

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

2024

ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Основы измерений электропараметров и функционального контроля
интегральных схем»

Москва – 2024

1. Цель реализации программы

Формирование специальных знаний в области измерений электропараметров и функционального контроля интегральных схем (ИС), которые позволят понимать основные виды и принципы измерений с применением автоматического тестового оборудования, включая особенности измерений ИС смешанных сигналов, принципы разработки тестовых программ для проведения функционального контроля, а также практические аспекты в части разработки вспомогательной оснастки для испытаний и печатных плат.

Данная программа повышения квалификации 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: сквозная деятельность по функциональной верификации и разработке тестов функционального контроля наноразмерных интегральных схем.

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 методики тестирования (измерений электропараметров и функционального контроля) для ИС и ее компонентов.

В результате освоения данной программы слушатель будет:

Знать основные виды, принципы и особенности измерений электропараметров и функционального тестирования при проведении функционального контроля ИС.

Уметь организовывать процесс измерений электропараметров и функционального тестирования ИС с использованием различного инструментария (ПО, измерительная

оснастка, измерительное оборудование и т.д.).

Иметь практический опыт создания спецификации и разработки тестовых программ для измерительных систем.

4. Содержание программы
Учебный план
программы повышения квалификации
«Основы измерений электропараметров и функционального контроля
интегральных схем»

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 – 27 часов.

Форма обучения: очная.

№ п/п	Наименование разделов / модулей	Всего, час	В том числе			Образователь ные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самосто ятельна я работа	
			Лекции	Практичес кие и лаборатор ные занятия		
1.	Основы измерений ИС	8	8	0	0	
2.	Функциональный контроль ИС	4	4	0	0	
3.	Разработка тестовых программ, вспомогательной оснастки для испытаний, измерительных печатных плат	10	6	0	4	
4.	Особенности измерений интегральных схем смешанных сигналов (АЦП/ЦАП)	4	4	0	0	
5.	Итоговая аттестация	1	зачет			
	Всего	27	22	0	4	

Учебно-тематический план
программы повышения квалификации
«Основы измерений электропараметров и функционального контроля
интегральных схем»

№ п/п	Наименование тем разделов / модулей	Всего, час	В том числе			Образова- тельные технологии в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самостоя- тельная работа	
			Лекции	Практи- ческие и лаборат- орные занятия		
1.	Основы измерений ИС	8	8	0	0	
1.1	Вводная. Введение в основы измерений электропараметров и функционального контроля интегральных схем	2	2	0	0	
1.2	Основы измерений	2	2	0	0	
1.3	Измерения DC-параметров	2	2	0	0	
1.4	Измерения AC-параметров	2	2	0	0	
2.	Функциональный контроль ИС	4	4	0	0	
2.1	Введение в функциональное тестирование	2	2	0	0	
2.2	Функциональное тестирование на примере D-триггера	2	2	0	0	
3	Разработка тестовых программ, вспомогательной оснастки для испытаний, измерительных печатных плат	10	6	0	4	
3.1	Разработка тестовых программ для автоматического тестового оборудования	2	2	0	4	
3.2	Разработка вспомогательной оснастки, измерительных печатных плат	2	2	0	0	
3.3	Разработка оснастки для измерений, испытаний и исследования ИС	2	2	0	0	
4	Особенности измерений интегральных схем смешанных сигналов (АЦП/ЦАП)	4	4	0	0	

4.1	Особенности измерения параметров АЦП	2	2	0	0	
4.2	Особенности измерения параметров ЦАП	2	2	0	0	
5.	Итоговая аттестация	1	Зачет			
	Всего	27	22	0	4	

Календарный учебный график

Календарный учебный график составляется в форме расписания занятий при наборе группы и прилагается к программе повышения квалификации.

Учебная программа повышения квалификации

«Основы измерений электропараметров и функционального контроля
интегральных схем»

Раздел 1. Основы измерений ИС

Тема 1.1. Вводная. Введение в основы измерений электропараметров и функционального контроля интегральных схем.

Классификация ИС по различным критериям и виды корпусов. Необходимость тестирования ИС на производстве. Обзор автоматического тестового оборудования (зондовые станции, АТЕ) и тестовой оснастки (probe card, DUT-board).

Тема 1.2. Основы измерений.

Основные термины и определения. Основные цели и задачи проведения тестирования. Виды и примеры возможных дефектов. Основные подходы к построению тестовых программ.

Тема 1.3. Измерения DC-параметров.

Основные термины и определения. Различные типы измерений по постоянному току. Проверка контактирования (Opens and Shorts Test); выходные напряжения (VOL/VOH); IDD static/dynamic, IDDQ; входные токи (IIL/IIN); токи утечки в Z-состоянии (IOZL/IOZH). Ключевые моменты и методы тестирования по постоянному току, их преимущества и недостатки.

Тема 1.4. Измерения AC-параметров.

Основные термины и определения. Параметры для тестирования. Разновидности стандартных AC-параметров: Rise/Fall Time; Setup/Hold Time; Propagation Delay; Minimum Pulse Width; Maximum Frequency; Output Enable/Disable Time. Время цикла записи и чтения.

Раздел 2. Функциональный контроль ИС

Тема 2.1. Введение в функциональное тестирование.

Основные термины. Организация функционального теста. Векторные данные. Настройка timing-диаграммы. Запуск функционального теста.

Тема 2.2. Функциональное тестирование на примере D-триггера.

Спецификация для тестирования. Настройка timing-диаграммы. Контроль входных уровней VIH/VIL. Методика функционального тестирования VIL/VIH.

Раздел 3. Разработка тестовых программ, вспомогательной оснастки для испытаний, измерительных печатных плат

Тема 3.1. Разработка тестовых программ для автоматического тестового оборудования.

Обзор измерительных систем. Специализированное ПО для автоматического тестового оборудования. Маршрут создания тестовой программы и настройка ПО. Подготовка спецификации, плана тестирования и маршрута тестирования.

Тема 3.2. Разработка вспомогательной оснастки, измерительных печатных плат

Типы плат и узлов. Разработка плат для измерений кристаллов на пластине. Разработка плат для измерений микросхем в корпусе, конструктивно-технологические решения.

Тема 3.3. Разработка оснастки для измерений, испытаний и исследования ИС

Виды испытаний ИС. Исследование ИС. Проектирование электрических схем узлов. Разработка топологии печатных плат. Производство печатных плат. Монтаж и пусконаладка узлов измерительного оборудования.

Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
3	4	Выполнение практико-ориентированного задания (разработка простейших тестовых программ) на опыт деятельности

Раздел 4. Особенности измерений интегральных схем смешанных сигналов (АЦП/ЦАП)

Тема 4.1. Особенности измерения параметров АЦП.

Аналого-цифровое преобразование (АЦП): основные термины и определения. Теория работы АЦП. Статические характеристики АЦП. Сводка ошибок АЦП. Архитектуры (технологии) АЦП.

Тема 4.2. Особенности измерения параметров ЦАП.

Цифро-аналоговое преобразование (ЦАП): основные термины и определения. Сигнал/шум и искажения. Конфигурация тестовой системы для тестирования динамических параметров ЦАП. Динамическое тестирование ЦАП. Реализация двоичных входных кодов ЦАП.

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	Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, доска ПО: Microsoft PowerPoint, Word; AdobeReader
Помещение для самостоятельной работы	Самостоятельная работа	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ОРИОКС

5. Учебно-методическое обеспечение программы

1. Смирнов К.К., Бубнова М.Д. Среда для подготовки программ функционального контроля. Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук. 2014. Т. 4. № 1. С. 32-39.
2. Смирнов К.К., Назаров А.В. Аппаратно-программный комплекс автоматизации функционального контроля сверхбольших интегральных схем. Электросвязь. 2017. № 12. С. 70-76.
3. Орлов И.Я., Ефимов В.С., Лукичев А.Н. Автоматизированная измерительная система для исследования характеристик интегральных микросхем. Датчики и системы. 2008. № 3. С. 38-41.
4. Огурцов А.А. Алгоритмы и методы проведения функционального контроля ПЛИС. Наноиндустрия. 2020. № S96-1. С. 200-206.
5. Serban M., Vagapov Y., Chen Z., Holme R., Lupin S. Universal platform for PCB functional testing. В сборнике: Conference Proceedings - 2014 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2014. 2014. С. 402-409.

6. Сологуб Г.Б. Разработка системы имитационного тестирования. Вестник Московского авиационного института. 2009. Т. 16. № 2. С. 4.
7. Кукшинский Н.И., Бируков Е.А. Основные параметры и проблемы оборудования для тестирования интегральных микросхем. Студенческий. 2019. № 41-3 (85). С. 41-42.

6. 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. Перечень вопросов приведен 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 закрепления полученных знаний и в качестве практической составляющей подготовки студентами оценивается разработанное самостоятельное практико-ориентированное задание по тематике модуля 3 в виде разработки простейших тестовых программ.

тестовых программ.

Показатель оценки	Критерий оценивания достижения показателя	Условия начисления баллов по критерию	Количество баллов
Представлена разработанная тестовая программа	Корректность программы	Программа полностью корректна и соответствует заданию	10
		Программа соответствует заданию, но имеет синтаксические неточности	5
		Программа не соответствует заданию, отсутствует, либо полностью некорректна	0
Суммарный балл по показателю			0-10

В случае соответствия разработанной программы заданию, но наличия в ней некоторых неточностей в качестве дополнительного задания на опыт деятельности для аттестации студентов им предлагается схематично изобразить и описать способ измерения стандартного АС-параметра.

Варианты:

1. Время нарастания.
2. Время спада.
3. Время предустановки.
4. Время удержания.
5. Задержка распространения.
6. Минимальная ширина импульса.

Показатель оценки	Критерий оценивания достижения показателя	Условия начисления баллов по критерию	Количество баллов
Представлена схема и описан способ измерения параметра	Корректность описания	Описание полностью корректно	5
		Описание корректно, но есть неточности	3
		Описание не соответствует заданию либо отсутствует	0

Показатель оценки	Критерий оценивания достижения показателя	Условия начисления баллов по критерию	Количество баллов
Суммарный балл по показателю			0-5

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 10 баллов.

7. Составители программы

Старший преподаватель института ИнЭл



В.С. Калашников

Доцент института ИнЭл



А.А. Миндеева

Доцент института ИнЭл



А.В. Коршунов

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:
Ведущий инженер ДГК ООО "НМ-Тех"



А.А. Крылов

Представитель профессионального сообщества:
Ведущий инженер-проектировщик
ДГК ООО "НМ-Тех"



Г.А. Морозов

Вопросы на знания

1. Автоматическое тестовое оборудование, тестовые системы. Определение, основные виды и свойства.
2. Дефектность. Определение дефекта, основные виды дефектности микросхем.
3. Параметры VON/IOH. Определение, назначение, метод тестирования.
4. Организация функционального теста.
5. Стандартные АС-параметры. Определение параметров: время нарастания (Rise Time); задержка распространения (Propagation Delay); максимальная частота (Maximum Frequency).
6. Стандартные АС-параметры. Определение параметров: время спада (Fall Time); время удержания (Hold Time); минимальная ширина импульса (Minimum Pulse Width).
7. Специализированное ПО для измерительных систем. Описание, назначение, основные функции.
8. Probe Card. Определение, назначение, типы контактирования.
9. Статические характеристики АЦП. Определение.
10. Параметры ЦАП: сигнал/шум и искажения. Определение.

Вопросы на умения

1. Общий функциональный тест. Привести пример типичного процесса выполнения общего функционального тестирования.
2. Метод тестирования: IDD Dynamic Current. Привести описание и пример теста.
3. Методика функционального тестирования VIL/VIH. Описать основные шаги по поиску неисправностей и ключевые моменты тестирования.
4. Привести описание маршрута создания тестовой программы.
5. Привести примеры построения конструкции Probe Card.
6. Привести примеры и описание конфигураций углов при трассировки сигнальных линий, их преимущества и недостатки.
7. Привести классическую зависимость интенсивности отказов любого устройства во времени.
8. Температурные испытания. Назначение. Привести методику испытаний.
9. Привести типовую блок-схему испытаний ИС. Описать основные виды и назначение испытаний.
10. Привести пример конфигурации тестовой системы для статических испытаний параметров АЦП.