

**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

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Аналоговая электроника
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр образовательных программ ФРКТ
курс:	3
квалификация:	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: М.А. Дунаева, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФРКТ 08.11.2024

Аннотация

Ознакомление с принципами обработки аналоговых сигналов, включающими как линейные методы преобразования сигналов – усиление, фильтрация и другие, так и нелинейные преобразования – модуляция, детектирование, фазовая автоподстройка частоты. Студенты знакомятся с вопросами генерирования синусоидальных колебаний и их стабильности.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление студентов с основными принципами обработки аналоговых сигналов, включающими как линейные методы преобразования сигналов – усиление, фильтрация и другие, так и нелинейные преобразования – модуляция, детектирование, фазовая автоподстройка частоты. Студенты знакомятся с вопросами генерирования синусоидальных колебаний и их стабильности.

Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области аналоговой электроники;
- приобретение студентами навыков работы с электронными схемами, в том числе их расчет, создание и исследование;
- 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-1.2 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-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	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:

- основные принципы обработки аналоговых сигналов, включая линейные методы преобразования – усиление, фильтрация, и нелинейные преобразования – генерирование колебаний, модуляция, детектирование, фазовая автоподстройка частоты.

уметь:

- понимать возможности современной электроники и уметь формулировать требования к создаваемой радиоэлектронной аппаратуре с учетом этих возможностей.

владеть:

- методами анализа и синтеза аппаратуры аналоговой обработки сигналов.

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	Усиление электрических сигналов	6		16	25
2	Обратные связи в схемах усилителей	6		12	25
3	Генерирование синусоидальных колебаний	6		12	25
4	Нелинейные преобразования сигналов	8		12	25
5	Шумы в радиотехнических системах	2			25
6	Когерентный прием. Фазовая автоподстройка частоты	2		8	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. Усиление электрических сигналов

Принцип действия усилителя. Характеристики биполярных и полевых транзисторов. Эквивалентные схемы транзисторов. Схемы с общим эмиттером и общим истоком, выбор режима транзисторов по постоянному току. Схема усилителя с общей базой. Амплитудные и частотные характеристики усилителей с резисторной нагрузкой. Сравнение свойств усилителей, использующих схемы с общим эмиттером и общей базой.

Дифференциальный усилитель. Параметры дифференциального усилителя. Источники постоянного тока, используемые в дифференциальных усилителях, токовое зеркало. Использование токового зеркала в качестве нагрузки.

Усилители мощности. Двухтактный повторитель в качестве усилителя мощности. Защита усилителей мощности от короткого замыкания. Структура аналоговых схем в интегральном исполнении.

Резонансные усилители. Параметры резонансных усилителей. Согласование сопротивлений в резонансных усилителях.

2. Обратные связи в схемах усилителей

Виды обратных связей. Изменение характеристик усилителей, охваченных обратной связью. Применение отрицательной обратной связи для улучшения характеристик усилителей. Устойчивость усилителей с обратной связью, критерий устойчивости Найквиста. Применение положительной обратной связи в усилителях.

Операционный усилитель (ОУ), «идеальный» ОУ. Линейные схемы на основе операционных усилителей (операции сложения, вычитания, дифференцирования и интегрирования сигналов). Нелинейные схемы на основе операционных усилителей (операции логарифмирования, потенцирования, умножения и деления). Свойства реальных ОУ. Частотная коррекция ОУ.

3. Генерирование синусоидальных колебаний

Возникновение колебаний в схеме с обратной связью: условие самовозбуждения. Баланс амплитуд и баланс фаз в установившемся режиме.

LC-генераторы синусоидальных колебаний. Трехточечные генераторы синусоидальных колебаний (схемы Хартли и Колпитца). Кварцевый резонатор. Стабилизация частоты генерируемых колебаний на частоте последовательного резонанса кварцевого резонатора. Генераторы, использующие параллельный резонанс кварцевого резонатора.

RC-генераторы синусоидальных колебаний. Стабильность частоты RC-генераторов.

4. Нелинейные преобразования сигналов

Модуляция и ее применение для передачи информации. Фазоимпульсная и импульсно-кодовая модуляция. Спектры амплитудно-, частотно- и фазомодулированных колебаний. Методы осуществления модуляции. Метод Армстронга получения фазомодулированных колебаний. Фазоманипулированные сигналы Детектирование. Принципы детектирования при различных видах модуляции. Синхронное детектирование. Варианты реализации синхронных детекторов.

Преобразование частоты. Преобразователь частоты на дифференциальном усилителе. Преобразователи частоты с использованием нелинейности транзисторов. Преобразование частоты с помощью нелинейной емкости. Супергетеродинный прием.

5. Шумы в радиотехнических системах

Описание шумов. Шумы в транзисторах. Прохождение шума через линейный четырехполюсник. Шумовая полоса. Извлечение детерминированного полезного сигнала из аддитивной смеси сигнала с гауссовским шумом. Преимущества частотной модуляции по сравнению с амплитудной модуляцией. Оптимальная фильтрация.

6. Когерентный прием. Фазовая автоподстройка частоты

Когерентный прием. Методы реализации когерентного приема. Фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ). Устойчивость системы ФАПЧ.

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:

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

Необходимое программное обеспечение:

- Adobe Reader;
- Micro-Cap.

Самостоятельная работа студента обеспечивается наличием индивидуального рабочего места в лаборатории, оборудованного комплектом приборов.
Доступа в Интернет нет.

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. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] : учебник для вузов / С. И. Баскаков .— 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 2000, 2005 .— 466 с.
3. Основы радиоэлектроники [Текст] : [учебное пособие для вузов] / Е. И. Манаев .— 4-е изд. / [учеб. изд.] .— М. : Книжный дом, 2013 .— 512 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.

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-Cap.

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, экзамену.

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.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр образовательных программ ФРКТ
курс:	<u>3</u>
квалификация:	бакалавр

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

Разработчик: М.А. Дунаева, канд. техн. наук

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-1.2 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-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	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 «Аналоговая электроника» обучающийся должен:

знать:

- основные принципы обработки аналоговых сигналов, включая линейные методы преобразования – усиление, фильтрация, и нелинейные преобразования – генерирование колебаний, модуляция, детектирование, фазовая автоподстройка частоты.

уметь:

- понимать возможности современной электроники и уметь формулировать требования к создаваемой радиоэлектронной аппаратуре с учетом этих возможностей.

владеть:

- методами анализа и синтеза аппаратуры аналоговой обработки сигналов.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

1. Принцип действия и характеристики усилителей на биполярных транзисторах.
2. Усилитель на МОП-транзисторе. Режим по постоянному току и характеристики.

3. Расчет режима биполярного транзистора по постоянному току в усилителе напряжения.
4. Режим полевых транзисторов по постоянному току в усилителе напряжения. Расчет коэффициента усиления K_u .
5. Схемы нестабилизированного и стабилизированного (по постоянному току) усилителей.
6. Физическая эквивалентная схема биполярного транзистора.
7. Эквивалентная схема биполярного транзистора с h -параметрами, связь с параметрами физической эквивалентной схемы.
8. Основные характеристики резисторного усилителя напряжения.
9. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики однокаскадного резисторного усилителя.
10. Дифференциальный усилитель. Параметры дифференциального усилителя.
11. Варианты источников тока для дифференциального усилителя. Токовое зеркало.
12. Использование токового зеркала в качестве источника тока и динамической нагрузки.
13. Обратная связь. Виды обратных связей в усилителях.
14. Параметры однокаскадного усилителя, охваченного отрицательной последовательной обратной связью по напряжению.
15. Параметры однокаскадного усилителя, охваченного отрицательной последовательной обратной связью по току.
16. Параметры однокаскадного усилителя, охваченного отрицательной параллельной обратной связью по напряжению.
17. Частотные свойства усилителей с обратной связью.
18. Источник тока на основе операционного усилителя.
19. Устойчивость усилителей с обратной связью. Критерий Найквиста.
20. Двухтактный эмиттерный повторитель в качестве усилителя мощности.
21. Операционный усилитель. Основные параметры операционного усилителя.
22. «Идеальный» операционный усилитель (ОУ). Примеры использования «идеального» ОУ.
23. Применение операционных усилителей (усиление, сложение, интегрирование и дифференцирование сигналов).
24. Операционные усилители с частотно-зависимой обратной связью.
25. Резонансный усилитель с колебательным контуром в качестве нагрузки, коэффициент усиления, амплитудная и частотная характеристики.
26. Устойчивость резонансного усилителя.
27. Условия возникновения колебаний в системе, охваченной обратной связью. Пример генератора синусоидальных колебаний.
28. Условие существования стационарных колебаний в генераторе.
29. Схемы LC-генераторов синусоидальных колебаний.
30. Трехточечные генераторы.
31. RC-генераторы синусоидальных колебаний.
32. Стабильность частоты колебаний генератора. Фиксирующая способность.
33. Кварцевый резонатор и его применение для стабилизации частоты генераторов.
34. Схемы генераторов с кварцевой стабилизацией частоты.
35. Нелинейные преобразования сигналов. Примеры нелинейных преобразований.
36. Амплитудная модуляция. Спектр колебания.
37. Балансная модуляция. Спектр колебания.
38. Частотная модуляция. Спектр колебания.
39. Фазовая модуляция. Спектр колебания.
40. Относительная фазовая манипуляция (ОФМн).
41. Амплитудный модулятор.
42. Балансный модулятор на дифференциальном усилителе.
43. Схемы частотных и фазовых модуляторов.
44. ФМн-сигналы. Схемы формирования ФМн-сигналов.
45. Последовательный диодный детектор.
46. Параллельный диодный детектор.
47. Частотный детектор (дискриминатор).
48. Фазовый детектор.

49. Синхронный детектор.
50. Синхронный детектор на дифференциальном усилителе. Частотные свойства синхронного детектора.
51. Детектирование фазоманипулированных сигналов.
52. Преобразование частоты.
53. Супергетеродинный прием.
54. Шумы в радиотехнических устройствах. Описание шумов.
55. Прохождение шума через линейный четырехполосник.
56. Относительная фазовая манипуляция (ОФМн).
57. Детектирование сигналов с относительной фазовой манипуляцией (ОФМн).
58. Детектирование фазоманипулированных сигналов.
59. Фазовая автоподстройка частоты. Свойства системы ФАПЧ без петлевого фильтра.
60. Фазовая автоподстройка частоты. Устойчивость системы ФАПЧ.

Пример экзаменационных билетов:

Билет №1

1. Фазовая модуляция. Спектр колебания.
2. Трехточечные генераторы.

Билет №2

1. Амплитудный модулятор.
2. Источник тока на основе операционного усилителя.

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

Экзамен проводится в устной форме.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется не менее 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.