

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЭИС, проф.

С.И. Эминов

«02» апреля 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

учебной дисциплины

САПР В ЭЛЕКТРОНИКЕ

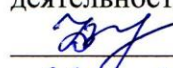
по направлению подготовки

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) Микро- и нанoeлектронные устройства

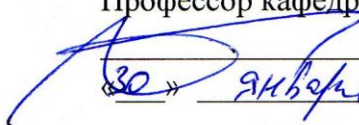
СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела обеспечения
деятельности ИЭИС

 П.В. Лысухо
«02» апреля 2019 г.

Разработал

Профессор кафедры ФТТМ

 М.Н. Петров
«30» января 2019 г.

Принято на заседании кафедры

Протокол № 5 от «01» 02 2019 г.

Заведующий кафедрой

 Б.И. Селезнев
«01» 02 2019 г.

1 Цели освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины «САПР в электронике»: формирование компетентности студентов в области расчета и моделирования компонентов, элементов и систем, входящих в состав современных интегральных схем (СБИС, памяти и систем на кристалле) с использованием средств САПР (ECAD).

Задачи:

- а) познакомить обучающихся с теоретическими основами САПР и комплексом средств САПР, используемых в микроэлектронной промышленности;
- б) подготовить обучающихся к использованию программных средств САПР, для выполнения моделирования и разработки широкого класса микро- и нанoeлектронных ИС, включая разнообразные приборы, аналоговые и цифровые фрагменты СБИС, системы на кристалле;
- в) сформировать у обучающихся навыки практической реализации автоматизированного проектирования в современных пакетах САПР.

2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к обязательной части учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника и направленности (профилю) Микро- и нанoeлектронные устройства (далее – ОПОП). В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках следующих дисциплин, изученных студентами при подготовке по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника: «Физика конденсированного состояния», «Микроэлектроника и твердотельная электроника», «Схемотехника», «Элементная база СБИС», «Проектирование цифровых устройств».

Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения и выполнения научно-исследовательской работы (НИР), предусмотренной данной магистерской программой.

3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

Профессиональные компетенции:

- ОПК-3 Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач;
- ОПК-4 Способен разрабатывать и применять специализированное программно-математическое обеспечение для проведения исследований и решения инженерных задач.

Результаты освоения учебной дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты освоения учебной дисциплины

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)		
ОПК-3 Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач	Знать принципы построения локальных и глобальных компьютерных сетей, основы Интернет-технологий, типовые процедуры применения проблемно-ориентированных прикладных программных средств в дисциплинах профессионального цикла и профессиональной сфере деятельности	Уметь использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности научной и образовательной сфер деятельности	Владеть методами математического моделирования приборов и технологических процессов с использованием современных информационных технологий
ОПК-4 Способен разрабатывать и применять специализированное программно-математическое обеспечение для проведения исследований и решения инженерных задач	Знать методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств;	Уметь осуществлять выбор наиболее оптимальных прикладных программных пакетов для решения соответствующих задач научной и образовательной деятельности	Владеть современными программными средствами (CAD) моделирования, оптимального проектирования и конструирования приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

4 Структура и содержание учебной дисциплины

4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Части учебной дисциплины (модуля)	Всего	Распределение по семестрам
		1 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	3	3
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	27	27
3. Курсовая работа/курсовый проект (АЧ) (при наличии)	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	81	81
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	ДЗ	ДЗ

4.2 Содержание учебной дисциплины

Тема 1. Введение. Базовые концепции построения современных САПР электронной техники: имитационное моделирование и многоуровневое (иерархическое) проектирование.

Тема 2. Автоматизация проектирования заказных (ASIC) БИС. Проблемы создания сквозной САПР.

Тема 3. Интегрированные САПР на базе программных средств, используемых на различных уровнях проектирования ИС.

Тема 4. Кремниевый (физический) уровень проектирования.

Тема 5. Приборный уровень проектирования – расчет параметров физических моделей компонентов ИС.

Тема 6. Проектирование топологии специализированных (заказных) интегральных схем в базе КМОП с помощью САПР MicroWind.

Тема 7. Схемотехнический этап проектирования на базе SPICE-подобных систем моделирования (PSPICE, AIM-SPICE, LTSPICE).

Тема 8. Функционально-логический (вентильный) этап проектирования ИС.

Тема 9. Программные средства, используемые на системном этапе проектирования.

4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 – Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)				Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля
		Аудиторная			В т.ч. СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР			
1	Введение. Базовые концепции построения современных САПР электронной техники: имитационное моделирование и многоуровневое (иерархическое) проектирование.	1	2			7	практическая работа
2	Автоматизация проектирования заказных (ASIC) БИС. Проблемы создания сквозной САПР.	1	2		1	7	практическая работа
3	Интегрированные САПР на базе программных средств, используемых на различных уровнях проектирования ИС.	1	2			7	практическая работа
4	Кремниевый (физический) уровень проектирования.	1	2		1	7	практическая работа
5	Приборный уровень проектирования – расчет параметров физических моделей компонентов ИС.	1	2			7	практическая работа
6	Проектирование топологии специализированных (заказных) интегральных схем в базисе КМОП с помощью САПР MicroWind.	1	2		1	7	практическая работа
7	Схемотехнический этап проектирования на базе SPICE-подобных систем моделирования (PSPICE, AIM-SPICE, LTSPICE).	1	2		1	7	практическая работа

	Функционально-логический (вентильный) этап проектирования ИС.	1	2		1	7	практическая работа
9	Программные средства, используемые на системном этапе проектирования.	1	2			7	практическая работа
						18	реферат
	Промежуточная аттестация						ДЗ
	ИТОГО	9	18		5	81	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

Курсовые работы/курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1	Введение. Базовые концепции построения современных САПР электронной техники: имитационное моделирование и многоуровневое (иерархическое) проектирование. Иерархия СБИС и уровни проектирования.: кремниевый (физический), компонентный (транзисторный), схемотехнический, функционально-логический (вентильный), регистровый, микропроцессорный (микросхемный), системный (информационная лекция)	1
2	Автоматизация проектирования заказных (ASIC) БИС. Проблемы создания сквозной САПР. Кремниевые компиляторы – разновидность САПР, позволяющих разрабатывать топологию ИС на основе системного описаний высокого уровня абстракции. Алгоритм генерации топологии ИС кремниевым компилятором. Недостатки кремниевых компиляторов: неэффективность использования площади кристалла за счет использования избыточного количества транзисторов и низкая универсальность (информационная лекция)	1
3	Интегрированные САПР на базе программных средств, используемых на различных уровнях проектирования ИС. Основные производители: SYNOPSYS, CADENCE, MENTOR GRAPHICS (информационная лекция)	1
4	Кремниевый (физический) уровень проектирования. Программные средства для моделирования технологических процессов. Моделирование основных этапов стандартного технологического процесса: диффузии, имплантации (включая метод Монте-Карло), окисления, травления, осаждения и силицидизации в одно- двух- и трехмерном измерении для кремния и сложных полупроводников в среде САПР Sentaurus Process и Sentaurus Structure Editor (информационная лекция)	1
5	Приборный уровень проектирования – расчет параметров физических моделей компонентов ИС. Системы приборно-технологического моделирования (TCAD). Введение в САПР SENTAURUS TCAD. Программа Sentaurus Device – универсальный модуль для моделирования характеристик разнообразных полупроводниковых устройств. Основные особенности и возможности этого модуля. Синтез приборно-технологических моделей. Возможность реализации смешанного моделирования с использованием компактных (SPICE) и физических моделей компонентов ИС (информационная лекция)	1

6	Проектирование топологии специализированных (заказных) интегральных схем в базе КМОП с помощью САПР MicroWind. Процедуры автоматизированной проверки выполнения правил проектирования и трехмерной визуализации последовательности технологических операций при формировании фрагментов интегральных схем. Сквозная интеграция различных уровней проектирования: технологии, топологии, компонентов, схемотехники на примере выполнения проекта топологии фрагмента интегральной схемы в САПР MicroWind3.5 с последующей проверкой правильности функционирования в САПР DSCH3.5 и CM WinSPICE3 (информационная лекция)	1
7	Схемотехнический этап проектирования на базе SPICE-подобных систем моделирования (PSPICE, AIM-SPICE, LTSPICE). Задачи схемотехнического моделирования. Отличие компактных моделей от приборно-технологических моделей (физических). Варианты синтеза компактных моделей. Типы компактных (SPICE) моделей. Четыре поколения компактных моделей (информационная лекция)	1
8	Функционально-логический (вентильный) этап проектирования ИС. Цель логического моделирования. Высокоуровневые языки описания цифровых систем: VHDL, Verilog и System Verilog. САПР Quartus II фирмы Altera (информационная лекция)	1
9	Программные средства, используемые на системном этапе проектирования. Проблемы проектирования сложных систем. Синтез систем на базе IP-блоков. Особенность проектирования систем на кристалле (SoC) - слияние не только различных функциональных блоков, но и разных способов проектирования. Разновидности блоков индивидуальной собственности. Фирмы-разработчики IP-модулей: Acorn RISC Machine (ARM), Falanx (графические процессоры Mali). Средства визуального проектирования на примере программного продукта Simulink, входящего в состав системы компьютерной математики MATLAB. Достоинства – наличие обширной, открытой для изучения и модификации библиотеки разнообразных функциональных блоков: цифровых, аналоговых, радиочастотных, датчиков. Возможность синтеза уникальных блоков путем написания подпрограмм на языке MATLAB, а также C++, Fortran и Ada. Возможность интеграции системного этапа проектирования с логическим и схемотехническим этапами за счет поддержки языка цифрового моделирования VHDL и моделей блоков ИС, написанных на языке программы SPICE (информационная лекция)	1
ИТОГО		9

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1	Моделирование технологического маршрута создания КМОП-инвертора с топологической нормой 90 нм в двухмерном (2D) приближении с использованием модуля Sentaurus Process САПР Synopsys TCAD (практическая работа).	2
2	Проектирование топологии КМОП инвертора с 90 нм топологическими нормами в САПР Microwind 3.5 (практическая работа).	2
3	Приборное моделирование nМОП-инвертора с длиной канала 90 нм в САПР Sentaurus Device (практическая работа).	2
4	Использование смешанного моделирования (путем интеграции приборного моделирования со схемотехническим) в САПР Sentaurus Device на примере расчета переходного процесса КМОП-инвертора с топологической нормой 90 нм (практическая работа).	2
5	Проверка правильности функционирования и расчет статических и динамических параметров КМОП инвертора с 90 нм топологическими нормами в САПР DSCH3.5 и CM WinSPICE3 (практическая работа).	2
6	Моделирование базовых технологических процессов: окисление, эпитаксия, ионная имплантация в среде САПР Sentaurus Process на примере расчета технологического процесса изготовления pin диода на кремнии (практическая работа).	2
7	Синтез компактной (SPICE) модели компонента ИС на примере диода Шоттки на GaN путем экстракции его параметров из экспериментальных данных: вольт-амперных (ВАХ) и вольт-фарадных характеристик (ВФХ) в системе компьютерной математики MATLAB (практическая работа).	2

8	Разработка 8-битного счетчика на языке VHDL в САПР Quartus II фирмы Altera (практическая работа).	2
9	Синтез имитационной модели подсистемы гиросtabilизации и входящих в нее функциональных блоков на базе САПР Simulink (практическая работа).	2
	ИТОГО	18

Рекомендации к проведению лекционных занятий.

Теоретическая часть учебной дисциплины направлена на формирование системы знаний, обеспечивающих технологическую, приборную, схемотехническую и системную реализацию задач, предназначенных для моделирования и проектирования микро- и нанoeлектронных приборов средствами современных САПР.

Дополнительная литература, не вошедшая в таблицу Б.2.

- 1 Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. – М.: Высшая школа, 1989. – 320 с.
- 2 Maiti C. K. Introducing Technology Computer-Aided Design (TCAD): Fundamentals, Simulations, and Applications. – Pan Stanford Publishing. 2017. – 433 с.
- 3 Wolf W. Modern VLSI Design. IP-Based Design. 4-th Ed. – Pearson Education, 2009. – 631 p.
- 4 Goodnick S. M. and Vasileska D. Computational Electronics. – Morgan & Claypool, 2006. – 216 p.
- 5 Sentaurus Process User Guide. Version E-2010.12, Synopsys, December 2010. – 1038 p.
- 6 Technology computer aided design. Simulation for VLSI MOSFET/ Ed. by Chandan Kumar Sarkar. – N-Y.: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. – 445 p.
- 7 Sentaurus Device User Guide. Version E-2010.12, Synopsys, December 2010. – 1284 p.
- 8 Sicard E. and Bendhia S. D. Basics of CMOS Cell Design. – New York: McGraw-Hill, 2007. – 449 p.
- 9 MICROWIND manual_lite_v35.pdf. (электронный ресурс www.microwind.org)
- 10 Etienne Sicard User's Manual Lite Version. 2009 (электронный ресурс www.microwind.org)
- 11 Рабаи Жан М. Цифровые интегральные схемы: методология проектирования / Жан М.Рабаи, Антанта Чандракасан, Боривож Николич. – 2-е изд.: пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 912 с.
- 12 Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне / Б.П.Вонг, А.Миттал, Ю.Цао, Г.Старр. – М.: Техносфера, 2014. – 432 с.

Рекомендации к проведению практических занятий.

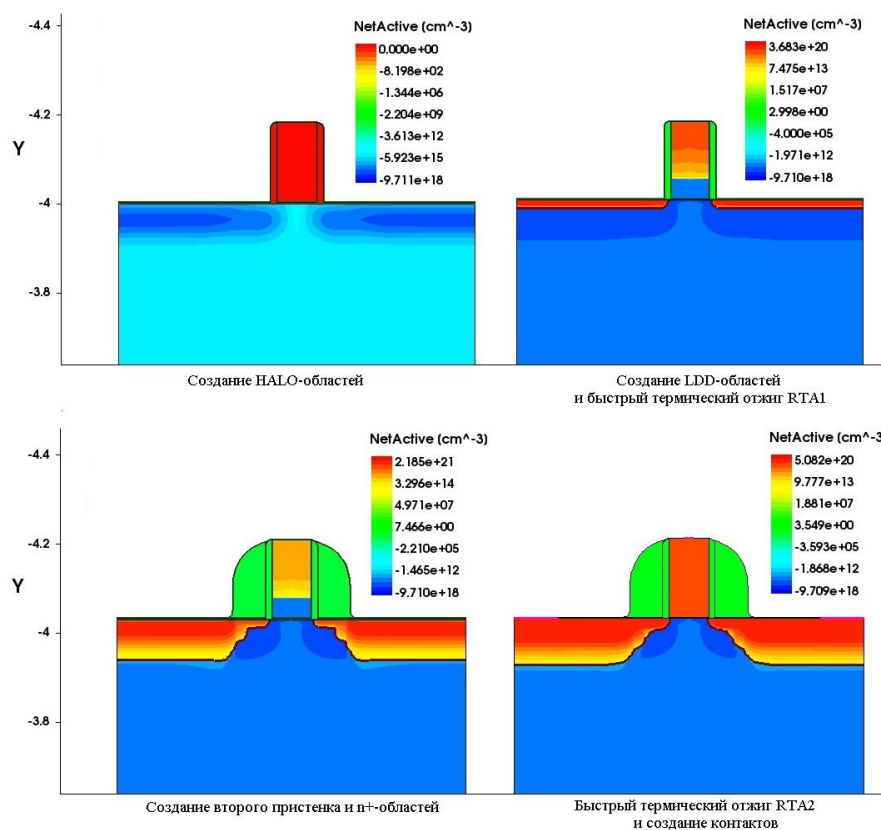
1. По каждой теме практического занятия студенты получают задание, которое самостоятельно выполняют, и при необходимости получают консультации у преподавателя. Результаты работы оформляются в виде отчетов. Практические занятия организованы следующим образом:

- первые пять практических заданий объединены в форме расчетно-графической работы, предназначенной для реализации цифрового фрагмента СБИС. Для каждого из пяти задания используются собственные специфические САПР, а результаты расчета служат исходными данными для выполнения последующих практических заданий;
- остальные четыре задания предназначены для знакомства с использованием САПР, не охваченных в первых пяти работах.

Задание 1. Подготовка к практическому занятию «Моделирование технологического маршрута создания КМОП-инвертора с топологической нормой 90 нм в двухмерном (2D) приближении с использованием модуля Sentaurus Process САПР Synopsys TCAD».

Задания:

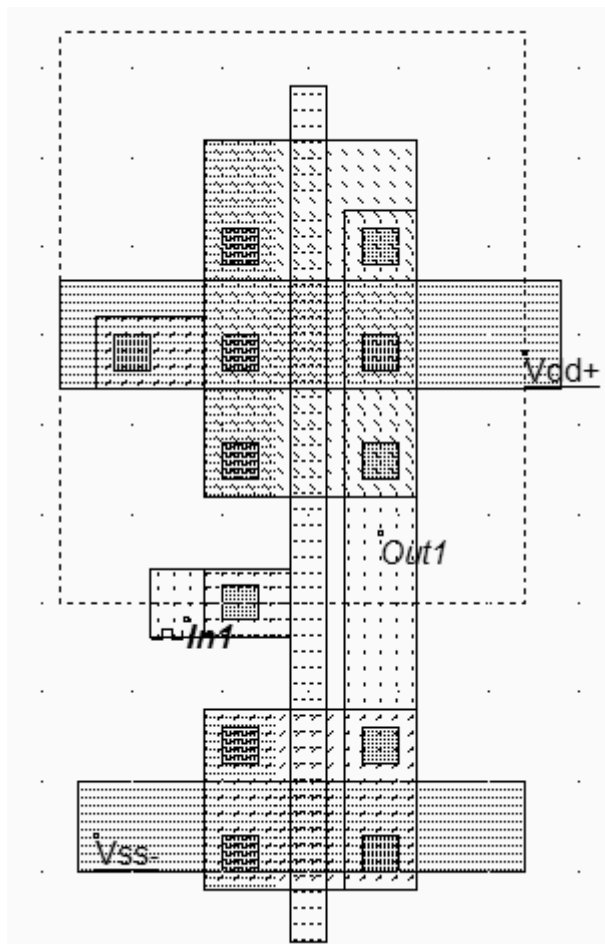
1. Предварительный анализ маршрута изготовления пМОП- и рМОП-транзисторов с проектными нормами 90 нм для, формирования КМОП-инвертора в одном процессе.
2. Выбор граничных условий для моделирования двумерной структуры.
3. Оценка режимов имплантаций, энергия, доза (карманов, LDD-областей, pocket-областей и т.п.)
4. Результаты расчета в виде профилей распределения примеси сохраняется в специальном файле для последующего использования на приборном этапе проектирования.



Двумерные структуры формирования МОП-транзистора

Задание 2. Подготовка к практическому занятию «Проектирование топологии КМОП инвертора с 90 нм топологическими нормами в САПР Microwind 3.5».

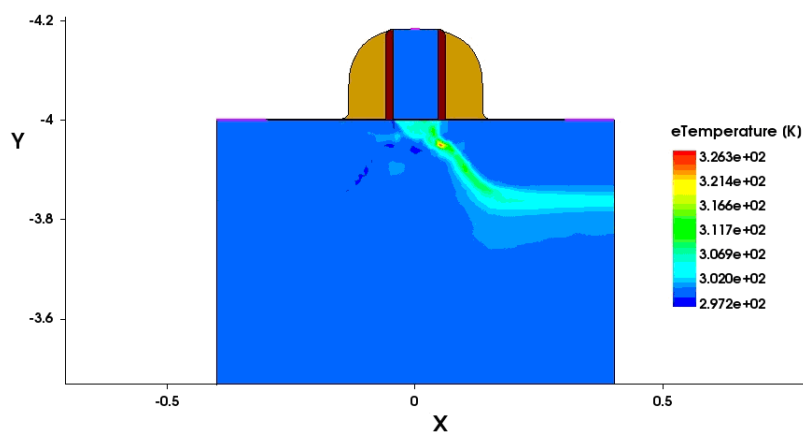
1. Знакомство с технологий проектирования топологии фрагментов СБИС в среде САПР Microwind 3.5.
2. Использование процедуры автоматизированной проверки выполнения правил проектирования для верификации полученного результата.
3. Результаты проектирования в виде топологического чертежа КМОП-инвертора сохраняются в специальном файле для последующего использования на приборном этапе проектирования.



Топологический чертеж КМОП-инвертора

Задание 3. Подготовка к практическому занятию «Приборное моделирование nМОП-инвертора с длиной канала 90 нм в САПР Sentaurus Device».

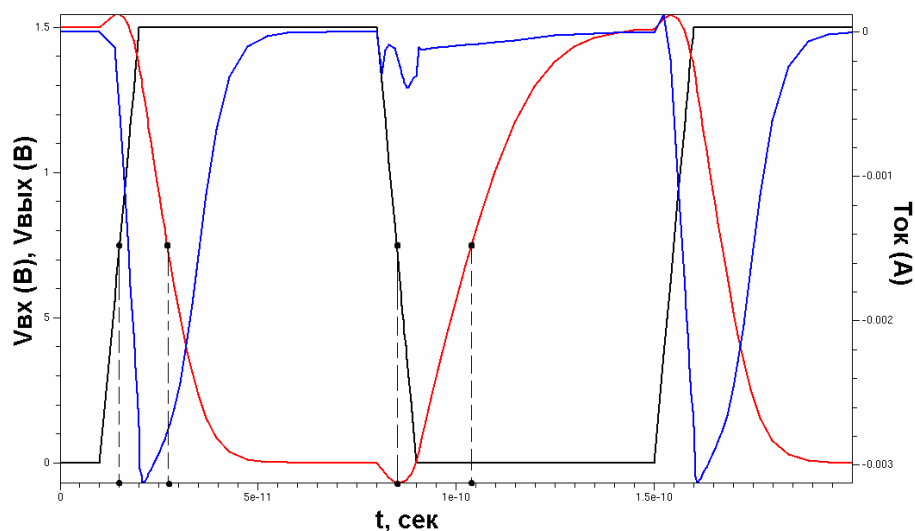
1. Анализ эффектов в nМОП- и pМОП-транзисторах при измерении характеристик (подаче смещения).
2. Выбор моделей для расчета электрических параметров (порогового напряжения, пробивного напряжения, тока утечки).
3. Использование файлов с профилями распределения примесей и топологическим чертежом КМОП-инвертора в качестве исходных данных.
4. Проведение квазистационарного и временного анализов.



Моделирование распределения температуры в pМОП-транзисторе

Задание 4. Подготовка к практическому занятию «Использование смешанного моделирования (путем интеграции приборного моделирования со схемотехническим) в САПР Sentaurus Device на примере расчета переходного процесса КМОП-инвертора с топологической нормой 90 нм».

1. Знакомство с процедурой смешанного моделирования в среде Sentaurus Device, интегрирующей возможности приборного и схемотехнического этапов проектирования.
2. Используемые модели МОП-транзисторов: физические (TCAD) и компактные (SPICE).
3. Анализ и интерпретация полученных результатов.

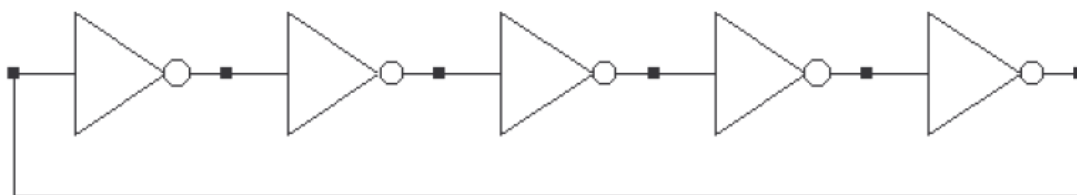


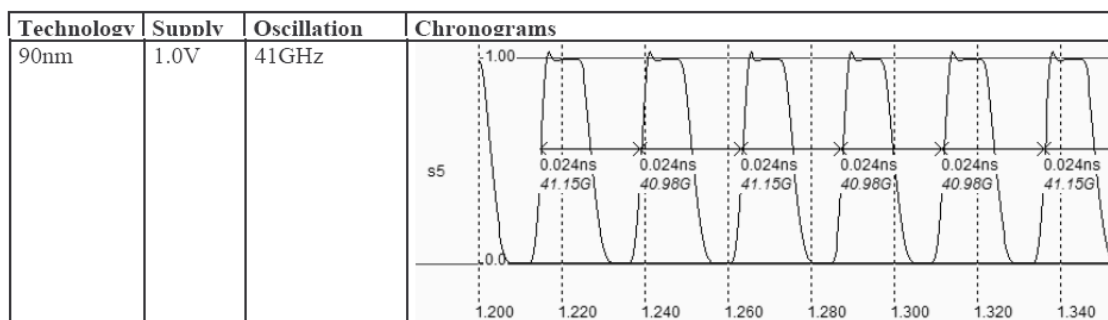
Результаты расчета переходного процесса в КМОП-инверторе: Входное напряжение (черный), выходное напряжение (красный), ток стока NMOS транзистора (синий).

Задание 5. Подготовка к практическому занятию «Проверка правильности функционирования и расчет статических и динамических параметров КМОП инвертора с 90 нм топологическими нормами в САПР DSCH3.5 и CM WinSPICE3».

1. Знакомство с технологией взаимодействия САПР Microwind 3.5 с программными продуктами САПР DSCH3.5 и CM WinSPICE3».
2. Выполнение проверки правильности функционирования инвертора и расчет его статических и динамических параметров.
3. Анализ и интерпретация полученных результатов.

Кольцевой генератор с 5 инверторами





Использование кольцевого генератора (верхний рисунок) для оценки быстродействия инвертора.

Задание 6. Подготовка к практическому занятию «Моделирование базовых технологических процессов: окисление, эпитаксия, ионная имплантация в среде САПР Sentaurus Process на примере расчета технологического процесса изготовления pin диода на кремнии».

1. Знакомство с технологическим процессом изготовления pin диода.
2. Формирование командного файла для расчета профилей распределения примесей с учетом вклада всех технологических операций.

```
#-----
#           2D PIN diode pin_fps.cmd
#-----

math coord.ucs

# Diffuse settings to speed up simulation #####
pdbSet Diffuse IncreaseRatio 8.0
pdbSet Diffuse ReduceRatio 0.5

##### Step 1 Defining Initial 2D Grid #####
#-----Vertical X-axis-----
line x location= 0.0 spacing= 0.2<um> tag=SubTop
line x location= 5.0<um> spacing= 1<um> tag=SubBottom

#-----Horizontal Y-axis-----
line y location= 0.0 spacing= 1<um> tag=SubLeft
line y location= 175<um> spacing= 10<um> tag=SubRight

#----- Step 2 List of all masks in process-----
---
mask name=anode segments= {51 175} negative
#mask name=contacts segments= {0 2}
mask name=metal segments= {0 44}

##### Step 3 Define Si-Substrate #####
region silicon xlo=SubTop xhi=SubBottom ylo=SubLeft yhi=SubRight

##### Step 4 Initializing the Simulation #####
init concentration=2.0e+19<cm-3> field=Arsenic wafer.orient=111
struct smesh=pin0

# Step 5 Global Mesh settings for automatic meshing in newly generated
layers
mgoals normal.growth.ratio=1.1 \
min.normal.size=50<nm> max.lateral.size=10.0<um>
```

```

##### Step 6 Create N-Epi layer #####

deposit Silicon isotropic thickness=15<um> Phosphorus
concentration=6e13<cm-3>

temp_ramp name=WA1 temperature=22<C> ramprate=82.7<C/min> time=14<min>
diffuse temp_ramp=WA1
diffuse temperature=1180<C> time=1<min>
temp_ramp name=WA2 temperature=1180<C> ramprate=-6.6<C/min> time=3<min>
diffuse temp_ramp=WA2
diffuse temperature=1160<C> time=25<min>
temp_ramp name=WA3 temperature=1160<C> ramprate=-82<C/min> time=14<min>

SetPlxList {PTotal AsTotal}
WritePlx Epi.plx
struct smesh=pin_epi

#--- Step 7 Local Grid refinement before implantation for creation P+-
Si
refinebox Silicon min= {-12 0} max= {-15 60 } xrefine = { 0.3 0.1 0.1 }
yrefine = { 1 1 1 } add
refinebox remesh

##### Step 8 Creation P+Anode #####
photo mask=anode thickness=1
implant Boron dose=5e15<cm-2> energy=60<keV> tilt=0<degree>
rotation=0<degree>
strip Resist
SetPlxList {BTotal BActive}
WritePlx impl.plx y=5
struct smesh=pin_impl

# annealing
diffuse temp=1000<C> time=60<min>

SetPlxList {BTotal BActive}
WritePlx aneal.plx y=5
struct smesh= pin_aneal

##### Step 9 - Contacts formation #####
etch oxide anisotropic thickness=500<nm>
deposit aluminum isotropic thickness=500<nm>
etch aluminum anisotropic thickness=700<nm> mask=metal

#***** Step 10 Activate Contacts
#*****
contact name=anode y=0.3 x=-15.2 replace point
contact name=cathode box xlo=5 ylo=0 xhi=5 yhi=175 replace Silicon

#***** 1D Vertical Anode cut *****
SetPlxList {NetActive}
WritePlx Cut1D.plx y=0.1

#***** 1D Vertical Epit cut *****
SetPlxList {NetActive}
WritePlx Cut_Epit.plx y=60

#***** Formation full PIN diode structure *****
transform reflect left

```

```

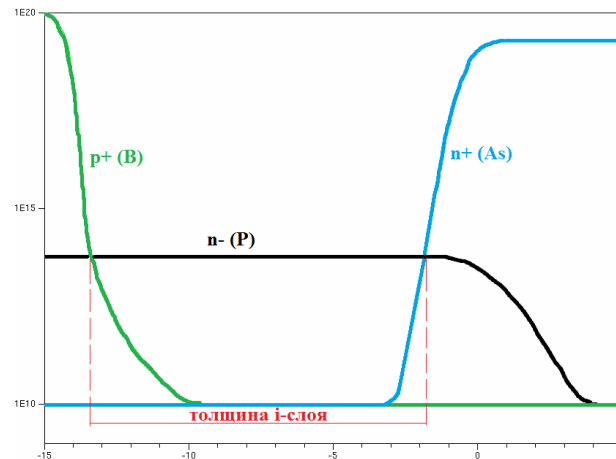
***** Save 2D structure ****
struct smesh=pin

***** output ancillary information ****
select
layers
SheetResistance
Exit

```

Листинг командного файла PIN диода для двухмерного (2D) приближения.

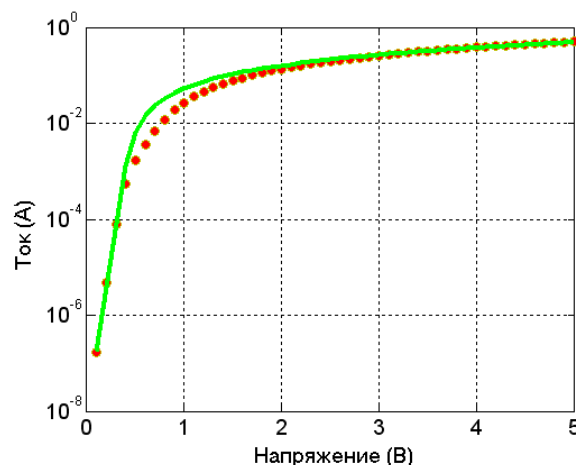
3. Анализ и интерпретация полученных результатов.



Распределения примеси после завершения технологического процесса

Задание 7. Подготовка к практическому занятию «Синтез компактной (SPICE) модели на примере диода Шоттки на GaN путем экстракции его параметров из экспериментальных данных: вольт-амперных (ВАХ) и вольт-фардных характеристик (ВФХ) в системе компьютерной математики MATLAB»

1. Знакомство с процедурами экстракции параметров SPICE модели компонентов ИС на примере диода Шоттки на GaN в программе MATLAB на базе двух методик: полиномиальной аппроксимации и оптимизации.
2. Формирование программных файлов для экстракции статических параметров диода из экспериментальных ВАХ и динамических параметров из экспериментальных ВФХ.
3. Анализ и интерпретация полученных результатов.



Сопоставление экспериментальной ВАХ (o) с ВАХ, построенной на базе компактной модели (—): $I_s = 8.2153e-9$ $n = 1.2509$ $R_S = 9.173$

.Model DSGAN D Is=8.215e-9 n=1.2509 Rs=9.173 BV=97.5 IBV=1.96e-4
+ CJO=7.484 VJ=1.027 M=0.3194

Компактная модель диода Шоттки на GaN, полученная экстракцией ее параметров из экспериментальных ВАХ и ВФХ.

Задание 8. Подготовка к практическому занятию «Разработка 8-битного счетчика на языке VHDL в САПР Quartus II фирмы Altera».

1. Знакомство с процедурами описания базовых функциональных блоков цифровых СБИС на языке VHDL в САПР Quartus II.
2. Формирование программного файла для описания 8-битного счетчика.

```
LIBRARY IEEE;
USE IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
LIBRARY LPM;
USE LPM.ALL;
ENTITY schetchik IS
    PORT ( clk_en : IN STD_LOGIC ;
           clock   : IN STD_LOGIC ;
           q       : OUT STD_LOGIC_VECTOR (3 DOWNTO 0));
END schetchik;
ARCHITECTURE SYN OF schetchik IS
    SIGNAL sub_wire0: STD_LOGIC_VECTOR (3 DOWNTO 0);
    COMPONENT lpm_counter
        GENERIC ( lpm_direction:          STRING;
                  lpm_port_updown  :      STRING;
                  lpm_type:          STRING;
                  lpm_width:         NATURAL);
        PORT (clk_en : IN STD_LOGIC ;
              clock  : IN STD_LOGIC ;
              q      : OUT STD_LOGIC_VECTOR (3 DOWNTO 0) );
    END COMPONENT;
BEGIN
    q <= sub_wire0 (3 DOWNTO 0);

    lpm_counter_component : lpm_counter
        GENERIC MAP ( lpm_direction => "UP",
                      lpm_port_updown => "PORT_UNUSED",
                      lpm_type => "LPM_COUNTER",
                      lpm_width => 4)
        PORT MAP (clk_en => clk_en,
                  clock => clock,
                  q => sub_wire0);
END SYN.
```

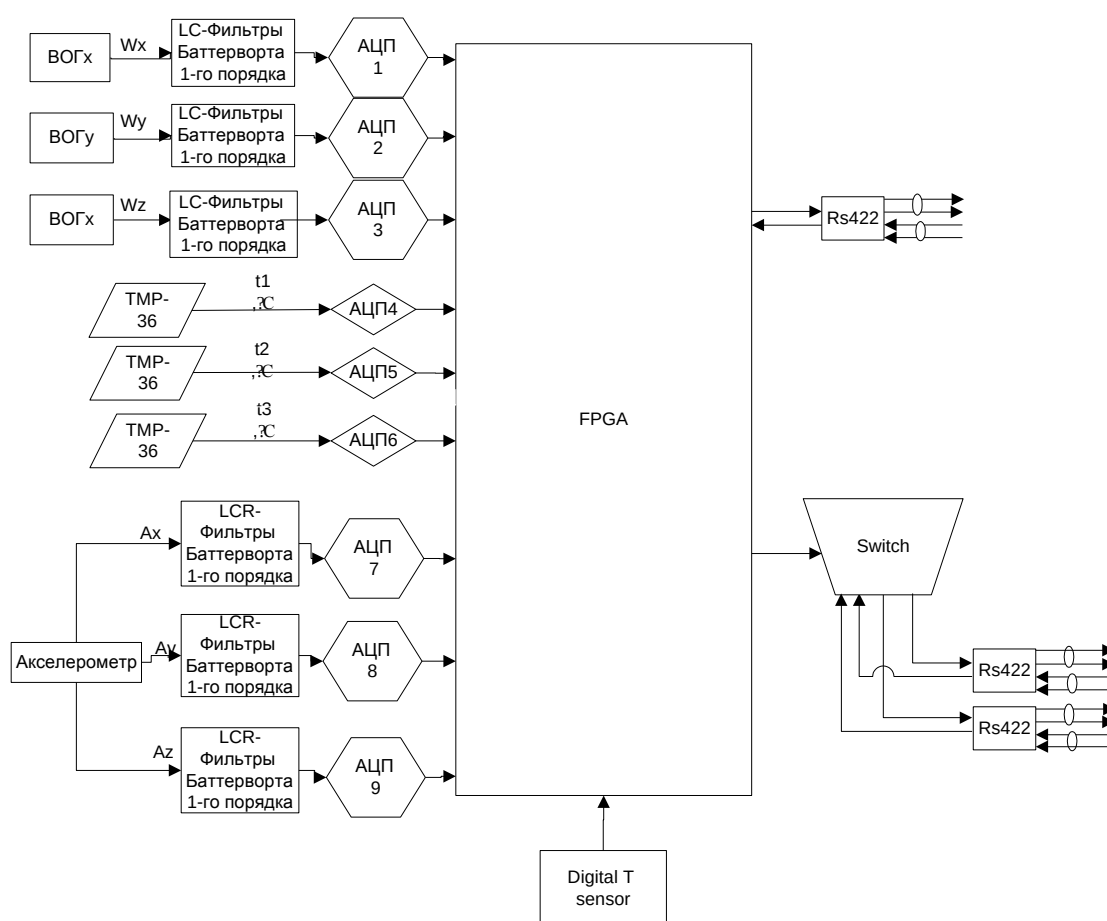
Листинг описания одного из вариантов счетчика (с использованием встроенных мегафункций в программе Quartus II) на языке VHDL.

3. Анализ и интерпретация полученных результатов.

Задание 9. Подготовка к практическому занятию «Синтез имитационной модели подсистемы гиросtabilизации и входящих в нее функциональных блоков на базе САПР Simulink».

1. Анализ базовых структурных блоков, необходимых для реализации системы гиросtabilизации и знакомство с процедурами синтеза этих блоков в САПР Simulink.

Для решения поставленной задачи требуется использование следующих блоков: трех волоконно-оптических гироскопов (BOG VG910Q Физоптика), трёхосного MEMS-акселерометра (Freescale Semiconductor MMA7331L) и платы, обеспечивающей обработку навигационных сигналов.



Блок-схема инерциального измерительного модуля

2. Знакомство с процедурами синтеза моделей базовых структурных блоков: гироскопа, трёхосного MEMS-акселерометра и платы, обеспечивающей обработку навигационных сигналов.

3. Анализ и интерпретация полученных результатов.

Отчет по практической работе должен содержать:

- моделируемая структура;
- особенности моделирования (общие);
- особенности моделирования (оригинальной структуры);
- выводы, обоснование.

Для выполнения практических работ студенты должны пользоваться учебными пособиями, приведенными в Таблице Б.1 – Основная литература. В них содержатся описания алгоритмов, программ, методик и порядок проведения практических занятий, контрольные вопросы.

2. Реферат

Самостоятельно изученные теоретические материалы оформляются в виде рефератов, которые обсуждаются на практических занятиях. Каждый студент должен написать по одному реферату по любой из предложенных тем.

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Основные виды СРС:

1. Предварительные расчеты перед практическими занятиями, подготовка отчетных форм - 2 часа на каждое практическое занятие. По результатам расчета дается допуск к выполнению работы.

2. Анализ полученных данных по результатам выполнения практического задания, заполнение отчета для последующей защиты - 2 часа на каждое практическое занятие.

Вопросы для самостоятельной подготовки.

1. Особенности и физический принцип работы трехмерных МОП транзисторов (FinFET).
2. Базовые концепции построения современных САПР микро- и нанoeлектроники.
3. Задачи, решаемые с помощью имитационного моделирования.
4. Виды моделирования, соответствующие им примитивы и средства САПР.
5. Системный подход. Основные понятия общей теории систем.
6. Уровни проектирования СБИС.
7. Задачи схемотехнического моделирования СБИС.
8. Дайте сравнительный анализ трех систем схемотехнического моделирования: PSPICE, AIM-SPICE и LTSPICE.
9. Возможные варианты сокращения цикла проектирования СБИС.
10. Дать краткую характеристику и пояснить назначение основных модулей САПР Sentaurus TCAD.
11. Квантовые эффекты и их учет в моделировании процессов и структур нанотехнологии.
12. Правила создания командного файла для моделирования технологического процесса в САПР Sentaurus Process.
13. Средства интеграции, используемых на разных уровнях проектирования ИС.
14. Основные проектные процедуры полного цикла проектирования ИС.
15. Последовательность разработки проекта в САПР Quartus II.
16. Элементы стандартной библиотеки Quartus II.
17. Язык описания аппаратуры VHDL. Особенности описания проекта.
18. Использование IP-блоков (ядер) при проектировании систем на кристалле.
19. Реализация процедуры смешанного проектирования в САПР Sentaurus Device.

6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины

Фонд оценочных средств представлен в Приложении А.

7 Условия освоения учебной дисциплины

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методического обеспечение учебной дисциплины представлено в Приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 7 - Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению	Наличие материально-технического оборудования и программного обеспечения
1.	Наличие учебной аудитории	Учебная мебель, доска
2.	Наличие учебного компьютерного класса:	
	Мультимедийное оборудование	Мультимедийный проектор EPSON EMP – 5S – 1 шт. Персональные компьютеры AOC 917 SW+ блок системный CPU Celeron 430– 10 шт. (лицензия Windows 7 Professional – MDK37-BGF99-8CWKQ-T7KGD-9DJG9, WindowsEmbedded 8 IndustryPro – 7XKNG-JD7W3-TKFJX-VFMVY-KD49N, WindowsLiveld – № 00064000AA4DBA30)
	Программное обеспечение	KasperskyEndpointSecurity для бизнеса – лицензия № 0AFE-140730-095504, Adobe – № 65014264ES), необходимое программное обеспечение: Word, Excel, Paint, PowerPoint, Access (лицензия MicrosoftOffice № 62846215ZZE0910), Statistica 6 (Лицензия № GGHG6J6TUABC4RGRHBC6), CorelDraw (Лицензия № LCCDGSX3MPCAA), CC, ACAD (лицензия № 349-0074411)

Приложение А

(обязательное)

Фонд оценочных средств учебной дисциплины «САПР в электронике»

1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из:

- открытой части - общей информации об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося.

2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

Таблица 1.1. Перечень оценочных средств				
№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1.	Практическая работа	Все темы с 1 по 9.	15x9	ОПК-3, ОПК-4
2.	Реферат		15x1	
Промежуточная аттестация				
	Дифференцированный зачет			
	ИТОГО		150	

3 Рекомендации к использованию оценочных средств

1) Практическая работа

Критерии оценки		Количество вариантов заданий
Реализация взаимодействия различных программных продуктов САПР путем обмена информацией между различными уровнями проектирования		по количеству студентов
Провести анализ полученных результатов		
Должен быть правильно оформленный отчет		

2) Реферат

Критерии оценки	Количество вариантов заданий
Соответствие содержания теме и плану реферата	10
Умение обобщать и делать выводы	
Соблюдение требований к оформлению	
Выдержан объем	
Даны правильные ответы на дополнительные вопросы	

Темы рефератов:

1. Современное состояние средств приборно-технологического проектирования.
2. Проблемы моделирования FinFET транзисторов.
3. Проблемы создания сквозной САПР.
4. Кремниевые компиляторы.
5. Кремниевый (физический) уровень проектирования.
6. Использование САПР MicroWind для проектирование топологии специализированных (заказных) интегральных схем в базе КМОП на примере инвертора.
7. Компонентный (транзисторный) уровень проектирования. САПР Quartus II фирмы Altera.
8. Средства визуального проектирования на примере программного продукта Simulink.
9. Особенность проектировании систем на кристалле (SoC).
10. Основные фирмы-разработчики IP-модулей.

Приложение Б (обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения учебной дисциплины «САПР в электронике»

Таблица Б.1 – Основная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем / М.Н.Петров, Г.В.Гудков. – СПб.: Лань, 2011. – 462 с.	15	
Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учеб. пособие для вузов / М.Н.Петров, Г.В.Гудков. - СПб.: Лань, 2017. - 462, [1] с.	1	
Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учеб. пособие для вузов / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. - СПб.: Лань, 2018. - 462, [1] с.	2	
2 Лукин К.Г. Системное моделирование в среде SIMULINK : монография / К. Г. Лукин, М. Н. Петров; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2013. - 82, [1] с.	3	Режим доступа: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2060
3 Петров В.Н. Разработка цифровых схем с использованием языков описания аппаратуры в среде САПР Quartus II: монография / В.Н.Петров, М.Н.Петров, В.А.Стащенко; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2014. - 94, [1] с.	3	Режим доступа: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2051
4 Петров М.Н. Моделирование микросхемных компонентов и схем с помощью программы AIM-SPICE: учеб. пособие / М.Н.Петров; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2014. - 72, [1] с.	10	Режим доступа: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2185
5 Петров М.Н. Использование САПР TCAD Synopsys для оптимизации технологического процесса изготовления PIN диода: уч. пособие. – НовГУ им. Ярослава Мудрого. – В.Новгород, 2019. – 82 с (электронный ресурс).	-	
6 Казеннов Г.Г. Основы проектирования интегральных схем и систем. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 295с.	6	
Электронные ресурсы		
1 Сайт компании Synopsys http://www.synopsys.com		
2 Федеральный интернет-портал «Нанотехнологии и наноматериалы» http://www.portalnano.ru		
3 Образовательный математический сайт http://www.exponenta.ru		
4 MicroWind & DSCH v 3.1 – Lite user's manual. Copyright 1997-2006 by INSA, University of Toulouse, France. – 113 p. www.microwind.org		
5 Etienne Sicard. MicroWind & DSCH v 3.5 User's Manual Lite Versio. – 2009 by INSA, University of Toulouse, France. – 130 p. (www.microwind.org)		
6 Сайт компании AIM-SPICE (http://www.aimspice.com)		
7 Сайт компании Cadence (http://www.cadence.com)		
8 Сайт корпорации Linear Technology (http://www.linear.com)		
9 Сайт компании разработчика Matlab и Simulink (www.mathworks.com)		
10 Русскоязычные информационные сайты Matlab и Simulink (http://matlab.exponenta.ru http://www.exponenta.ru)		

Таблица Б.2 –Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов СБИС: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 210104 (210100) «Микроэлектроника и твердотельная электроника /М.Н. Петров, Г.В. Гудков; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2006. – 584 с.	10	
2 Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов: в 2 ч. Ч. 1 / Г. Красников. - М.: Техносфера, 2002. - 413 с.	2	
Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов : в 2 ч. Ч. 2 / Г. Красников. - М. : Техносфера, 2004. - 535 с.	2	
Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Г.Я.Красников. – 2-е изд., испр. – М.: Техносфера, 2011. – 799 с.	4	
Электронные ресурсы		
1		
2		

Зав. кафедрой

 Б.И. Селев
подпись И.О.Фамилия

« 01 » 02 2019 г.

Приложение В
(обязательное)

**Лист актуализации рабочей программы
учебной дисциплины «САПР в электронике»**

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
Протокол № ____ заседания кафедры от « ____ » _____ 20__ г.
Разработчик: _____
Зав. кафедрой _____

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
Протокол № ____ заседания кафедры от « ____ » _____ 20__ г.
Разработчик: _____
Зав. кафедрой _____

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
Протокол № ____ заседания кафедры от « ____ » _____ 20__ г.
Разработчик: _____
Зав. кафедрой _____

Таблица В.1 – Перечень изменений, внесенных в рабочую программу:

Номер изменения	№ и дата протокола заседания кафедры	Содержание изменений	Зав.кафедрой	Подпись