

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

08 июля 2022 г.

Регистрационный № УД – 11679/уч.

ОСНОВЫ САПР CADENCE

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1 - 31 03 01

Математика (по направлениям)

Направление специальности:

1 - 31 03 01 - 04

**Математика (научно-конструкторская
деятельность)**

2022 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 01-2021, типового учебного плана № G31-1-011/пр-тип. от 31.03.2021 и учебного плана № G31-1-018/уч. от 25.05.2021.

СОСТАВИТЕЛЬ:

С.А. Трофимов, старший преподаватель кафедры математической кибернетики Белорусского государственного университета.

РЕЦЕНЗЕНТ:

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

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой математической кибернетики Белорусского государственного университета
(протокол № 10 от 25.05.2022);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета
(протокол № 6 от 29.06.2022)

Заведующий кафедрой
математической кибернетики _____ А. Л. Гладков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Настоящее время характеризуется все более и более широким использованием различных универсальных и специализированных систем обработки информации в научной и производственной деятельности, в сфере организации досуга и в быту.

В соответствии с этим в мировом сообществе проблемы разработки сложных программно-аппаратных систем обработки данных, а соответственно, и подготовки нового поколения специалистов, способных успешно решать их, отнесены к наиболее актуальным проблемам современности. Принято считать, что специалисты этого профиля в ближайшее время станут наиболее востребованными в современном обществе.

Для Республики Беларусь создание сложных наукоемких аппаратно-программных систем является одним из наиболее перспективных способов увеличения национального валового продукта.

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины «Основы САПР Cadence» является обучение студентов основам работы в современных программных комплексах проектирования “Систем на Кристалле” от компании Cadence.

Развивающей целью учебной дисциплины является формирование у студентов навыков использования САПР Cadence для построения электрических схем; моделирования поведения электрических схем; создание и верификация топологического чертежа.

Воспитательной целью учебной дисциплины является формирование у студентов математической и технической культуры, а также стремления к получению знаний в области электроники и схемотехники.

Основными задачами, решаемыми в рамках изучения дисциплины «Основы САПР Cadence», являются изучение физико-математических основ построения электронных устройств обработки информации и приобретение навыков проектирования схем в САПР Cadence.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится к дисциплинам специализаций компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами.

Изложение дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин как «Введение в специальность», «Дискретная математика и теория графов», «Теория булевых функций», «Физические основы электроники», «Теория электрических цепей и сигналов», «Технология электроники», В свою очередь знания, полученные при ее изучении, являются основой для последующего изучения дисциплин «Языки описания программно-аппаратных систем», «Схемотехника», «Системотехника аппаратно-

программных систем», «САПР аппаратно-программных систем», а также ряда специальных дисциплин.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Основы САПР Cadence» должно обеспечить формирование следующих универсальных, базовых профессиональных и специализированных компетенций.

универсальные компетенции:

- УК-1. Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;
- УК-4. Работать в команде, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные, культурные и иные различия;
- УК-5. Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности;
- УК-6. Проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности;

базовые профессиональные компетенции:

- БПК-4. Применять теоретические знания и навыки в самостоятельной исследовательской деятельности;

специализированные компетенции:

- СК-8. Применять при проектировании аппаратно-программных систем знания об их электрических и схемотехнических особенностях функционирования.
- СК-3. Разрабатывать аппаратно-программные системы для анализа и обработки цифровых и аналоговых сигналов.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

основные понятия, определения, математические и алгоритмические описания базовых процессов ввода, передачи, преобразования, хранения, коммутации, шифрации и дешифрации данных в цифровых и аналоговых аппаратно-программных системах обработки информации;

алгоритмы построения и электрические схемы основных компонентов цифровых и аналоговых аппаратно-программных систем обработки информации;

уметь: использовать полученные знания при проектировании аналоговых и цифровых микросхем;

владеть: навыками разработки электрических схем; моделирования тестовых схем; создания и верификации топологии в САПР Cadence.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина «Основы САПР Cadence» изучается в 4 семестре очной формы получения высшего образования по специальности 1-31 03 01 Математика (по направлениям), направление специальности 1-31 03 01-04 Математика (научно-конструкторская деятельность).

Всего на изучение учебной дисциплины «Основы САПР Cadence» отведено 54 часа, в том числе 34 аудиторных часа, из них: лекции – 18 часов, практические занятия – 14 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Функциональные возможности комплекса проектирования ИМС компании Cadence.

Тема 1.1. Состав и структура программного комплекса компании Cadence. Основные модули (платформы проектирования) программного комплекса компании Cadence: назначение и функциональные возможности.

Тема 1.2. Реализация этапов схмотехнического и топологического проектирования в комплексе компании Cadence. Модули схмотехнического и топологического проектирования заказных интегральных микросхем (Платформа Virtuoso). Особенности электрических и физико-топологических моделей полупроводниковых приборов и элементов ИМС. Модули верификации топологии разрабатываемых решений PVS и Assura.

Тема 1.3. Системы автоматизированного проектирования топологии различных фирм, их характеристики, маршруты проектирования топологии компании Cadence. Библиотеки для проектирования, дизайн-киты. Характеристики систем автоматизированного проектирования (САПР) топологии, маршруты проектирования в САПР различных фирм, сравнение САПР ИМС, программный комплекс компании Cadence, библиотеки, дизайн-киты (наборы для проектирования), описание библиотек и настроек проекта, форматы хранения топологии ИМС

Тема 1.4. Реализация этапа функционально-логического проектирования в комплексе компании Cadence. Модули функционально-логического проектирования цифровых ИМС и языки описания аппаратуры (Платформа Encounter).

Раздел 2. Схмотехническое проектирование интегральных микросхем в САПР Cadence.

Тема 2.1. Подготовка к проектированию и компоновка схемы. Выбор и использование библиотек проектирования ИМС с нанометровыми проектными нормами. Создание графического изображения схемы. Подключение и настройка необходимых видов анализа. Применение математических соотношений для расчета статических и малосигнальных параметров, оценки уровня шумов.

Тема 2.2. Особенности моделирования аналоговых компонентов ИМС с нанометровыми проектными нормами. Обработка результатов моделирования с помощью графического постпроцессора. Анализ характеристик по постоянному току, в диапазоне температур, в частотной и временной области. Анализ уровня шумов. Типовые схемы включения аналоговых компонентов ИМС при моделировании. Проверка функционирования аналоговых компонентов. Определение входного тока, малосигнального входного сопротивления, напряжения смещения, коэффициента передачи, выходного малосигнального сопротивления для втекающего и вытекающего тока, максимального входного и выходного напряжения, влияния напряжения источников питания на основные

параметры компонента ИМС. Моделирование в диапазоне температур. Моделирование амплитудно- и фазо- частотных характеристик, переходных процессов. Определение частоты единичного усиления, запаса фазы, площади усиления, скорости нарастания выходного напряжения, среднеквадратического значения выходного шума.

Тема 2.3. Особенности моделирования цифровых компонентов ИМС с нанометровыми проектными нормами. Анализ характеристик по постоянному току, в диапазоне температур, во временной области. Типовые схемы включения цифровых компонентов ИМС при моделировании. 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 2.4. Общий подход к идентификации параметров разрабатываемых модулей. Ограниченность существующих моделей полупроводниковых элементов. Различие параметров полупроводниковых приборов и моделей. Критерии качества параметров моделей модулей. Требования к режимам и методикам измерений параметрических зависимостей, применяемых при идентификации параметров модулей.

Тема 2.5. Особенности параметров модели транзисторов. Основные параметры модели Шихмана – Ходшеса полевого транзистора с р-п-переходом и МОП-структурой. Методики определения параметров с использованием результатов измерений ВАХ. Идентификация параметров моделей с помощью специализированных программ.

Раздел 3. Комплекс программ компьютерного проектирования топологии компании Cadence.

Тема 3.1. Топология ИМС, набор топологических слоев, топологические группы, топологические параметры и проектные нормы, процесс проектирования топологии, главная цель разработки топологии.

Тема 3.2. Основные этапы создания топологии микросхем в комплексе 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 3.3. Комплекс программ верификации топологии компании 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 3.4. Конструкторско-технологические требования для проектирования топологии. Дизайн-кит для КМОП-технологии Cadence GPDK

0.045 мкм. Правила проверки и верификации топологии, справочные технологические параметры, понятие дизайн-кит, состав дизайн-кита, параметризованные элементы (Pcell), обратные вызовы (Callback), формат описания компонентов (CDF), базы данных.

Тема 3.5. Правила построения топологии и согласования параметров элементов интегральных схем. 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 3.6. Правила проектирования топологии Мида-Конвей. Тенденции при проектировании топологии ИМС, лямбда- (λ) проектирование топологии, минимальная ширина проводников, минимальное расстояние между проводниками, формирование транзисторов, формирование контактов.

Тема 3.7. Методы оптимизации топологии МОП-транзисторов. Особенности МОП-технологии, этапы формирования топологии МОП-транзистора, разделение транзистора на сегменты, минимизация паразитных емкостей МОП-транзистора, защита от пробоя подзатворного диэлектрика. Методы соединения и согласования параметров МОП-транзисторов. Варианты соединения транзисторов и их топологическая реализация, согласование параметров МОП-транзисторов, правила построения топологии МОП-транзисторов с согласованными параметрами. Защита от эффекта защелкивания в КМОП-структуре. Критерии возникновения тиристорного эффекта, топологические методы защиты от включения паразитного тиристора, использование встречных двойных контактов, использование охранных колец

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением электронных средств обучения (ДО)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7	8		9
1	Функциональные возможности комплекса проектирования ИМС компании Cadence	2	2						
1.1	Состав и структура программного комплекса компании Cadence. Основные модули (платформы проектирования) программного комплекса компании Cadence: назначение и функциональные возможности.	1						[1, 3]	Устный опрос
1.2	Реализация этапов схемотехнического и топологического проектирования в комплексе компании Cadence.		1					[1, 3]	Защита практической работы
1.3	Системы автоматизированного проектирования топологии различных фирм, их характеристики, маршруты проектирования топологии компании Cadence.	1						[1, 3]	Устный опрос
1.4	Реализация этапа функционально-логического проектирования в комплексе компании Cadence.		1					[1, 3]	Устный опрос
2	Схемотехническое проектирование интегральных микросхем в САПР Cadence	8	4						
2.1	Подготовка к проектированию и компоновка схемы.	1						[1, 2]	Экспресс-опрос

2.2	Особенности моделирования аналоговых компонентов ИМС с нанометровыми проектными нормами. Обработка результатов моделирования с помощью графического постпроцессора.	1						[1, 5]	Экспресс-опрос
2.3	Особенности моделирования цифровых компонентов ИМС с нанометровыми проектными нормами. Анализ характеристик по постоянному току, в диапазоне температур, во временной области.	4	4					[1, 4]	Защита практической работы
2.4	Общий подход к идентификации параметров разрабатываемых модулей.	1						[1, 4]	Экспресс-опрос
2.5	Особенности параметров модели транзисторов.	1						[2, 5]	Экспресс-опрос
3	Комплекс программ компьютерного проектирования топологии компании Cadence	8	8				2		
3.1	Топология ИМС, набор топологических слоев, топологические группы, топологические параметры и проектные нормы, процесс проектирования топологии, главная цель разработки топологии.	2	4					[6, 7]	Защита практической работы
3.2	Основные этапы создания топологии микросхем в комплексе Cadence.	1						[1, 6]	Устный опрос
3.3	Комплекс программ верификации топологии компании Cadence, средства верификации DRC, LVS, экстракция паразитных элементов.	1	4					[1, 6]	Защита практической работы
3.4	Конструкторско-технологические требования для проектирования топологии. Дизайн-кит для КМОП-технологии Cadence GPDК 0.045 мкм.	1						[1, 7]	Устный опрос
3.5	Правила построения топологии и согласования параметров элементов интегральных схем. Причины разброса параметров топологических элементов и способы их устранения.	1						[6, 7]	Устный опрос
3.6	Правила проектирования топологии Мида-Конвей.	1						[6, 7]	Устный опрос
3.7	Методы оптимизации топологии МОП-транзисторов.	1					2	[1, 7]	Устный опрос
	ИТОГО	18	14				2		

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Костров, А. И. Проектирование топологии интегральных микросхем в программном комплексе Cadence : метод. пособие / А. И. Костров, В. В. Нелаев, В. Р. Стемпицкий, С. А. Трофимов. – Минск : БГУИР, 2011. – 61 с.
2. Волович, Г. И. Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых электронных устройств / Г. И. Волович. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : ДМК Пресс, 2018. – 624 с.
3. Белоус, А. И. Основы проектирования субмикронных микросхем / А. И. Белоус, Г. Я. Красников, В. А. Солодуха. – Москва : Техносфера, 2020. – 780 с.
4. Сажнев, А. М. Цифровые устройства и микропроцессоры : учеб. пособие для академического бакалавриата, для студ. вузов, обуч. по инженерно-техническим напр. / А. М. Сажнев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2017. – 139 с.
5. Аверченков, О. Е. Схемотехника: аппаратура и программы : [пособие] / О. Е. Аверченков. - Москва : ДМК Пресс, 2014. – 587 с.

Перечень дополнительной литературы

6. Уэйкерли Дж.Ф. Проектирование цифровых устройств. Т. 1, 2. М.: Постмаркет, 2002. – 1087 с.
7. Рабаи Ж.М., Чандракасан А., Николич Б. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования. 2-е изд. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 912 с.
8. Sicard E., Bendhia S.D. Basics of CMOS cell design. McGraw Hill: 2007. – 432 p.
9. Микушин А.В., Сажнев А.М., Сединин В.И. Цифровые устройства и микропроцессоры. СПб: БХВ-Петербург, 2010. – 832 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

С целью текущего контроля знаний студентов предусматривается проведение устных опросов, экспресс-опросов и защит практических работ.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Основы САПР Cadence» учебным планом предусмотрен **зачет**.

Итоговая отметка формируется на основе:

1. Правила проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29.05.2012 г.).

2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 31.03.2020 № 189-ОД).

3. Критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях высшего образования по десятибалльной шкале (Письмо Министерства образования Республики Беларусь от 28.05.2013 г. № 09-10/53-ПО).

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Рекомендуемые весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний в итоговую отметку:

- устный и экспресс-опросы – 20 %;
- защита практических работ – 80 %;

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей успеваемости (рейтинговой системы оценки знаний) и отметки на зачете с учетом их весовых коэффициентов. Рекомендуемый вес отметки по текущей успеваемости составляет 30 %, отметки на зачете – 70 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Раздел 3. Комплекс программ компьютерного проектирования топологии компании Cadence.

Тема 3.7. Методы оптимизации топологии МОП-транзисторов. (2 ч.)

Задание. Перечислите способы оптимизации топологии логического элемента по площади элемента, количеству используемых слоев и длине проводников.

Форма контроля – устный опрос.

Примерная тематика практических занятий и практических работ

1. Введение в САПР Cadence
2. Схемотехническое проектирование и моделирование логических элементов
3. Топология сложного КМОП элемента
4. Верификация топологии сложного КМОП элемента. Документирование результатов

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

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

- осуществление студентами личностно-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 схематических и топологических 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 рекомендуется использовать следующие формы 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 зачету

1. Общее назначение САПР Cadence
2. Описание базы данных Cadence
3. Назначение PDK.
4. Ввод электрической схемы в Cadence
5. Назначение параметров в Cadence
6. Создание символа в Cadence
7. Запуск моделирования в Cadence
8. Расчет временных характеристик в Cadence
9. Определение зависимостей временных характеристик от внешних параметров
10. Топология в Cadence
11. Назначение PCELL
12. Проверка DRC
13. Проверка LVS
14. Генерация PEX
15. Учет паразитных элементов при проектировании ИС

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

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)
Основы математической электроники	Кафедра математической кибернетики	Нет	Оставить учебную программу без изменений (протокол № 10 от 25.05.2022).

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
на ____/____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры математической кибернетики (протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой
 доктор физ.-мат. наук, профессор

А.Л. Гладков

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета
 доктор физ.-мат. наук, доцент

С.М. Босяков