

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

Направление подготовки/специальность: 11.04.01 Радиотехника

Наименование образовательной программы: Радиотехнические системы

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.02.04.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 109,5 часов;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
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	Архипова С.В.
	Идентификатор	Rd5bd572c-LakovshchikSV-2ca8e9f

С.В. Архипова


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комаров А.А.
	Идентификатор	R8495daf1-KomarovAIA-eada3f0e

А.А. Комаров

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комаров А.А.
	Идентификатор	R8495daf1-KomarovAIA-eada3f0e

А.А. Комаров

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение принципов построения, характеристик, методов анализа, расчета и проектирования устройств цифровой обработки сигналов..

Задачи дисциплины

- ознакомление обучающихся с основными методами анализа и расчета устройств цифровой обработки сигналов;

- ознакомление со структурным синтезом цифровых комплексных фильтров, методами их расчета и моделирования.

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 проводить исследования в целях совершенствования радиоэлектронных систем	ИД-2 _{ПК-1} Выполняет математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных систем с целью оптимизации их параметров	знать: - возможности по обработке результатов компьютерного математического моделирования сигналов по типовым методикам и базовым алгоритмам цифровой обработки сигналов, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ.; - понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; - общие принципы анализа и обработки дискретных сигналов в цифровых системах.
ПК-2 Способен разрабатывать и модернизировать радиоэлектронные системы	ИД-1 _{ПК-2} Разрабатывает структурные, функциональные и принципиальные схемы радиоэлектронных систем	уметь: - самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в области цифровой обработки сигналов; - выполнять моделирование структурных схем комплексных цифровых фильтров с использованием программ математического и схемотехнического моделирования; - выполнять моделирование комплексных сигналов с использованием программ математического и схемотехнического моделирования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиотехнические системы (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.01 Радиотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать – этапы преобразования аналогового сигнала в цифровой; основы Z -преобразования
- знать базовые понятия цифровой фильтрации
- знать причины возникновения погрешностей при цифровой обработке сигналов
- знать правила составления разностных уравнений по структурной схеме цифрового фильтра
- уметь рассчитывать вещественные цифровые БИХ-фильтры методом обобщенного билинейного преобразования
- уметь рассчитывать вещественные цифровые КИХ-фильтры методом взвешивания
- уметь владеть навыками аналитического расчета АЧХ, импульсных и переходных характеристик вещественных цифровых фильтров
- уметь владеть методами схемотехнического моделирования вещественных цифровых фильтров

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Дискретные вещественные и комплексные последовательности	24.0	3	2.0	-	2.0	-	-	-	-	-	20	-	<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Подготовка к контрольной работе № 1 «Дискретные комплексные последовательности»</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 4-7 [2], 4-10</p>	
1.1	Вещественные и комплексные дискретные последовательности.	12		1	-	1	-	-	-	-	-	10	-		
1.2	Z-форма и расчет спектра.	6.0		0.5	-	0.5	-	-	-	-	-	5	-		
1.3	Перенос и инверсия спектра	6.0		0.5	-	0.5	-	-	-	-	-	5	-		
2	Дискретное преобразование Фурье	24		2	-	2	-	-	-	-	-	20	-		<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Подготовка к контрольной работе № 2 «Спектры дискретных комплексных последовательностей»</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 63-132 [5], 143-152 [7], 28-30</p>
2.1	Дискретное преобразование Фурье	24		2	-	2	-	-	-	-	-	20	-		
3	Расчет вещественных и комплексных БИХ-фильтров	24	3	4	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Подготовка к контрольной работе № 3 «Расчет комплексных БИХ-фильтров»</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 14-40 [2], 17-26</p>	
3.1	Расчет вещественных и комплексных БИХ-фильтров методом обобщенного	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-		

	билинейного преобразования в сочетании с методом смещения по частоте.												[3], 125-149 [6], 115-118
3.2	Метод комплексной задержки.	6	1	-	1	-	-	-	-	-	4	-	
3.3	Метод комплексной арифметики	6	1	-	1	-	-	-	-	-	4	-	
4	Расчет вещественных и комплексных КИХ-фильтров	24	4	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Подготовка к контрольной работе № 4 «Расчет комплексных КИХ-фильтров»
4.1	Расчет вещественных и комплексных КИХ-фильтров методом взвешивания.	12	2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 40-47 [2], 32-39
4.2	Расчет комплексных КИХ-фильтров методом комплексной задержки.	12	2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	[3], 163-168
5	Децимация и интерполяция	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Подготовка к контрольной работе № 5 «Децимация и интерполяция»
5.1	Децимация и интерполяция	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 381-391 [5], 629-639
6	Полифазные фильтры	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>
6.1	Полифазные фильтры-дециматоры и полифазные фильтры-интерполяторы	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	Изучение материала по разделу "Полифазные фильтры" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 391-397
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	16.0	-	16.0	-	2	-	-	0.5	76	33.5	
	Итого за семестр	144.0	16.0	-	16.0	2	-	-	-	0.5	109.5		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – 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. Дискретные вещественные и комплексные последовательности

1.1. Вещественные и комплексные дискретные последовательности.

Вещественные и комплексные дискретные последовательности..

1.2. Z-форма и расчет спектра.

Применение Z-преобразования в обработке сигналов.. Свойства Z-преобразования.. Z-форма дискретной последовательности конечной длительности.. Периодическая дискретная последовательность..

1.3. Перенос и инверсия спектра

Нахождение спектра дискретной последовательности по Z-форме.. Свойства спектра дискретных вещественных и комплексных последовательностей.. Перенос и инверсия спектра.

2. Дискретное преобразование Фурье

2.1. Дискретное преобразование Фурье

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ).. Методы повышения разрешающей способности.. Матрицы преобразования 4-го и 8-го порядков.. Свойства элементов матриц преобразования.. Использование ДПФ для фильтрации сигналов.. Формирование многочастотных сигналов с помощью обратного ДПФ.. Перенос и инверсия спектра с помощью ДПФ.

3. Расчет вещественных и комплексных БИХ-фильтров

3.1. Расчет вещественных и комплексных БИХ-фильтров методом обобщенного билинейного преобразования в сочетании с методом смещения по частоте.

Расчет комплексных БИХ-фильтров методом обобщенного билинейного преобразования в сочетании с методом смещения частотных характеристик.. Реализация комплексных БИХ-фильтров с использованием преобразования передаточной функции..

3.2. Метод комплексной задержки.

Расчет комплексных БИХ-фильтров методом обобщенного билинейного преобразования в сочетании с методом комплексной задержки..

3.3. Метод комплексной арифметики

Реализация комплексных БИХ-фильтров с использованием комплексной арифметики..

4. Расчет вещественных и комплексных КИХ-фильтров

4.1. Расчет вещественных и комплексных КИХ-фильтров методом взвешивания.

КИХ-фильтры скользящего среднего. Формы реализации. Каскадирование.. Комплексные КИХ-фильтры скользящего среднего.. Расчет вещественных и комплексных КИХ-фильтров методом взвешивания..

4.2. Расчет комплексных КИХ-фильтров методом комплексной задержки.

Расчет комплексных КИХ-фильтров методом комплексной задержки..

5. Децимация и интерполяция

5.1. Децимация и интерполяция

Децимация. Интерполяция. Изменение частоты дискретизации в дробное число раз.

6. Полифазные фильтры

6.1. Полифазные фильтры-дециматоры и полифазные фильтры-интерполяторы

Полифазные фильтры-дециматоры. Полифазные фильтры-интерполяторы.

3.3. Темы практических занятий

1. 2. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). (2 часа);
2. 6. Полифазные фильтры. (2 часа);
3. 5. Децимация и интерполяция. (2 часа);
4. 4. Расчет вещественных и комплексных КИХ-фильтров методом взвешивания. (6 часов);
5. 3. Расчет вещественных и комплексных БИХ-фильтров. (4 часа);
6. 1. Вещественные и комплексные дискретные последовательности. Z-форма и расчет спектра. Перенос и инверсия спектра. (2 часа).

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

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	6	
Знать:								
общие принципы анализа и обработки дискретных сигналов в цифровых системах	ИД-2ПК-1	+	+					Контрольная работа/Итоговая контрольная работа Контрольная работа/Контрольная работа № 1 «Дискретные комплексные последовательности» Контрольная работа/Контрольная работа № 2 «Спектры дискретных комплексных последовательностей»
понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения	ИД-2ПК-1					+	+	Контрольная работа/Контрольная работа № 5 «Децимация и интерполяция»
возможности по обработке результатов компьютерного математического моделирования сигналов по типовым методикам и базовым алгоритмам цифровой обработки сигналов, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ.	ИД-2ПК-1			+	+			Контрольная работа/Итоговая контрольная работа Контрольная работа/Контрольная работа № 3 «Расчет комплексных БИХ-фильтров» Контрольная работа/Контрольная работа № 4 «Расчет комплексных КИХ-фильтров»
Уметь:								
выполнять моделирование комплексных сигналов с использованием программ математического и схемотехнического моделирования	ИД-1ПК-2	+	+					Контрольная работа/Итоговая контрольная работа Контрольная работа/Контрольная работа № 1 «Дискретные

							комплексные последовательности» Контрольная работа/Контрольная работа № 2 «Спектры дискретных комплексных последовательностей»
выполнять моделирование структурных схем комплексных цифровых фильтров с использованием программ математического и схемотехнического моделирования	ИД-1ПК-2			+	+		Контрольная работа/Контрольная работа № 3 «Расчет комплексных БИХ-фильтров» Контрольная работа/Контрольная работа № 4 «Расчет комплексных КИХ-фильтров»
самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в области цифровой обработки сигналов	ИД-1ПК-2			+	+		Контрольная работа/Контрольная работа № 5 «Децимация и интерполяция»

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: Билеты (письменный опрос)

1. Итоговая контрольная работа (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа № 1 «Дискретные комплексные последовательности» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа № 2 «Спектры дискретных комплексных последовательностей» (Контрольная работа)
3. Контрольная работа № 3 «Расчет комплексных БИХ-фильтров» (Контрольная работа)
4. Контрольная работа № 4 «Расчет комплексных КИХ-фильтров» (Контрольная работа)
5. Контрольная работа № 5 «Децимация и интерполяция» (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. Гребенко, Ю. А. Методы цифровой обработки сигналов в радиоприемных устройствах : учебное пособие по курсам "Методы и устройства цифровой обработки сигналов" и "Радиоприемные устройства" по направлению "Радиотехника" / Ю. А. Гребенко, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Изд-во МЭИ, 2006. – 48 с. – ISBN 5-903072-46-1.;
2. Гребенко, Ю. А. Комплексные сигналы и фильтры : учебное пособие по курсу "Методы и устройства цифровой обработки сигналов" по направлению магистратуры 11.04.01 "Радиотехника" / Ю. А. Гребенко, С. В. Архипова, Р. И. Поляк, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2019. – 60 с. – ISBN 978-5-7046-2141-6.
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10761>;
3. Гребенко, Ю. А. Однородные устройства обработки сигналов / Ю. А. Гребенко. – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – 184 с. – ISBN 978-5-383-00330-5.
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=285>;
4. Лайонс, Р. Цифровая обработка сигналов : пер. с англ. / Р. Лайонс. – 2-е изд. – М. : Бином-Пресс, 2006. – 656 с. – ISBN 5-9518014-9-4.;
5. 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.;

6. 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>;

7. Д. В. Сперанский, Ю. А. Скобцов, В. Ю. Скобцов- "Моделирование, тестирование и диагностика цифровых устройств", (2-е изд., испр.), Издательство: "Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ»", Москва, 2016 - (535 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429075>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Micro-Cap.

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 Scopus - <http://www.scopus.com>

4. 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
	А-400, Учебная аудитория "А"	парта, стул, доска меловая, экран интерактивный, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-318, Учебная аудитория	парта со скамьей, стул, стол письменный, доска меловая, доска маркерная, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-703/12, Лаборатория каф. "ФОРС"	стеллаж, стол, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, оборудование специализированное, компьютер персональный, принтер, книги, учебники, пособия
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-400, Учебная аудитория "А"	парта, стул, доска меловая, экран интерактивный, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	Е-420/4, Компьютерно-вычислительная	стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска маркерная, компьютер персональный

	лаборатория	
Помещения для консультирования	Е-703/8, Кабинет сотрудников каф. "ФОРС"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-704/14, Помещение каф. "ФОРС"	оборудование для экспериментов, запасные комплектующие для оборудования

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Методы и устройства цифровой обработки сигналов

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольная работа № 1 «Дискретные комплексные последовательности» (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа № 2 «Спектры дискретных комплексных последовательностей» (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа № 3 «Расчет комплексных БИХ-фильтров» (Контрольная работа)
- КМ-4 Контрольная работа № 4 «Расчет комплексных КИХ-фильтров» (Контрольная работа)
- КМ-5 Контрольная работа № 5 «Децимация и интерполяция» (Контрольная работа)
- КМ-6 Итоговая контрольная работа (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	2	6	8	10	13	15
1	Дискретные вещественные и комплексные последовательности							
1.1	Вещественные и комплексные дискретные последовательности.		+	+				+
1.2	Z-форма и расчет спектра.		+	+				+
1.3	Перенос и инверсия спектра		+	+				+
2	Дискретное преобразование Фурье							
2.1	Дискретное преобразование Фурье		+	+				+
3	Расчет вещественных и комплексных БИХ-фильтров							
3.1	Расчет вещественных и комплексных БИХ-фильтров методом обобщенного билинейного преобразования в сочетании с методом смещения по частоте.				+	+	+	+
3.2	Метод комплексной задержки.				+	+	+	+
3.3	Метод комплексной арифметики				+	+	+	+
4	Расчет вещественных и комплексных КИХ-фильтров							
4.1	Расчет вещественных и комплексных КИХ-фильтров методом взвешивания.				+	+	+	+

4.2	Расчет комплексных КИХ-фильтров методом комплексной задержки.			+	+	+	+
5	Децимация и интерполяция						
5.1	Децимация и интерполяция					+	
6	Полифазные фильтры						
6.1	Полифазные фильтры-дециматоры и полифазные фильтры-интерполяторы					+	
Вес КМ, %:		10	20	20	20	10	20