Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан

А. Г. Коротаев

Оценочные материалы по дисциплине

Аналоговые интегральные микросхемы для физического эксперимента

по направлению подготовки

03.04.03 Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки:

Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

И.А. Прудаев

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-2 Способен осуществлять построение математических моделей объектов исследования и выбор готового или разработку нового алгоритма решения задачи.

ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач в области радиофизики и электроники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 2.1 Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы

ИПК 2.2 Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы

ИПК 2.3 Проводит компьютерное моделирование устройства или системы

ИПК 3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

Элементы текущего контроля:

- устные опросы;
- лабораторные работы.

В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-2.2 (Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы), ИПК-2.3 (Проводит компьютерное моделирование устройства или системы).

Примерный перечень вопросов для самостоятельной подготовки студентов

1. Назовите основные классы микросхем.
2. В чем отличие технологии КМОП от БиКМОП?
3. Перечислите основные программы продукты из состава среды IC package.
4. Какие основные виды анализа используются при моделировании?
5. Какие области работы МОП-транзистора можно выделить на передаточной и выходной ВАХ?
6. Какие транзисторы (МОП или биполярные) позволяют получить большую крутизну усиления при заданном потреблении (режимном токе)?
7. Дайте понятие рабочей точки усилителя.
8. Как повысить выходное сопротивление каскада с общим истоком?
9. Как понизить выходную емкость каскада с общим истоком?
10. Как повысить линейность передаточной характеристики каскада с общим истоком?
11. Как следует правильно выбрать режимные потенциалы U_c , U_3 и U_n для построения усилительного каскада с общим истоком?
12. Перечислите основные этапы проектирования интегральных микросхем.
13. В чем заключается тиристорный эффект?
14. Для чего применяются охранные кольца?
15. Чем определяется быстродействие логического элемента?
16. Для чего нужны интерфейсные элементы между цифровыми и аналоговыми блоками при смешанном моделировании?
17. Что такое интермодуляционное искажение?
18. Перечислите основные принципы построения маломощных усилителей.
19. Какие основные проверки используются в ходе топологического проектирования?

20. Почему необходимо подключать подложку и n -карман к земле и питанию?
21. Для чего служит процедура экстракции паразитных параметров?
22. Какова основная цель создания поведенческих моделей блоков ИМС?
23. Возможно ли совместное использование SPICE-моделей и Verilog-A моделей блоков?
24. Что такое токовое зеркало?
25. Перечислите основные принципы построения интегральных микросхем для многоканальной аппаратуры физического эксперимента.

Примерный перечень вопросов для самостоятельной подготовки и темы лабораторных работ.

«Основы практического использования UNIX и микроэлектронного САПР»

1. Опишите основные команды операционной системы UNIX.
2. Назначение САПР для микроэлектроники.
3. Перечислите основные программные продукты из состава среды IC package и последовательность их использования для моделирования электронных схем.

«Электрическое (SPICE) моделирование в среде Virtuoso»

1. Какие основные виды анализа используются при моделировании?
2. Какие функции электронных схем могут быть рассчитаны через специализированный калькулятор при анализе результатов моделирования?
3. Приведите пример использования функций дифференцирования или интегрирования при оценке параметров простейшей RC-цепи.

«Исследование характеристик основных элементов КМОП ИМС»

1. Что определяет наклон передаточной и выходной ВАХ МОП-транзистора?
2. Какие области работы МОП-транзистора можно выделить на передаточной и выходной ВАХ?
3. Чем определяется быстродействие логического элемента?
4. Для чего используется настройка конфигурации иерархии?
5. Для чего нужны интерфейсные элементы между цифровыми и аналоговыми блоками при смешанном моделировании?

«Моделирование и анализ основных параметров усилительных каскадов»

1. Какие транзисторы (МОП или биполярные) позволяют получить большую крутизну усиления при заданном потреблении (режимном токе)?
2. Какое включение МОП-транзистора позволяет максимально использовать его потенциальные возможности по крутизне усиления и быстродействию?
3. Какое нагрузочное сопротивление следует выбирать в цепи стока (наименьшее или наибольшее) для увеличения коэффициента усиления напряжения в схеме с общим истоком?

«Схемотехническое проектирование схемы КМОП операционного усилителя»

1. Как повысить выходное сопротивление каскада с общим истоком?
2. Как понизить выходную емкость каскада с общим истоком?
3. Как повысить линейность передаточной характеристики каскада с общим истоком?
4. Как следует правильно выбирать режимные потенциалы U_c , U_3 и $U_{и}$ для построения усилительного каскада с общим истоком?

«Топологическое проектирование КМОП операционного усилителя и его верификация»

1. Какие основные проверки используются в ходе топологического проектирования?
2. Почему необходимо подключать подложку и n -карман к земле и питанию?
3. Для чего служит процедура экстракции паразитных параметров?

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-2.1 (Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы), ИПК-2.2 (Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы), ИПК-2.3 (Проводит компьютерное моделирование устройства или системы), ИПК-3.1 (Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения профессиональных задач).

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Классификация аналоговых схем. Принципы построения базовых усилительных каскадов, реализуемых по КМОП- (БиКМОП-) технологии. Характеристика современной полупроводниковой технологии.

2. Системы автоматизированного проектирования в микро- и наноэлектронике и тенденции их развития. Понятие маршрута и правил проектирования. Основные этапы и особенности.

3. Этапы создания интегральных микросхем. Основные технологические операции. Элементы интегральных микросхем и их топологическое воплощение.

4. Особенности создания точностных и согласованных элементов аналоговых схем. Способы уменьшения разброса параметров топологическими методами.

5. Специфические эффекты в субмикронных интегральных микросхемах. Тиристорный эффект. Охранные кольца. Контактные площадки и элементы электростатической защиты.

6. Вопросы электромагнитной совместимости. Принципы изоляции групп и отдельных элементов в интегральных микросхемах.

7. Понятие линейных и нелинейных искажений в электронных усилителях. Динамический диапазон. Коэффициент нелинейных искажений. Интермодуляционные искажения.

8. Шумы в электронных усилителях. Основные виды. Принципы построения малошумящих усилителей. Выбор основных элементов. Фильтрация шумов.

9. Схема зарядочувствительного усилителя. Понятие формирования импульсных сигналов. Принципы построения интегральных микросхем для многоканальной аппаратуры физического эксперимента.

10. Источники стабильного тока. Простейшие и усовершенствованные токовые зеркала. Источники стабильного напряжения. Исключение влияния температуры и нестабильности напряжения питания.

Студент, не аттестованный в контрольной точке, не допускается к сдаче зачета. Результаты зачета определяются оценками согласно таблице.

Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
		незачтен 0	зачтен 0 НО
ПК-2 Способен осуществлять построение математических моделей объектов исследования и выбор готового или разработку нового алгоритма решения задачи	ИПК-2.1 Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы	Не имеет представления о параметрах усилительных каскадов, реализуемых по КМОП- (БиКМОП-) технологии.	Знает основные параметры усилительных каскадов, реализуемых по КМОП- (БиКМОП-) технологии, допускает отдельные неточности при их описании.
	ИПК-2.2 Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы.	Не имеет представления о принципах работы схем, реализуемых по КМОП- (БиКМОП-) технологии.	Описывает алгоритмы моделирования и набор параметров схем, реализуемых по КМОП- (БиКМОП-) технологии, с учётом которых должно быть проведено моделирование, допускает отдельные неточности при их описании.
	ИПК-2.3 Проводит компьютерное моделирование устройства или системы	Не способен использовать современные системы автоматизированного проектирования микроэлектроники.	При моделировании устройств микроэлектроники использует систему автоматизированного проектирования, допуская незначительные ошибки.
ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения задач в области радиофизики и электроники.	ИПК-3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники	Не имеет представления об операционном усилителе. Не имеет представления о топологии операционного усилителя.	Моделирует электрическую принципиальную схему КМОП операционного усилителя с использованием системы автоматизированного проектирования, допуская незначительные ошибки. Моделирует топологию КМОП операционного усилителя с использованием системы автоматизированного проектирования, допуская незначительные ошибки.

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Вопросы теста для оценки остаточных знаний по дисциплине

(верные ответы выделены курсивом)

№	Вопрос	Варианты ответа
1	В чем заключается тиристорный эффект?	а) в том, что тиристор имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением на вольт-амперной характеристике; б) в том, что тиристор имеет улучшенные характеристики по сравнению с биполярным транзистором; в) в том, что в интегральной микросхеме появляются паразитные p-n-p-n структуры.
2	Какой из технологических процессов не применяется в КМОП-технологии?	а) ионное легирование; б) формирование маски из фоторезиста; в) молекулярно-пучковая эпитаксия квантовых точек; г) нанесение диэлектрических покрытий.
3	В чем заключается антенный эффект?	а) в том, что антенна принимает сигнал электромагнитного излучения; б) в том, что на технологической стадии изготовления микросхемы возможен электрический пробой тонких слоев диэлектрика; в) в том, что слишком длинные проводящие соединения в микросхемах работают как антенны; г) в том, что микросхемы выходят из строя при пробое подзатворного диэлектрика транзисторов при воздействии статического электричества при неосторожной эксплуатации.
4	За какое время конденсатор с емкостью C заряжается на 63% через резистор с сопротивлением R ?	а) 1 секунда б) LC в) RC г) $2RC$
5	Что происходит при эффекте Миллера?	а) увеличение эквивалентной емкости усилительного элемента; б) уменьшение эквивалентной индуктивности усилительного элемента; в) уменьшение эквивалентной емкости усилительного элемента; г) увеличение эквивалентной индуктивности усилительного элемента.
6	Как обеспечивается электростатическая защита при проектировании интегральных микросхем?	а) за счет использования TVS-диодов; б) за счет использования диодов Ганна; в) за счет использования транзисторов с высокой подвижностью электронов; г) за счет использования двунаправленных диодов с туннельно-прозрачным диэлектриком.
7	Какое программное обеспечение используется в качестве системы автоматизированного проектирования в микро- и наноэлектронике?	а) Microsoft Office; б) Cadence Virtuoso; в) КОМПАС-3D; г) Linux.

8	В какой последовательности проводится верификация проекта?	а) LVS, DRC, Моделирование с экстрагированными параметрами; б) Моделирование с экстрагированными параметрами, LVS, DRC; в) DRC, LVS, Моделирование с экстрагированными параметрами; г) DRC, Моделирование с экстрагированными параметрами, LVS.
9	Что такое верификация DRC?	а) проверка проекта на выполнение правил проектирования завода-изготовителя микросхем; б) проверка проекта на соответствие топологии микросхемы её электрической принципиальной схеме; в) проверка проекта на наличие в топологии микросхемы разрывов электрических соединений; г) проверка топологии микросхемы на корректность её прорисовки.
10	Что является причиной рассогласования транзисторов в интегральных микросхемах?	а) неоднородное распределение примеси по подложке; б) различные размеры транзисторов; в) временная задержка протекания тока в дифференциальной паре транзисторов; г) случайные процессы, связанные с ионизирующим космическим излучением.

Информация о разработчиках

Аткин Эдуард Викторович, кандидат технических наук, доцент.

Прудаев Илья Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент.