

**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>	Линейные методы в радиотехнике
<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>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 60 час.

Самостоятельная работа: 150 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 270, всего зач. ед.: 6

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

Закомство с элементой базой современной аналоговой электроники и освоение принципов контструирования электронных схем.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- познакомить студентов, специализирующихся в области обработки сигналов, со свойствами активных компонентов современной электроники и принципами их применения для построения усилительных устройств.

#### Задачи дисциплины

- ознакомление со свойствами активных электронных компонентов, применяемых в усилительной технике;
- основание принципов построения усилительных электронных схем;
- овладение методами анализа электронных схем и оценивания их характеристик.

### 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-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
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:

- принцип действия и свойства основных компонентов, образующих элементную базу современной электроники.

уметь:

- проводить наблюдения и измерения с использованием аппаратных средств современной электроники.

владеть:

- основными методами теоретического анализа свойств электронных схем.

#### 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	Принципы усиления сигналов	6		12	25
2	Обратные связи в усилительных устройствах	6		16	25
3	Дифференциальный усилитель	4		12	25
4	Операционные усилители	6		12	25
5	Резонансные усилители	4		8	25
6	Усилители мощности	4			25
Итого часов		30		60	150
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		270 час., 6 зач.ед.			

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

Семестр: 5 (Осенний)

###### 1. Принципы усиления сигналов

1. Характеристики биполярного транзистора, принцип усиления, построение нагрузочной прямой, динамический диапазон усилительного каскада, схемы задания начального режима. Температурная стабильность.
2. Линеаризованные модели усилительных элементов. Малосигнальные эквивалентные схемы усилителей. Малосигнальные параметры усилительных каскадов на биполярном транзисторе. Схемы с общими эмиттером, коллектором и базой.
3. Полевые транзисторы, особенности построения усилительных каскадов на них. Схемные решения с комплементарными и комбинированными усилительными элементами.
4. Частотные свойства усилителя. Интегрирующая и дифференцирующая цепи как фильтры нижних и верхних частот. Верхняя и нижняя граничные частоты усилителя. Широкополосные усилительные схемы – каскодная схема, схема с общей базой.

###### 2. Обратные связи в усилительных устройствах

1. Обратные связи в усилительных устройствах. Блок-схема петли обратной связи. Влияние отрицательной обратной связи на линейность и полосу пропускания усилителя. Проблема устойчивости усилителя с обратной связью. Принцип коррекции АЧХ усилителя с целью обеспечения его устойчивости в петле обратной связи.
2. Классификация обратных связей. Связи последовательная и параллельная, по току и по напряжению. Влияние обратных связей различных типов на малосигнальные параметры усилителя. Анализ моделей усилителей с обратными связями всевозможных типов.

### 3. Дифференциальный усилитель

Представление об униполярных и дифференциальных сигналах. Дифференциальные усилители и их параметры. Аналитическое описание дифференциального каскада. Режим переключения тока. Применение токовых зеркал и других генераторов тока в дифференциальных усилителях.

### 4. Операционные усилители

1. Операционный усилитель (ОУ). Представление об идеальном ОУ. Характеристики реальных ОУ.
2. Схемы на ОУ с отрицательной обратной связью. Принцип виртуальной земли. Масштабные усилители. Преобразование ток-напряжение, схемы взвешенного суммирования, дифференциальные усилители на ОУ.
3. Схемы на ОУ с реактивными компонентами. Интегратор, дифференциатор, звенья второго порядка для активных фильтров. Схемы звеньев второго порядка Саллена-Ки и схемы на операционных усилителях с отрицательной обратной связью.
4. Схемы на ОУ с отрицательной и положительной обратными связями. Конвертеры и инверторы сопротивления. Гираторы.
5. Схемы на ОУ с положительной обратной связью. Триггер Шмидта, самовозбуждающийся мультивибратор. Ждущий мультивибратор.

### 5. Резонансные усилители

Классификация звеньев второго порядка. Колебательный контур как полосовое звено. Параллельная схема замещения, техника учета вносимых потерь. Однокаскадные и многокаскадные усилители радиочастоты. Устойчивость этих усилителей к самовозбуждению.

### 6. Усилители мощности

Усилители мощности, принципы максимизации коэффициента полезного действия. Трансформаторные и бестрансформаторные двухтактные каскады усилителей мощности. Принцип построения импульсных усилителей мощности.

## 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, цифровой генератор сигналов и час-тотомер.
- 2) Сопрягаемые с компьютерными генератором и осциллографом макетные платы для собирания схем.
- 3) Необходимые радиоэлектронные компоненты: резисторы, конденсаторы, транзисторы, интегральные схемы, кварцевые резонаторы, микропроцессоры, кабели, соединительные провода.
- 4) Лабораторный инструмент.

Необходимое оборудование для лекций:

- 1) Учебная аудитория;
- 2) Компьютер, проектор, экран.
- 3) Локальная сеть, обеспечивающая доступ к учебно-методическому обеспечению.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Аналоговая электроника [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Л. Ларин ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МФТИ, 2013 .— 268 с.
2. Линейные методы в радиотехнике [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. П. Озерский ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : Изд-во МФТИ, 2008 .— 224 с.
3. Основы радиоэлектроники [Текст] : [учебное пособие для вузов] / Е. И. Манаев .— 4-е изд. / [учеб. изд.] .— М. : Книжный дом, 2013 .— 512 с.
4. 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. Радиотехника и схемотехника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Л. П. Куклев ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2012 : МФТИ, 2012 .— 336 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)**

1. Micro-Cap.
2. Набор специальных учебных программ для Micro-Cap.
3. Учебные пособия, методические указания, описания лабораторных работ в электронном виде в формате Word, PDF.

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

Основные положения дисциплины излагаются в лекционном курсе на принятом в инженерной практике техническом языке и расставляются акценты на наиболее существенные моменты. Слушание лекционного курса существенно облегчает чтение рекомендованной литературы.

Помимо теоретических знаний освоение любой технической дисциплины связано с приобретением хотя бы минимального объема практических навыков. Навыки эти не могут быть приобретены никаким чтением или слушанием.

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.

**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>3</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** 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-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
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 «Линейные методы в радиотехнике» обучающийся должен:

### знать:

- принцип действия и свойства основных компонентов, образующих элементную базу современной электроники.

### уметь:

- проводить наблюдения и измерения с использованием аппаратных средств современной электроники.

### владеть:

- основными методами теоретического анализа свойств электронных схем.

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

Контроль осуществляется устным опросом в начале лабораторного занятия по материалу прошедшей лекции и в его конце по полученным экспериментальным данным

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

Вопросы для проведения экзамена

1. Эквивалентная схема биполярного транзистора в  $h$ -параметрах. Формальные определения  $h$ -параметров, их экспериментальное измерение. Зависимость  $h$ -параметров от положения рабочей точки транзистора.
2. Нестабилизованная схема усилителя на биполярном транзисторе. Выбор начального режима, границы динамического диапазона выходного сигнала. Оценивание коэффициента усиления по напряжению, входного и выходного сопротивлений.
3. Стабилизированная схема усилителя на биполярном транзисторе. Выбор начального режима, границы динамического диапазона выходного сигнала. Оценивание коэффициента усиления по напряжению, входного и выходного сопротивлений.
4. Нижняя граничная частота усилителя. Дифференцирующая цепь, ее частотная и фазовая характеристики. Варианты появления дифференцирующих цепей в схемах усилителей на биполярном транзисторе. Оценивание нижней граничной частоты.
5. Биполярный транзистор в области высоких частот. Емкости коллекторного и эмиттерного переходов. Постоянная времени цепи эмиттера, предельная частота усиления. Граничная частота коэффициента передачи тока при включении с общим эмиттером.
6. Усилительный каскад с включением биполярного транзистора по схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель). Оценки коэффициента усиления, входного и выходного сопротивлений. Верхняя граничная частота.
7. Усилительный каскад с включением биполярного транзистора по схеме с общей базой. Оценки коэффициента усиления, входного и выходного сопротивлений. Верхняя граничная частота усиления.
8. Каскодная схема усилителя на биполярных транзисторах. Задание начальных режимов транзисторов. Оценки коэффициента усиления, входного и выходного сопротивлений. Верхняя граничная частота усиления.
9. Полевые транзисторы с управляющим рп-переходом. Принцип действия, проходные характеристики. Схема задания начального режима усилительного каскада на полевом транзисторе. Малосигнальная эквивалентная схема, оценивание коэффициента усиления.
10. Дифференциальный усилитель. Оценки коэффициента усиления и входного сопротивления для дифференциального сигнала. Зависимость коэффициента усиления от режимного тока.
11. Блок-схема петли обратной связи, формула для коэффициента усиления петли, понятие о петлевом усилении. Отрицательная и положительная обратные связи. Влияние отрицательной обратной связи на частотные свойства усилителя.
12. Модель параллельной обратной связи по напряжению. Оценки коэффициента усиления, входного и выходного сопротивлений. Пример схемы усилителя со связью этого типа.
13. Модель последовательной обратной связи по напряжению. Оценки коэффициента усиления, входного и выходного сопротивлений. Пример схемы усилителя со связью этого типа.
14. Модель последовательной обратной связи по току. Оценки коэффициента усиления, входного и выходного сопротивлений. Пример схемы усилителя со связью этого типа.
15. Принцип виртуального замыкания для ОУ с обратной связью, границы его применимости. Схемы инвертирующего и неинвертирующего масштабных усилителей. Преобразователь ток-напряжение, схема взвешенного суммирования, схема вычитания.
16. Инверторы тока на ОУ, условия их устойчивости, схемы с отрицательным входным сопротивлением.
17. Конверторы сопротивления на операционных усилителях. Эквивалентная индуктивность. Схема гиратора.
18. Схемы инвертирующего и неинвертирующего триггеров Шмидта на операционном усилителе. Самовозбуждающийся мультивибратор, формула для длительности импульса.
19. Параллельная схема замещения колебательного контура. Формула для импеданса, обобщенная расстройка, ее график и аппроксимация в окрестности резонанса. Зависимости модуля и аргумента импеданса от частоты. Связь полосы пропускания с добротностью. Передаточная функция ток-напряжение как полосовой фильтр второго порядка. Положение полюсов и нулей в  $p$ -плоскости. Связь добротности с постоянной затухания.
20. Техника приведения схем колебательных контуров к параллельной схеме замещения. Преобразование параллельного соединения в последовательное. Условие эквивалентности контуров с параллельными и последовательными потерями.
21. Проблема выбора коэффициентов частичного подключения к колебательному контуру источника и нагрузки. Оптимизация коэффициентов подключения по критерию максимума усиления при заданной полосе пропускания.



- 22.Резонансный усилитель. Частотная характеристика, усиление на частоте резонанса, полоса пропускания.
- 23.Понятие об усилителе мощности. Оценки коэффициентов полезного действия для режимов А и В. Усилитель мощности с широтно-импульсной модуляцией.
- 24.Понятие об усилителе мощности. Коэффициент полезного действия трансформаторной схемы с усилительным элементом в режиме А.
- 25.Понятие об усилителе мощности. Двухтактная трансформаторная схема усилителя (режим В), ее коэффициент полезного действия.

Примеры билетов для проведения экзамена:

Билет №1.

1. Эквивалентная схема биполярного транзистора в h-параметрах. Формальные определения h-параметров, их экспериментальное измерение. Зависимость h-параметров от положения рабочей точки транзистора.

2.Понятие об усилителе мощности. Двухтактная трансформаторная схема усилителя (режим В), ее коэффициент полезного действия.

Билет №2.

1. Нестабилизованная схема усилителя на биполярном транзисторе. Выбор начального режима, границы динамического диапазона выходного сигнала. Оценивание коэффициента усиления по напряжению, входного и выходного сопротивлений.

2.Понятие об усилителе мощности. Коэффициент полезного действия трансформаторной схемы с усилительным элементом в режиме А.

#### 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**

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется не менее 60 мин на подготовку. Разрешается свободно использование литературы и конспектов лекций. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.