

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электропривод и автоматика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ЭЛЕКТРОПРИВОД С ВЕНТИЛЬНЫМИ И ШАГОВЫМИ
ДВИГАТЕЛЯМИ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.03
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 6;
Часов (всего) по учебному плану:	216 часов
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	не предусмотрено учебным планом
Лабораторные работы	3 семестр - 32 часа;
Консультации	3 семестр - 16 часов;
Самостоятельная работа	3 семестр - 129,2 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	3 семестр - 4 часа;
включая: Тестирование Контрольная работа Коллоквиум	
Промежуточная аттестация:	
Защита курсового проекта	3 семестр - 1,4 часа;
Экзамен	3 семестр - 1,4 часа; всего - 2,8 часа

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Жарков А.А.
	Идентификатор	Radeab965-ZharkovAA-eba8e990

(подпись)

А.А. Жарков

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Анучин А.С.
	Идентификатор	Rc858e9d6-AnuchinAS-5e15edb3

(подпись)

А.С. Анучин

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Анучин А.С.
	Идентификатор	Rc858e9d6-AnuchinAS-5e15edb3

(подпись)

А.С. Анучин

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Получение базовых знаний по конструкциям и способам управления нетрадиционными типами двигателей с ориентацией на современное станкостроение, робототехнику, ГАП. Обобщенный подход к анализу принципа действия любого двигателя и синтезу оптимального способа управления, базирующийся на современной теории электромеханического преобразования энергии. Освоение новых цифровых методов управления вплоть до векторного датчикового и бездатчикового.

Задачи дисциплины

- освоить вопросы анализа свойств электрических машин нетрадиционных конструкций, ориентированных на робототехнику и применение в станках;
- изучить основные принципы проектирования узлов управления шаговыми и вентильными двигателями;
- освоить основные структур управления вентильных и шаговых двигателей..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен самостоятельно планировать и выполнять необходимые исследования и разработки в области профессиональной деятельности с использованием современных методов и средств экспериментальной и проектной деятельности и интерпретировать и представлять результаты выполненных исследований и разработок	ИД-4 _{ПК-1} Умеет оформлять техническую документацию по результатам исследования и разработки и обсуждать полученные результаты	знать: - основные технические решения и типовые структуры в области шагового и вентильного электропривода. уметь: - составлять схемы, разрабатывать модели и описывать алгоритмы управления для произвольной вентильной машины или шагового двигателя.
ПК-2 Способен оптимально выбирать существующие серийные и проектировать новые технические решения в области профессиональной деятельности в рамках сформулированной задачи	ИД-2 _{ПК-2} Умеет проводить многокритериальную оценку качества проектных решений	уметь: - анализировать магнитную геометрию электрических машин и получать необходимые уравнения их математических моделей, адаптированных для задач синтеза систем управления.
ПК-2 Способен оптимально выбирать существующие серийные и проектировать новые	ИД-3 _{ПК-2} Владеет методами расчёта, проектирования и конструирования систем электроприводов и их	знать: - способы математического описания электрических машин и методы синтеза систем управления.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
технические решения в области профессиональной деятельности в рамках сформулированной задачи	элементов	

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электропривод и автоматика (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Теорию автоматического управления
- знать Теории электропривода
- знать Системы управления электроприводов

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания		
				Контактная работа							СР					
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль			
КПР	ГК	ИККП	ТК													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	Электромеханическое преобразование энергии в вентильных и шаговых двигателях	41	3	8	8	-	-	-	-	-	-	25	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> [2], Глава 1 (полностью) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 15-51 [3], 48-124</p>		
1.1	Электромеханическое преобразование энергии в вентильных и шаговых двигателях.	23		4	4	-	-	-	-	-	-	-	15		-	
1.2	Обобщенная модель шагового электропривода.	18		4	4	-	-	-	-	-	-	-	10		-	
2	Основные способы управления вентильными и шаговыми двигателями	41		8	8	-	-	-	-	-	-	-	25		-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> [2], Главы 8-9 <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> [1], с. 15-65 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 16-72 [2], 298-329</p>
2.1	Способы управления вентильными и шаговыми двигателями	18		4	4	-	-	-	-	-	-	-	10		-	
2.2	Математические модели вентильных и шаговых двигателей.	23		4	4	-	-	-	-	-	-	-	15		-	
3	Силовая часть вентильных и шаговых электроприводов как	23		4	4	-	-	-	-	-	-	-	15		-	

	элемент системы управления												
3.1	Принципы построения силовой части ШЭП и ВЭП.	23	4	4	-	-	-	-	-	-	15	-	
3.2	Датчики в системах управления вентильных и шаговых электроприводов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	Структуры современных цифровых электроприводов и их механические характеристики	54.7	12	12	-	-	-	-	-	-	30.7	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [1], 72-101
4.1	Механические характеристики вентильного привода	23	4	4	-	-	-	-	-	-	15	-	
4.2	Позиционные и контурные сервопривода	31.7	8	8	-	-	-	-	-	-	15.7	-	
	Экзамен	34.9	-	-	-	-	-	-	1.4	-	-	33.5	
	Курсовой проект (КП)	21.4	-	-	-	16	-	4	-	1.4	-	-	
	Всего за семестр	216.0	32	32	-	16	-	4	-	2.8	95.7	33.5	
	Итого за семестр	216.0	32	32	-	16	-	4	-	2.8	129.2		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Электромеханическое преобразование энергии в вентильных и шаговых двигателях

1.1. Электромеханическое преобразование энергии в вентильных и шаговых двигателях.

Основы электромеханического преобразования энергии.. Магнитная энергия, коэнергия. Вывод уравнения момента (усилия) двигателя из закона сохранения энергии.. Реактивный и активный моменты..

1.2. Обобщенная модель шагового электропривода.

Статическое синхронизирующее усилие (момент).. Электрический и механический шаг. Статическая ошибка. Точность позиционирования..

2. Основные способы управления вентильными и шаговыми двигателями

2.1. Способы управления вентильными и шаговыми двигателями

Разомкнутый и замкнутый ШЭП.. Вентильный привод. Угол коммутации.. Понятие частотно-токового и векторного управления..

2.2. Математические модели вентильных и шаговых двигателей.

Классификация шаговых и вентильных двигателей.. Принцип образования момента в индукторных двигателях с независимым возбуждением и магнитоэлектрическим возбуждением.. Принцип образования момента в реактивных двигателях.. Принцип образования момента в двигателях с самовозбуждением..

3. Силовая часть вентильных и шаговых электроприводов как элемент системы управления

3.1. Принципы построения силовой части ШЭП и ВЭП.

Инверторы напряжения и инверторы тока.. Перспективные структуры цифровых инверторов тока.. Регуляторы и преобразователи постоянного напряжения в постоянное..

3.2. Датчики в системах управления вентильных и шаговых электроприводов

Датчики тока. Датчики скорости и положения.

4. Структуры современных цифровых электроприводов и их механические характеристики

4.1. Механические характеристики вентильного привода

Механические характеристики вентильного привода при управлении напряжением, углом коммутации, при параметрическом регулировании скорости..

4.2. Позиционные и контурные сервопривода

Типовые структуры позиционных и контурных сервоприводов.. Математическое обоснование структуры современных цифровых систем векторного датчикового и бездатчикового управления вентильными двигателями.

3.3. Темы практических занятий

не предусмотрено

3.4. Темы лабораторных работ

1. ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД;
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ШАГОВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ;
3. ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗОВЫХ СТРУКТУР ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА;
4. СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ ПО СКОРОСТИ И ПОЛОЖЕНИЮ.

3.5 Консультации

Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Электромеханическое преобразование энергии в вентильных и шаговых двигателях"
2. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Основные способы управления вентильными и шаговыми двигателями"
3. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Силовая часть вентильных и шаговых электроприводов"
4. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Структуры современных цифровых электроприводов и их характеристики"

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Электромеханическое преобразование энергии в вентильных и шаговых двигателях"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные способы управления вентильными и шаговыми двигателями"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Силовая часть вентильных и шаговых электроприводов"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Структуры современных цифровых электроприводов и их характеристики"

Индивидуальные консультации по курсовому проекту /работе (ИККП)

1. Консультации проводятся по разделу "Электромеханическое преобразование энергии в вентильных и шаговых двигателях"
2. Консультации проводятся по разделу "Основные способы управления вентильными и шаговыми двигателями"
3. Консультации проводятся по разделу "Силовая часть вентильных и шаговых электроприводов"
4. Консультации проводятся по разделу "Структуры современных цифровых электроприводов и их характеристики"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Электромеханическое преобразование энергии в вентильных и шаговых двигателях"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основные способы управления вентильными и шаговыми двигателями"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Силовая часть вентильных и шаговых электроприводов"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Структуры современных цифровых электроприводов и их характеристики"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

3 Семестр

Курсовой проект (КП)

Темы:

- Определение типа двигателя, его параметров и принципа работы. Составление магнитной схемы замещения
- Получение математической модели двигателя, а также формулы электромагнитного момента/усилия.
- Определение оптимального способа управления. Разработка структуры системы управления для реализации предлагаемого способа.
- Разработка аппаратной реализации инвертора и системы управления с учетом использования современной элементной базы.

График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 4	5 - 12	Зачетная
Раздел курсового проекта	1, 2	3, 4	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	30	70	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	30	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Определение типа двигателя, его параметров и принципа работы. Составление магнитной схемы замещения.
2	Получение математической модели двигателя, а также формулы электромагнитного момента/усилия.
3	Определение оптимального способа управления. Разработка структуры системы управления для реализации предлагаемого способа.
4	Разработка аппаратной реализации инвертора и системы управления с учетом использования современной элементной базы.

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
основные технические решения и типовые структуры в области шагового и вентильного электропривода	ИД-4ПК-1	+				Тестирование/Основы электромеханического преобразования энергии
способы математического описания электрических машин и методы синтеза систем управления	ИД-3ПК-2		+			Контрольная работа/Типы электрических машин, их модели и системы управления, применяемые для вентильного и шагового электропривода
Уметь:						
составлять схемы, разрабатывать модели и описывать алгоритмы управления для произвольной вентильной машины или шагового двигателя	ИД-4ПК-1			+		Коллоквиум/Защиты лабораторных работ 1-2
анализировать магнитную геометрию электрических машин и получать необходимые уравнения их математических моделей, адаптированных для задач синтеза систем управления	ИД-2ПК-2				+	Коллоквиум/Защиты лабораторных работ 3-4

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Защита задания

1. Защиты лабораторных работ 1-2 (Коллоквиум)
2. Защиты лабораторных работ 3-4 (Коллоквиум)

Форма реализации: Письменная работа

1. Основы электромеханического преобразования энергии (Тестирование)
2. Типы электрических машин, их модели и системы управления, применяемые для вентильного и шагового электропривода (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсового проекта является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

Оценка по курсу складыв

Курсовой проект (КП) (Семестр №3)

Оценка складывается из оценки РПЗ, оценки за доклад по курсовому проекту, а также итоговой оценки за ЛР.

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Электрический привод с вентильными и шаговыми двигателями : лабораторный практикум по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / В. Ф. Козаченко, А. А. Жарков, Д. И. Савкин, Д. М. Шпак, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 104 с. - ISBN 978-5-7046-2058-7 .
http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10348;
2. Анучин А.С.- "Системы управления электроприводов", Издательство: "МЭИ", Москва, 2019
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012581.html>;
3. Цаценкин В.К.- "Прецизионный электропривод с вентильными двигателями", Издательство: "МЭИ", Москва, 2017
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011362.html>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;

3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. UniCON.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-200/5, Учебная лаборатория «Энергосберегающий электропривод» (МОЭК – МЭИ)	стол, стул, тумба, мультимедийный проектор, доска маркерная, стенд учебный
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	М-215, Учебная лаборатория "Машиновентильные системы"	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, сервер, компьютер персональный, стенд учебный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-200/3, Кабинет сотрудников каф. "АЭП"	стол, стул, шкаф, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-212, Аудитория каф. "АЭП"	стол, стул, шкаф для хранения инвентаря, тумба

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**Электропривод с вентильными и шаговыми двигателями**

(название дисциплины)

3 семестр**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Основы электромеханического преобразования энергии (Тестирование)
 КМ-2 Типы электрических машин, их модели и системы управления, применяемые для вентильного и шагового электропривода (Контрольная работа)
 КМ-3 Защиты лабораторных работ 1-2 (Коллоквиум)
 КМ-4 Защиты лабораторных работ 3-4 (Коллоквиум)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Электромеханическое преобразование энергии в вентильных и шаговых двигателях					
1.1	Электромеханическое преобразование энергии в вентильных и шаговых двигателях.		+			
1.2	Обобщенная модель шагового электропривода.		+			
2	Основные способы управления вентильными и шаговыми двигателями					
2.1	Способы управления вентильными и шаговыми двигателями			+		
2.2	Математические модели вентильных и шаговых двигателей.			+		
3	Силовая часть вентильных и шаговых электроприводов как элемент системы управления					
3.1	Принципы построения силовой части ШЭП и ВЭП.				+	
3.2	Датчики в системах управления вентильных и шаговых электроприводов				+	
4	Структуры современных цифровых электроприводов и их механические характеристики					
4.1	Механические характеристики вентильного привода					+
4.2	Позиционные и контурные сервопривода					+
Вес КМ, %:			20	20	30	30

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Электропривод с вентильными и шаговыми двигателями

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовому проекту:

КМ-1 КМ-1

КМ-2 КМ-2

Вид промежуточной аттестации – защита КП.

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
		Неделя КМ:	4	12
1	Определение типа двигателя, его параметров и принципа работы. Составление магнитной схемы замещения.		+	
2	Получение математической модели двигателя, а также формулы электромагнитного момента/усилия.		+	
3	Определение оптимального способа управления. Разработка структуры системы управления для реализации предлагаемого способа.			+
4	Разработка аппаратной реализации инвертора и системы управления с учетом использования современной элементной базы.			+
		Вес КМ, %:	30	70