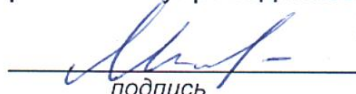


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующая кафедрой
физики полупроводников и микроэлектроники


подпись

(Меньшикова Т.Г.)
расшифровка подписи

05.06.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.01.02 Проектирование библиотек стандартных ячеек

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.04.03 Радиофизика

2. Профиль подготовки: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы

3. Квалификация (степень) выпускника: магистр

4. Форма образования: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: _____

физики полупроводников и микроэлектроники

6. Составители программы: Богатилов Евгений Васильевич

кандидат физико-математических наук, доцент

7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 04.06.2025

8. Учебный год: 2026-2027 **Семестр:** 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины: целью освоения учебной дисциплины является формирование специальных знаний о правилах построения стандартных ячеек для цифровых библиотек и особенностях характеристики стандартных ячеек.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение состава цифровых библиотек;
- изучение программного обеспечения для проектирования библиотек стандартных ячеек;
- изучение методологии схемотехнического и топологического проектирования стандартных ячеек;
- изучение способов физической и временной характеристики стандартных ячеек.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (вариативная) блока Б1. Для ее усвоения требуются знания, формируемые при освоении ОПОП в рамках курса схемотехники интегральных схем.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудового действия ТД.1 «Разработка структурных схем и схем принципиальных МИС СВЧ, оптимизация их параметров с учетом существующих технологических маршрутов производства и технологических ограничений» трудовой функции В/01.7 «Конструирование наногетероструктурных СВЧ-монокристаллических интегральных схем в соответствии с техническим заданием для выбираемой технологии» профессионального стандарта 40.003 «Инженер-конструктор в области производства наногетероструктурных СВЧ-монокристаллических интегральных схем»

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ПК-2	Способен принимать участие в разработке и научных исследованиях полупроводниковой элементной базы радиоэлектронных устройств	ПК-2.3	Разрабатывает принципиальные схемы и проводит схемотехническое моделирование полупроводниковых СВЧ-устройств	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - метод описания цифровых схем при помощи временных графов; - методы синтеза тактового дерева цифровой схемы; - методы временной характеристики стандартных ячеек цифровых библиотек; - методы энергетической оптимизации цифровых библиотек; - архитектуру цифровых ИС; - принципы разработки HDL-описаний цифровых устройств; - нормативные требования к разработке спецификаций на стандартные ячейки цифровых библиотек; - схемы базовых элементов, используемых в составе цифровых библиотек. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - осуществлять выбор проприетарного и свободного ПО, соответствующего этапам разработки цифровой библиотеки стандартных ячеек - использовать нормативные требования при разработке спецификаций на стандартные ячейки цифровых библиотек;

				- разрабатывать состав цифровой библиотеки стандартных ячеек. <i>Владеть:</i> - навыком разработки схемотехнического представления стандартных ячеек; - навыком разработки топологии стандартных ячеек средствами САПР; - навыком характеристики цифровых стандартных ячеек средствами САПР; - навыком разработки спецификации на стандартные ячейки цифровых библиотек.
--	--	--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 2 / 72.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы		Трудоемкость (часы)	
		Всего	По семестрам 3 сем.
Аудиторные занятия,		24	24
в том числе:	лекции	12	12
	лабораторные работы	12	12
Самостоятельная работа		48	48
Итого:		72	72

13.1. Содержание дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
Лекции		
1.1	Техника работы со стандартными ячейками	Состав цифровой библиотеки. Базовые библиотечные элементы: элементы комбинационной и регистровой логики, вспомогательные элементы, ячейки ввода/вывода. Технологические файлы. Стандартизация сетки: определение размера сетки, направление слоев. Правила для библиотек, базирующихся на сетке: выравнивание входа и выхода, фиксированная высота и переменная ширина, определение калибра шин, общий N-карман, размер ячейки в половину шага сетки, половинные правила. Каналы трассировки. Антенные правила. Стандартизация ячеек ввода/вывода.
1.2	Временная характеристика стандартных ячеек	Реальное, модельное и машинное время. Способы продвижения модельного времени «dt» и «dz». Синхронное и асинхронное логическое моделирование. Характеризуемые временные параметры: задержка распространения, время переключения выходного сигнала, время установки и удержания сигналов данных, время установки и удержа-

		ния сигналов установки и сброса, ширина импульса. Статистический временной анализ: элморовская задержка, критический путь, задержка прохождения сигнала, предельно допустимая задержка, запас задержки. Параметры, вычисляемые при прямом и обратном проходах: LAT, EAT, LRT, ERT. Временной граф цифровой схемы. Процедура нахождения максимальных проводящих путей. Алгоритм поиска критических путей. Алгоритм обнаружения ложных путей распространения сигнала. Анализ и оптимизация тактового дерева.
1.3	Энергетическая оптимизация цифровых блоков	Оценка потребления мощности КМОП-схемы. Ключевое моделирование. Физические ограничения при проектировании. Минимально допустимые напряжения и токи. Минимально допустимое напряжение питания. Теплофизические ограничения.
1.4	Программное обеспечение разработки библиотек стандартных ячеек	Разработка цифровых библиотек в проприетарном ПО: разработка схмотехнического представления элементов Cadence IC Virtuoso Schematic Editor, разработка топологического представления ячеек в Virtuoso Layout Editor, характеристика ячеек в Virtuoso Liberate. Разработка цифровых библиотек в свободном ПО: разработка схмотехнического представления в XCircuit, разработка топологии в Alliance и Magic VLSI; схмотехническое моделирование в Winspice3 и ngspice. Структура файлов формата Synopsys Liberty (.lib): описание выводов ячейки; функциональное описание; описание задержек; дополнительная информация. Структура спецификации на стандартные ячейки цифровой библиотеки: таблица истинности, логический символ, AC-параметры, разветвление по выходу.
Лабораторные работы		
2.1	Техника работы со стандартными ячейками	Лабораторная работа № 1. Формулировка технического задания на разработку цифровой библиотеки.
2.2	Временная характеристика стандартных ячеек	Лабораторная работа № 2. Построение временного графа цифровой схемы.
2.3	Энергетическая оптимизация цифровых блоков	Лабораторная работа № 3. Расчет потребляемой мощности цифровой схемы.
2.4	Программное обеспечение разработки библиотек стандартных ячеек	Лабораторная работа № 4. Разработка схмотехнического и топологического представлений стандартной ячейки. Лабораторная работа № 5. Временная характеристика стандартной ячейки Лабораторная работа № 6. Разработка спецификации стандартной ячейки.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Техника работы со стандартными ячейками	2	2	11	15
2	Временная характеристика стандартных ячеек	4	2	11	17

3	Энергетическая оптимизация цифровых блоков	4	2	11	17
4	Программное обеспечение разработки библиотек стандартных ячеек	2	6	15	23
	Итого:	12	12	48	72
	Итого по курсу				72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Проектирование библиотек стандартных ячеек» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Метод преподавания – проблемный, форма обучения – групповая, форма общения – интерактивная. Обязательное посещение лабораторных занятий и текущих аттестаций.

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнится, когда требуется.

Следует помнить, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
 - понимать значение и важность ее в данном курсе;
 - четко представлять план;
 - уметь выделить основное, главное;
 - усвоить значение примеров и иллюстраций;
 - связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
 - представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.
- Существует несколько общих правил работы на лекции:
- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
 - к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;

- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью. Самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности. Она обеспечивает формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных студентом знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих: понимание методологических основ построения изучаемых знаний; выделение главных структур учебного курса; формирование средств выражения в данной области; построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студента при изучении курса «Проектирование библиотек стандартных ячеек» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, подготовку к лабораторным работам, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Проектирование библиотек стандартных ячеек» включает в себя:

изучение теоретической части курса	- 12 часов;
подготовка к лабораторным занятиям	- 12 часов;
подготовка к зачету	- 24 часов;
Итого	- 48 часов.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника : [учебное пособие] / Е.П. Угрюмов. – 3-е изд. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 797 с.
2	Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : [учебное пособие] / М.Н. Петров, Г.В. Гудков. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2017. – 462 с.
3	Степаненко И. П. Основы микроэлектроники : учебное пособие для вузов / И.П.Степаненко. – 2-е изд. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 488 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Харрис Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера = Digital design and computer architecture : пер. с англ. / Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис .— Москва : ДМК Пресс, 2017 .— 791 с.
5	Поляков А. К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры / А. К. Поляков .— М. : Солон-пресс, 2003 .— 313 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
6	VLSI and ASIC Technology Standard Cell Library Design <URL: http://www.vlsitechnology.org/ >
7	Alliance - A Free VLSI/CAD System <URL: https://www-soc.lip6.fr/equipe-cian/logiciels/alliance/ >

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Язык Verilog и проектирование цифровых устройств на ПЛИС : учебно-методическое пособие / Е.В. Богатилов, А.Н. Шебанов .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— 60 с.
2	Шебанов А. Н. Основы схемотехнического моделирования в NGSPICE : учебно-методическое пособие / А. Н. Шебанов, Е. В. Богатилов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2021.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебного процесса по дисциплине:

№ п/п	Источник
1	http://www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
2	https://edu.vsu.ru – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

3	Федеральный портал «Российское образование» http://www.edu.ru
---	-----------------------------------------------------------------------------------------------

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционные занятия проводятся в мультимедийном кабинете кафедры ФППиМЭ, оснащённым стационарным мультимедийным проектором AcerX125H – 1 шт., ноутбук emachines e510 – 1 шт., экран, с лицензионным программным обеспечением Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Для проведения лабораторных работ необходим компьютерный класс с лицензионным программным обеспечением - лаборатория вычислительных систем и математического моделирования, оснащенная сервером на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 2 шт. , подключенные к сети Интернет с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ и с лицензионным программным обеспечением: Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; программный комплекс для ЭВМ – MathWorks Total Academic Headcoun, Университетская лицензия, договор 3010-07/01-19 от 09.01.19; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Аудитория для самостоятельной работы студентов оснащена сервером на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 2 шт. , подключенные к сети Интернет с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ и лицензионным программным обеспечением: Microsoft Windows 7, Windows 10, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Техника работы со стандартными ячейками	ПК-2	ПК-2.3	Отчет о выполнении лабораторной работы №1
2	Временная характеристика стандартных ячеек	ПК-2	ПК-2.3	Отчет о выполнении лабораторной работы №2
3	Энергетическая оптимизация цифровых блоков	ПК-2	ПК-2.3	Отчет о выполнении лабораторной работы №3
4	Программное обеспечение разработки библиотек стандартных ячеек	ПК-2	ПК-2.3	Отчет о выполнении лабораторных работ №4-6
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет				Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью оценки отчетов о выполнении лабораторных работ.

Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Формулировка технического задания на разработку цифровой библиотеки.

Лабораторная работа № 2. Построение временного графа цифровой схемы.

Лабораторная работа № 3. Расчет потребляемой мощности цифровой схемы.

Лабораторная работа № 4. Разработка схемотехнического и топологического представлений стандартной ячейки.

Лабораторная работа № 5. Временная характеристика стандартной ячейки.

Лабораторная работа № 6. Разработка спецификации стандартной ячейки.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине – *зачет*. Оценка за освоение дисциплины определяется ведущим дисциплину преподавателем как экспертом.

Примерный перечень вопросов для текущего контроля успеваемости

1. Опишите структуру процесса разработки цифровых устройств. Поясните назначение каждого этапа проектирования.
2. Поясните последовательность этапов синтеза топологии цифрового устройства.
3. Что представляет собой оптимизация топологии цифрового устройства? Какие виды оптимизации существуют?
4. Что такое дерево синхронизации? Для чего выполняется его оптимизация?
5. Перечислите основные этапы физической верификации топологии цифровых устройств.
6. Что содержит библиотека цифровых элементов?
7. Поясните назначение библиотечных файлов lef, tbl, lib.
8. Для чего проводится стандартизация цифровых ячеек?
9. Какими способами обеспечивается максимальная плотность элементов при автоматическом синтезе топологии?
10. Что такое элморовская задержка?
11. Опишите особенности синтеза топологии при большом и малом числе доступных уровней металла.
12. Какие вспомогательные элементы входят в состав цифровых библиотек и каково их назначение?
13. Что такое нагрузочная способность логического элемента?
14. Каковы задачи временной характеристики стандартных ячеек?
15. Какие параметры стандартных ячеек определяются в ходе временной характеристики?
16. В чем заключаются особенности характеристики элементов памяти?
17. Что такое временной граф цифровой схемы?
18. Каковы задачи энергетической оптимизации?
19. Чему равна мощность, рассеиваемая КМОП-инвертором?

20. Какая программа в составе пакета Cadence IC отвечает за характеризацию стандартных ячеек?
21. Какая информация включается в состав спецификации стандартной ячейки цифровой библиотеки?

Перечень вопросов к зачету

1. Базовые и вспомогательные элементы цифровой библиотеки.
2. Структура файлов формата Synopsys Liberty.
3. Набор файлов цифровой библиотеки.
4. Структура спецификации на стандартные ячейки цифровой библиотеки.
5. Ячейки ввода/вывода цифровых библиотек.
6. Маршрут разработки цифровой библиотеки.
7. Правила для библиотек, базирующихся на сетке.
8. Синхронное и асинхронное логическое моделирование.
9. Каналы трассировки в цифровых схемах.
10. Минимально допустимое напряжение питания цифровой схемы.
11. Характеризуемые временные параметры стандартных цифровых ячеек.
12. Оценка потребления мощности КМОП-схемы.
13. Расчет элморовской задержки.
14. Теплофизические ограничения проектирования цифровых схем.
15. Временной граф цифровой схемы.
16. Алгоритм обнаружения ложных путей распространения сигнала.
17. Анализ и оптимизация тактового дерева.
18. Алгоритм поиска критических путей.

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения практических работ.

Каждому обучающемуся задаются вопросы по всем разделам спецкурса.

Оценка освоения компетенций обучающимися во время прохождения спецкурса осуществляется по следующим критериям:

- уровень профессиональной подготовки;
- ответы на контрольные вопросы.

Уровень профессионализма (профессиональные знания, умения, навыки и компетенции) оценивается по следующим показателям:

- умение формулировать цели исследований;
- адекватное применение физико-математического аппарата для решения поставленных задач;
- адекватная рефлексия выполняемой научно-практической деятельности.

На основании выполнения обучающимся программы спецкурса и с учетом критериев оценки итогов освоения спецкурса выставляется: «зачтено»/«не зачтено».

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- оценка «зачтено» выставляется при полном соответствии работы обучающихся всем вышеуказанным показателям: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически и в полном объеме. Данный уровень обязателен для всех осваивающих ООП;
- оценка «не зачтено» выставляется в случае несоответствия работы обучающегося всем требуемым показателям, неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении заданий, предусмотренных программой спецкурса.