

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 18.08.2025 15:52:50

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d70e80e3a02b8807

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

И.Г. Игнатова

« 2 » декабря 2020 г.

М.П.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Цифровые интегральные схемы. Энергоэффективное проектирование»

Направление подготовки - 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

Направленность (профиль) – «Автоматизированное проектирование субмикронных СБИС
и систем на кристалле»

Москва 2020

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК-4 «Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения» **сформулирована на основе профессионального стандарта 40.019** «Специалист по функциональной верификации и разработке тестов функционального контроля наноразмерных интегральных схем»

Обобщенная трудовая функция: С – «Выполнение работ по верификации моделей интегральной схемы и ее составных блоков»

Трудовая функция: С/03.7 – «Исследование функциональных и электрических параметров моделей СФ-блоков и ИС в предельно-допустимых и предельных режимах»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций
ПК-4.ЭП Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований энергоэффективных устройств.	Исследование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований	Знания принципов проведения анализа энергопотребления при экспериментальных исследованиях Умения обрабатывать экспериментальные данные и оформлять результаты исследований в области микро- и нанoeлектроники Опыт подготовки отчетов по результатам исследований

Компетенция ПК-7 «Готовность автоматизировать и модифицировать маршруты проектирования субмикронных СБИС и систем на кристалле с использованием современных САПР» **сформулирована на основе Профессионального стандарта 40.040** «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»

Обобщенная трудовая функция: D – «Разработка электрических схем, характеристика сложнофункциональных блоков (СФ-блоков)»

Трудовая функция: D/04.7 – «Генерация файлов для синтеза логической схемы из поведенческого описания с использованием СФ-блока»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций
ПК-7.ЭП Готовность автоматизировать и модифицировать маршруты проектирования энергоэффективных СБИС и систем на кристалле с использованием современных САПР	Проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований; разработка проектно-конструкторской документации в соответствии с методическими и нормативными требованиями;	Знания современных методов автоматизации проектирования ЦИС Умения разрабатывать блоки ЦИС в соответствии с техническими требованиями и проектными ограничениями Опыт модификации и настройки маршрутов проектирования с использованием средств САПР

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Изучение дисциплины базируется на следующих ранее изучаемых дисциплинах: «Проектирование библиотечных элементов», «Методы математического моделирования», «Компьютерные технологии в научных исследованиях». Для успешного усвоения дисциплины наиболее важными являются следующие разделы (темы) этих дисциплин: полевые транзисторы, модели полупроводниковых приборов, КМОП схемотехника, методы проектирования цифровых КМОП СБИС, автоматизация проектирования.

Материалы, изучаемые в данной дисциплине, используются при прохождении практик и подготовке выпускной квалификационной работы.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)	Практические занятия (часы)		
1	2	3	108	-	16	16	76	ЗаО

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Практические занятия	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)		
1. Проблемы снижения потребляемой мощности и масштабирование	-	4	4	19	Защита лабораторных работ
					Прохождение устного опроса
2. Способы снижения динамической мощности	-	4	4	19	Защита лабораторных работ
					Прохождение устного опроса
3. Проектирование энергоэффективных наноразмерных ЦБИС	-	8	8	34	Защита лабораторных работ
					Прохождение устного опроса
1-3	-	-	-	4	Сдача практико-ориентированного задания

4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Подходы к уменьшению потребляемой мощности для субмикронных и наноразмерных цифровых СБИС.
	2	2	Способы снижения энергопотребления при масштабировании топологических размеров, напряжения питания, порогового напряжения, тактовой частоты и т.п.
2	3	2	Уменьшение потребляемой мощности с помощью реструктуризации списка цепей.
	4	2	Способы снижения динамической потребляемой мощности. Метод clock gating.
3	5	2	Статическая потребляемая мощность. Источники утечек, способы

			уменьшения токов утечки.
	6	2	Методы уменьшения потребляемой мощности с использованием множественного порогового напряжения и напряжения питания.
	7	2	Автоматизация процесса энергоэффективного проектирования в САПР Synopsys. Подход power gating.
	8	2	Комплексные методики уменьшения статической и динамической мощности при переходе к наноразмерным топологическим нормам.

4.3. Практическая подготовка при проведении лабораторных работ

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	4	Практическая подготовка. Исследование влияния топологических размеров, напряжения питания, тактовой частоты на мощность, потребляемую цифровым блоком.
2	2	4	Практическая подготовка. Способы снижения динамической потребляемой мощности. Метод clock gating.
3	3	4	Практическая подготовка. Исследование и разработка энергосберегающих цифровых блоков с переменным пороговым напряжением (VT, MT CMOS). Сравнение с CMOS вариантом.
	4	4	Практическая подготовка. Реализация метода power gating для уменьшения статической мощности цифрового блока средствами САПР Synopsys.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	10	Освоение теоретического материала и подготовка к практическому занятию по теме проблемы уменьшения потребляемой мощности. Работа с учебной литературой.
	9	Освоение теоретического материала, подготовка к практическому занятию и лабораторной работе по теме способы снижения энергопотребления. Работа с ресурсами Интернета.
2	9	Освоение теоретического материала и подготовка к практическому занятию по теме уменьшение потребляемой мощности с помощью реструктуризации списка цепей. Работа с учебной литературой.

	10	Освоение теоретического материала, подготовка к практическому занятию и лабораторной работе по теме метод clock gating. Работа с ресурсами Интернета.
3	10	Освоение теоретического материала и подготовка к практическому занятию по теме источники утечек, способы уменьшения токов утечки. Работа с учебной литературой.
	7	Освоение теоретического материала, подготовка к практическому занятию и лабораторной работе по теме использование множественного порогового напряжения и напряжения питания. Работа с ресурсами Интернета.
	10	Освоение теоретического материала и подготовка к практическому занятию по теме автоматизация процесса энергоэффективного проектирования в САПР Synopsys. Работа с учебной литературой.
	7	Освоение теоретического материала, подготовка к практическому занятию и лабораторной работе по теме комплексные методики уменьшения статической и динамической мощности. Работа с ресурсами Интернета.
1-3	4	Выполнение практико-ориентированного задания

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Методические указания студентам по изучению дисциплины «Цифровые интегральные схемы. Энергоэффективное проектирование»:

https://orioks.miet.ru/prepare/ir-science?id_science=2432661

Модуль 1 «Проблемы снижения потребляемой мощности и масштабирование»

Материалы для подготовки к опросу и материалы для изучения теории в рамках подготовки к лабораторным занятиям размещены в разделе «Самостоятельная работа студентов» УМК дисциплины, размещенном на информационном ресурсе <http://orioks.miet.ru/>

Модуль 2 «Способы снижения динамической мощности»

Материалы для подготовки к опросу и материалы для изучения теории в рамках подготовки к лабораторным занятиям размещены в разделе «Самостоятельная работа студентов» УМК дисциплины, размещенном на информационном ресурсе <http://orioks.miet.ru/>

Модуль 3 «Проектирование энергоэффективных наноразмерных ЦБИС»

Материалы для подготовки к опросу и материалы для изучения теории в рамках подготовки к лабораторным занятиям размещены в разделе «Самостоятельная работа студентов» УМК дисциплины, размещенном на информационном ресурсе <http://orioks.miet.ru/>

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Проектирование энергоэффективных цифровых схем : учебное пособие / А. В. Коршунов, П. С. Волобуев, В. М. Дьяконов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Нац. исслед. ун-т «МИЭТ». - Москва : МИЭТ, 2012. - 116 с.
2. Электроника интегральных схем. Лабораторные работы и упражнения: Учеб. пособие / Под ред. К.О. Петросянца; Рец. М.А. Королев. - М. : СОЛОН-Пресс, 2017. - 556 с.
3. Белоус А.И. Основы конструирования высокоскоростных электронных устройств. Краткий курс "белой магии": Под общ. ред. А.И. Белоуса / А.И. Белоус, В.А. Солодуха, С.В. Шведов. - М. : Техносфера, 2017. - 872 с. - (Мир электроники). - URL: <https://e.lanbook.com/book/110950> (дата обращения: 10.11.2020). - ISBN 978-5-94836-500-8
4. Пухальский Г.И. Проектирование цифровых устройств. Учебное пособие. - СПб. : Лань, 2012. - 896 с. - URL: <http://e.lanbook.com/view/book/2776/>
5. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника (для бакалавров): Учеб. пособие / В.Г. Гусев. - М. : Кнорус, 2018. - URL: <https://www.book.ru/book/926521> (дата обращения: 01.11.2020). - ISBN 978-5-406-06106-0.
6. Хоровиц П. Искусство схемотехники [Текст] = The art of electronics / Second Ed.: P. Horowitz, W. Hill. / Cambridge University Press : [монография] / П. Хоровиц, У. Хилл ; Пер. с англ. - 7-е изд. - М. : БИНОМ, 2014. - 704 с
7. Новожилов О.П. Электротехника и схемотехника: В 2-т. : Учебник для академического бакалавриата / О. П. Новожилов. - М. : Юрайт, 2015. - 804 с. - (Бакалавр. Академический курс). - URL: <https://urait.ru/bcode/387359>

Нормативная литература

Не требуется

Периодические издания

1. ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЭЛЕКТРОНИКА: Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996 -.
2. IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTER AIDED DESIGN OF INTERGRATED CIRCUITS & SYSTEMS . - USA : IEEE, [б.г.]. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=43> (дата обращения: 12.12.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. Лань : электронно-библиотечная система. - Санкт-Петербург, 2011 - . - URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 30.10.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
2. Юрайт : Электронно-библиотечная система : образовательная платформа. - Москва, 2013 - . - URL: <https://urait.ru/> (дата обращения: 05.11.2020); Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
3. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
4. ФИПС : Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 30.09.2019)
5. ProQuest : сайт. - URL: <http://search.proquest.com/> (дата обращения: 30.10.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
6. eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека : сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 30.10.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей
7. IEEE/IET Electronic Library (IEL) = IEEE Xplore : электронная библиотека. - USA ; UK, 1998 - . - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp> (дата обращения: 28.10.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется **смешанное обучение**, которое предполагает использование внешних электронных ресурсов сети Интернет для самостоятельной работы по освоению дополнительного материала дисциплины.

Материал электронного курса посвящен проблематике проектирования с учетом энергопотребления для всех этапов проектирования, в то время как основной курс рассматривает только проектирование полузаказных цифровых блоков на функционально-логическом уровне. Студенту требуется изучать материалы курса параллельно с основным материалом. Электронный курс содержит 40 лекций. Студенту необходимо самостоятельно изучить материал лекций 37-39 и подготовить ответы на вопросы по материалу.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внутренние электронные ресурсы** (<http://orioks.miet.ru>).

При проведении занятий и для самостоятельной работы используется **внешний электронный ресурс** в форме внешнего онлайн-курса:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLTEh-62_zAfHmJE-pcjgREKiKyPSgjkxj

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Microsoft (Azure), Microsoft Office
Учебно-образовательный центр SYNOPSYS-МИЭТ каф.ПКИМС ауд.7207	ПЭВМ Intel LGA1156 Core i7-3770k с мониторами Dell	ОС Centos САПР Synopsys Inc.
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ОРИОКС	ОС Centos

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

1. ФОС по компетенции/подкомпетенции **ПК-4.ЭП** «Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований энергоэффективных устройств.»
2. ФОС по компетенции/подкомпетенции **ПК-7.ЭП** «Готовность автоматизировать и модифицировать маршруты проектирования энергоэффективных СБИС и систем на кристалле с использованием современных САПР»

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Студенты, изучающие дисциплину на базовом уровне, обязаны:

- выполнить лабораторные работы (подтверждается сдачей каждой лабораторной работы);
- принять участие в дискуссиях во время практических занятий;
- участвовать в устном опросе на практических занятиях;
- выполнить задание на опыт деятельности.

В процессе изучения курса предполагается самостоятельная работа студента при подготовке к практическим занятиям, лабораторным работам, использование основной и дополнительной литературы, интернет-ресурсов.

С целью качественной организации самостоятельной работы студентов проводятся разъяснения материала. Вводное разъяснение проводится лектором дисциплины в начале первой лекции и включает: информацию о структуре и графике контрольных мероприятий, содержании и порядке проведения контрольных мероприятий, правилах оценивания согласно НБС МИЭТ, учебной литературе и дополнительных информационных источниках, основных требованиях по оценке качества освоения дисциплины, самостоятельной работе студентов, организации и назначении консультаций.

Для студентов проводятся консультации. Студентам рекомендуется активно пользоваться консультациями преподавателя: это единственная возможность обучаться индивидуально и выяснить все возникшие вопросы. Кроме этого на консультациях можно защитить лабораторную работу, если не успели на занятии.

В конце семестра студентами выполняется практико-ориентированное задание, по результатам которого происходит публичное представление результатов заданий СРС на опыт деятельности.

По завершению изучения дисциплины предусмотрена промежуточная аттестация в виде зачета с оценкой.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется балльная накопительная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме максимум 72 балла), и сдача зачета (максимум 28 баллов).

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступны в ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>.

РАЗРАБОТЧИК:

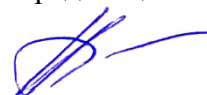
Доцент кафедры ПКИМС, к.т.н. _____  /А.В. Коршунов/

Рабочая программа дисциплины «Цифровые интегральные схемы. Энергоэффективное проектирование» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника», направленности (профилю) «Автоматизированное проектирование субмикронных СБИС и систем на кристалле» разработана на кафедре ПКИМС и утверждена на заседании кафедры 27 ноября 2020 года, протокол № 8

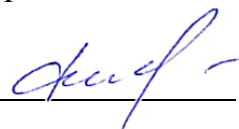
Заведующий кафедрой ПКИМС _____  /С.В. Гаврилов/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК _____  /И.М. Никулина/

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки _____  / Т.П. Филиппова/