, промышленной и пожарной безопасности, производственной санитарии С/01.6; ИД 2 ПК.2.2 Порядок и методы оперативного, текущего и перспективного производственного (техно-экономического) планирования, правила технической эксплуатации и квалификационные требования к персоналу, осуществляющему деятельность по эксплуатации С/02.6, С/03.6 Умеет: ИД 3 ПК.2.1 Оценивать техническое состояние объектов электроэнергетики и электротехники, разрабатывать техническую и технологическую документацию по их эксплуатации С/01.6

		ИД 4 ПК.2.2 Осуществлять оперативное, текущее и перспективное планирование производственной деятельности структурного подразделения, направленной на обеспечение исправного состояния, эффективной и безаварийной работы, разрабатывать планы и графики производства работ по техническому обслуживанию и ремонту объектов электроэнергетики и электротехники С/02.6, С/03.6 Имеет навыки: ИД 5 ПК.2.1 Участия в разработке и утверждении внутренних локальных документов, касающихся организации деятельности по эксплуатации объектов электроэнергетики и электротехники С/01.6 ИД 6 ПК.2.2 Обеспечения взаимодействия структурных подразделений организации в рамках планирования функционирования и эксплуатации объектов электроэнергетики и электротехники С/02.6, С/03.6
--	--	---

**1.2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО
направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность
(профиль) «Электроснабжение»**

№	Предшествующие дисциплины (дисциплины, изучаемые параллельно)	Последующие дисциплины
1	2	3
1.	Электрические машины	Электромеханические комплексы в электроэнергетике
2.	Теоретические основы электротехники	Монтаж и наладка электромеханического оборудования подстанций
3.	Электрические и электронные аппараты	

1.3. Нормативная документация

Рабочая программа учебной дисциплины составлена на основе:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки **13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Электроснабжение»**;
- Учебного плана направления подготовки **13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Электроснабжение»** 2027 года набора;
- Образца рабочей программы учебной дисциплины (приказ № 113-О от 01.09.2021 г.).

Раздел 2. Тематический план

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема дисциплины	Трудоемкость				
		Все го	Аудиторные занятия		СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
			Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Тема 1. Введение. Классификация и роль систем управления в силовой электронике.	12	2	2	8	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
2	Тема 2. Принципы импульсного управления. Системы с естественной и принудительной коммутацией.	12	2	2	8	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
3	Тема 3. Системы управления выпрямителями и регуляторами переменного тока.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
4	Тема 4. Системы управления автономными инверторами напряжения (АИН).	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
5	Тема 5. Цифровые системы управления на базе микроконтроллеров и DSP.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
6	Тема 6. Драйверы силовых ключей и гальваническая развязка.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
7	Тема 7. Системы управления матричными преобразователями и двунаправленными преобразователями (DC-DC).	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
8	Тема 8. Современные тенденции: предиктивное управление и интеграция в Smart Grid.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
Вид промежуточной аттестации(Зачет)						
Итого		108	16	16	76	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение. Классификация и роль систем управления в силовой электронике.

Дисциплина начинается с определения места систем управления (СУ) в структуре преобразователя. Рассматривается преобразователь как связующее звено между источником и нагрузкой, где СУ является «интеллектом», задающим энергетический обмен. Изучается общая структура СУ: датчики, формирователи сигналов, контроллер, драйверы. Проводится классификация преобразователей (выпрямители, инверторы, конверторы) и соответствующих им систем управления по роду тока, мощности и принципу регулирования.

Тема 2. Принципы импульсного управления. Системы с естественной и принудительной коммутацией. В этой теме закладывается теоретическая база. Изучаются два фундаментальных подхода к управлению ключами: широтно-импульсная модуляция (ШИМ) и фазовое управление. Рассматриваются системы с естественной коммутацией (где ток или напряжение сети сами запирают ключ, например, в выпрямителях) и системы с принудительной коммутацией (где для запираания используются дополнительные коммутирующие конденсаторы и дроссели, что характерно для автономных инверторов).

Тема 3. Системы управления выпрямителями и регуляторами переменного тока. Детально изучаются СУ для преобразователей, работающих на сеть. Рассматриваются принципы управления тиристорными и транзисторными выпрямителями: регулирование выходного напряжения за счет изменения угла открывания вентилей (фазовое управление). Анализируются СУ для стабилизаторов переменного напряжения на базе тиристорных ключей, коммутируемых в нуле тока или напряжения.

Тема 4. Системы управления автономными инверторами напряжения (АИН). Это центральная тема курса, посвященная управлению инверторами, питающими автономную (чаще всего двигательную) нагрузку. Изучаются алгоритмы формирования выходного напряжения: синусоидальная ШИМ, пространственно-векторная модуляция (SVPWM), гистерезисное управление током. Рассматриваются методы модуляции для трехфазных систем, включая способы формирования нулевых состояний и подавления низкочастотных гармоник.

Тема 5. Цифровые системы управления на базе микроконтроллеров и DSP. Переход от аналоговых к цифровым методам реализации СУ. Изучается архитектура цифровых сигнальных процессоров (DSP) и микроконтроллеров, применяемых в силовой электронике. Рассматриваются периферийные модули, критически важные для управления: таймеры, блоки захвата/сравнения (CAPCOM), широтно-импульсные модуляторы (PWM), аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Анализируются преимущества цифрового подхода: гибкость, точность, возможность реализации сложных алгоритмов.

Тема 6. Драйверы силовых ключей и гальваническая развязка. Тема посвящена «силовой» части СУ, связывающей маломощный контроллер с мощным силовым каскадом. Изучаются требования к драйверам IGBT и MOSFET: обеспечение необходимого тока включения/выключения, защита от сквозных токов (*desaturation protection*), формирование «мертвого времени». Рассматриваются схемы гальванической развязки (опторазвязки, импульсные трансформаторы) для передачи сигналов управления и обратной связи.

Тема 7. Системы управления матричными преобразователями и двунаправленными преобразователями (DC-DC). Рассматриваются СУ для наиболее сложных и перспективных топологий. Для матричных преобразователей изучаются алгоритмы прямого преобразования AC-AC без промежуточного звена постоянного тока, включая методы модуляции, позволяющие получить синусоидальный входной ток и выходное напряжение. Для двунаправленных DC-DC конверторов анализируются алгоритмы управления для режимов как понижения (*buck*), так и повышения (*boost*) напряжения с возможностью рекуперации энергии.

Тема 8. Современные тенденции: предиктивное управление и интеграция в Smart Grid. Завершающая тема посвящена передовым разработкам. Рассматривается принцип предиктивного (прогнозирующего) управления (*Model Predictive Control - MPC*), позволяющий оптимизировать работу преобразователя по нескольким критериям (КПД, качество тока, использование ключей) на несколько шагов вперед. Обсуждается роль систем управления в концепции «умных сетей» (*Smart*

Grid), включая обеспечение качества электроэнергии, работу в режиме активной коррекции коэффициента мощности и интеграцию возобновляемых источников энергии.

3.2. Содержание практического блока дисциплины

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема практического (семинарского, лабораторного) занятия
1	2
ПЗ 1	Тема 1. Введение. Классификация и роль систем управления в силовой электронике.
ПЗ 2	Тема 2. Принципы импульсного управления. Системы с естественной и принудительной коммутацией.
ПЗ 3, 4	Тема 3. Системы управления выпрямителями и регуляторами переменного тока.
ПЗ 5	Тема 4. Системы управления автономными инверторами напряжения (АИН).
ПЗ 6, 7	Тема 5. Цифровые системы управления на базе микроконтроллеров и DSP.
ПЗ 8	Тема 6. Драйверы силовых ключей и гальваническая развязка.

3.3. Образовательные технологии

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема занятия	Вид учебного занятия	Форма / Методы интерактивного обучения	% учебного времени
1	2	3	4	5
1	Тема 1. Введение. Классификация и роль систем управления в силовой электронике.	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Принципы импульсного управления. Системы с естественной и принудительной коммутацией.	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Системы управления выпрямителями и регуляторами переменного тока.	ПЗ	Метод кейсов	75
4	Тема 4. Системы управления автономными инверторами напряжения (АИН).	ПЗ	Мозговой штурм	25
5	Тема 5. Цифровые системы управления на базе микроконтроллеров и DSP.	Л	Мозговой штурм	50
6	Тема 6. Драйверы силовых ключей и гальваническая развязка.	ПЗ	Метод кейсов	75
7	Тема 7. Системы управления матричными преобразователями и двунаправленными преобразователями (DC-DC).	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Современные тенденции: предиктивное управление и интеграция в Smart Grid.	ПЗ	Деловая игра	75
Итого				29,68%

Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся

4.1. Организация самостоятельной работы обучающихся

№	Тема дисциплины	№ вопросов	№ рекомендуемой литературы
1	2	3	4
1	Тема 1. Введение. Классификация и роль систем управления в силовой электронике.	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Принципы импульсного управления. Системы с естественной и принудительной коммутацией.	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Системы управления выпрямителями и регуляторами переменного тока.	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Системы управления автономными инверторами напряжения (АИН).	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Цифровые системы управления на базе микроконтроллеров и <i>DSP</i> .	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Драйверы силовых ключей и гальваническая развязка.	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Системы управления матричными преобразователями и двунаправленными преобразователями (<i>DC-DC</i>).	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Современные тенденции: предиктивное управление и интеграция в Smart Grid.	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

1. Поясните принцип действия заданной схемы преобразователя.
2. От чего зависит вид характеристик управления генератора?
3. Какие факторы влияют на вид внешних характеристик генератора?
4. Поясните назначение последовательной обмотки возбуждения в генераторе.
5. Какие параметры влияют на жесткость внешней характеристики преобразователя?
6. От чего зависит среднее значение выпрямленного напряжения?
7. Как описывается внешняя характеристика преобразователя в режиме непрерывного тока?
8. От чего зависит величина зоны прерывистых токов в управляемом выпрямителе?
9. Каково назначение сглаживающего дросселя?
10. Почему при частотном регулировании асинхронного двигателя требуется согласованное изменение выходной частоты и напряжения преобразователя?
11. Задатчики регулируемых величин.
12. Оптимизация контуров регулирования.
13. Адаптивные системы АЭП.
14. Принципы построения многоконтурных АЭП.
15. Однозонный ЭП с подчиненным регулированием параметров с обратной связью по скорости.
16. Однозонный ЭП с обратной связью по ЭДС.
17. Стабилизация тока возбуждения в однозонных системах АЭП
18. Режим больших перемещений.
19. Применение параболического регулятора положения.
20. Беспойсковые адаптивные АЭП.
21. Особенности поисковых адаптивных АЭП.
22. Общие сведения о системе.
23. Оптимизация контура положения при расчете системы в относительных единицах для режима малых перемещений.
24. Оптимизация контура положения для режима средних перемещений.
- 25.

4.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечивается следующими учебно-методическими материалами:

1. Указаниями в рабочей программе по дисциплине (п.4.1.)
2. Лекционные материалы в составе УМК по дисциплине
3. Заданиями и методическими рекомендациями по организации самостоятельной работы обучающихся в составе УМК по дисциплине.
4. Глоссарием по дисциплине в составе УМК по дисциплине.

Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся

Фонд оценочных средств по дисциплине представляет собой совокупность контролирующих материалов, предназначенных для измерения уровня достижения обучающимися установленных результатов образовательной программы. ФОС по дисциплине используется при проведении оперативного контроля и промежуточной аттестации обучающихся. Требования к структуре и содержанию ФОС дисциплины регламентируются Положением о фонде оценочных материалов по программам высшего образования – программам бакалавриата, магистратуры.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств Очная форма обучения (полный срок)

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Оценочные средства			
		Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)	СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1. Введение. Классификация и роль систем управления в силовой электронике.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
2	Тема 2. Принципы импульсного управления. Системы с естественной и принудительной коммутацией.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
3	Тема 3. Системы управления выпрямителями и регуляторами переменного тока.	ЛС	МШ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
4	Тема 4. Системы управления автономными инверторами напряжения (АИН).	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
5	Тема 5. Цифровые системы управления на базе микроконтроллеров и DSP.	УО	МШ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
6	Тема 6. Драйверы силовых ключей и гальваническая развязка.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
7	Тема 7. Системы управления матричными преобразователями и двунаправленными преобразователями (DC-DC).	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2

8	Тема 8. Современные тенденции: предиктивное управление и интеграция в Smart Grid.	УО	ДИ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
---	---	----	----	-----	--

Условные обозначения оценочных средств (Столбцы 3, 4, 5):

УО – устный (фронтальный, индивидуальный, комбинированный) опрос;

ПРВ – проверка рефератов, отчетов, рецензий, аннотаций, конспектов, графического материала, эссе, переводов, решений заданий, выполненных заданий в электронном виде и т.д.;

МШ – Метод мозгового штурма;

КМ – Кейс-метод;

ДИ – Деловая игра;

ЛС – Лекция-ситуация.

5.2. Оценочные средства текущего контроля

Перечень практических (семинарских) заданий

Задачи

- Расчет параметров широтно-импульсной модуляции (ШИМ).**
 - Задание:** Для однофазного инвертора с несущей частотой $f_c = 10$ кГц и выходным напряжением первой гармоники $U_1 = 220$ В (50 Гц) рассчитать коэффициент модуляции M_a и амплитуды основных гармоник напряжения.
- Моделирование работы автономного инвертора напряжения (АИН).**
 - Задание:** В среде моделирования (например, *MATLAB/Simulink*) собрать модель трехфазного АИН с синусоидальной ШИМ. Снять осциллограммы выходного напряжения и тока при работе на RL-нагрузку. Проанализировать спектр выходного напряжения.
- Реализация алгоритма пространственно-векторной ШИМ (SVPWM).**
 - Задание:** Разработать алгоритм и реализовать его в коде (например, на языке Си для микроконтроллера) для формирования базовых векторов и расчета времени их включения для трехфазного АИН. Сравнить результаты с синусоидальной ШИМ по уровню гармоник.
- Разработка системы управления активным выпрямителем (Active Front End).**
 - Задание:** Спроектировать систему управления АИН, работающего в режиме активного выпрямителя. Определить структуру контуров регулирования (внешний — по напряжению звена постоянного тока, внутренний — по току сети) и рассчитать параметры ПИ-регуляторов.
- Анализ влияния "мертвого времени" (dead-time) на выходное напряжение.**
 - Задание:** Смоделировать работу полумостовой схемы с учетом времени паузы между переключением транзисторов. Построить осциллограмму выходного напряжения и объяснить появление сквозных токов и искажений. Предложить метод программной компенсации.
- Проектирование системы векторного управления (FOC) асинхронным двигателем.**
 - Задание:** Разработать структуру системы векторного управления. Рассчитать параметры ПИ-регуляторов тока (в системе координат d-q) и скорости на основе параметров модели двигателя.
- Разработка бездатчиковой системы управления электроприводом (Sensorless Control).**
 - Задание:** Выбрать и описать алгоритм оценки скорости и/или положения ротора (например, на основе ЭДС или наблюдателя Люенбергера) для реализации бездатчикового векторного управления.
- Расчет и выбор драйвера для силового IGBT-модуля.**

- **Задание:** По паспортным данным *IGBT*-модуля (напряжение, ток, время переключения) рассчитать требуемые параметры драйвера: необходимый ток "накачки", сопротивление затвора, схему формирования "мертвого времени".
- 9. **Моделирование предиктивного (прогнозирующего) управления (MPC).**
 - **Задание:** В среде *MATLAB/Simulink* реализовать модель системы с предиктивным управлением для однофазного выпрямителя. Сравнить его работу с традиционными методами (например, ШИМ) по быстродействию и качеству тока.
- 10. **Разработка системы управления двунаправленным *DC-DC* преобразователем.**
 - **Задание:** Спроектировать систему управления для повышающе-понижающего (*buck-boost*) конвертера, работающего в режиме рекуперации энергии от суперконденсатора в сеть.
- 11. **Анализ устойчивости контура регулирования тока.**
 - **Задание:** Для контура регулирования тока в преобразователе вывести передаточную функцию и, используя критерий Найквиста или корневой годограф, определить условия его устойчивости и запас по фазе.
- 12. **Разработка алгоритма балансировки напряжений конденсаторов в многоуровневом инверторе.**
 - **Задание:** Описать и реализовать алгоритм (например, на основе фазосдвигающей ШИМ или перераспределения зарядов) для поддержания равных напряжений на последовательно соединенных конденсаторах в цепи постоянного тока.
- 13. **Проектирование цифрового фильтра для обработки сигналов датчиков тока.**
 - **Задание:** Для системы управления на базе микроконтроллера выбрать тип цифрового фильтра (например, фильтр Калмана или медианный фильтр) для сглаживания шумов с датчиков тока и рассчитать его коэффициенты.
- 14. **Разработка системы управления матричным преобразователем.**
 - **Задание:** Описать алгоритм модуляции для матричного преобразователя, обеспечивающий синусоидальный входной ток и выходное напряжение с возможностью регулирования частоты.
- 15. **Оптимизация КПД преобразователя за счет алгоритмов управления.**
 - **Задание:** Исследовать и описать алгоритм, позволяющий системе управления отслеживать точку максимальной эффективности (*Maximum Efficiency Point Tracking - MEPT*) преобразователя путем оптимального переключения силовых ключей в зависимости от нагрузки.

5.3. Тематика письменных работ обучающихся

Рефераты по выбранным темам выполняются в письменной форме обучающимися всех форм обучения. Учебно-методические материалы, необходимые для выполнения работ, а также примерная тематика рефератов содержатся в УМК по дисциплине.

1. Расчет и проектирование электропривода в замкнутой системе.
2. Векторное управление асинхронными двигателями.
3. Исследование характеристик емкостных микродвигателей.
4. Расчет и проектирование электропривода с емкостными электродвигателями.
5. Моделирование систем управления преобразователями электрической энергии
6. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода. Принцип и смысл линеаризации ВАХ.
7. Схема замещения полупроводникового вентиля.
8. Использование группового соединения вентилялей.
9. Вольт-амперная характеристика тиристора.
10. Тепловые параметры силовых полупроводниковых приборов в статических и динамических режимах.
11. Система параметров силовых полупроводниковых приборов.
12. Условия запираания и отпираания тиристоров.
13. Параметры выбора и режимы работы вентиля.
14. Диаграмма управления тиристора.
15. Способы формирования управляющих сигналов для тиристоров, их достоинства и недостатки.
16. Достоинства и недостатки тиристорных коммутаторов.

17. Влияние характера нагрузки на форму тока в фазорегулируемом тиристорном усилителе.
18. Назначение, основные элементы, классификация, эксплуатационные характеристики выпрямителей.
19. Достоинства и недостатки однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя.
20. Особенности работы выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.
21. Достоинства и недостатки однофазного нулевого неуправляемого выпрямителя.
22. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного мостового неуправляемого выпрямителя

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета с оценкой

1. Приведите классификацию силовых преобразователей энергии.
2. Назовите основные преимущества и недостатки электромашинных преобразователей энергии.
3. Как влияет настройка цепи компенсации на вид внешних характеристик электромашинного усилителя?
4. Какой смысл заключается в понятии «фазность выпрямления»?
5. Охарактеризуйте особенности работы реверсивного выпрямителя при совместном управлении.
6. Охарактеризуйте особенности работы реверсивного выпрямителя при раздельном управлении.
7. Чем определяется активное сопротивление управляемого выпрямителя?
8. Какие негативные последствия имеет работа привода в режиме прерывистого тока?
9. Как осуществляется регулирование напряжения в частотно- и широтноимпульсных преобразователях?
10. Назовите основные преимущества и недостатки непосредственного преобразователя частоты
11. Что понимается под электромагнитной совместимостью электрооборудования?
12. Что понимается под электромеханической совместимостью электрооборудования?
13. Статические преобразователи электроэнергии. Преимущества и недостатки. Области применения.
14. Особенности работы и характеристики управляемых выпрямителей при совместном управлении.
15. Особенности работы и характеристики управляемых выпрямителей при раздельном управлении.
16. Ограничения, накладываемые процессом коммутации тока в управляемых выпрямителях.
17. Коэффициент мощности и КПД выпрямителей.
18. Импульсные преобразователи постоянного тока.
19. Устройства плавного пуска и торможения асинхронных двигателей.
20. Формирование выходного напряжения преобразователя частоты с непосредственной связью.
21. Преобразователи частоты со звеном постоянного тока. Улучшение формы выходного напряжения.
22. Высоковольтные преобразователи.
23. Влияние высших гармоник в кривых токов и напряжений на работу электрооборудования.
24. Способы обеспечения электромагнитной совместимости электрооборудования.
25. Способы обеспечения электромеханической совместимости электрооборудования

Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами)

Прочитайте вопрос и выберите один правильный ответ.

Вопрос 1.1 Как называется метод управления, при котором частота переключения ключей преобразователя остается постоянной, а изменяется длительность импульса (скважность) в течение периода основной гармоники? а) Фазовое управление; б) **Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)**; в) Гистерезисное управление; г) Скалярное управление.

Правильный ответ: б)

Вопрос 1.2 Какова основная функция драйвера силового ключа (например, IGBT или MOSFET)? а) Генерация управляющего сигнала ШИМ; б) **Усиление и гальваническая развязка маломощного сигнала управления до уровня, необходимого для надежного включения и выключения силового ключа**; в) Измерение тока, протекающего через ключ; г) Расчет алгоритма векторного управления.

Правильный ответ: б)

Вопрос 1.3 Какое из перечисленных устройств является примером системы управления, работающей в режиме принудительной коммутации? а) Тиристорный выпрямитель, подключенный к сети; б) **Автономный инвертор напряжения, питающий асинхронный двигатель**; в) Стабилизатор переменного напряжения на основе автотрансформатора; г) Пассивный диодный выпрямитель.

Правильный ответ: б)

Вопрос 1.4 Какой основной недостаток аналоговых систем управления преобразователями по сравнению с цифровыми? а) Более высокая стоимость реализации; б) Сложность программирования; в) **Низкая стабильность параметров при изменении температуры и старении компонентов**; г) Невозможность реализации сложных алгоритмов.

Правильный ответ: в)

Вопрос 1.5 Что такое "мертвое время" (*dead-time*) в системе управления мостовым инвертором? а) Время, необходимое микроконтроллеру для расчета следующего значения ШИМ; б) **Временная задержка между выключением одного ключа плеча моста и включением другого для предотвращения сквозного тока**; в) Время спада тока в индуктивной нагрузке; г) Период, когда все ключи инвертора выключены.

Правильный ответ: б)

Прочитайте вопрос и выберите два правильных ответа.

Вопрос 2.1 Выберите два основных преимущества использования пространственно-векторной модуляции (SVPWM) по сравнению с традиционной синусоидальной ШИМ. а) **Более полное использование напряжения источника питания (на ~15% выше линейное напряжение)**; б) Упрощение аппаратной реализации; в) **Снижение потерь на переключение за счет меньшего числа переключений за один период**; г) Отсутствие необходимости в вычислении тригонометрических функций.

Правильный ответ: а), в)

Вопрос 2.2 Выберите два основных компонента, которые обычно входят в состав цифровой системы управления преобразователем на базе микроконтроллера или DSP. а) Силовой трансформатор; б) **Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для оцифровки сигналов с датчиков**; в) **Блок широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для генерации сигналов управления ключами**; г) Электромагнитное реле.

Правильный ответ: б), в)

Вопрос 2.3 Выберите два метода, которые могут применяться для бездатчикового (sensorless) определения скорости асинхронного двигателя в системе векторного управления. а) Измерение ЭДС, наводимой в обмотках статора при вращении ротора; б) Установка механического энкодера на вал двигателя; в) **Использование наблюдателя Люенбергера или фильтра Калмана для оценки скорости на основе модели двигателя**; г) Прямое измерение тока через вал.

Правильный ответ: а), в)

Вопрос 2.4 Выберите два основных типа регуляторов, которые составляют ядро большинства контуров регулирования в системах управления электроприводом (например, в контуре тока или скорости). а) Пропорциональный (*I*); б) **Пропорционально-интегральный**

(ПИ); в) Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД); г) Логический ("И", "ИЛИ").

Правильный ответ: б), в)

Вопрос 2.5 Выберите два основных назначения использования гистерезисного управления током в инверторах. а) Поддержание выходного напряжения с высокой точностью; б) **Обеспечение очень высокого быстродействия контура тока за счет мгновенной реакции на его отклонение;** в) **Формирование синусоидального тока в фазах двигателя без необходимости расчета сложных опорных сигналов;** г) Снижение несущей частоты ШИМ для уменьшения акустического шума.

Правильный ответ: б), в)

Установите соответствие между термином и его определением.

А) Векторное управление (FOC)	1) Метод управления, при котором переменные двигателя (ток, потокосцепление) рассматриваются как векторы и управляются во вращающейся системе координат.
Б) Предиктивное управление (MPC)	2) Алгоритм управления, который на каждом шаге вычисляет оптимальную последовательность управляющих воздействий, прогнозируя поведение системы на несколько шагов вперед.
В) Активный выпрямитель (AFE)	3) Преобразователь, который не только потребляет из сети синусоидальный ток, но и способен возвращать энергию из звена постоянного тока обратно в сеть.
Г) Косвенное векторное управление	4) Метод векторного управления, при котором скорость ротора оценивается косвенными методами (математическая модель), а не измеряется датчиком.

Правильный ответ: А – 1, Б – 2, В – 3, Г – 4

4) На установление последовательности (1 вопрос)

Укажите правильную последовательность действий в основном цикле работы цифровой системы управления инвертором. 1\$ Выдача управляющего сигнала на силовые ключи (ШИМ). 2\$ Расчет новых значений управляющих воздействий на основе алгоритма управления. 3\$ Оцифровка сигналов с датчиков (ток, напряжение, положение). 4\$ Обновление данных от АЦП и других периферийных устройств.

Правильный ответ: 4-3-2-1

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. Яшков, В. А. Электроснабжение промышленного предприятия. Транспорт электрической энергии : учебное пособие / В. А. Яшков, А. А. Конарбаева. — Алматы, Москва : EDP Hub (Идипи Хаб), Ай Пи Ар Медиа, 2026. — 142 с. — ISBN 978-5-4497-5291-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/159453.html>

2. Внуков С.А. Основы преобразования энергии: типовые расчеты : учебное пособие / Внуков С.А., Ерещенко Н.Д., Абрамов Е.Ю.. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2024. — 68 с. — ISBN 978-5-7782-5227- 1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/155829.html>

7.2. Дополнительная литература

3. Волков Д.В. Силовая электроника. Силовые преобразователи в электроприводе : учебное пособие / Волков Д.В.. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 93 с. — ISBN 978-5-4497-3379-5. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/142257.html>

4. Шульга, Р. Н. Полупроводниковые преобразователи для энергетики и транспорта : учебное пособие / Р. Н. Шульга. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. — 232 с. — ISBN 978-5-9729-2497-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/154300.html>

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Электронно-библиотечная система -Цифровой образовательный ресурс IPR SMART – электронная библиотека по всем отраслям знаний [Электронный ресурс]. – URL:
2. <http://www.iprbookshop.ru>
3. Справочник математических формул <http://www.pm298.ru/>
4. Каталог ГОСТов - <https://snip.ruscable.ru/>
5. <http://www.consultant.ru/>— Консультант Плюс
6. <http://www.garant.ru/>— Гарант
7. Программное обеспечение для организации конференции.

Раздел 8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

8.1. Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий (для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся всех направлений подготовки).

Оборудование:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Пробковая доска
- Моноблок для преподавателя с выходом в интернет
- ЖК панель
- Компьютеры для обучающихся с выходом в интернет
- Виртуальный лабораторный стенд «Электрические цепи» на 20 рабочих мест;
- Виртуальный лабораторный стенд «Электротехника и основы электроники» ТС-ЭТиОЭ2-ЛС на 16 рабочих мест
- Виртуальный лабораторный стенд «Автоматика на основе программируемого реле» на 20 рабочих мест
- Виртуальный лабораторный стенд «Автоматика на основе программируемого контроллера» на 20 рабочих мест
- Виртуальный лабораторный стенд «Цифровая и микропроцессорная техника» на 20 рабочих мест
- Набор учебно-методических материалов к разделу «Электротехника и электроника» (плакаты, презентации).

8.2. Помещение для самостоятельной работы обучающихся (помещение общего пользования с подключением к системам телекоммуникации и с обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (доступ в сеть Интернет, Wi-Fi, глобальные поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Специализированная мебель и технические средства обучения:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Компьютеры для преподавателя с выходом в интернет
- Компьютеры для обучающихся выходом в интернет
- ПО: MS Office, Яндекс браузер
- Цифровой образовательный ресурс IPR SMART
- доступ в ЭИОС.

Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины «Системы управления преобразователями электрической энергии» можно построить в соответствии со списком вопросов для подготовки к экзамену. Для эффективного изучения курса Безопасности жизнедеятельности рекомендуется следующий порядок:

Сначала изучаются теоретические вопросы по соответствующей теме с проработкой как конспектов лекций, так и учебников. **Лекции** дают систематизированные основы научных знаний по соответствующей теме, концентрируют внимание на наиболее сложных узловых вопросах. Особое внимание следует обратить на **понимание смысла** основных понятий, определений. Затем нужно самостоятельно **подробно разобрать типовые примеры**, выясняя в деталях **практическое значение выученного теоретического материала**.

Добросовестное изучение всего материала, заключённого в лекциях, практических занятиях и домашних заданиях, гарантирует каждому обучающемуся успешные результаты на экзаменах. Для подготовки к экзамену необходимо, прежде всего, по лекциям и учебникам повторить и систематизировать весь теоретический материал, изученный в семестре.

При ответе на теоретические вопросы на экзамене следует привести необходимые определения, формулировку и примеры. Решение задач (если они есть в билете) следует излагать подробно и аккуратно, объясняя и мотивируя все действия по ходу решения.

Во время экзамена требуется иметь калькулятор для выполнения расчетных заданий.

Не забудьте обратить внимание на применение рассматриваемых вопросов и задач в будущей профессиональной деятельности. Понимание необходимости и возможности такого применения оценивается на экзамене очень высоко.

Учебно-методическое издание

Рабочая программа учебной дисциплины

**Системы управления преобразователями
электрической энергии**

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Беликова Екатерина Владимировна

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)