

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
радиотехники и компьютерных  
технологий**

**Д.А. Гаврилов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Методы обработки радиотехнических сигналов
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр образовательных программ ФРКТ
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 75 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 45 час.

Самостоятельная работа: 105 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: А.А. Григорьев, канд. техн. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФРКТ 08.11.2024

## Аннотация

Курс посвящен изучению основных методов обработки радиотехнических сигналов. Обучающиеся познакомятся с методами линейной обработки сигналов, с принципами синтеза фильтров Баттерворта, Чебышева, эллиптических фильтров, освоят реализацию фильтров лестничными цепями, научатся проектировать активные фильтры. Завершает курс знакомство с принципами дискретизации сигналов и цифровой фильтрации. Лекционный курс сопровождается выполнением лабораторных работ, в ходе которых обучающиеся моделируют фильтры либо собирают их на макетной плате, исследуют их свойства и характеристики.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Студенты знакомятся с основными методами аналоговой и цифровой обработки сигналов.

#### Задачи дисциплины

- научить студентов выбирать методы и средства, адекватные решаемой задаче, показать, как работает этот аппарат при решении конкретных научных и технических задач в области радиотехники;
- научить видеть тесную связь математического описания, с физической стороной рассматриваемого явления, научить составлять модели изучаемых процессов;
- приобретение студентами навыков работы с измерительными приборами.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные методы анализа и синтеза аналоговых и цифровых фильтров.

уметь:

- выбирать математический аппарат, адекватный решаемой задаче;
- конструировать аналоговые и цифровые фильтры для различных приложений

владеть:

- методами анализа и синтеза аналоговых и цифровых фильтров.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы теории фильтрации	4			12
2	Лестничные фильтры	6		9	15
3	Операционные усилители	4		9	15
4	Активные фильтры	4		12	16
5	Теория дискретизации	3			9
6	Спектры дискретизованных сигналов	3		9	12
7	Быстрое преобразование Фурье	2			16
8	Цифровая фильтрация	4		6	10
Итого часов		30		45	105
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 4 (Весенний)

###### 1. Основы теории фильтрации

Методы аппроксимации. Фильтры Чебышева, Баттерворта, эллиптические.  
Преобразования фильтров

###### 2. Лестничные фильтры

Бездиссипативные фильтры. Их синтез лестничными структурами.

###### 3. Операционные усилители

Петли обратной связи. Операционный усилители. Принцип виртуального замыкания.  
Масштабные усилители.

###### 4. Активные фильтры

Принципы построения активных фильтров.  
Схемы реализации звенов второго порядка.

## 5. Теория дискретизации

Дискретизация аналоговых сигналов. Условия обратимости.

Теорема Котельникова

## 6. Спектры дискретизованных сигналов

Спектральная теория дискретизованных сигналов. z-преобразование.

## 7. Быстрое преобразование Фурье

Дискретное преобразование Фурье. Его использование в спектральном анализе.

Быстрые алгоритмы вычисления.

## 8. Цифровая фильтрация

Передаточная функция цифрового фильтра. Схемы реализации фильтров.

Синтез рекурсивных и нерекурсивных цифровых фильтров

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое лабораторное оснащение

- 1) Информационно-измерительный комплекс на рабочем месте каждого студента, включающий компьютер, двухлучевой цифровой осциллограф и цифровой генератор сигналов, частотомер;
- 2) Сопрягаемые с компьютерными генератором и осциллографом макетные платы для собирания схем и работы с готовыми макетами;
- 3) Необходимые радиоэлектронные компоненты: резисторы, конденсаторы, транзисторы, интегральные схемы, кварцевые резонаторы, микропроцессоры, кабели, соединительные провода;
- 4) Лабораторный инструмент;

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:

- 1) Стандартная учебная аудитория;
- 2) Компьютер, беспроводной проектор, экран;

Необходимое программное обеспечение:

- Adobe Reader;
- Micro-Сap.

## 6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. П. Озерский ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : Азбука-2000, 2007 .— 176 с.
2. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] : учебник для вузов / С. И. Баскаков .— 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 2000, 2005 .— 466 с.

Дополнительная литература

1. Полупроводниковая схемотехника [Текст] : в 2 т. Т. 1 / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. Г. С. Карабашева .— М. : Додэка-XXI, 2008 .— 832 с.
2. Полупроводниковая схемотехника [Текст] : в 2 т. Т. 2 / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. Г. С. Карабашева .— М. : Додэка-XXI, 2008 .— 942 с.
3. Основы радиоэлектроники [Текст] : [учебное пособие для вузов] / Е. И. Манаев .— 4-е изд. / [учеб. изд.] .— М. : Книжный дом, 2013 .— 512 с.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Набор специальных учебных программ для Micro-Сap.

Учебные пособия, методические указания, описания лабораторных работ на бумажном носителе и в электронном виде в формате Word, PDF.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий данный курс, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях;
- подготовку к лабораторным занятиям, контрольной работе, дифференцированному зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Изучаемая дисциплина относится к техническим. Особенностью дисциплин этого рода является сложность их восприятия с нуля по литературным источникам в силу обилия плохо формализуемых представлений и правдоподобных рассуждений. Это обуславливает крайнюю актуальность слушания лекционного курса, в котором основные положения дисциплины преподносятся на принятом в инженерной практике техническом языке и расставляются акценты на наиболее существенные моменты. Слушание лекционного курса существенно облегчает чтение рекомендованной литературы.

Помимо формальных знаний освоение любой технической дисциплины связано с приобретением хотя бы минимального объема практических навыков.

В данном курсе эти навыки приобретаются при выполнении лабораторного практикума. Для успешного выполнения лабораторных работ следует:

- 1) Перед началом работы потратить некоторое время на ознакомление с ее теоретическим содержанием, с тем, чтобы при выполнении экспериментальных заданий иметь хотя бы общее представление о том, что происходит и какие результаты являются ожидаемыми.
- 2) В процессе работы аккуратно фиксировать полученные экспериментальные данные с тем, чтобы по прошествии двух-трех недель они могли стать предметом обсуждения при сдаче работы.
- 3) При подготовке к сдаче привести полученные данные к виду, пригодному для обсуждения – построить необходимые графики, заполнить таблицы и т. п.

К моменту сдачи лабораторной работы относящиеся к ее содержанию теоретические положения должны быть изучены и осмыслены.

Последовательность выполнения лабораторных работ определяется г р а ф и к о м

Контрольная работа – 9 неделя.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр образовательных программ ФРКТ
<b>курс:</b>	<u>2</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	А.А. Григорьев, канд. техн. наук, доцент, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы обработки радиотехнических сигналов» обучающийся должен:

### знать:

- основные методы анализа и синтеза аналоговых и цифровых фильтров.

### уметь:

- выбирать математический аппарат, адекватный решаемой задаче;
- конструировать аналоговые и цифровые фильтры для различных приложений

### владеть:

- методами анализа и синтеза аналоговых и цифровых фильтров.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль ведется на лабораторных занятиях обсуждением полученных экспериментальных данных. В конце лекции даются простые тестовые задания на усвоение текущего материала.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Сущность теоремы В.А.Котельникова и ее приложения к передаче радиосигналов.
2. Принцип импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) при передаче сигналов.
3. Структура канала связи (канала передачи сигналов).

4. Основные операции над сигналами в каналах радиосвязи.
5. Виды элементов радиотехнических цепей.
6. Что такое независимые и управляемые активные элементы цепей? Их виды.
7. Вольт-амперные характеристики и параметры идеальных и реальных источников напряжения.
8. Вольт-амперные характеристики и параметры идеальных и реальных источников тока.
9. Суть и приложения теоремы Тевенина.
10. Суть и приложения теоремы Нортон.
11. Вольт-амперные характеристики и параметры линейных и нелинейных резистивных двухполюсников.
12. Вольт-кулонные характеристики и параметры линейных и нелинейных емкостных двухполюсников.
13. Вебер-амперные характеристики и параметры линейных и нелинейных индуктивных двухполюсников.
14. Связь между индуктивностью катушки и числом ее витков при сильной и слабой связи между витками.
15. Как вычисляется суммарная индуктивность двух последовательно включенных катушек - при наличии и отсутствии связи между ними?
16. Результирующая вольт-амперная характеристика последовательно и параллельно соединенных линейных и нелинейных резистивных двухполюсников.
17. Связь между  $i(t)$  и  $u(t)$  для линейных и параметрических резисторов.
18. Связь между  $i(t)$  и  $u(t)$  для линейных, нелинейных и параметрических емкостных двухполюсников.
19. Связь между  $i(t)$  и  $u(t)$  для линейных, нелинейных и параметрических индуктивных двухполюсников.
20. Энергетические соотношения для постоянного резистора в случае синусоидального сигнала.
21. Энергетические соотношения для емкостного элемента в случае синусоидального сигнала.
22. Энергетические соотношения для индуктивного элемента в случае синусоидального сигнала.
23. Комплексное, векторное и спектральное представления синусоидального (гармонического) сигнала.
24. Сущность комплексного (символического) метода исследования цепей.
25. Закон Ома в комплексной форме.
26. Топология цепи – ветви, узлы, контуры. Правила Кирхгофа.
27. Сущность метода контурных токов при исследовании цепи.
28. Сущность метода узловых напряжений при исследовании цепи.
29. Методика вывода дифференциального уравнения цепи. Общий вид такого уравнения и его параметры.
30. Системы параметров четырехполюсника, их физический смысл.
31. Простейшие эквивалентные схемы четырехполюсников.
32. Понятие и свойства функции включения  $1(t)$  и ее использование при исследовании цепей.
33. Понятие и свойства дельта-функции и ее использование при исследовании цепей.
34. Понятие переходной характеристики и ее применение при анализе и синтезе цепей.
35. Понятие импульсной переходной характеристики и ее применение при анализе и синтезе цепей.
36. Что такое интеграл Дюамеля? Формы его записи.
37. Понятие и использование комплексного коэффициента передачи цепи и ее АЧХ и ФЧХ.
38. Что такое нули и полюсы коэффициента передачи цепи? Какие сведения о цепи заключены в них?
39. Что такое минимально-фазовая цепь? Ее свойства, примеры таких цепей.
40. Что такое неминимально-фазовая цепь? Ее свойства, примеры таких цепей.
41. Диаграммы Боде.
42. Сущность спектрального анализа цепи.
43. Сущность спектрального синтеза цепи.
44. Понятие и вид вещественного спектра периодического сигнала.
45. Понятие и вид комплексного спектра периодического сигнала.
46. Понятие и вид комплексного спектра одиночного сигнала.



47. Прямое и обратное преобразования Фурье для сигналов.
48. Основные свойства преобразования Фурье.
49. Спектр прямоугольного видеоимпульса.
50. Спектр прямоугольного радиоимпульса.
51. Понятие свертки двух функций. Спектр свертки.
52. Что такое авто-корреляционная функция (АКФ)? Какова АКФ прямоугольного видеосигнала, гармонического сигнала?
53. Что такое взаимно-корреляционная функция (ВКФ)? Привести пример ВКФ двух финитных видеосигналов.
54. Свойства авто-корреляционных функций финитных сигналов.
55. Свойства взаимно-корреляционных функций финитных сигналов.
56. Понятие авто-корреляционной функции случайного сигнала.
57. Спектр случайного сигнала.
58. Сущность теоремы Винера-Хинчина.
59. Интегрирующая цепь 1-го порядка, ее основные свойства, характеристики, применение.
60. Дифференцирующая цепь 1-го порядка, ее основные свойства, характеристики, применение.
61. Последовательный LC-контур, его основные параметры, последовательный резонанс.
62. Параллельный LC-контур, его основные параметры, параллельный резонанс.
63. LC-цепь 2-го порядка как фильтр нижних частот.
64. LC-цепь 2-го порядка как полосовой фильтр.
65. Переходная характеристика LC-цепи 2-го порядка с коэффициентом затухания  $\gg 1$ .
66. Переходная характеристика LC-цепи 2-го порядка с коэффициентом затухания порядка 1.
67. Переходная характеристика LC-цепи 2-го порядка с коэффициентом затухания  $\ll 1$ .
68. Связь между  $i(t)$  и  $u(t)$  для системы двух индуктивно связанных катушек.
69. Особенности АЧХ системы из двух индуктивно связанных колебательных контуров.
70. Что такое фильтр нижних частот Баттерворта?
71. Свойства двойного Т-образного RC-моста.
72. Свойства идеального трансформатора на индуктивно связанных катушках.
73. Свойства реального трансформатора на индуктивно связанных катушках.
74. Функции активных элементов в радиотехнических цепях.
75. Виды частотных фильтров. Параметры и характеристики таких фильтров. Привести примеры.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится в устной форме. Обучающимся дается 60 минут на подготовку ответа. Опрос на экзамене длится не более 90 минут.