

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

5 июня 2024 г.

Регистрационный №УД- 13605/уч.



САПР АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальности:

1 - 31 03 01 Математика (по направлениям)

Направление специальности:

1 - 31 03 01 – 04 Математика (научно-конструкторская деятельность)

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 01-2021 и учебного плана № G31-1-018/уч. от 25.05.2021.

СОСТАВИТЕЛЬ:

С.Е. Бухтояров, доцент кафедры математической кибернетики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

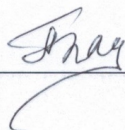
М.И. Вашкевич, профессор кафедры электронных вычислительных средств Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, доктор технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой математической кибернетики БГУ
(протокол № 11 от 31.05.2024);

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 28.06.2024)

Заведующий кафедрой
математической кибернетики



А.Л. Гладков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Основными проблемами проектирования современных систем-на-кристалле, содержащих миллионы полупроводниковых структур, является обеспечение бездефектности и сокращение времени проектирования. Учитывая крайне высокую сложность таких систем, решение данных проблем возможно лишь при использовании различных алгоритмов оптимизации и средств автоматизации в рамках специализированных систем компьютерного проектирования, опирающихся на мощную вычислительную базу для моделирования и верификации.

В рамках дисциплины проводится знакомство с многоуровневостью и многоэтапностью маршрута проектирования интегральных схем на примере САПР Cadence.

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью дисциплины «САПР аппаратно-программных систем» является получение студентами комплекса знаний в области схемотехнического и топологического проектирования аналоговых, цифровых и аналого-цифровых интегральных схем с использованием программного комплекса компании Cadence.

Основными задачами, решаемыми в рамках изучения дисциплины «САПР аппаратно-программных систем», являются

- приобретение знаний в области проектирования аналого-цифровых интегральных схем;
- формирование практических навыков схемотехнического и топологического проектирования интегральных схем с использованием программного комплекса компании Cadence;
- овладение методами аналогового, цифрового и смешанного моделирования элементов интегральных схем;
- приобретение навыков разработки топологии элементов интегральных схем и контроля технологических ограничений и верификации.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится модулю «Аппаратно-программные системы» компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами. Изложение дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин как «Схемотехника», «Теория электрических цепей и сигналов» и «Основы математической электроники».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «САПР аппаратно-программных систем» должно обеспечить формирование следующих специализированных компетенций:

- Использовать специализированные средства проектирования для описания на языках высокого уровня, верификации и разработки управляющих программ аппаратно-программных систем;

– Разрабатывать аппаратно-программные системы для анализа и обработки цифровых и аналоговых сигналов.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- технологические маршруты изготовления интегральных схем;
- состав дизайн китов для поддержки маршрута проектирования интегральных схем;
- виды анализов и инструментарий для построения статических и динамических параметров схем;

уметь:

- рассчитывать статические и динамические параметры схем;
- проводить моделирование для построения необходимых параметров схем;
- разрабатывать топология схем с учетом технологических и конструкторских ограничений;

владеть:

- навыками работы в САПР Cadence;
- приемами построения сложных графиков при моделировании схем.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 7 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «САПР аппаратно-программных систем» отведено для очной формы получения высшего образования – 198 часов, из них 72 аудиторных часа, в том числе: лекции – 36 часов, лабораторные занятия – 36 часов.

лекции – 36 часов, лабораторные занятия – 28 часов, управляемая самостоятельная работа – 8 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Схемотехническое моделирование в САПР

Тема 1.1. Общий подход к схемотехническому моделированию.

Проверка адекватности и точности применяемых моделей. Учет влияния «паразитных» RCL-элементов полупроводниковой подложки, изолирующих карманов, межсоединений, источников входных сигналов, регистрирующих приборов. Допустимое изменение параметров активных и пассивных интегральных элементов.

Тема 1.2. Графический редактор схем.

Порядок подготовки к моделированию. Выбор необходимых библиотек, независимых и зависимых источников напряжения (тока), интегральных элементов. Создание графического изображения схемы. Устранение ошибок в описании схемы. Подключение необходимого вида анализа. Особенности обработки результатов с помощью графического постпроцессора.

Тема 1.3. Моделирование МОП транзисторов.

Схемы включения МОП-транзисторов для моделирования ВАХ. Сравнение ВАХ и основных параметров (крутизны, выходного малосигнального сопротивления, граничной частоты) МОП- транзисторов с разным типом проводимости канала и изучение влияния на них длины затвора, напряжения на подложке, рабочей точки. Определение режима работы для подпороговой области МОП-транзистора. Моделирование максимально возможного коэффициента усиления напряжения МОП-каскада.

Тема 1.4. Моделирование цифровых компонентов.

Типовые схемы включения цифровых компонентов ИМС при моделировании. Проверка функционирования цифровых компонентов. Определение входного тока высокого и низкого уровня, выходного напряжения высокого и низкого уровня, порога переключения, времени установления, задержки распространения, времени нарастания, максимальной рабочей частоты. Моделирование в диапазоне температур.

Тема 1.5. Моделирование аналоговых компонентов по постоянному току.

Типовые схемы включения аналоговых компонентов. Дифференциальная пара, токовое зеркало, операционный усилитель. Определение входных, выходных и передаточных параметров. Зависимость параметров дифференциальных компонентов от синфазного напряжения.

Тема 1.6. Моделирование аналоговых компонентов в частотной и временной области.

Схемы включения аналоговых компонентов при моделировании в частотной и временной области. Моделирование амплитудно- и фазо- частотных характеристик, переходных процессов. Определение частоты единичного усиления, запаса фазы, скорости нарастания выходного напряжения.

Тема 1.7. Моделирование шумовых параметров схем.

Шумовые параметры в моделях пассивных и активных компонентов. Моделирование шумов.

Раздел 2. Топологическое проектирование в САПР.

Тема 2.1. Введение в топологическое проектирование.

Топология схемы, набор топологических слоев, топологические параметры и проектные нормы, процесс проектирования топологии, этапы верификации топологии.

Тема 2.2. Обзор САПР Cadence.

Маршрут проектирования топологии в САПР Cadence. Библиотеки для проектирования, дизайн-киты Характеристики САПР топологии, маршруты проектирования в САПР различных фирм, сравнение САПР, программный комплекс компании Cadence, библиотеки, дизайн-киты (наборы для проектирования), описание библиотек и настроек проекта, форматы хранения топологии.

Тема 2.3. Основные этапы создания топологии в САПР Cadence.

Модули автоматизированного топологического проектирования Cadence Virtuoso, Encounter. Пакет Virtuoso Layout Editor, Virtuoso XL, настройка топологического редактора, операции с фигурами и объектами, топологический синтез цифровых микросхем, платформа Encounter, планировка проекта, размещение и оптимизация компонентов, синтез цепи синхросигналов, трассировка шин и минимизация перекрестных помех.

Тема 2.4. Комплекс программ верификации топологии САПР Cadence.

Средства верификации DRC, LVS, экстракция паразитных элементов. Верификация топологии, DRC-контроль, отображение и поиск ошибок, экстракция элементов и межсоединений из топологии, проверка топологии на соответствие электрической схеме (LVS).

Тема 2.5. Дизайн-кит для КМОП-технологии Cadence GPDК 0.18 мкм.

Конструкторско-технологические требования для проектирования топологии. Дизайн-кит для КМОП-технологии Cadence GPDК 0.18 мкм. Правила проверки и верификации топологии, справочные технологические параметры, состав дизайн-кита, параметризованные элементы (Pcell), обратные вызовы (Callback), формат описания компонентов (CDF), базы данных.

Тема 2.6. Топология для согласования параметров компонентов.

Причины разброса параметров топологических элементов и способы их устранения. Правила построения элементов с согласованными параметрами. Уменьшение влияния механического напряжения и его градиента. Уменьшение влияния температурного градиента. Уменьшение влияния соседних структур на согласование параметров элементов.

Тема 2.7. Проектирование топологии аналогово-цифровых схем.

Проектирование шин питания, уменьшение высокочастотных составляющих помех в напряжении питания, размещение блоков на кристалле, охранные кольца.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Схемотехническое моделирование в САПР	18			14		4	
1.1	Общий подход к схемотехническому моделированию	2			2			Устный опрос
1.2	Графический редактор схем	2			2			Устный опрос
1.3	Моделирование МОП транзисторов	4			2			Контрольная работа № 1 по теме 1.3
1.4	Моделирование цифровых компонентов	2			2			Защита лабораторной работы
1.5	Моделирование аналоговых компонентов по постоянному току	4			2			Защита лабораторной работы
1.6	Моделирование аналоговых компонентов в частотной и временной области	2			2		4	Контрольная работа № 2 по теме 1.6
1.7	Моделирование шумовых параметров схем	2			2			Защита лабораторной работы Коллоквиум по разделу 1
2	Топологическое проектирование в САПР	18			14		4	

2.1	Введение в топологическое проектирование	2			2			Устный опрос
2.2	Обзор САПР Cadence	2			2			Устный опрос
2.3	Основные этапы создания топологии в САПР Cadence	4			2			Защита лабораторной работы
2.4	Комплекс программ верификации топологии САПР Cadence	2			2			Защита лабораторной работы
2.5	Дизайн-кит для КМОП-технологии Cadence GPDК 0.18 мкм	2			2		4	Контрольная работа № 3 по теме 2.5.
2.6	Топология для согласования параметров компонентов	4			2			Устный опрос
2.7	Проектирование топологии аналогово-цифровых схем	2			2			Защита лабораторной работы
	ИТОГО	36			28		8	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Бакалов, В. П. Теория электрических цепей : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. П. Бакалов, Б. И. Крук ; под ред. В. П. Бакалова. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2023. - 537 с.
2. Новиков, Ю. Н. Электрические цепи и сигналы. Базовые сведения, методы анализа процессов в цепях : учебник [для вузов] / Ю. Н. Новиков. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2023. - 353 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/271307>.

Дополнительная литература

3. Ушаков Д. М. Введение в математические основы САПР : курс лекций. - 2-е изд., эл. / Д.М. Ушаков. - Москва : ДМК Пресс, 2023. - 209 с. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/392290/reading>.
4. Потапов В. И. Вычислительная техника в системах автоматического управления и САПР : учеб. пособие / В.И. Потапов, А.Г. Янишевская, А.В. Блохин. - Омск : ОмГТУ, 2020. - 192 с. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/381415/reading>.
5. Проектирование электронных устройств на основе современных САПР : учебное пособие / А. А. Соловьев, М. И. Малето, Е. Ф. Певцов, В. А. Рогачев. - Москва : РТУ МИРЭА, 2024. - 147 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/420989>.
6. Юдин, К. А. Математическое моделирование и САПР: курс лекций : учебное пособие / К. А. Юдин. — Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. - 116 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/162041>.
7. Малюх В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций / В.Н. Малюх. - Москва : ДМК Пресс, 2017. - 192 с. - ISBN 978-5-97060-440-3. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/384324/reading>
8. Гаврилов С. Методы анализа логических корреляций для САПР цифровых КМОП СБИС / С. Гаврилов. - Москва : Техносфера, 2011. - 136 с. - ISBN 978-5-94836-280-9. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/337441/reading>.
9. Компьютерное моделирование печатных плат с использованием современных САПР : учебное пособие / В. Б. Василевский, А. О. Звонов, К. А. Петухов [и др.]. — Омск : ОмГТУ, 2023. — 212 с. — ISBN 978-5-8149-3600-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/421685>.
10. Проектирование топологии интегральных микросхем в программном комплексе Cadence : метод. пособие по дисциплинам «Тополог. проектирование интегр. микросхем» и «Информ. технологии в проектировании интегр. микросхем» для студентов специальности 1-41 01 02 «Микро- и нанoeлектр. технологии и системы» всех форм обучения / А. И. Костров [и др.].

– Минск : БГУИР, 2011. – 60 с. – URL: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/415>.

11. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. Дополнение по архитектуре ARM = Digital Design and Computer Architecture / Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис; [пер. с англ. А. А. Слинкина ; науч. ред. Д. А. Косолобов]. - Москва: ДМК Пресс, 2019. - 355 с.

12. Основы проектирования субмикронных микросхем / А. И. Белоус, Г. Я. Красников, В. А. Солодуха. - Москва : Техносфера, 2020. - 780 с.

13. Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых электронных устройств / Г. И. Волович. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : ДМК Пресс, 2018. - 624 с.

14. Цифровые интегральные схемы : методология проектирования / Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боривож Николич ; [пер. с англ. и ред. А. В. Назаренко]. - 2-е изд. - Москва ; Санкт-Петербург ; Киев : Вильямс, 2007. - 912 с.

15. Аналоговая и цифровая электроника. Полный курс : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров ; под ред. О. П. Глудкина. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2005. - 768с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

С целью текущего контроля знаний студентов предусматривается проведение устных опросов, коллоквиума, контрольных работ и защит лабораторных работ.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «САПР аппаратно-программных систем» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- защита практических работ – 80 %;
- коллоквиум – 10 %;
- контрольные работы – 10 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) 30 % и экзаменационной отметки 70 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1.6. Моделирование аналоговых компонентов в частотной и временной области (4 ч.)

Задание. Изучите частотные параметры транзисторных и RLC схем.

Форма контроля – контрольная работа.

Тема 2.5. Дизайн-кит для КМОП-технологии Cadence GPDК 0.18 мкм (4 ч.)

Задание. Изучите структуру дизайн-кита GPDК: модели элементов, правила верификации и пр.

Форма контроля – контрольная работа.

Примерная тематика контрольных работ

- Контрольная работа № 1. «Расчет параметров транзисторной схемы»: Вычислите указанные параметры приведенной схемы. Проверьте расчеты на моделировании.
- Контрольная работа № 2 «Частотный анализ схем»: Постройте в САПР указанные частотные характеристики приведенной схемы.
- Контрольная работа № 3 «Верификация топологии»: Разработайте топологию приведенной схемы и проведите ее верификацию в САПР.

Примерная тематика лабораторных работ

1. Построение схемы цифрового логического элемента. Измерение статических и динамических параметров элемента
2. Разработка топологии цифрового логического элемента. Измерение статических и динамических параметров элемента с учетом паразитных компонентов.
3. Моделирование и анализ параметров пассивных RLC цепей
4. Построение и анализ ВАХ МОП транзисторов.
5. Оптимизация режима работы МОП транзистора.
6. Моделирование входных, выходных и передаточных параметров аналоговых компонентов.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *эвристический подход*, который предполагает:

- осуществление студентами лично-значимых открытий окружающего мира;

- демонстрацию многообразия решений большинства профессиональных задач и жизненных проблем;
- творческую самореализацию обучающихся в процессе создания образовательных продуктов;
- индивидуализацию обучения через возможность самостоятельно ставить цели, осуществлять рефлексию собственной образовательной деятельности.

Наиболее эффективной предполагается следующая форма реализации эвристического подхода: решение сложных задач разбиваются на этапы, после чего обучаемые подводятся к самостоятельному определению действий на этапах.

При организации образовательного процесса используется также **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решение практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины следует использовать размещенные на образовательном портале информационные ресурсы и методические указания при выполнении следующих рекомендуемых форм самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной теме дисциплины;
- выполнение домашнего задания;
- проведение научно-исследовательских работ для выполнения практических заданий;
- подготовка к участию в научных и научно-практических конференциях и конкурсах.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Общий маршрут схемотехнического моделирования в САПР
2. Учет технологического разброса параметров в маршруте схемотехнического проектирования.
3. Учет паразитных RCL-элементов в маршруте схемотехнического проектирования

4. Основной маршрут работы в графическом редакторе схем.
5. Основы строения и работы МОП транзисторов
6. Моделирование основных параметров МОП транзистора.
7. Оптимизация режима работы МОП транзистора.
8. Схемотехнические приемы улучшения параметров схем на МОП транзисторах.
9. Измерение параметров цифровых компонентов.
10. Дифференциальная МОП пара: принцип работы, оптимизация параметров.
11. Дифференциальная МОП пара: принцип работы, оптимизация параметров.
12. Токовое зеркало: принцип работы, оптимизация параметров.
13. Операционный усилитель: принцип работы, оптимизация параметров.
14. Моделирование аналоговых компонентов в частотной области
15. Моделирование аналоговых компонентов во временной области
16. Моделирование шумовых параметров схем.
17. Общий маршрут топологического проектирования схем
18. САПР Cadence: маршрут проектирования схем, настройки проекта.
19. Общая структура дизайн кита для схемотехнического и топологического проектирования
20. Структура дизайн кита для КМОП технологии GPDК 0.18 мкм.
21. Комплект средств верификации топологии в САПР Cadence.
22. Проверка топологии на соответствие электрической схеме в САПР Cadence.
23. Проверка топологических правил в САПР Cadence.
24. Топологическое проектирование компонентов с согласованными параметрами.
25. Проектирование топологии аналогово-цифровых схем.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой
доктор физ.-мат. наук, профессор



А.Л. Гладков

31. мая 2024 г.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на ____ / ____ учебный год

№№ ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
 _____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

 (название кафедры)

Заведующий кафедрой

 (ученая степень, ученое звание)

 (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 (ученая степень, ученое звание)

 (И.О.Фамилия)