

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



А.Г. Балашов

2025

## ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Основы топологического проектирования систем на кристалле»

Программа разработана в Передовой инженерной школе  
«Средства проектирования и производства электронной компонентной базы»

Москва – 2025

## 1. Цель реализации программы

Цель программы – повышение уровня квалификации и формирование компетенций специалистов в области проектирования топологии систем на кристалле (СнК) и аналоговых интегральных схем (АИС), а также формирование навыков использования программного обеспечения для проектирования топологии СнК и АИС в САПР Cadence. Программа посвящена изучению основ работы с САПР, особенностей проектирования контактных площадок и этапов финализации топологического проекта с использованием современной среды проектирования Cadence Virtuoso. Программа позволяет расширить у разработчиков уровень возможностей, позволяющий решать более обширный спектр задач топологического проектирования современных СнК.

## 2. Характеристика профессиональной деятельности и (или) квалификации

Научный проект ПИИ, в котором востребованы компетенции, сформированные в результате обучения по программе – Исследование и разработка перспективных технологий физического моделирования и автоматизации проектирования интегральных схем и фотошаблонов.

Область профессиональной деятельности: 40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности.

Вид экономической деятельности: 26.11.3 Производство интегральных электронных схем.

Укрупненная группа специальностей: 11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи.

Квалификация: новая квалификация не приобретается.

## 3. Требования к результатам обучения

Формируемая профессиональная компетенция – способен проектировать топологию системы на кристалле.

В результате освоения данной программы слушатель должен:

### знать:

- маршрут топологического проектирования и верификации аналоговых блоков;
- особенности проектирования контактных площадок;
- особенности финализации проекта;

### уметь:

- пользоваться программными средствами топологического проектирования;
- строить сечения интегральных схем;
- рационально располагать контактные площадки;

**иметь практический опыт:** интеграции топологических представлений отдельных аналоговых блоков в состав топологии СнК и финализации проекта.

#### 4. Содержание программы

**Учебный план**  
**программы повышения квалификации**  
**«Основы топологического проектирования систем на кристалле»**

Категория слушателей – инженеры, профильные специалисты, имеющие высшее образование, студенты бакалавриата и магистратуры, обучающиеся по соответствующему профилю.

Срок обучения – 32 часов.

Форма обучения –очно-заочная.

| №<br>п/п | Наименование<br>разделов/модулей                 | Всего, час | В том числе |                                                  |                            |
|----------|--------------------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
|          |                                                  |            | Аудиторных  |                                                  | Самостоятел<br>ьная работа |
|          |                                                  |            | Лекции      | Практические<br>и/или<br>лабораторные<br>занятия |                            |
| 1.       | Специальные разделы проектирования топологии АИС | 4          | 2           | -                                                | 2                          |
| 2.       | Проектирование контактных площадок               | 14         | 2           | 4                                                | 8                          |
| 3.       | Финализация проекта                              | 14         | 2           | 4                                                | 8                          |
|          | Итоговая аттестация                              | зачет      |             |                                                  |                            |
|          | Всего                                            | 32         | 6           | 8                                                | 18                         |



**Учебно-тематический план  
программы повышения квалификации  
«Основы топологического проектирования систем на кристалле»**

| №<br>п/п | Наименование<br>разделов/модулей                                                      | Всего, час | В том числе |                                                  |                            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
|          |                                                                                       |            | Аудиторных  |                                                  | Самостоятел<br>ьная работа |
|          |                                                                                       |            | Лекции      | Практические<br>и/или<br>лабораторные<br>занятия |                            |
| 1.       | Специальные разделы проектирования топологии АИС                                      | 4          | 2           | -                                                | 2                          |
| 1.1      | Особенности проектирования топологии примитивов и специальных структур                | 4          | 2           | -                                                | 2                          |
| 2.       | Проектирование контактных площадок                                                    | 14         | 2           | 4                                                | 8                          |
| 2.1      | Классификация и конфигурации контактных площадок                                      | 8          | 2           | 2                                                | 4                          |
| 2.2      | Площадь кристалла. Принципы расположения контактных площадок.                         | 6          | -           | 2                                                | 4                          |
| 3        | Финализация проекта                                                                   | 14         | 2           | 4                                                | 8                          |
| 3.1      | Этапы финализации. Метки. SealRing.                                                   | 8          | 2           | 2                                                | 4                          |
| 3.2      | Фиктивные области. Создание GDS-файла. Подготовка данных для отправки на производство | 6          | -           | 2                                                | 4                          |
|          | Итоговая аттестация                                                                   | зачет      |             |                                                  |                            |
|          | Всего                                                                                 | 32         | 6           | 8                                                | 18                         |

## 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 топологического проектирования систем на кристалле»

### Раздел 1. Специальные разделы проектирования топологии АИС (4 часа).

Тема 1.1. Особенности проектирования топологии примитивов и специальных структур.

#### Перечень лекционных занятий

| Номер темы | Наименование лекции                                                                                                                             | Кол-во часов |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.1        | Структуры элементарных элементов. Особенности проектирования топологии биполярных транзисторов, диодов, охранных колец, изолированных приборов. | 2            |

#### Самостоятельная работа

| Номер темы | Вид самостоятельной работы | Кол-во часов |
|------------|----------------------------|--------------|
| 1.2        | Просмотр лекции.           | 2            |

### Раздел 2. Проектирование контактных площадок (14 часов).

Тема 2.1. Классификация и конфигурации контактных площадок.

#### Перечень лекционных занятий

| Номер темы | Наименование лекции                                                                                                                                                                                          | Кол-во часов |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.1        | Различные виды контактных площадок: с ESD-защитой, clamp, СВЧ, для цифровых выводов. Электрические схемы и топологии. Прогнозирование площади будущего кристалла. Принципы расположения контактных площадок. | 2            |

### Перечень практических занятий

| Номер темы | Наименование практического занятия                         | Кол-во часов |
|------------|------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.1        | Проектирование контактных площадок со специальной защитой. | 2            |

### Самостоятельная работа

| Номер темы | Вид самостоятельной работы                         | Кол-во часов |
|------------|----------------------------------------------------|--------------|
| 2.1        | Просмотр лекции, выполнение практического задания. | 4            |

Тема 2.2. Площадь кристалла. Принципы расположения контактных площадок.

### Перечень практических занятий

| Номер темы | Наименование практического занятия                                      | Кол-во часов |
|------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.2        | Проектирование рамки с контактными площадками и шинами питания и земли. | 2            |

### Самостоятельная работа

| Номер темы | Вид самостоятельной работы                         | Кол-во часов |
|------------|----------------------------------------------------|--------------|
| 2.2        | Просмотр лекций, выполнение практического задания. | 4            |

## Раздел 3. Финализация проекта (14 часов)

Тема 3.1. Этапы финализации. Метки. SealRing.

### Перечень лекционных занятий

| Номер темы | Наименование лекции                                     | Кол-во часов |
|------------|---------------------------------------------------------|--------------|
| 3.1        | Этапы финализации проекта. Создание специальных меток и | 2            |

|  |                                                                                                                                                                                                                                 |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | областей. Способы заполнения пустот на кристалле. SealRing. Роль «филлеров» (фиктивных областей). Особенности генерации фиктивных областей с помощью инструмента PVS. Подготовка данных для отправки на производство. GDS-файл. |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

#### Перечень практических занятий

| Номер темы | Наименование практического занятия               | Кол-во часов |
|------------|--------------------------------------------------|--------------|
| 3.1        | Совмещение рамки с топологией готового СФ-блока. | 2            |

#### Самостоятельная работа

| Номер темы | Вид самостоятельной работы                         | Кол-во часов |
|------------|----------------------------------------------------|--------------|
| 3.1        | Просмотр лекций, выполнение практического задания. | 4            |

Тема 3.2. Фиктивные области. Создание GDS-файла. Подготовка данных для отправки на производство.

#### Перечень практических занятий

| Номер темы | Наименование практического занятия                | Кол-во часов |
|------------|---------------------------------------------------|--------------|
| 3.2        | Генерация фиктивных областей. Создание файла GDS. | 2            |

#### Самостоятельная работа

| Номер темы | Вид самостоятельной работы                         | Кол-во часов |
|------------|----------------------------------------------------|--------------|
| 3.2        | Просмотр лекций, выполнение практического задания. | 4            |

## 5. Материально-технические условия реализации программы

### 5.2 Очно-заочная форма обучения

| Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий | Вид занятия                                          | Наименование оборудования, программного обеспечения                                                     |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Персональное место слушателя                                     | Лекции, практические занятия, самостоятельная работа | Компьютеры с возможностью подключения к сети Интернет и доступом в систему ОРИОКС. Доступ к ПО Cadence. |

#### 6. Учебно-методическое обеспечение программы

1. Эннс В.И. Проектирование аналоговых КМОП - микросхем: Краткий справочник разработчика / В.И. Эннс, Ю.М. Кобзев. - М.: Горячая линия-Телеком, 2005. - 454 с.
2. Вонг Б.П. Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне / Б.П. Вонг, А. Миттал, Ю. Цао, Г. Старр. М.: Техносфера, 2014. – 432 с.
3. Миндеева А.А. Интерактивное проектирование ИС интегрированными средствами системы Cadence: Учеб. пособие – М.: МИЭТ, 2008. – 208 с. URL: <http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/normal/003yqqsuu3ds3q/Mindeeva.pdf>

#### 8. Оценка качества освоения программы

Итоговая аттестация проводится в форме зачета. Слушатель считается аттестованным и получает зачет по программе, если получен правильный ответ на один вопрос к зачету и выполнены все практические задания. Список вопросов к зачету и критерии оценки практических заданий приведены далее.

Список вопросов к зачету:

1. Определение понятия «топология». Основные задачи тополога.
2. Известные топологические редакторы. Определение понятия PDK и его состав.
3. Состав, роль, применение охранных колец. Структуры с двойным охранным кольцом.
4. Структура и топология n-p-n интегрального биполярного транзистора. Применение биполярных транзисторов в современных интегральных схемах.
5. Структура и топология интегральных резистора, конденсатора, катушки индуктивности.
6. Особенности разводки топологии (Routing). Принципы разводки шин дифференциальных сигналов.
7. Контактные площадки: определение, структуры, назначение.
8. Схемы защиты от электростатического разряда. ESD Clamp и Power-Rail ESD Clamp.

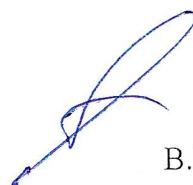
9. Ячейки ввода-вывода и их состав.
10. Триггер Шмитта: структуры, особенности, назначение.
11. Конфигурации кристалла core-limited die и pad-limited die.
12. Правила и особенности проектирования рамки контактных площадок.
13. Основные этапы финализации проекта топологии.
14. Структура и назначение SealRing.
15. Способы заполнения пустот на кристалле. Фиктивные области.
16. Текстовые метки и их назначение. Тестовые структуры и их назначение.
17. Контрольная сумма. GDS-файл.
18. Информация о готовой топологии для технической и конструкторской документации.

Критерии оценки практических заданий приведены далее. Работа считается сданной, если набрано не менее трех баллов.

| № п/п | Критерии оценки практические задания                                                      | Балл |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1     | Оформлена краткая теоретическая часть                                                     | 1    |
| 2     | Осуществлено проектирование блока                                                         | 1    |
| 3     | Успешно проведена верификация топологии (проверки DRC и LVS показывают отсутствие ошибок) | 1    |
| 4     | Оформлен отчет о работе                                                                   | 1    |
| 5     | Получены ответы на контрольные вопросы к работе                                           | 1    |

#### 9. Составители программы

Д.т.н., профессор Института ИнЭл



В.В. Лосев

Ассистент Института ИнЭл



Л.В. Недашковский

#### Согласовано:

Директор ДРОП



Н.Ю. Соколова

Руководитель направления САПР ЭКБ ПИШ



А.В. Коршунов

Директор Института ИнЭл



В.В. Лосев