

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 01.09.2023 15:29:43

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f73bd76e8f8bea802b8d602

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

«14» сентября 2020г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Проектирование и верификация сложнофункциональных блоков»

Направление подготовки - 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) – «Проектирование и технология устройств интегральной нанoeлектроники»

Москва 2020

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

**Компетенция ПК-3. Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований**

**Сформулирована на основе профессионального стандарта 40.040 «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»**

**Обобщенная трудовая функция G «Коррекция ошибок библиотеки стандартных ячеек, разработка технической документации на характеристики СФ-блока (сопровождение библиотеки)»**

**Трудовая функция G/01.7 «Синтез тестовых описаний, логических схем»**

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций
ПК-3.ПВСФБл Способен разрабатывать функциональные тесты для моделей СФ-блоков на языках описания и верификации аппаратуры	проектирование цифровых устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	<b>Знает:</b> маршрут разработки и верификации СнК, состав и архитектуру СнК, методы и средства верификации СнК и СФ блоков. <b>Умеет:</b> разрабатывать тесты с использованием современных языков САПР и методик верификации. <b>Опыт деятельности:</b> по разработке RTL описания цифровой схемы, разработке и отладке функциональных тестов и RTL описания цифровой схемы.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

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

Входные требования к дисциплине:

- Теория вероятностей;
- Дискретная математика (особенно булева алгебра, умение пользоваться картами Карно);
- Цифровая схемотехника: базовые логические элементы (AND, OR, XOR), комбинационные схемы (мультиплексоры, шифраторы, сумматоры и т.д.), последовательностные схемы и автоматы (триггеры, регистры, счетчики), проектирование цифровых схем на библиотечных элементах, умение спроектировать схему (комбинационную или последовательностную) по логической функции;
- Язык описания аппаратуры Verilog, умение описывать на Verilog типовые комбинационные и последовательностные схемы;

- Язык программирования C++ (понимание принципов).

### 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)		
2	3	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. Роль СФ блоков в маршруте проектирования СнК	0	2	0	8	Опрос на практическом занятии
2. Разработка и интеграция СФ-блоков	0	8	8	4	Опросы на практических занятиях
				16	Сдача доклада
				20	Выполнение и защита лабораторных работ
3. Верификация СФ-блоков	0	6	8	4	Опросы на практических занятиях
				22	Выполнение и защита лабораторных работ.
				2	Сдача практического задания

#### 4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены

#### 4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Роль и задачи вычислительной техники в современной жизни, борьба за функциональность, производительность, энергоэффективность и стоимость устройств: гетерогенные многоядерные системы на кристалле как результат этой борьбы. Состав СнК, основные архитектуры систем на кристалле. Накристалльные межсоединения: шинна, коммутатор, сеть на кристалле. Проблема ввода -вывода информации в СнК, периферийные контроллеры. Многоядерные и гетерогенные СнК.

			Средства тестирования и отладки СнК. СнК как программно аппаратный комплекс.
2	2	2	Маршрут проектирования СнК, роль СФ блоков в маршруте проектирования СнК, классификация СФ-блоков. Проблема повторного использования СФ-блоков. Использование стандартных интерфейсов. Разработка параметризованных, масштабируемых и реконфигурируемых блоков. Генераторы СФ-блоков. Комплект поставки СФ-блока.
	3	1	Методы уменьшения потребляемой мощности микросхем: гейтирование тактового сигнала, отключение частоты неиспользуемых блоков, динамическое регулирование частоты вычислительных ядер в зависимости от нагрузки, отключение питания неиспользуемых блоков, регулировка уровня напряжения питания элементов системы, использование в рамках одного проекта библиотек логических элементов с различным уровнем порогового напряжения транзисторов. Гетерогенные СнК, использование наиболее эффективной архитектуры вычислителя для решения конкретной подзадачи.
	4	2	Проблемы интеграции СФ-блоков в систему, внутрикристалльные интерфейсы AMBA АНВ, AXI, WishBone, OCP.
	5	2	Сравнение внутрикристалльных интерфейсов, мосты между различными интерфейсами. Проблема перехода данных между асинхронными частотными доменами, синхронизация на основе FIFO с передачей указателей в кодах Грея
	6	1	Решение проблемы повторного использования СФ-блоков. Разработка параметризованных, масштабируемых и реконфигурируемых блоков. Конструкции языков verilog и SystemVerilog упрощающие задачу разработки параметризованных блоков.
	3	7	2
8		2	Введение в SystemVerilog, основные преимущества языка. Введение в методологию OVM/UVM.
9		1	Разработка и отладка тестов СФ-блоков. Случайное тестирование, покрытие кода, функциональное покрытие, assertions (вставки для локализации ошибок), трейсеры (как программные для ускорения процесса поиска ошибок при функциональной верификации), так и аппаратные (для отладки ПО на готовом кристалле).
10		1	Объектно-ориентированный подход к созданию тестов и тестовых окружений для блоков и систем. Основные преимущества языка SystemVerilog. Библиотека верификационных примитивов OVM/UVM.

#### 4.3. Практическая подготовка при проведении лабораторных работ

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
2	1	4	Поиск ошибок в готовом СФ-блоке с использованием подготовленного набора тестов.
	2	4	Разработка СФ блока с заданной функцией и заданным интерфейсом
3	3	4	Разработка тестового окружения для СФ блока
	4	4	Выполнение комплексного задания. Создание тестов в соответствии с тестовым планом и с приемлемым уровнем покрытия тестами свойств и кода СФ-блока, подготовка верификационного отчета.

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	8	Подготовка к опросам
2	4	Подготовка к опросам
	20	Подготовка к лабораторным работам. Моделирование разработанного СФ-блока
	16	Подготовка обзора интерфейса (AHB, AXI, Wishbone, OCP) и разработка схемы интерфейсной части СФ-блока
3	4	Подготовка к опросам
	22	Подготовка к лабораторным работам. Разработка тестового плана для СФ блока. Отладка блока и доработка тестов до достижения приемлемого уровня покрытия
	2	Выполнение практического задания

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрено

### 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 «Проектирование и верификация сложнофункциональных блоков».

### Модуль 1 «Роль СФ блоков в маршруте проектирования СнК»

- ✓ *Материалы для подготовки к опросам (список вопросов) 1 (ОРИОКС [http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b3fb1d55b/razrabotka\\_i\\_verifikatsiya\\_SF\\_blokov\\_Materialyi\\_dlya\\_podgotovki\\_k\\_oprosam\\_spisok\\_voprosov.doc](http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b3fb1d55b/razrabotka_i_verifikatsiya_SF_blokov_Materialyi_dlya_podgotovki_k_oprosam_spisok_voprosov.doc))*
- ✓ *Материалы для подготовки к опросам по модулю 1 (ОРИОКС [http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2611dd87/Razrabotka\\_i\\_verifikatsiya\\_SF\\_blokov\\_materialyi\\_dlya\\_podgotovki\\_k\\_oprosam\\_1.1.pdf](http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2611dd87/Razrabotka_i_verifikatsiya_SF_blokov_materialyi_dlya_podgotovki_k_oprosam_1.1.pdf))*

### Модуль 2 «Разработка и интеграция СФ-блоков»

- ✓ *Материалы для подготовки к опросам по модулю 2 (ОРИОКС [http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2161d77e/Razrabotka\\_i\\_verifikatsiya\\_SF\\_blokov\\_materialyi\\_dlya\\_podgotovki\\_k\\_oprosam\\_2.1.pdf](http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2161d77e/Razrabotka_i_verifikatsiya_SF_blokov_materialyi_dlya_podgotovki_k_oprosam_2.1.pdf))*
- ✓ *Материалы для подготовки к лабораторным работам : задание к лабораторным занятиям по модулю 2(ОРИОКС [http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2e49b472/Razrabotka\\_i\\_verifikatsiya\\_SF\\_blokov\\_Materialyi\\_dlya\\_podgotovki\\_k\\_laboratornym\\_rabotam\\_zadanie\\_k\\_laboratornym\\_zanyatiyam.pdf](http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2e49b472/Razrabotka_i_verifikatsiya_SF_blokov_Materialyi_dlya_podgotovki_k_laboratornym_rabotam_zadanie_k_laboratornym_zanyatiyam.pdf))*

### Модуль 3 «Верификация СФ-блоков»

- ✓ *Материалы для подготовки к опросам по модулю 3 часть 1 (ОРИОКС [http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2a5a93ce/Razrabotka\\_i\\_verifikatsiya\\_SF\\_blokov\\_materialyi\\_dlya\\_podgotovki\\_k\\_oprosam\\_3.1.pdf](http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2a5a93ce/Razrabotka_i_verifikatsiya_SF_blokov_materialyi_dlya_podgotovki_k_oprosam_3.1.pdf))*
- ✓ *Материалы для подготовки к опросам по модулю 3 часть 2 (ОРИОКС [http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2c1c91a2/Razrabotka\\_i\\_verifikatsiya\\_SF\\_blokov\\_materialyi\\_dlya\\_podgotovki\\_k\\_oprosam\\_3.2.pdf](http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2c1c91a2/Razrabotka_i_verifikatsiya_SF_blokov_materialyi_dlya_podgotovki_k_oprosam_3.2.pdf))*
- ✓ *Материалы для подготовки к лабораторным работам : задание к лабораторным занятиям по модулю 3 (ОРИОКС [http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2e49b472/Razrabotka\\_i\\_verifikatsiya\\_SF\\_blokov\\_Materialyi\\_dlya\\_podgotovki\\_k\\_laboratornym\\_rabotam\\_zadanie\\_k\\_laboratornym\\_zanyatiyam.pdf](http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/ftp/pub/2015/5/5558b2e49b472/Razrabotka_i_verifikatsiya_SF_blokov_Materialyi_dlya_podgotovki_k_laboratornym_rabotam_zadanie_k_laboratornym_zanyatiyam.pdf))*

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валидация на системном уровне. Высокоуровневое моделирование и управление тестированием / Минсон Чень, [et al.]; Пер. с англ. Е.Б. Махияновой, под ред. А.Н. Ланцева. - М. : Техносфера, 2014. - 296 с.

### Периодические издания

1. RUSSIAN MICROELECTRONICS. - : Springer, [2000] - . - URL: <http://link.springer.com/journal/11180> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
2. Известия вузов. Электроника : Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996 - .
3. IEEE Transactions on Electron Devices. - USA : IEEE, [б.г.]. - URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=16> (дата обращения: 14.06.2018).

– Режим доступа: по подписке МИЭТ

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека : сайт. - Москва, 2000 - . - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для зарегистрир. Пользователей
2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/) (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>, включая презентации, руководство для подготовки реферата и доступ к тестам.

В ходе реализации обучения используются **смешанное обучение**, основанное на интеграции технологий традиционного и электронного обучения. Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя. Информационно-коммуникативные технологии с использованием сети Интернет применяются для консультирования студентов, в том числе с использованием сервисов Zoom.

При проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внешние электронные ресурсы**: официальный сайт разработчика стандартов SystemVerilog, SystemC <http://accelera.org/>, официальные сайты образовательного ресурса по тематике верификации ИС [www.doulos.com](http://www.doulos.com) и <http://verificationacademy.com>.

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Аудитория для практических занятий	Мультимедийное оборудование	Операционная система Microsoft Windows, Microsoft Office
Компьютерный класс для лабораторных работ	Компьютеры с возможностью подключения к сети Интернет и доступом в систему ОРИОКС	САПР Cadence, текстовый редактор
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office



	электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC
--	--	--

## 11. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-3.ПВСФБл Способен разрабатывать функциональные тесты для моделей СФ-блоков на языках описания и верификации аппаратуры.

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

## 12. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 12.1. Особенности организации процесса обучения

Освоение теоретического материала проверяется во время опроса на практических и лабораторных занятиях. Выполнение и защита лабораторных работ проводятся в индивидуальном порядке и являются обязательными. Вариант задания уточняется преподавателем. На защиту необходимо предоставить отчет с результатами выполнения работы, оформленный в соответствии с требованиями к отчету, и ответить на контрольные вопросы. На защите проверяется умение пользоваться языками разработки и верификации аппаратуры, современным САПР для разработки и отладки аппаратуры и тестов, способность проводить оценку качества верификации СФ-блоков, знание интерфейсов, реализованных в СФ-блоке.

С использованием дополнительных источников производится изучение периферийного или внутрикристального интерфейса (в зависимости от выбранного задания для СРС). Готовится доклад по выбранному интерфейсу с предложениями по схемотехнической реализации интерфейса в составе СФ-блока.

В рамках лабораторных работ и практического задания выполняется разработка и верификация выбранного варианта СФ-блока с применением инструментария и методик изучаемых в рамках практических занятий.

### 12.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система. Баллами оцениваются: выполнение и защита лабораторных работ, работа на практических занятиях (до 70 баллов) и выполнение комплексного задания (до 30 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий приведен в ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>.

### РАЗРАБОТЧИК:

Ст. преподаватель кафедры ИЭМС, к.т.н.



/ Ф.М. Путря /

Рабочая программа дисциплины «Проектирование и верификация сложнофункциональных блоков» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника», по направленности (профилю) «Проектирование и технология устройств интегральной наноэлектроники» разработана на кафедре ИЭМС и утверждена на заседании кафедры 26.11. 2020 года, протокол № 5

Заведующий кафедрой  / Ю.А. Чаплыгин /

### 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 /