

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета В.А. Небольсин
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)
«Основы разработки специализированных СБИС»

Специальность 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы
Направленность Радиоэлектронные системы передачи информации
Квалификация выпускника Инженер
Нормативный период обучения 5,5 лет
Форма обучения Очная
Год начала подготовки 2019 г.

Автор программы И. Сафонов /Сафонов И.А./

Заведующий кафедрой
радиоэлектронных устройств
и систем Д.В. Журавлёв /Журавлёв Д.В./

Руководитель ОПОП Д.В. Журавлёв /Журавлёв Д.В./

Воронеж 2021

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Цель изучения дисциплины: теоретическая и практическая подготовка специалистов в области проектирования компонентов специализированных СБИС с нанометровыми топологическими нормами в среде Cadence IC, изучение основ проектирования СБИС, принципов построения их архитектурные, схемотехнические и топологические особенности.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Формирование у студентов способности к разработке структурных, функциональных и принципиальных схемы СБИС, изучение ими особенностей, принципов построения и применение СБИС, методов проектирования на современной цифровой элементной базе с использованием современных пакетов прикладных программ.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Основы разработки специализированных СБИС» относится к дисциплинам из факультативной части блока ФТД учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Основы разработки специализированных СБИС» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-8 - способен использовать современные программные и инструментальные средства компьютерного моделирования для решения различных исследовательских и профессиональных задач;

ПК-1 - способен к обработке результатов измерений с использованием средств вычислительной техники, основ математического обеспечения и программирования.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-8	Знать: принципы и методы решения прикладных и исследовательских задач в области проектирования специализированных СБИС.
	Уметь: разрабатывать структурные, функциональные, принципиальные схемы СБИС, с применением современных программных и инструментальных средства компьютерного моделирования
	Владеть: навыками работы в современных программных и инструментальных средствах компьютерного моделирования СБИС.
ПК-1	Знать: принципы и методы обработки результатов измерений характеристик и параметров блоков СБИС с использованием средств вычислительной техники; основы математического обеспечения и программирования
	Уметь: обрабатывать результаты измерений характеристик и параметров блоков СБИС с использованием средств вычислительной техники.
	Владеть: средствами обработки результатов измерений характеристик и параметров блоков СБИС

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоёмкость дисциплины «Основы разработки специализированных СБИС» составляет 2 зачётных единиц.

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		8			
Аудиторные занятия (всего)	45	45			
В том числе:					
Лекции	9	9			
Практические занятия (ПЗ)					
Лабораторные работы (ЛР)	36	36			
Самостоятельная работа	27	27			
Курсовой проект					
Контрольная работа					
Вид промежуточной аттестации – зачет	+	+			
Общая трудоёмкость	час	72	72		
	зач. ед.	2	2		

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоёмкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СР С	Всего, час
1.	Введение в Cadence IC.	Общие сведения о Cadence IC. Платформа Cadence Virtuoso. Маршрут проектирования СБИС.	1		4	3	8
2.	Редактор электрических схем	Библиотеки элементов. Технологический файл. Создание библиотеки проекта. Создание электрической схемы. Создание символа элемента. Основные органы управления Virtuoso Schematic Editor. Параметры приборов, их редактирование.	2		8	4	14
3.	Схемотехническое моделирование	Системы моделирования Spectre и Ultrasim. Работа в Analog Design Environment. Математические модели приборов и их секции. Типы анализа (временной, АС, DC и пр.) Параметрический анализ. Инструменты обработки результатов моделирования (AWD, WaveScan).	2		8	4	14
4.	Топологическое проектирование	Нормы проектирования. Введение понятия «топология». Основные органы управления топологическим редактором Virtuoso Layout/Layout XL Editor. Инструмент для работы с технологическими слоями (LSW). Параметры приборов, их редактирование. Обзор инструментов создания топологии.	2		8	8	18
5.	Физическая верификация проекта. Подготовка к производству.	Физическая верификация, ее структура, цели и задачи. Проверка соблюдения топологических норм проектирования (DRC). Управляющий файл проверки норм проектирования. Экстракция электрической схемы и устройств из топологии (EXT). Правила формирования приборов и определения их размеров и электрических номиналов. Верификация экстрактированной из топологии схемы с электрической принципиальной схемой (LVS). Моделирование электрической схемы с учетом паразитных параметров. Подготовка к производству. Правила передачи топологии. Понятие GDSII файла.	2		8	8	18
Итого			9	-	36	27	72

5.2 Перечень лабораторных работ

№ п/п	Наименование лабораторной работы	Объем часов
1.	Среда проектирования интегральных схем Cadence IC.	4
2.	Схемотехническое моделирование в симуляторе Spectre.	4
3.	Расчет МОП транзистора в Cadence IC..	4
4.	Расчет токового зеркала в Cadence IC.	4
5.	Расчет операционного усилителя в Cadence IC.	4
6.	Топологическое проектирование СБИС в Cadence IC.	4
7.	Проектирование топологии МОП транзистора в Cadence IC..	4
8.	Топологическое проектирование согласованных структур в Cadence IC.	4
9.	Топологическое проектирование операционного усилителя в Cadence IC.	4
Итого часов		36

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины выполнение курсовых проектов (работ) не предусмотрено.

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-8	Знать: принципы и методы решения прикладных и исследовательских задач в области проектирования специализированных СБИС	Активная работа на лабораторных занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: разрабатывать структурные, функциональные, принципиальные схемы СБИС, с применением современных программных и инструментальных средства компьютерного моделирования	Выполнение лабораторных работ, использование современных САПР и ППП	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть: навыками работы в современных программных и инструментальных средствах компьютерного моделирования СБИС.	Выполнение лабораторных работ, использование современных САПР и ППП	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-1	Знать: принципы и методы обработки результатов измерений характеристик и параметров блоков СБИС с использованием средств вычислительной техники; основы математического обеспечения и программирования	Активная работа на лабораторных занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: обрабатывать результаты измерений характеристик и параметров блоков СБИС с использованием средств вычислительной техники.	Выполнение лабораторных работ, использование современных САПР и ППП	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть: средствами обработки результатов измерений характеристик и параметров блоков СБИС	Выполнение лабораторных работ, использование современных САПР и ППП	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 «А» семестре по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ОПК-8	Знать: принципы и методы решения прикладных и исследовательских задач в области проектирования специализированных СБИС	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь: разрабатывать структурные, функциональные, принципиальные схемы СБИС, с применением современных программных и инструментальных средства компьютерного моделирования	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть: навыками работы в современных программных и инструментальных средствах компьютерного моделирования СБИС.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
ПК-1	Знать: принципы и методы обработки результатов измерений характеристик и параметров блоков СБИС с использованием средств вычислительной техники; основы математического обеспечения и программирования	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь: обрабатывать результаты измерений характеристик и параметров блоков СБИС с использованием средств вычислительной техники.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть: средствами обработки результатов измерений характеристик и параметров блоков СБИС.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

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

Устный опрос (тестирование) по теме:

1. Введение в Cadence IC. Общие сведения о Cadence IC. Платформа Cadence Virtuoso. Маршрут проектирования СБИС.
2. Редактор электрических схем. Библиотеки элементов. Технологический файл. Создание библиотеки проекта. Создание электрической схемы. Создание символа элемента. Основные органы управления Virtuoso Schematic Editor. Параметры приборов, их редактирование.
3. Схемотехническое моделирование. Системы моделирования Spectre и Ultrasim. Работа в Analog Design Environment. Математические модели приборов и их секции. Типы анализа (временной, АС, DC и пр.) Параметрический анализ. Инструменты обработки результатов моделирования (AWD, WaveScan).
4. Топологическое проектирование. Нормы проектирования. Введение понятия «топология». Основные органы управления топологического редактора Virtuoso Layout/Layout XL Editor. Инструмент для работы с технологическими слоями (LSW). Параметры приборов, их редактирование. Обзор инструментов создания топологии.
5. Физическая верификация проекта. Подготовка к производству. Физическая верификация, ее структура, цели и задачи. Проверка соблюдения топологических норм проектирования (DRC). Управляющий файл проверки норм проектирования.
6. Экстракция электрической схемы и устройств из топологии (EXT). Правила формирования приборов и определения их размеров и электрических номиналов. Верификация экстрактированной из топологии схемы с электрической принципиальной схемой (LVS).
7. Моделирование электрической схемы с учетом паразитных параметров.
8. Подготовка к производству. Правила передачи топологии. Понятие GDSII файла.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения задач

Задача 1.

Рассчитать напряжение на выходе усилителя-сумматора, п, полагая, что ОУ идеален. Значения элементов схемы следующие: $R_1, R_2, R_5 = 5 \text{ кОм}$, $R_3, R_4 = 10 \text{ кОм}$, а $U_{r1} = 1 \text{ В}$, $U_{r2} = -2 \text{ В}$, $U_{r3} = -3 \text{ В}$.

Задача 2.

Рассчитать ток в сопротивлении R_2 в схеме преобразователя напряжения в ток. Определить условия, при которых ток не зависит от величины сопротивления R_2 . При расчёте учесть, что $R_1 = 1 \text{ кОм}$, $R_2 = 2 \text{ кОм}$, $U_r = 1 \text{ В}$.

Задача 3.

Рассчитать коэффициент передачи инвертирующего усилителя, полагая, что ОУ идеален.

Задача 4.

Рассчитать максимальное напряжение на выходе инвертирующего усилителя, выполненного на ОУ при $U_r = 0$, если известно, что $U_{cm} = 5$ мВ, $I_{вх1} = I_{вх2} = 0,1$ мкА. Найти максимальную относительную погрешность при $U_r = 1$ В.

Задача 5.

Определить относительную погрешность коэффициента усиления инвертирующего усилителя на ОУ, обусловленную влиянием входного сопротивления ОУ, при условии $K = 10^5$, $R_{вх} = 1$ МОм, $R_2 = 1$ МОм, $R_1 = 1$ кОм,

Задача 6.

Рассчитать максимальную погрешность, возникающую из-за изменения коэффициента усиления неинвертирующего усилителя на ОУ. При этом учесть, что $K = 10^5$ ($t = 20^\circ\text{C}$) и в диапазоне температур от -60° до $+60^\circ\text{C}$ он изменяется на $\pm 40\%$, т.е. $\delta_K = \pm 40\%$.

Задача 7.

Рассчитать верхнюю граничную частоту и погрешность усиления на частоте 20 кГц, обусловленную частотной зависимостью коэффициента усиления, неинвертирующего усилителя на ОУ с внутренней цепью коррекции, учитывая, что $K=10^5$, а частота единичного усиления $f_1 = 1$ МГц.

Задача 8.

Определить максимальную разность входных напряжений ΔU , при которой простейший компаратор на ОУ всегда переходит из одного состояния к другому. Определить время перехода из одного состояния в другое Δt , если выполняется условие $|U_1 - U_2| \gg \Delta U$.

7.2.3 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Введение в Cadence IC. Общие сведения о Cadence IC. Платформа Cadence Virtuoso.

2. Маршрут проектирования СБИС.

3. Редактор электрических схем. Библиотеки элементов. Технологический файл. Создание библиотеки проекта. Создание электрической схемы. Создание символа элемента. Параметры приборов, их редактирование.

4. Схемотехническое моделирование. Системы моделирования Spectre и Ultrasim. Работа в Analog Design Environment.

5. Математические модели приборов и их секции. Типы анализа (временной, АС, DC и пр.) Параметрический анализ.

6. Инструменты обработки результатов моделирования (AWD, WaveScan).

7. Топологическое проектирование. Нормы проектирования. Введение понятия «топология».

8. Инструмент для работы с технологическими слоями (LSW). Параметры приборов, их редактирование. Обзор инструментов создания топологии.

9. Физическая верификация проекта. Подготовка к производству. Физическая верификация, ее структура, цели и задачи. Проверка соблюдения топологических норм проектирования (DRC). Управляющий файл проверки норм проектирования.

10. Экстракция электрической схемы и устройств из топологии (EXT). Правила формирования приборов и определения их размеров и электрических номиналов. Верификация экстрактированной из топологии схемы с электрической принципиальной схемой (LVS).

11. Моделирование электрической схемы с учетом паразитных параметров.

12. Подготовка к производству. Правила передачи топологии. Понятие GDSII файла.

7.2.4 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит два вопроса, одну задачу. Каждый правильный ответ на вопрос и решение задачи оценивается 10 баллам. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 16 баллов.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 16 до 20 баллов.
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.
4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1.	Введение в Cadence IC.	ПК-1	Тест, устный опрос
2.	Редактор электрических схем	ПК-1	Тест, устный опрос
3.	Схемотехническое моделирование	ОПК-8	Тест, устный опрос
4.	Топологическое проектирование	ОПК-8	Тест, устный опрос
5.	Физическая верификация проекта. Подготовка к производству.	ОПК-8	Тест, устный опрос

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 экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Балашов Ю.С., Шеховцов Д.А. Физическая и функциональная верификация топологии аналоговых устройств сверхбольших интегральных схем [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (2,58 Mb). - Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2011.
2. Балашов Ю.С., Мушта А.И. Схемотехническое проектирование аналоговых устройств сверхбольших интегральных схем [Электронный ресурс] : Учеб. пособие.- Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГТУ» - 2011.
3. Балашов Ю.С., Сафонов И.А. Методология проектирования устройств сверхбольших интегральных схем [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (841 Кб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2011.
4. Балашов Ю.С. Русанов А.В. Проектирование топологии аналоговых устройств сверхбольших интегральных схем [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (2,24 Мб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2011.
5. Балашов Ю.С. Сафонов И.А. Системное проектирование 3D изделий [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (1,27 Мб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2013.
6. Балашов Ю.С. Сафонов И.А.; Шеховцов Д.В. Проектирование систем в корпусе [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (7,45 Мб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2013.
7. Русанов А.В. Балашов Ю.С. Проектирование аналоговых блоков интегральных схем с низким напряжением питания : Монография. - Воронеж : ФГБОУ ВО «ВГТУ», 2016. - 94 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

Пакет офисных приложений и браузер сети «Интернет» согласно «Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных» (<https://reestr.minsvyaz.ru/reestr/>).

Электронная информационно-образовательная среда ВГТУ по дисциплине «Основы разработки специализированных СБИС» (<http://eios.vorstu.ru/enrol/index.php?id=10729>).

САПР Cadence Design Systems, лицензия ФГБОУ ВО ВГТУ.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оснащённая плакатами и пособиями по профилю.

Для проведения практических и лабораторных занятий аудитория, оснащённая ПЭВМ с доступом к сети «Интернет» и серверу с САПР Cadence Design Systems.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Основы разработки специализированных СБИС» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия.

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

Лабораторные занятия направлены на приобретение практических навыков проектирования СБИС. Занятия проводятся путём решения конкретных проектных задач в аудитории, изучении и выполнении лабораторных работ путём имитационного моделирования.

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

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой практических и лабораторных работ, проведении теста (устного опроса). Освоение дисциплины оценивается на зачёте.

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 удаётся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции.
Лабораторные занятия	Выполнение работ на имитационных моделях. Анализ полученных результатов, их теоретическое обоснование. Подготовка отчёта.
Подготовка к зачёту	При подготовке к зачёту необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и практические знания полученные на лабораторных занятиях.