

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники
и электроники

/ В.А. Небольсин /

31 августа 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Основы проектирования электронной компонентной базы»

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2021

Автор программы

_____ /  / А.В. Арсентьев

И.о. заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и нанoeлектроники

_____ /  / А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

_____ /  / А.В. Арсентьев

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: практически и теоретически подготовить будущих специалистов по проектированию электронной компонентной базы, применению современных средств и алгоритмов машинного проектирования.

1.2. Задачи освоения дисциплины: формирование у студентов теоретических знаний о машинных алгоритмах анализа и проектирования компонентов интегральных схем; формирование и закрепление практических навыков с использованием программных средств проектирования электронной компонентной базы.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.О.23 «Основы проектирования электронной компонентной базы» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Основы проектирования электронной компонентной базы» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2: способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных;

ОПК-3: способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-2	знать общую характеристику процесса проектирования электронной компонентной базы;
	уметь выбирать и описывать модели электронной компонентой базы на различных этапах проектирования интегральных схем;
	владеть навыками работы с технической документацией, понимать техническое задание.
ОПК-3	знать профильные промышленные стандарты и соглашения;
	уметь работать с техническими и программными средствами реализации процессов проектирования компонентов;
	владеть методами анализа, расчета и проектирования современных полупроводниковых приборов и элементов интегральных микросхем.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Основы проектирования электронной компонентной базы» составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	68	68
В том числе:		
Лекции	34	34
Лабораторные работы (ЛР)	34	34
Самостоятельная работа	76	76
Курсовой проект	+	+
Часы на контроль	36	36
Вид промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость час зач. ед.	180	180
	5	5

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	12	12
В том числе:		
Лекции	4	4
Лабораторные работы (ЛР)	8	8
Самостоятельная работа	159	159
Курсовой проект	+	+
Часы на контроль	9	9
Вид промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость час зач. ед.	180	180
	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего час
1	Введение	Предмет дисциплины и ее задачи. Классификация интегральных микросхем по функциональным, структурным и конструктивно-технологическим признакам. Основные понятия процесса проектирования. Методы и типовые задачи проектирования ИС.	2	-	6	8

2	Проектирование МОП транзисторов и МОП структур ИМС	МОП транзисторы. Основы теории и модели. Расчет крутой и пологой частей статических вольтамперных характеристик МОП-транзистора с индуцированным каналом. Факторы, влияющие на пороговое напряжение и крутизну МОП-транзистора. P-Spice модели МОП транзистора. Анализ и расчет базовых вариантов инвертора на n-канальных МОП транзисторах и расчет КМОП инвертора. Расчет передаточной характеристики КМОП инвертора. Проектирование инвертора на n-канальных МОП транзисторах. Расчет мощности базовых вариантов инвертора.	8	8	15	31
3	Схемотехническое моделирование и проектирование	Методы анализа статического режима ИС. Метод простой итерации, Метод Зейделя, Ньютона-Рафсона, метод продолжения и дифференцирования по параметру. Методы анализа временных характеристик ИС. Постановка задачи анализа переходных процессов в ИС. Классификация численных методов решения задачи. Численные методы анализа. Понятие жесткости и устойчивости. Дискретные модели реактивных элементов ИС. Методы и задачи логического моделирования. Иерархия моделей сигналов и элементов логического проектирования ИС. Методы синхронного моделирования. Асинхронное и синхронное моделирование. Асинхронное моделирование. Понятие статического и динамического «риска сбоя». Выявление «риска сбоя» методами логического моделирования. Событийный алгоритм асинхронного моделирования.	16	16	30	62
4	Проектирование топологии	Стандартные задачи и методы проектирования топологии ИС. Проектирование топологии ИС: постановка задачи, основные понятия, критерии оптимальности. Конструкторско-технологические ограничения. Основные правила проектирования топологии, правила Мида-Конвея. Проектирование логических вентилях по КМОП технологии. Параллельное и последовательное соединение транзисторов. Назначение топологических слоев. Экстракция параметров из топологии. Восстановление принципиальной электрической схемы из топологического рисунка.	8	10	25	43
Всего			34	34	76	144
Контроль						36
Итого						180

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего час
1	Введение	Предмет дисциплины и ее задачи. Классификация интегральных микросхем по функциональным, структурным и конструктивно-технологическим признакам. Основные понятия процесса проектирования. Методы и типовые задачи проектирования ИС.	-	-	18	18
2	Проектирование МОП транзисторов и МОП структур ИМС	МОП транзисторы. Основы теории и модели. Расчет крутой и пологой частей статических вольтамперных характеристик МОП-транзистора с индуцированным каналом. Факторы, влияющие на пороговое напряжение и крутизну МОП-транзистора. P-Spice модели МОП транзистора. Анализ и расчет базовых вариантов инвертора на n-канальных МОП транзисторах и расчет КМОП инвертора. Расчет передаточной характеристики КМОП инвертора. Проектирование инвертора на n-канальных МОП транзисторах. Расчет мощности базовых вариантов инвертора.	2	4	32	36
3	Схемотехническое моделирование и проектирование	Методы анализа статического режима ИС. Метод простой итерации, Метод Зейделя, Ньютона-Рафсона, метод продолжения и дифференцирования по параметру. Методы анализа временных характеристик ИС. Постановка задачи анализа переходных процессов в ИС. Классификация численных методов решения задачи. Численные методы анализа. Понятие жесткости и устойчивости. Дискретные модели реактивных элементов ИС. Методы и задачи логического моделирования. Иерархия моделей сигналов и элементов логического проектирования ИС. Методы синхронного моделирования. Асинхронное и синхронное моделирование. Асинхронное моделирование. Понятие статического и динамического «риска сбоя». Выявление «риска сбоя» методами логического моделирования. Событийный алгоритм асинхронного моделирования.	2	4	62	70
4	Проектирование топологии	Стандартные задачи и методы проектирования топологии ИС. Проектирование топологии ИС: постановка задачи, основные понятия, критерии оптимальности. Конструкторско-технологические ограничения. Основные правила проектирования топологии, правила Мида-Конвея. Проектирование логических вентилях по КМОП технологии. Параллельное и последовательное соединение транзисторов. Назначение топологических слоев. Экстракция параметров из топологии. Восстановление принципиальной электрической схемы из топологического рисунка.	-	-	47	47
Всего			4	8	159	171
Контроль						9
Итого						180

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Классификация интегральных схем на классы по технологическому процессу, энергопотреблению, быстродействию с помощью справочников.
2. Моделирование ВАХ полевого транзистора с индуцированным каналом и моделью первого уровня в схемотехническом редакторе.
3. Моделирование ВАХ полевого транзистора с индуцированным каналом в схемотехническом редакторе с заданием вручную параметров модели по вариантам.
4. Моделирование ВАХ полевого транзистора с индуцированным каналом уровней 1, 2 и 3 в схемотехническом редакторе.
5. Моделирование передаточной характеристики инвертора, выполненного по n-МОП технологии, в схемотехническом редакторе.
6. Моделирование передаточной характеристики инвертора, выполненного по КМОП технологии, в схемотехническом редакторе.
7. Моделирование временной характеристики логического вентиля в схемотехническом редакторе по вариантам.
8. Моделирование топологии КМОП инвертора в топологическом редакторе, устранение ошибки DRC.
9. Моделирование топологии КМОП вентиля в топологическом редакторе по вариантам, устранение ошибки DRC.
10. Проведение экстракции параметров из топологии, полученной в предыдущей работе, восстановление электрической принципиальной схемы.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Основы проектирования электронной компонентной базы» предусматривает выполнение курсового проекта в 5 семестре для очной формы обучения, в 7 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Проектирование комбинационного устройства в САПР».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- освоение самостоятельной работы со схемотехническим редактором;
- освоение самостоятельной работы с топологическим редактором;
- освоение полного цикла проектирования цифровой ИС в САПР.

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

Учебным планом по дисциплине «Основы проектирования электронной компонентной базы» не предусмотрено выполнение контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-2	знать общую характеристику процесса проектирования электронной компонентной базы;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь выбирать и описывать модели электронной компонентной базы на различных этапах проектирования интегральных схем;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками работы с технической документацией, понимать техническое задание.	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-3	знать профильные промышленные стандарты и соглашения;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь работать с техническими и программными средствами реализации процессов проектирования компонентов;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами анализа, расчета и проектирования современных полупроводниковых приборов и элементов интегральных микросхем.	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения, в 7 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ОПК-2	знать общую характеристику процесса проектирования электронной компонентной базы;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь выбирать и описывать модели электронной компонентной базы на различных этапах проектирования интегральных схем;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками работы с технической документацией, понимать техническое задание.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-3	знать профильные промышленные стандарты и соглашения;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь работать с техническими и программными средствами реализации процессов проектирования компонентов;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами анализа, расчета и проектирования современных полупроводниковых приборов и элементов интегральных микросхем.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

- Для МОП транзистора с изолированным затвором обязательны:
 - индуцированный канал *n*-типа, индуцированный канал *p*-типа, встроенный канал *n*-типа, встроенный канал *p*-типа;
 - индуцированный канал *p-n*-типа, индуцированный канал *n-p-n*-типа, встроенный канал *n-p-n*-типа, встроенный канал *p-n*-типа;
 - биполярный индуцированный канал *p-n*-типа, биполярный индуцированный канал *n-p-n*-типа, биполярный встроенный канал *n-p-n*-типа, биполярный встроенный канал *p-n*-типа;
 - изолированный канал *n*-типа, изолированный канал *p*-типа, провоцируемый канал *n*-типа, провоцируемый канал *p*-типа.
- Быстродействие МДП транзистора с изолированным затвором зависит от подвижности:

1. основных носителей в канале;
2. неосновных носителей в канале;
3. основных носителей в подложке;
4. неосновных носителей в подложке

3. К основным электрическим параметрам МДП транзистора с изолированным затвором относятся:

1. длина канала, ширина канала, толщина затворного диэлектрика;
2. геометрические размеры истока/стока, глубина залегания p - n перехода;
3. тип и концентрация примеси в подложке, подвижность основных носителей в канале, плотность поверхностных состояний;
4. пороговое напряжение, коэффициент влияния подложки, удельная крутизна, стоковая характеристика.

4. К основным электрофизическим параметрам МДП транзистора с изолированным затвором относятся:

1. длина канала, ширина канала, толщина затворного диэлектрика;
2. геометрические размеры истока/стока, глубина залегания p - n перехода;
3. тип и концентрация примеси в подложке, подвижность основных носителей в канале, плотность поверхностных состояний;
4. пороговое напряжение, коэффициент влияния подложки, удельная крутизна, стоковая характеристика.

5. К основным конструктивным параметрам МДП транзистора с изолированным затвором относятся:

1. длина канала, ширина канала, толщина затворного диэлектрика;
2. геометрические размеры истока/стока, глубина залегания p - n перехода;
3. тип и концентрация примеси в подложке, подвижность основных носителей в канале, плотность поверхностных состояний;
4. пороговое напряжение, коэффициент влияния подложки, удельная крутизна, стоковая характеристика.

6. К основным электрическим параметрам МДП транзистора с изолированным затвором относятся:

1. длина канала, ширина канала, толщина затворного диэлектрика;
2. геометрические размеры истока/стока, глубина залегания p - n перехода;
3. тип и концентрация примеси в подложке, подвижность основных носителей в канале, плотность поверхностных состояний;
4. пороговое напряжение, коэффициент влияния подложки, удельная крутизна, стоковая характеристика.

7. Пороговое напряжение МДП транзистора с индуцированным каналом n -типа:

1. увеличивается с ростом концентрации легирующей примеси в подложке;
2. уменьшается с ростом концентрации легирующей примеси в подложке;
3. не изменяется с ростом концентрации примеси в подложке;
4. увеличивается с ростом концентрации примеси в подложке, а затем резко падает.

8. Пороговое напряжение МДП транзистора с индуцированным каналом p -типа:

1. увеличивается с ростом концентрации легирующей примеси в подложке;
2. уменьшается с ростом концентрации легирующей примеси в подложке;
3. не изменяется с ростом концентрации примеси в подложке;
4. увеличивается с ростом концентрации примеси в подложке, а затем резко падает.

9. Пороговое напряжение МДП транзистора с индуцированным каналом *n*-типа:
1. увеличивается с ростом толщины подзатворного диэлектрика;
 2. уменьшается с ростом толщины подзатворного диэлектрика;
 3. не изменяется с ростом толщины подзатворного диэлектрика;
 4. уменьшается с ростом толщины подзатворного диэлектрика, а затем резко нарастает.
10. Пороговое напряжение МДП транзистора с индуцированным каналом *p*-типа:
1. увеличивается с ростом толщины подзатворного диэлектрика;
 2. уменьшается с ростом толщины подзатворного диэлектрика;
 3. не изменяется с ростом толщины подзатворного диэлектрика;
 4. уменьшается с ростом толщины подзатворного диэлектрика, а затем резко нарастает.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Толщина подзатворного диэлектрика $T_{ox} = 700 \text{ \AA}$, уровень легирования подложки $N_{sub} = 1e15 \text{ см}^{-3}$, затвор – Al, плотность медленных поверхностных состояний $1e10 \text{ см}^{-2}$. Чему равно пороговое напряжение МОП транзистора с индуцированным *n*-каналом?
2. Толщина подзатворного диэлектрика $T_{ox} = 800 \text{ \AA}$, уровень легирования подложки $N_{sub} = 4e14 \text{ см}^{-3}$, затвор – поликремний *n*-типа, плотность медленных поверхностных состояний $2e10 \text{ см}^{-2}$. Чему равно пороговое напряжение МОП транзистора с индуцированным *n*-каналом?
3. Толщина подзатворного диэлектрика $T_{ox} = 600 \text{ \AA}$, уровень легирования подложки $N_{sub} = 6e15 \text{ см}^{-3}$, затвор – поликремний *n*-типа, плотность медленных поверхностных состояний $1e10 \text{ см}^{-2}$. Чему равно пороговое напряжение МОП транзистора с индуцированным *p*-каналом?
4. Толщина подзатворного диэлектрика $T_{ox} = 700 \text{ \AA}$, уровень легирования подложки $N_{sub} = 8e14 \text{ см}^{-3}$, затвор – поликремний *p*-типа, плотность медленных поверхностных состояний $2e10 \text{ см}^{-2}$. Чему равно пороговое напряжение МОП транзистора с индуцированным *p*-каналом?
5. Толщина подзатворного диэлектрика $T_{ox} = 700 \text{ \AA}$, уровень легирования подложки $N_{sub} = 1e15 \text{ см}^{-3}$, затвор – Al, плотность медленных поверхностных состояний $1e10 \text{ см}^{-2}$. Чему равно напряжение отсечки МОП транзистора со встроенным *n*-каналом?
6. Толщина подзатворного диэлектрика $T_{ox} = 800 \text{ \AA}$, уровень легирования подложки $N_{sub} = 4e14 \text{ см}^{-3}$, затвор – поликремний *n*-типа, плотность медленных поверхностных состояний $2e10 \text{ см}^{-2}$. Чему равно напряжение отсечки МОП транзистора со встроенным *n*-каналом?
7. Толщина подзатворного диэлектрика $T_{ox} = 600 \text{ \AA}$, уровень легирования подложки $N_{sub} = 6e15 \text{ см}^{-3}$, затвор – поликремний *n*-типа, плотность медленных поверхностных состояний $1e10 \text{ см}^{-2}$. Чему равно напряжение отсечки МОП транзистора со встроенным *p*-каналом?
8. Толщина подзатворного диэлектрика $T_{ox} = 700 \text{ \AA}$, уровень легирования подложки $N_{sub} = 8e14 \text{ см}^{-3}$, затвор – поликремний *p*-типа, плотность медленных поверхностных состояний $2e10 \text{ см}^{-2}$. Чему равно напряжение отсечки МОП транзистора со встроенным *p*-каналом?
9. Толщина подзатворного диэлектрика $T_{ox} = 700 \text{ \AA}$, уровень легирования подложки $N_{sub} = 1e15 \text{ см}^{-3}$, затвор – Al, плотность медленных поверхностных состояний $1e10 \text{ см}^{-2}$. Уровень логического нуля 0,7 В, уровень логической единицы 9 В. Рассчитать длину и ширину каналов МОП транзисторов инвертора с нелинейной нагрузкой.
10. Толщина подзатворного диэлектрика $T_{ox} = 800 \text{ \AA}$, уровень легирования подложки $N_{sub} = 4e14 \text{ см}^{-3}$, затвор – поликремний *n*-типа, плотность медленных поверхностных состо-

яний $2 \times 10 \text{ см}^{-2}$. Уровень логического нуля 0,7 В, уровень логической единицы 9 В. Рассчитать длину и ширину каналов МОП транзисторов инвертора с нелинейной нагрузкой.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Пороговое напряжение $U_0 = 0,8 \text{ В}$, удельная крутизна управляющего транзистора $S^y = 5 \times 10^{-5} \text{ А/В}^2$, удельная крутизна нагрузочного транзистора $S^H = 1 \times 10^{-6} \text{ А/В}^2$, напряжение питания 10 В. Рассчитать передаточную характеристику для п-канального МОП инвертора с нелинейной нагрузкой.

2. Пороговое напряжение $U_0 = 0,8 \text{ В}$, удельная крутизна управляющего транзистора $S^y = 5 \times 10^{-5} \text{ А/В}^2$, удельная крутизна нагрузочного транзистора $S^H = 1 \times 10^{-6} \text{ А/В}^2$, напряжение питания 10 В. Рассчитать передаточную характеристику для п-канального МОП инвертора с квазилинейной нагрузкой.

3. Пороговое напряжение $U_0 = 0,8 \text{ В}$, удельная крутизна управляющего транзистора $S^y = 5 \times 10^{-5} \text{ А/В}^2$, удельная крутизна нагрузочного транзистора $S^H = 1 \times 10^{-6} \text{ А/В}^2$, напряжение питания 5 В. Рассчитать передаточную характеристику для п-канального МОП инвертора с токостабилизирующей нагрузкой.

4. Пороговое напряжение $U_0 = 0,8 \text{ В}$, удельная крутизна управляющего транзистора $S^y = 5 \times 10^{-5} \text{ А/В}^2$, удельная крутизна нагрузочного транзистора $S^H = 1 \times 10^{-6} \text{ А/В}^2$, напряжение питания 5 В. Рассчитать передаточную характеристику для КМОП инвертора.

5. Пороговое напряжение $U_0 = 0,8 \text{ В}$, удельная крутизна управляющего транзистора $S^y = 5 \times 10^{-5} \text{ А/В}^2$, удельная крутизна нагрузочного транзистора $S^H = 1 \times 10^{-6} \text{ А/В}^2$, напряжение питания 10 В. Рассчитать зависимость потребляемой мощности от входного напряжения для п-канального МОП инвертора с нелинейной нагрузкой.

6. Пороговое напряжение $U_0 = 0,8 \text{ В}$, удельная крутизна управляющего транзистора $S^y = 5 \times 10^{-5} \text{ А/В}^2$, удельная крутизна нагрузочного транзистора $S^H = 1 \times 10^{-6} \text{ А/В}^2$, напряжение питания 10 В. Рассчитать зависимость потребляемой мощности от входного напряжения для п-канального МОП инвертора с квазилинейной нагрузкой.

7. Пороговое напряжение $U_0 = 0,8 \text{ В}$, удельная крутизна управляющего транзистора $S^y = 5 \times 10^{-5} \text{ А/В}^2$, удельная крутизна нагрузочного транзистора $S^H = 1 \times 10^{-6} \text{ А/В}^2$, напряжение питания 5 В. Рассчитать зависимость потребляемой мощности от входного напряжения для п-канального МОП инвертора с токостабилизирующей нагрузкой.

8. Пороговое напряжение $U_0 = 0,8 \text{ В}$, удельная крутизна управляющего транзистора $S^y = 5 \times 10^{-5} \text{ А/В}^2$, удельная крутизна нагрузочного транзистора $S^H = 1 \times 10^{-6} \text{ А/В}^2$, напряжение питания 5 В. Рассчитать зависимость потребляемой мощности от входного напряжения для КМОП инвертора.

9. Пороговое напряжение $U_0 = 0,8 \text{ В}$, удельная крутизна управляющего транзистора $S^y = 5 \times 10^{-5} \text{ А/В}^2$, удельная крутизна нагрузочного транзистора $S^H = 1 \times 10^{-6} \text{ А/В}^2$, напряжение питания 5 В. Рассчитать логические уровни нуля и единицы по входу и выходу для КМОП инвертора.

10. Пороговое напряжение $U_0 = 0,8 \text{ В}$, удельная крутизна управляющего транзистора $S^y = 5 \times 10^{-5} \text{ А/В}^2$, удельная крутизна нагрузочного транзистора $S^H = 1 \times 10^{-6} \text{ А/В}^2$, напряжение питания 10 В. Рассчитать потребляемую мощность для п-канального МОП инвертора с нелинейной нагрузкой при значениях $U_{вх} = 1,5; 5; 7 \text{ В}$.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Классификация интегральных микросхем по функциональным, структурным и конструктивно-технологическим признакам.
2. Основные понятия процесса проектирования.
3. Методы и типовые задачи проектирования ИС.
4. МОП транзисторы. Основы теории и модели
5. Расчет крутой и пологой частей статических вольтамперных характеристик МОП-транзистора с индуцированным каналом.
6. Факторы, влияющие на пороговое напряжение и крутизну МОП-транзистора.
7. P-Spice модели МОП транзистора
8. Анализ и расчет базовых вариантов инвертора на n-канальных МОП транзисторах и расчет КМОП инвертора
9. Расчет передаточной характеристики КМОП инвертора.
10. Проектирование инвертора на n-канальных МОП транзисторах.
11. Расчет мощности базовых вариантов инвертора.
12. Методы анализа статического режима ИС. Метод простой итерации
13. Методы анализа статического режима ИС. Метод Зейделя
14. Методы анализа статического режима ИС. Метод Ньютона-Рафсона
15. Методы анализа статического режима ИС. Метод продолжения и дифференцирования по параметру.
16. Методы анализа временных характеристик ИС
17. Постановка задачи анализа переходных процессов в ИС.
18. Классификация численных методов решения задачи.
19. Понятие жесткости и устойчивости.
20. Дискретные модели реактивных элементов ИС.
21. Методы и задачи логического моделирования
22. Иерархия моделей сигналов и элементов логического проектирования ИС.
23. Методы синхронного моделирования.
24. Асинхронное и синхронное моделирование
25. Понятие статического и динамического «риска сбоя».
26. Выявление «риска сбоя» методами логического моделирования.
27. Событийный алгоритм асинхронного моделирования.
28. Стандартные задачи и методы проектирования топологии ИС
29. Проектирование топологии ИС: постановка задачи, основные понятия, критерии оптимальности.
30. Проектирование топологии ИС: конструкторско-технологические ограничения.
31. Основные правила проектирования топологии, правила Мида-Конвея.
32. Проектирование логических вентилях по КМОП технологии.
33. Параллельное и последовательное соединение транзисторов.
34. Назначение топологических слоев.
35. Экстракция параметров из топологии.

36. Восстановление принципиальной электрической схемы из топологического рисунка.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 3 до 5 баллов.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 8 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 9 до 10 баллов.

При получении оценок «Отлично», «Хорошо» и «Удовлетворительно» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Введение	ОПК-2, ОПК-3	Проверка конспекта
2	Проектирование МОП транзисторов и МОП структур ИМС	ОПК-2, ОПК-3	Тест, защита лабораторных работ, проверка конспекта
3	Схемотехническое моделирование и проектирование	ОПК-2, ОПК-3	Тест, защита лабораторных работ, проверка конспекта
4	Проектирование топологии	ОПК-2, ОПК-3	Защита лабораторных работ, проверка конспекта

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется провер-

ка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсового проекта осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. **Попов В.Д.** Физические основы проектирования кремниевых цифровых интегральных микросхем в монолитном и гибридном исполнении: учеб. пособие / В.Д. Попов, Г.Ф. Белова. – СПб.; М.; Краснодар :Лань, 2013. – 207 с. – ISBN 978-5-8114-1375-1

2. **Попов В.Д.** Физические основы проектирования кремниевых цифровых интегральных микросхем в монолитном и гибридном исполнении [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Д. Попов, Г.Ф. Белова. – СПб. Лань, 2021. – 208 с. – Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. – ISBN 978-5-8114-1375-1. URL: <https://e.lanbook.com/book/168518>

3. **Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне** / Б.П. Вонг, А. Митаал, Ю. Цао, Г. Старр. пер. с англ. К.В.Юдинцева, под ред. Н.А. Шелепина. – М.: Техносфера, 2014. – 432 с. – ISBN 978-5-94836-377-6

4. **Коледов Л.А.** Технологии и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: учеб. пособие / Л.А. Коледов. – 3-е изд., стереотип. – СПб.; М.; Краснодар : Лань, 2009. – 400 с. – ISBN 978-5-8114-0766-8

5. **Коледов Л.А.** Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л.А. Коледов. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2021. – 400 с. – ISBN 978-5-8114-0766-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/167750>

6. **Бордаков Е.В.** Основы проектирования топологии ИС: учеб. пособие / Е.В. Бордаков, В.И. Пантелеев. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 198 с.

7. **Строгонов А.В.** Основы проектирования интегральных схем: учеб. пособие. Ч. 1 / А.В. Строгонов, А.В. Арсентьев, Д.В. Русских. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. – 193 с.

8. **Строгонов А.В.** Основы проектирования интегральных схем: учеб. пособие. Ч. 2 / А.В. Строгонов, А.В. Арсентьев, Д.В. Русских, Н.Н. Кошелева. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. – 218 с.

Дополнительная литература

9. **Строгонов А.В.** Расчет и проектирование элементов интегральных схем: учеб. пособие / А.В. Строгонов, С.А. Мещерякова, А.В. Арсентьев. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006. – 206 с.

10. **Бордаков Е.В.** Проектирование топологии и технологии интегральных микросхем: учеб. пособие. Ч. 1. / Е.В. Бордаков, В.И. Пантелеев. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2005. – 243 с.

11. **Бордаков Е.В.** Проектирование топологии и технологии интегральных микросхем: учеб. пособие. Ч. 2. / Е.В. Бордаков, В.И. Пантелеев. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2005. - 237 с.

12. **Бордаков Е.В.** Проектирование и конструирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: учеб. пособие / Е.В. Бордаков, В.И. Пантелеев. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2004. – 226 с.

13. **Гридчин А.В.** Проектирование электронной компонентной базы в ANSYS Workbench [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.В. Гридчин, В.А. Колчужин, В.А. Гридчин. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2016. - 83 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025. - ISBN 978-5-7782-3138-2. URL: <http://www.iprbookshop.ru/91692.html>

14. **Проектирование и технология электронной компонентной базы: полупроводниковые приемники излучений** [Электронный ресурс]: курс лекций / С.А. Леготин, А.А. Краснов, Д.С. Ельников и др. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2018. - 188 с. - Весь срок охраны авторского права. - ISBN 978-5-906953-50-6. URL: <http://www.iprbookshop.ru/98121.html>

15. **Пирогов А.А.** Проектирование интегральных схем и их функциональных узлов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.А. Пирогов. - Электрон. текстовые, граф. дан. (1.38 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014.

16. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1 - 4 по дисциплине «Основы проектирования электронной компонентной базы» для студентов направления 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») очной формы обучения** [Электронный ресурс] / Каф. полупроводниковой электроники и нанoeлектроники; Сост.: А.В. Арсентьев, Е.Ю. Плотникова, А.А. Винокуров. - Электрон. текстовые, граф. дан. (1,3 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2016. (№ 89-2016)

17. ГОСТ 2.105-2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 35 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;
- САПР LTSpice;
- САПР KLayout;
- САПР Symica

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»:
<http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;

- ЭБС Издательства «ЛАНЬ» в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru/>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория 311/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 36 человек.
 проектор BenQ MP515 DLP;
 экран ScreenMedia настенный.
 огнетушитель.

2. Дисплейный класс для проведения лабораторных занятий и самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179), оснащенный необходимым оборудованием:

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.
 компьютер-сборка каф.9;
 компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);
 компьютер-сборка каф.7;
 компьютер-сборка каф.3;
 компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);
 компьютер-сборка каф.5;
 компьютер-сборка каф.4;
 компьютер-сборка каф.8;
 компьютер-сборка каф.2;
 компьютер-сборка каф.6;
 компьютер-сборка каф.10;
 комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;
 компьютер-сборка каф.1;
 экран Projecta ProScreen настенный рулонный;
 проектор BenQ MP515 DLP;
 огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Основы проектирования электронной компонентной базы» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия, выполняется курсовой проект.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на персональных компьютерах в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проектирования студенты должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины осуществляется тестированием и защитой курсового проекта. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции, при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Курсовой проект	При выполнении курсового проекта студенты должны научиться правильно и творчески использовать знания, полученные ими на лек-

	циях и лабораторных занятиях. Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта: - осуществить поиск необходимой информации по теме проекта; - систематизировать найденную информацию; - осуществить обзор литературных источников по заданной теме; - выработать умения решать прикладные задачи Курсовой проект включает в себя теоретическую и расчетную части.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			
4			