

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



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
физики полупроводников и микроэлектроники
(Е.Н.Бормонтов)

31.08.2022

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.07 Элементная база цифровых интегральных схем

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: **11.03.04**
Электроника и наноэлектроника

2. Профиль подготовки: Интегральная электроника и наноэлектроника

3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

4. Форма образования: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физики полупроводников и микроэлектроники

6. Составители программы: Богатиков Евгений Васильевич,
кандидат физико-математических наук

7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 14.06.2022

8. Учебный год: **2025-2026** Семестр: **8**

9. Цели и задачи учебной дисциплины: Целями освоения дисциплины «Элементная база цифровых интегральных схем» является формирование специальных знаний о полном цикле проектирования цифровых интегральных схем.

В задачи дисциплины входят:

- изучение базовых функциональных узлов и микроархитектур цифровых устройств;
- изучение маршрута и средств проектирования цифровых интегральных схем;
- приобретение умений и навыков функционально-логического синтеза цифровых интегральных схем.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: Дисциплина включена в число дисциплин части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б1 по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника.

Для ее усвоения требуются знания, формируемые при освоении дисциплин Б1.В.04 Твердотельная электроника, Б1.В.05 Основы проектирования электронной компонентной базы.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций профессионального стандарта 40.016 «Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле».

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-1	Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	ПК-1.1	Проводит сравнительный анализ существующих способов реализации цифровых и аналоговых СФ-блоков и на его основе разрабатывает общую архитектуру проектируемых СФ-блоков	Знать: - методологию и маршрут проектирования цифровых схем - стили описания цифровых блоков - методологию функционально-логического синтеза цифровых устройств средствами САПР Уметь: - разрабатывать RTL-описания цифровых блоков - формулировать задачи функциональной и временной верификации логических схем и функциональных блоков - разрабатывать тестовые воздействия для верификации RTL-описания цифровых блоков - практически применять инженерные методы логического синтеза комбинационных и последовательностных схем - проводить синтез списка цепей в базе библиотеки средствами САПР
		ПК-1.2	Определяет численные значения основных технических характеристик цифровых и аналоговых СФ-блоков	
		ПК-1.3	Создает схемотехнические и символьные представления СФ-блоков в системах автоматизированного проектирования, а также списки соединений на основе графических представлений электрических схем	

ПК-2	Способен выполнять моделирование схем отдельных аналоговых блоков и принимать решения об уточнении первичного схемотехнического описания на основе результатов анализа и верификации результатов моделирования	ПК-2.1	Применяет средства САПР для реализации основных методов схемотехнического моделирования	Уметь: - проводить моделирование разработанного функционального описания средствами САПР - проводить машинные эксперименты с целью оценки функциональных и временных характеристик логических элементов и функциональных блоков - проводить анализ и сравнение результатов моделирования функционального описания с эталонными результатами моделирования поведенческой модели
		ПК-2.2	Анализирует результаты схемотехнического моделирования и формирует отчеты о временных, частотных и мощностных характеристиках цифровых и аналоговых СФ-блоков	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 5 / 180.

Форма промежуточной аттестации – экзамен

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы		Трудоемкость (часы)	
		Всего	По семестрам
Аудиторные занятия,		72	72
в том числе:	лекции	24	24
	лабораторные	48	48
Самостоятельная работа		72	72
Форма промежуточной аттестации: экзамен		36	36
Итого:		180	180

13.1. Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Маршрут и средства проектирования цифровых интегральных схем	Базовые этапы проектирования цифровых интегральных схем: системное проектирование, функциональное проектирование, логическое проектирование, схемотехническое проектирование, топологическое проектирование. Поведенческое описание схемы средствами языков проектирования аппаратуры. Детализация поведенческого описания. Логический синтез средствами САПР. Библиотеки элементов. Средства верификации.
1.2	Основные функциональные узлы цифровых интегральных схем	Сумматоры: с последовательным переносом, с ускоренным переносом, префиксные. Компараторы. Арифметико-логическое устройство. Схемы сдвига и циклического сдвига. Умножитель.

		Матрица деления. Счетчики. Сдвиговые регистры. Матрицы памяти: динамическое оперативное запоминающее устройство, статическое оперативное запоминающее устройство, постоянное запоминающее устройство. Матрицы логических элементов.
1.3	Понятие и примеры микроархитектур	Понятие микроархитектуры. Анализ производительности микроархитектуры. Однотактный, многотактный и конвейерный процессоры: тракты данных и устройства управления. Конфликты в конвейере и способы их разрешения. Улучшенные микроархитектуры: суперскалярный процессор, процессор с внеочередным выполнением команд, симметричный и гетерогенный мультипроцессор.
1.4	Подсистема ввода-вывода цифровых интегральных схем	Обмен данными с устройствами ввода-вывода. Цифровой ввод-вывод общего назначения. Интерфейсы последовательного ввода-вывода: SPI, UART. Таймеры и прерывания.

2. Лабораторные занятия

2.1	Маршрут и средства проектирования цифровых интегральных схем	Лабораторная работа № 1. Маршрут проектирования в Qflow.
2.2	Основные функциональные узлы цифровых интегральных схем	Лабораторная работа № 2. Проектирование арифметико-логического устройства. Лабораторная работа № 3. Проектирование оперативного запоминающего устройства.
2.3	Понятие и примеры микроархитектур	Лабораторная работа № 4. Проектирование однотактного тракта данных. Лабораторная работа № 5. Проектирование однотактного устройства управления. Лабораторная работа № 6. Проектирование однотактного процессора.

13.2. Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Маршрут и средства проектирования цифровых интегральных схем	2	8	18	28
2	Основные функциональные узлы цифровых интегральных схем	8	8	18	34
3	Понятие и примеры микроархитектур	8	32	18	58
4	Подсистема ввода-вывода цифровых интегральных схем	6	-	18	24
	Итого:	24	48	72	144
	Экзамен				36
	Итого по курсу				180

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Элементарная база цифровых интегральных схем» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

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 углубить понимание как нового, так и уже изученного материала благодаря установлению взаимосвязей между отдельными частями курса.

Хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему лекции;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план лекции;
- 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.

Важной составляющей курса являются лабораторные работы, которые позволяют приобрести навыки работы с реальными приборами твердотельной электроники, а также измерительной аппаратурой. Выполнение лабораторной работы требует тщательной предварительной подготовки. Необходимо заранее ознакомиться с теоретическим введением к предстоящей лабораторной работе для того, чтобы выполнение работы в аудитории было полностью осмысленным. Также необходимо помнить, что составление отчета о выполнении лабораторной работы является не только ключевым этапом в систематизации и осознании полученных данных, но и необходимым умением в будущей профессиональной деятельности, предполагающей регулярное составление подобных отчетов.

Наряду с теоретическим курсом и лабораторными работами важной составляющей обучения является самостоятельная работа. Она предназначена как для формирования навыков самостоятельной работы вообще, так и для развития способностей принимать на себя ответственность, находить конструктивные решения и выход из кризисной ситуации.

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

Таким образом, самостоятельная работа формирует черты характера, играющие существенную роль в структуре личности современного специалиста.

Преподаватель организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для профессиональной деятельности в избранной сфере.

Получение образования предполагает не только обучение решению задач определенной сферы деятельности, но и формирование особого профессионального стиля мышления. Профессиональный стиль мышления означает готовность к поиску решения любой задачи в ходе практической деятельности, даже такой, которая не была затронута в ходе обучения.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося 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 обучающихся при изучении курса «Элементная база цифровых интегральных схем» включает в себя: работу с теоретической частью курса, оформление отчетов о выполнении лабораторных работ и подготовку к выполнению лабораторных работ, подготовку к экзамену.

Рекомендуемое распределение нагрузки между компонентами самостоятельной работы:

изучение теоретической части курса	- 36 часов
подготовка к лабораторным занятиям	- 36 часов
итого - 72 часа	

Подготовка к экзамену – 36 часов

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Харрис Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера : пер. с англ. / Д. М. Харрис, С. Л. Харрис. – 2-е изд., испр. – Москва : ДМК Пресс, 2018. – 791 с.
2	Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника : [учебное пособие для студ. вузов] / Е.П. Угрюмов. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2010. – 797 с.
3	Романов А.Ю. Цифровой синтез: практический курс / Романов А.Ю., Панчул Ю.В. – Москва : ДМК-пресс, 2020. – 556 с. – Цифровой синтез: практический курс [Электронный ресурс] / под общ. ред. А.Ю. Романова, Ю.В. Панчула. – М. : ДМК Пресс, 2020. – <URL:https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970608500.html>.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Основы цифровой схемотехники: учебное пособие : Ч. 1. Основы булевой алгебры. Цифровые структуры К-типа / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: В.И. Ключкин, Ю.К. Николаенков, Е.Н. Бормонтов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016. – 52 с. <URL:http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m16-111.pdf>.
5	Основы цифровой схемотехники : учебное пособие. Ч.2. Цифровые структуры П-типа. Микропроцессорные системы / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: В.И. Ключкин, Ю.К. Николаенков, Е.Н. Бормонтов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016. – 76 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

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

8	http://opencircuitdesign.com/qflow/ – Qflow 1.3 Digital Synthesis Flow Tutorial Page
9	https://marsohod.org – MAPCOXOD Open Source Hardware Project

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. Богатиков, А.Н. Шебанов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018. – 60 с.
2	Логические и схемотехнические основы цифровых технологий : пособие для самостоятельной работы студентов / Воронеж. гос. ун-т; сост.: В.И. Клюкин, Е.В. Невежин, Ю.К. Николаенков. – Воронеж : ЛОП ВГУ, 2006. – 87 с. <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/sep06015.pdf >

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины:

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа - мультимедийный кабинет кафедры ФППиМЭ: стационарный мультимедийный проектор Acer X125H – 1 шт., ноутбук emachines e510 – 1 шт.; Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019

Учебная лаборатория микропроцессорных систем: компьютеры Lenovo V520-15IKL – 8 шт., Microsoft Windows 10, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019, свободно распространяемое ПО Qflow.

Аудитория для самостоятельной работы студентов: Сервер 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 и с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ; Microsoft Windows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019.

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	Маршрут и средства проектирования цифровых интегральных схем	ПК-1	ПК-1.1	Отчеты о выполнении лабораторных работ
2	Основные функциональные	ПК-1,	ПК-1.2,	Отчеты о выполнении лабо-

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
	узлы цифровых интегральных схем	ПК-2	ПК-1.3, ПК-2.1, ПК-2.2	рабочих работ
3	Понятие и примеры микроархитектур	ПК-1, ПК-2	ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-2.1, ПК-2.2	Отчеты о выполнении лабораторных работ
4	Подсистема ввода-вывода цифровых интегральных схем	ПК-1, ПК-2	ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-2.1, ПК-2.2	Отчеты о выполнении лабораторных работ
Промежуточная аттестация: форма контроля – экзамен				Комплект КИМ

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

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

Примеры вопросов для текущего контроля успеваемости

- Найдите значение задержки для следующих 64-разрядных сумматоров, если задержка любого двухвходового элемента равна 150 пс, а задержка полного сумматора -450 пс:
 - сумматор с последовательным переносом;
 - сумматор с ускоренным переносом, состоящий из 4-битовых блоков;
 - префиксный сумматор.
- Каким образом можно построить любую N-битовую схему сдвига или циклического сдвига, используя $\log_2 N$ мультиплексоров 2:1?
- Какие команды одноктактного процессора перестанут работать при неисправности управляющего сигнала RegWrite/MemWrite/ALUOp₁ типа stack-at-0/ stack-at-1 (постоянное равенство нулю/постоянное равенство единице)? Почему?
- Перечислите преимущества конвейерных микропроцессоров.
- Что ограничивает количество стадий конвейера в конвейерных микропроцессорах, если увеличение количества стадий увеличивает быстродействие?

Критерии оценивания текущей успеваемости

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и лабораторных задач	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Комплект КИМ

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Базовые этапы проектирования цифровых интегральных схем.
2. Цифровой ввод-вывод общего назначения.

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Средства поведенческого описания цифровых схемы.
2. Интерфейс последовательного ввода-вывода SPI.

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Понятие и средства логического синтеза.
2. Интерфейс последовательного ввода-вывода UART.

Контрольно-измерительный материал № 4

1. Библиотеки элементов цифровых схем.
2. Таймеры в цифровых схемах.

Контрольно-измерительный материал № 5

1. Средства верификации цифровых схем.
2. Анализ производительности микроархитектуры.

Контрольно-измерительный материал № 6

1. Сумматор с последовательным переносом.
2. Понятие микроархитектуры.

Контрольно-измерительный материал № 7

1. Сумматор с ускоренным переносом.
2. Тракт данных одноктактного процессора.

Контрольно-измерительный материал № 8

1. Префиксный сумматор.
2. Устройство управления одноктактного процессора.

Контрольно-измерительный материал № 9

1. Схемы сдвига и циклического сдвига.
2. Тракт данных многотактного процессора.

Контрольно-измерительный материал № 10

1. Арифметико-логическое устройство.
2. Конвейерный тракт данных.

Контрольно-измерительный материал № 11

1. Матрицы памяти.
2. Конвейерное устройство управления.

Контрольно-измерительный материал № 12

1. Матрицы логических элементов.
2. Конфликты конвейерного процессора.

Описание технологии проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине – экзамен. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Элементная база цифровых интегральных схем» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Элементная база цифровых интегральных схем»: (или таблица)

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей или в случае предоставления курсовых работ и отчетов по лабораторным работам позже установленного срока. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей.

Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Элементная база цифровых интегральных схем» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.