

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: Интеллектуальные системы защиты, автоматики и управления энергосистемами

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, СИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ
ВЕКТОРНЫЕ И ГИПЕРВЕКТОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.04.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	3 семестр - 16 часов;
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 113,5 часов;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Расчетно-графическая работа Домашнее задание	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Волошин А.А.
	Идентификатор	Ra915003b-VoloshinAA-408ebd73

А.А. Волошин

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Волошин А.А.
	Идентификатор	Ra915003b-VoloshinAA-408ebd73

А.А. Волошин

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Волошин А.А.
	Идентификатор	Ra915003b-VoloshinAA-408ebd73

А.А. Волошин

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение принципов действия и построения (технической реализации) автоматических устройств управления, обеспечивающее магистру возможность осуществлять профессиональную деятельность.

Задачи дисциплины

- изучение теоретических основ цифровой обработки сигналов;
- изучение устойчивых методов обработки результатов измерений;
- приобретение навыков различных видов обработки сигналов;
- изучение принципов объектно-ориентированного программирования.

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-2 Способен осуществить информационный обмен между устройствами релейной защиты и автоматики	ИД-3ПК-2 Знаком с информационной структурой энергообъекта	знать: - Основные методы работы с сигналами. уметь: - Выявлять характерные параметры исходного сигнала; - Производить оценку режима по характерным параметрам.
ПК-3 Способен вести разработку автоматических систем в электроэнергетике	ИД-1ПК-3 Применяет математический аппарат для разработки автоматических систем	знать: - Способы обработки сигналов; - Виды сигналов и их особенности. уметь: - Применять методы представления информации исходного сигнала.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Интеллектуальные системы защиты, автоматики и управления энергосистемами (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы теории функций комплексных переменных
- знать основы теории цепей
- знать численные методы решения уравнений
- уметь ставить задачи получения и обработки информации
- уметь составлять и решать дифференциальные уравнения
- уметь анализировать результаты

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 5 зачетных единиц, 180 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	Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы	22	3	5	2	2	-	-	-	-	-	13	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 13-48 [3], 3-41</p>
1.1	Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы	22		5	2	2	-	-	-	-	-	13	-	
2	Преобразования дискретных сигналов. Цифровые фильтры. Анализ и синтез	46		10	5	5	-	-	-	-	-	26	-	<p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Преобразования дискретных сигналов. Цифровые фильтры. Анализ и синтез" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 63-78 [3], 56-89</p>
2.1	Преобразования дискретных сигналов	22		5	2	2	-	-	-	-	-	13	-	
2.2	Цифровые фильтры. Анализ и синтез	24		5	3	3	-	-	-	-	-	13	-	
3	Спектральный анализ линейных систем	24	5	3	3	-	-	-	-	-	13	-	<p><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Изучение материала по разделу "Спектральный анализ линейных систем"</p>	
3.1	Спектральный анализ	24	5	3	3	-	-	-	-	-	13	-		

	линейных систем												подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 36-125 [3], 256-305
4	Основы теории вейвлетов	26	6	3	3	-	-	-	-	-	14	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основы теории вейвлетов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 456-489 [4], 25-41
4.1	Основы теории вейвлетов	26	6	3	3	-	-	-	-	-	14	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Синхронизированные векторные измерения" материалу. <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 781-812 [5], 46-72
5	Синхронизированные векторные измерения	26	6	3	3	-	-	-	-	-	14	-	
5.1	Синхронизированные векторные измерения	26	6	3	3	-	-	-	-	-	14	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0	32	16	16	-	2	-	-	0.5	80	33.5	
	Итого за семестр	180.0	32	16	16	2	-	-	-	0.5	113.5		

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. Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы

1.1. Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы
Дискретные сигналы и системы. Дискретизация аналоговых сигналов. Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование сигналов. Основные характеристики. Примеры реализации в МатЛабе.

2. Преобразования дискретных сигналов. Цифровые фильтры. Анализ и синтез

2.1. Преобразования дискретных сигналов
Z-преобразование. Виды преобразований Фурье, их описание. Разложение в ряд Фурье. Комплексный ряд Фурье. Практическое применение разложения в ряд Фурье. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Быстрое преобразование Фурье (БПФ). Ортогональные преобразования. Оконные преобразования: Фурье и другие. Преобразование Гильберта-Хуанга. Примеры реализации в МатЛабе.

2.2. Цифровые фильтры. Анализ и синтез
Свойства и реализация цифровых фильтров. Виды фильтров: рекурсивные и нерекурсивные, с бесконечной и конечной импульсной характеристикой. Преобразование фильтров. Анализ и синтез. Примеры реализации в МатЛабе.

3. Спектральный анализ линейных систем

3.1. Спектральный анализ линейных систем
Статистические подходы к анализу сигналов. Непараметрические спектральные методы анализа. Параметрические спектральные методы анализа. Стохастические модели и процессы. Авторегрессионные модели процессов. Примеры авторегрессионных спектральных оценок параметров сигналов. Сингулярный спектральный анализ. Эмпирическая декомпозиция сигналов. Примеры реализации в МатЛабе.

4. Основы теории вейвлетов

4.1. Основы теории вейвлетов
Вейвлеты и преобразование Фурье. Виды вейвлетов, их свойства, применение. Прямое и обратное дискретное вейвлет-преобразование (ДВП). Ортогональные пары вейвлетов. Декомпозиция и восстановление дискретных сигналов. Применение вейвлетов для дещумизации и сжатия дискретных сигналов. Примеры реализации в МатЛабе.

5. Синхронизированные векторные измерения

5.1. Синхронизированные векторные измерения
Основные понятия и требования. Оценка параметров синхронизированного вектора при номинальной частоте входного сигнала. Оценка параметров синхронизированного вектора при неноминальной частоте входного сигнала. Применение синхронизированных векторов.

3.3. Темы практических занятий

1. 7. Декомпозиция и восстановление заданного сигнала;
2. 1. Выбор частоты дискретизации для заданного сигнала;
3. 2. Разложение в ряд Фурье заданного сигнала;
4. 3. Сравнение оконных преобразований при фильтрации заданного сигнала;

5. 4.Синтезировать КИХ-фильтр для оценки параметров заданного сигнала;
6. 5.Нахождение параметров заданного сигнала параметрическими методами;
7. 6.Нахождение параметров заданного сигнала непараметрическими методами;
8. 8.Построение синхронизированных векторов на комплексной плоскости.

3.4. Темы лабораторных работ

1. 4.Построение синхронизированного вектора на комплексной плоскости;
2. 3.Оценка параметров сигнала заданным методом;
3. 2.Изучение временных и частотных характеристик КИХ-фильтров;
4. 1.Изучение спектров заданных сигналов.

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Преобразования дискретных сигналов. Цифровые фильтры. Анализ и синтез"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Спектральный анализ линейных систем"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы теории вейвлетов"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Синхронизированные векторные измерения"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

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	5	
Знать:							
Основные методы работы с сигналами	ИД-3ПК-2	+					Контрольная работа/Дискретизация аналоговых сигналов
Виды сигналов и их особенности	ИД-1ПК-3					+	Домашнее задание/Оценка параметров синхронизированного вектора
Способы обработки сигналов	ИД-1ПК-3			+	+		Контрольная работа/Вейвлеты
Уметь:							
Производить оценку режима по характерным параметрам	ИД-3ПК-2		+				Расчетно-графическая работа/Оценка параметров сигнала заданным методом
Выявлять характерные параметры исходного сигнала	ИД-3ПК-2	+					Контрольная работа/Дискретизация аналоговых сигналов
Применять методы представления информации исходного сигнала	ИД-1ПК-3			+			Контрольная работа/Цифровая обработка сигналов

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. Оценка параметров сигнала заданным методом (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Вейвлеты (Контрольная работа)
2. Дискретизация аналоговых сигналов (Контрольная работа)
3. Оценка параметров синхронизированного вектора (Домашнее задание)
4. Цифровая обработка сигналов (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих

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. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов : практический подход : пер. с англ. / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2004. – 992 с. – ISBN 5-84590-710-1.;
2. Бендат, Дж. Применения корреляционного и спектрального анализа : пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1983. – 312 с.;
3. А. Оппенгейм, Р. Шафер- "Цифровая обработка сигналов", (3-е изд., испр.), Издательство: "Техносфера", Москва, 2012 - (1048 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233730>;
4. В. Ф. Кравченко, Д. В. Чуриков- "Цифровая обработка сигналов атомарными функциями и вейвлетами", Издательство: "Техносфера", Москва, 2018 - (182 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=496505>;
5. Ю. А. Фоос- "Совершенствование алгоритма оценивания состояния энергосистем при совместном использовании телеизмерений и синхронизированных векторных измерений и его программная реализация", Издательство: "б.и.", Томск, 2020 - (145 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=578519>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

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. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Г-101в-1, Лаборатория Автоматики кафедры РЗИАЭ	стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, оборудование специализированное, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Г-101в-1, Лаборатория Автоматики кафедры РЗИАЭ	стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, оборудование специализированное, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Г-101в-1, Лаборатория Автоматики кафедры РЗИАЭ	стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, оборудование специализированное, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Г-101в-1, Лаборатория Автоматики кафедры РЗИАЭ	стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, оборудование специализированное, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	Д-114, Компьютерный класс кафедры РЗИАЭ	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
	Д-105, Компьютерный класс кафедры РЗИАЭ	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный

Помещения для консультирования	Д-108, Кабинет сотрудников каф. "РЗиАЭ"	кресло рабочее, стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный, принтер
	Д-106, Кабинет сотрудников каф. "РЗиАЭ"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
	Д-103/1, Помещение каф. "РЗиАЭ"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный, принтер
	Д-210, Помещение сотрудников кафедры РЗиАЭ	кресло рабочее, стол, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер
	Д-208, Помещение кафедры РЗиАЭ	стол, стул, компьютер персональный
	Д-211, Помещение кафедры РЗиАЭ	кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, компьютер персональный, принтер
	г-101в-3, Рабочее помещение сотрудников кафедры РЗиАЭ	кресло рабочее, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Д-103/2, Склад кафедры РЗиАЭ	компьютерная сеть с выходом в Интернет, оборудование специализированное

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Цифровая обработка сигналов, синхронизированные векторные и гипервекторные измерения

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Дискретизация аналоговых сигналов (Контрольная работа)
- КМ-2 Цифровая обработка сигналов (Контрольная работа)
- КМ-3 Оценка параметров сигнала заданным методом (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Вейвлеты (Контрольная работа)
- КМ-5 Оценка параметров синхронизированного вектора (Домашнее задание)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	3	6	9	12	15
1	Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы						
1.1	Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы		+				
2	Преобразования дискретных сигналов. Цифровые фильтры. Анализ и синтез						
2.1	Преобразования дискретных сигналов				+		
2.2	Цифровые фильтры. Анализ и синтез				+		
3	Спектральный анализ линейных систем						
3.1	Спектральный анализ линейных систем			+		+	
4	Основы теории вейвлетов						
4.1	Основы теории вейвлетов					+	
5	Синхронизированные векторные измерения						
5.1	Синхронизированные векторные измерения						+
Вес КМ, %:			20	20	20	20	20