

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 СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР KEYSIGHT ADVANCED DESIGN SYSTEM (ADS)»

Программа повышения квалификации разработана в Центре НТИ «Сенсорика».

Москва – 2024

1. Цель реализации программы

Цель программы – получение новой компетенции *способность эффективно применять САПР ADS при сквозном проектировании ВЧ и СВЧ-устройств, как на схемном и системном уровне, так и на уровне топологии, включая ЕМ-моделирование*, необходимой для повышения профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации, соответствующей отдельным обобщенным трудовым функциям профстандартов:

1. Инженер-проектировщик в области связи (телекоммуникаций)
2. Инженер связи (телекоммуникаций)
3. Инженер-радиоэлектронщик

2. Характеристика профессиональной деятельности и (или) квалификации

Область профессиональной деятельности: 06 Связь, информационные и коммуникационные технологии

Вид экономической деятельности: деятельность в области информации и связи

Укрупненная группа специальностей: 11.00. 00 Электроника, радиотехника и системы связи

Квалификация: не присваивается.

3. Требования к результатам обучения

Формируемая профессиональная компетенция – способность эффективно применять САПР ADS при сквозном проектировании ВЧ и СВЧ-устройств, как на схемном и системном уровне, так и на уровне топологии, включая ЕМ-моделирование.

В результате освоения программы слушатель должен

знать: базовые методы моделирования в ADS, включающие в себя:

1. Моделирование по постоянному току (DC)
2. Моделирование в линейном малосигнальном режиме (AC)
3. Моделирование в линейном режиме S-параметров (S-params)
4. Моделирование в нелинейном режиме гармонического баланса (HB)
5. Моделирование в нелинейном режиме комплексной огибающей (Envelope)

знать: приемы и методы моделирования и проектирования радиотехнических объектов в ADS, включающих в себя

1. Организацию интеграции ADS с топологическими редакторами
2. ЕМ-анализ средствами ADS
3. Имитационный анализ с использованием инструмента бюджета

уметь: пользоваться приемами и методами моделирования и проектирования радиотехнических объектов в ADS, включающих в себя:

1. Быстрое проектирование цепей питания и смещения транзисторов
2. Примирение умных компонентов для быстрого проектирования полосковых устройств
3. Расчет МШУ в линейном режиме
4. Быстрое проектирование широкополосных согласующих цепей
5. Моделирование смесительных устройств
6. Расчет цепей автогенераторов
7. Использование иерархий для сложных моделей
8. Моделирование радиотехнических цепей на системном уровне

Иметь практический опыт по сквозному проектированию узлов радиотехнических устройств с применением ADS в соответствии с техническим заданием.

4. Содержание программы

Учебный план
программы повышения квалификации
«Основы схемотехнического моделирования с использованием САПР Keysight
Advanced Design System (ADS)»

Категория слушателей – *инженеры, профильные специалисты, имеющие высшее образование*

Срок обучения – 72 часа

Форма обучения – очная или с применением дистанционных образовательных технологий (по согласованию с заказчиком)

№ п/п	Наименование модулей	Всего, час	В том числе			Образовательные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самостоятельная работа	
			Лекции	Практические и лабораторные занятия		
1.	Базовые методы моделирования в ADS	20	-	20	-	20
2.	Проектирование СВЧ-устройств	40	-	40	-	40
3.	Системный и имитационный уровень моделирования	12	-	12	-	12
	Всего	72	-	72	-	72
Итоговая аттестация		Зачет				

Учебно-тематический план
программы повышения квалификации
«Основы схемотехнического моделирования с использованием
САПР Keysight Advanced Design System (ADS)»

№ п/п	Наименование модулей	Всего, час	В том числе			Образовательные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самостоятельная работа	
			Лекции	Практические и лабораторные занятия		
1.	Базовые методы моделирования в ADS	20	-	20	-	20
1.1	Моделирование по постоянному току (на примере изучения статических характеристик биполярного транзисторов).	4	-	4	-	4
1.2	Базовый маршрут проектирования пассивных планарных структур (режим моделирования S-параметров).	4	-	4	-	4
1.3	Линейные шумы двухпортовых систем (на примере проектирования узкополосного МППУ в режиме моделирования S-params).	4	-	4	-	4
1.4	Расчет канала с помощью метода моделирования гармонического баланса.	4	-	4	-	4
1.5	Применение моделирования в режиме Envelope (комплексной огибающей).	4	-	4	-	4
2	Проектирование СВЧ-устройств	40	-	40	-	40
2.1	Проектирование направленных ответвителей. Гибридные двухшлейфный и кольцевой НО	4	-	4	-	4

2.2	Проектирование направленных ответвителей. Направленный ответвитель на связанных линиях.	4	-	4	-	4
2.3	Кольцевой развязанный делитель мощности. Инструмент emCosim.	4	-	4	-	4
2.4	Фильтры СВЧ	4	-	4	-	4
2.5	Цепь питания и смещения. Библиотека Murata.	4	-	4	-	4
2.6	Генерация топологии с помощью AEL-кода	4	-	4	-	4
2.7	Проектирование балансного смесителя на диодах	4	-	4	-	4
2.8	Проектирование автогенератора	4	-	4	-	4
2.9	Проектирование усилителей мощности с помощью техники LoadPull	4	-	4	-	4
2.10	Проектирование СВЧ-ключей	4	-	4	-	4
3	Постанализ спроектированных устройств	12	-	12	-	12
3.1	Анализ устойчивости устройств с применением метода Монте-Карло	8	-	8	-	8
3.2	Порядок импорта топологий в ADS через ODB++	4	-	4	-	4
	Всего	72	-	72	-	72
Итоговая аттестация		Зачет				

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 схемотехнического моделирования с использованием САПР Keysight Advanced Design System (ADS)»

Раздел 1. Базовые методы моделирования в ADS (20 часов).

Тема 1.1 Моделирование по постоянному току (на примере изучения статических характеристик биполярного транзисторов).

Знакомство с моделированием по постоянному току. Создание проекта. Запуск моделирования. Анализ результатов. Получение статических характеристик биполярного транзистора. Проектирование цепи питания и смещения.

Тема 1.2 Базовый маршрут проектирования пассивных планарных структур (режим моделирования S-параметров).

Знакомство базовым маршрутом проектирования планарных пассивных структур. Инструмент SmithChart. Расчет в линейном режиме (S-params). Создание топологий на основе схемного представления. Параметрические топологические схемы.

Тема 1.3 Линейные шумы двухпортовых систем (на примере проектирования узкополосного МШУ в режиме моделирования S-params).

Знакомство с моделированием линейных шумов в режиме S-params. Подключение библиотек других проектов к текущему проекту. Приёмы выбора точек для оптимального согласования через уравнения в области графиков. Синтез согласующих цепей с помощью инструмента SmithChart.

Тема 1.4 Расчет канала с помощью метода моделирования гармонического баланса.

Знакомство с имитационными моделями для системного расчета. Анализ нелинейного стационарного канала с переносом частоты. Коэффициент шума устройства с переносом частоты.

Тема 1.5 Применение моделирования в режиме Envelope (комплексной огибающей).

Знакомство с методом моделирования комплексной огибающей. Правила интерпретации результатов моделирования.

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
1.1	Моделирование по постоянному току (на примере изучения статических характеристик биполярного транзисторов).	4
1.2	Базовый маршрут проектирования пассивных планарных структур (режим моделирования S-параметров).	4
1.3	Линейные шумы двухпортовых систем (на примере проектирования узкополосного МШУ в режиме моделирования S-params).	4
1.4	Расчет канала с помощью метода моделирования гармонического баланса.	4
1.5	Применение моделирования в режиме Envelope (комплексной огибающей).	4

Раздел 2. Проектирование СВЧ-устройств (40 часов).

Тема 2.1 Проектирование направленных ответвителей. Гибридные двушлейфный и кольцевой НО.

Тема 2.2 Проектирование направленных ответвителей. Направленный ответвитель на связанных линиях.

Тема 2.3 Кольцевой развязанный делитель мощности. Инструмент emCosim.

Косимуляция планарных устройств с дискретными компонентами.

Тема 2.4 Фильтры СВЧ.

Тема 2.5 Цепь питания и смещения. Библиотека Murata.

Использование библиотек компонентов от производителей при проектировании планарных уструктур.

Тема 2.6 Генерация топологии с помощью AEL-кода.

Создание топологического параметрического компонента с помощью AEL-кода.

Тема 2.7 Проектирование балансного смесителя на диодах

Импорт компонентов через SPICE-описание. Быстрое проектирование полосковых цепей с использованием умных компонентов. Построение иерархических моделей.

Тема 2.8 Проектирование автогенератора

Знакомство с проектированием автогенератора в ADS. Использование режима LSSP для анализа поведения S-матриц в нелинейном режиме. Использование гармонического баланса в режиме поиска колебаний (osc).

Тема 2.9 Проектирование усилителей мощности с помощью техники LoadPull

Выбор коэффициентов согласующих цепей с использованием техники LoadPull.

Тема 2.10 Проектирование СВЧ-ключей

Создание компонента-хранилища S-параметров. Проектирование ключевых устройств на S-параметрах.

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
2.1	Проектирование направленных ответвителей. Гибридные двушлейфный и кольцевой НО	4
2.2	Проектирование направленных ответвителей. Направленный ответвитель на связанных линиях.	4
2.3	Кольцевой развязанный делитель мощности. Инструмент emCosim.	4

2.4	Фильтры СВЧ	4
2.5	Цепь питания и смещения. Библиотека Murata.	4
2.6	Генерация топологии с помощью AEL-кода	4
2.7	Проектирование балансного смесителя на диодах	4
2.8	Проектирование автогенератора	4
2.9	Проектирование усилителей мощности с помощью техники LoadPull	4
2.10	Проектирование СВЧ-ключей	4

Раздел 3. Постанализ спроектированных устройств. (12 часов).

Тема 3.1 Анализ устойчивости устройств с применением метода Монте-Карло.

Статистический анализ спроектированных устройств.

Тема 3.2 Порядок импорта топологий в ADS через ODB++.

Обратный перенос и ЕМ-анализ спроектированной топологии.

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
3.1	Анализ устойчивости устройств с применением метода Монте-Карло	8
3.2	Порядок импорта топологий в ADS через ODB++	4

5. Материально-технические условия реализации программы

Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Компьютерный класс	лабораторные работы	ПК с доступом к вычислительной среде ВУЗа skylab и/или galaxy ПО Keysight Advanced Design System 2023 (или новее)

6. Учебно-методическое обеспечение программы

1. Основы моделирования устройств в программе Advanced Design Systems [Текст] : Лабораторный практикум / С. А. Бахвалова, В. В. Курганов ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2016. - 128 с

2. Задачник по устройствам генерирования и формирования радиосигналов: Учеб. пособие для вузов / С. С. Гарматюк. - М. : ДМК Пресс, 2012. - 672 с.
3. В.А. Романюк. Основы радиосвязи. – М.: ЮРАЙТ ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ, 2009.
4. В.А.Романюк. Приемопередающие устройства, часть 1. Электронный вариант.
5. Устройства генерирования, формирования, приема и обработки сигналов: Учеб. пособие для вузов / О. В. Головин. - М. : Горячая линия – Телеком, 2012 – 783 с., электронная версия ЭБС издательства «Лань»
6. Репозиторий с методическими указаниями по лабораторным работам <https://github.com/dee3mon/Keysight-ADS-RFDevices-methodic/>
7. Репозиторий с методическими указаниями по лабораторным работам <https://github.com/dee3mon/Keysight-ADS-Microstrip-methodic>

7. Оценка качества освоения программы

Оценка качества освоения программы осуществляется по факту выполнения лабораторных работ в форме защиты выполненных лабораторных работ (результаты выполнения показывают наличие приобретенных практических навыков слушателей), ответов на вопросы по теории выполненных работ (приведены в текстах лабораторных работ в разделе «Контрольные вопросы») и ответов на вопросы о сути выполненных работ. Вопросов может быть задано до 4 суммарно. Лабораторная работа считается защищенной при ответе более чем на 50% заданных вопросов.

Слушатель считается аттестованным по факту выполнения всех лабораторных работ.

Составители программы

Старший преподаватель Института МПСУ _____



Приходько Д.В.

Согласовано:

Директор ДРОП _____



Н.Ю. Соколова

Зам директора Института МПСУ по ОД _____



Ю.М. Мелёшин