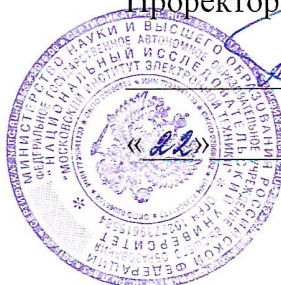


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР



А.Г. Балашов

«*22*» *апреля* 2025

**ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ
(дополнительное профессиональное образование)**

«Программная платформа характеристики»

Москва – 2025

1. Цель реализации программы

Освоение маршрута и методологии автоматизированного расчета основных параметров стандартных ячеек и ячеек ввода-вывода с применением отечественной Программной платформы характеристики и подготовка специалистов, обладающих практическими навыками разработки специальных моделей библиотечных элементов, предназначенных для использования в цифровом маршруте проектирования ИС. Программная платформа характеристики разработана в рамках ОКР «Характеризация», выполняемой по договору №2/002/17705596339230001930 от 23.10.2023г. между ООО «НМ-Тех» и АО «МНТЦ МИЭТ» (СЧ ОКР «САПР микроэлектроника» по заказу Минпромторга России).

Данная программа дополнительного профессионального образования реализуется в рамках деятельности базовой кафедры «Технологии и конструирования ИС» (БК ТКИС) компании ООО «НМ-Тех», входящей в организационную структуру Института интегральной электроники (ИнЭл) МИЭТ.

2. Характеристика профессиональной деятельности и (или) квалификации

Область профессиональной деятельности: связь, информационные и коммуникационные технологии.

Вид экономической деятельности: деятельность в области информации и связи.

Укрупненная группа специальностей: 09.00.00, 11.00.00.

3. Требования к результатам обучения

Формируемая профессиональная компетенция – способен разрабатывать модели библиотечных элементов в промышленных форматах Liberty и Verilog с применением Программной платформы характеристики.

В результате освоения данной программы слушатель будет:

Знать теоретические основы процесса характеристики, методологию измерения основных параметров библиотечных элементов и функциональные возможности

Программной платформы характеристики.

Уметь характеризовать библиотеки стандартных ячеек и ячеек ввода/вывода, проводить валидацию полученных результатов.

Иметь практический опыт настройки и отладки Программной платформы характеристики для различных типов ячеек и условий функционирования.

4. Содержание программы
Учебный план
программы дополнительного профессионального образования
«Программная платформа характеристики»

Категория слушателей – сотрудники профильных предприятий, студенты выпускных курсов бакалавриата и магистратуры по УГН 09.00.00, 11.00.00, лица, имеющие высшее образование или СПО.

Срок обучения – 35 часов.

Форма обучения: очная, с применением ЭО/ДОТ.

№ п/п	Наименование разделов / модулей	Всего, час	В том числе			Образовательные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самосто ятельна я работа	
			Лекции	Практичес кие и лаборатор ные занятия		
1.	Характеризация библиотечных элементов	2	2	0	0	ДОТ
2.	Платформа характеристики	4	4	0	0	ДОТ
3.	Методология характеристики	16	4	8	4	ДОТ
4.	Применение результатов характеристики	6	2	4	0	ДОТ
5.	Сценарии использования платформы характеристики	6	2	4	0	ДОТ
6.	Итоговая аттестация	1	зачет			
	Всего	35	14	16	4	

Учебно-тематический план
программы дополнительного профессионального образования
«Программная платформа характеризации»

№ п/п	Наименование тем разделов / модулей	Всего, час	В том числе			Образовательные технологии в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самостоятельная работа	
			Лекции	Практические и лабораторные занятия		
1.	Характеризация библиотечных элементов	2	2	0	0	ДОТ
1.1	Основные понятия процесса характеризации	1	1	0	0	ДОТ
1.2	Параметры ячеек	1	1	0	0	ДОТ
2.	Платформа характеризации	4	4	0	0	ДОТ
2.1	Входные данные	1	1	0	0	ДОТ
2.2	Структура и подсистемы платформы	1	1	0	0	ДОТ
2.3	Выходные данные	2	2	0	0	ДОТ
3	Методология характеризации	16	4	8	4	ДОТ
3.1	Общая методика характеризации ячеек	1	1	0	0	ДОТ
3.2	Измерение параметров NLDM модели	12	2	6	4	ДОТ
3.3	Измерение параметров CCS модели	3	1	2	0	ДОТ
4	Применение результатов характеризации	6	2	4	0	ДОТ
4.1	Выходные данные характеризации в маршруте проектирования ИС	3	1	2	0	ДОТ
4.2	Статический временной анализ	3	1	2	0	ДОТ
5	Сценарии использования платформы характеризации	6	2	4	0	ДОТ
5.1	Дополнительные настройки характеризации	3	1	2	0	ДОТ
5.2	Запуск характеризации в различных режимах	3	1	2	0	ЭО/ДОТ
6.	Итоговая аттестация	1	Зачет			
	Всего	35	14	16	4	

Календарный учебный график

Календарный учебный график составляется в форме расписания занятий при наборе группы и прилагается к программе дополнительного профессионального образования.

Учебная программа дополнительного профессионального образования «Программная платформа характеристики»

Раздел 1. Характеризация библиотечных элементов

Тема 1.1. Основные понятия процесса характеристики.

Типы ячеек: стандартные ячейки, ячейки ввода/вывода. Схемотехническое моделирование. Spice-симуляторы. Этапы характеристики. Процесс характеристики в маршруте проектирования ИС.

Тема 1.2. Параметры ячеек.

Временные параметры: задержка, время переключения, время установки и удержания. Мощностные параметры. Ёмкостные параметры. Токовые параметры. PVT условия. Индустриальные форматы представления результатов характеристики.

Раздел 2. Платформа характеристики

Тема 2.1. Входные данные.

Описание входных данных. Конфигурационный файл: определение PVT и параметров окружения. Типы поддерживаемых ячеек и их функциональное описание. Добавление параметров и атрибутов.

Тема 2.2. Структура и подсистемы платформы.

Структура платформы и потоки данных. Структура рабочей области. Быстрый запуск. Команды характеристики. Система распределённых вычислений. Выбор симулятора. Системные требования.

Тема 2.3. Выходные данные.

Описание выходных данных. Формат и структура Liberty модели. Манипуляции с Liberty моделями при помощи платформы характеристики. Verilog модель. Пользовательская документация. Проверка выходных данных.

Раздел 3. Методология характеристики

Тема 3.1. Общая методика характеристики ячеек.

Характеризация комбинационных и последовательностных стандартных ячеек. Характеризация сложных стандартных ячеек (многоразрядных триггеров, триггеров-синхронизаторов, ячеек блокировки тактового сигнала, триггеров с

сохранением состояния при отключении питания, ячеек преобразования уровня выходного сигнала). Характеризация ячеек ввода-вывода.

Тема 3.2. Измерение параметров NLDM модели.

Измерение задержки распространения и времени переключения сигнала. Методика измерения временных ограничений в последовательностных ячейках (параметры setup, hold, recovery, removal, min pulse width). Методика измерения статической и динамической мощности. Измерение входной ёмкости ячеек. Способы определения выходной ёмкости: ручной и автоматический. Алгоритмы поиска выходной ёмкости.

Тема 3.3. Измерение параметров CCS модели.

Общее описание CCS модели. CCS модель временных параметров. Методика расчёта двухсегментной входной ёмкости.

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторной работы	Кол-во часов
3.2, 3.3	Характеризация стандартных ячеек	4
3.2	Характеризация ячеек ввода/вывода	4
	Всего:	8

Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
3	2	Разработка файла конфигурации и настройка платформы для характеризации стандартных ячеек
3	2	Разработка файла конфигурации и настройка платформы для характеризации ячеек ввода-вывода

Раздел 4. Применение результатов характеризации

Тема 4.1. Выходные данные характеризации в маршруте проектирования ИС.

Логический синтез. Физический синтез. Функциональная верификация проекта.

Тема 4.2. Статический временной анализ.

Базовые понятия и основные принципы статического временного анализа. Маршрут финального статического временного анализа. Отчет с результатами проведения статического временного анализа и его интерпретация с точки зрения данных характеризации.

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторной работы	Кол-во часов
4.1, 4.2	Валидация результатов характеристики и их применение в маршруте проектирования ИС	4
	Всего:	4

Раздел 5. Сценарии использования платформы характеристики

Тема 5.1. Дополнительные настройки характеристики.

Пользовательское описание входных воздействий. Режим возобновления характеристики («resume» функциональность). Дополнительная обвязка ячеек для учета их специфики при моделировании.

Тема 5.2. Запуск характеристики в различных режимах.

Быстрая настройка и запуск характеристики на основе существующего Liberty файла (маршрут «import»). Добавление CCS параметров без повторной характеристики NLDM параметров. Характеризация для нового рабочего режима (PVT). Редактирование и сравнение Liberty файлов.

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторной работы	Кол-во часов
5.1, 5.2	Настройка и запуск характеристики в различных режимах	4
	Всего:	4

5. Материально-технические условия реализации программы

5.1 Очная форма обучения

Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Мультимедийная аудитория	Лекции (очная)	Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, доска ПО: Microsoft PowerPoint, Word; Adobe Reader
-	Лекции (ДОТ)	ПЭВМ с доступом в Интернет, ПО: Microsoft PowerPoint, Word; Adobe Reader, браузер
Вычислительный класс БК ТКИС (базовой кафедры «Технологии и конструирования ИС»)	Лабораторные занятия	ПЭВМ Intel LGA1700 Core i5-12500 с мониторами Samsung ПО: ОС Linux CentOS, Программная платформа характеристики, SPICE симуляторы (Spectre/HSpice/SymSpice), Cadence Valus, Cadence, Tempus, Synopsys Library Compiler

6. Учебно-методическое обеспечение программы

1. Liberty User Guides and Reference Manual Suite. Версия 2017.06.
2. SiliconSmart User Guide. Version Q-2020.03, March 2020.
3. IEEE Standard Hardware Description Language Based on the Verilog Hardware Description Language. – IEEE Std. 1364-1995.
4. Doman D. Engineering the CMOS Library: Enhancing digital design kits for competitive silicon. New Jersey, Wiley, 2012. 342 p.
5. J. Bhasker, Rakesh Chadha. Static Timing Analysis for Nanometer Designs. Springer, 2009. 572 p.
6. Weste N. H. E., Harris D. M. CMOS VLSI Design. A Circuits and Systems Perspective, 4th ed. Addison-Wesley US, 2011. 839 p
7. Журавлев Д. В. Характеризация цифровых библиотек: Учебное пособие / Д. В. Журавлев; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2015. – 142 с.
8. Требования к разработке отечественной системы характеристики библиотек стандартных ячеек и ячеек ввода-вывода / Г. Н. Макаров, Т. М. Сорокин, В. С. Калашников [и др.] // Информационные технологии. – 2024. – Т. 30, № 10. – С. 520-527. – DOI 10.17587/it.30.520-527.

7. Оценка качества освоения программы

Оценка качества освоения программы включает итоговую аттестацию обучающихся в форме зачета, состоящего из двух частей:

1. Устный опрос для проверки знаний и умений. Необходимо дать ответ на 2 вопроса из перечня, приведенного в приложении 1.

Показатель оценки	Критерии оценивания достижения показателя	Условия начисления баллов по критерию	Количество баллов
Дан устный ответ на вопросы	Правильность ответов на вопросы	Ответ дан верно и в полном объеме на 2 вопроса	20 баллов
		Ответы даны верно, но есть недочеты по каждому пункту	15 баллов
		Ответ дан верно только на один вопрос	10 баллов
		Ответ дан неверно по всем вопросам	0 баллов
Суммарный балл			0-20

2. Задания на опыт деятельности

Для изучения формата файла конфигурации платформы характеристики и формирования практических навыков разработки файлов настройки для характеристики различных типов ячеек, студентами выполняется самостоятельное задание по тематике модуля 3 в виде:

- разработки файла конфигурации и настройки платформы для характеристики стандартных ячеек;
- разработки файла конфигурации и настройки платформы для характеристики ячеек ввода-вывода.

Показатель оценки	Критерий оценивания достижения показателя	Условия начисления баллов по критерию	Количество баллов
Предоставлены разработанные файл конфигурации и настроечные файлы для характеризующих ячеек	Корректность результатов запуска платформы характеристики	Файл сформирован корректно, получены ожидаемые результаты работы платформы	10
		Файл сформирован корректно, но есть неточности, требующие отладки. Работа платформы не нарушена, но результаты отличаются от ожидаемых	5
		Файл сформирован некорректно. Платформа завершила работу с ошибками, либо произошел аварийный выход	0
		Суммарный балл по показателю	

Вопросы на знания

1. Характеризация библиотечных элементов: основная цель и суть процесса.
2. Этапы характеризации.
3. Основные параметры библиотечных элементов, определяемые в процессе характеризации.
4. Основные форматы представления данных в маршруте характеризации.
5. Платформа характеризации: структура, место в маршруте проектирования, основные функциональные возможности.
6. Входные и выходные данные платформы характеризации.
7. Структура Liberty файла.
8. Состав и структура NLDM модели, ее назначение.
9. Методика измерения задержки распространения и времени переключения сигнала.
10. Методика измерения временных ограничений в последовательностных ячейках.
11. Методика измерения статической и динамической мощности.
12. Методика измерения входной ёмкости ячеек.
13. Понятие PVT условий.
14. Состав и структура CCS модели, ее назначение.
15. CCS модель временных параметров.

Вопросы на умения

1. Структура рабочей области для характеризации, расположение и назначение файлов.
2. Обязательные директории точки характеризации и их содержимое.
3. Настройка и запуск платформы характеризации, основные этапы подготовки и команды.
4. Состав конфигурационного файла платформы характеризации.
5. Типы поддерживаемых ячеек и их функциональное описание.
6. Основные команды характеризации и результат работы каждой из них.
7. Как эффективно провести перехарактеризацию?
8. Перечислить доступные в платформе виды манипуляций с Liberty файлом.
9. Маршрут быстрой настройки характеризации на основе имеющегося Liberty файла.
10. Провести анализ результатов статического временного анализа на основе соответствующего Liberty файла.

Слушатель считается аттестованным, и компетенция сформированной, если:

- знает основные термины и понятия курса;
- может последовательно изложить материал курса;
- дает полные ответы на вопросы при сдаче зачета;
- при ответе на 2 вопроса набрал не менее 10 баллов.
- при выполнении задания на опыт набрал не менее 5 баллов.

8. Составители программы

Старший преподаватель института ИнЭл



В.С. Калашников

Ассистент института ИнЭл



А.Д. Калёнов

Согласовано:

Директор ДРОП



Н.Ю. Соколова

Директор института ИнЭл



В.В. Лосев

Представитель профессионального сообщества:

Директор НТЦ ООО "НМ-Тех"



М.Ю. Семенов

Представитель профессионального сообщества:

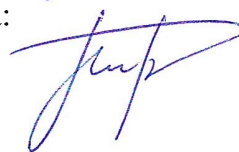
Старший инженер-проектировщик ООО "НМ-Тех"



Т.М. Сорокин

Представитель профессионального сообщества:

Инженер-исследователь ООО "НМ-Тех"



Г.Н. Макаров