**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента по учебной работе
_____Ким М.Ю.
«29» _____10_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# СБОРКА, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки / специальность: **11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**
Направленность (профиль) / специализация: **Инфокоммуникационные технологии, системы связи и Интернет вещей**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Передовая инженерная школа «Электронное приборостроение и системы связи» (ПИШ)**
Кафедра: **передовая инженерная школа (ПИШ)**
Курс: **2**
Семестр: **3**
Учебный план набора 2026 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | 3 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|
| Лекционные занятия | 18 | 18 | часов |
| Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| Самостоятельная работа | 108 | 108 | часов |
| Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию) | 144 | 144 | часов |
| | 4 | 4 | з.е. |

| Формы промежуточной аттестации | Семестр |
|---|---|
| Зачет с оценкой | 3 |

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ким М.Ю.
Должность: Директор департамента по учебной работе
Дата подписания: 29.10.2025
Уникальный программный ключ:
ed789cd8-2cc6-4431-a59e-8f386b1d44fa

Томск

Согласована на портале № 85509

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели дисциплины

1. Формирование у студентов системных знаний и практических навыков в области современных технологий сборки, методов функционального контроля и испытаний на надежность интегральных схем (ИС) СВЧ-диапазона, основанных на использовании передовых достижений науки и техники.

### 1.2. Задачи дисциплины

1. 1. Изучить основные типы, конструктивные особенности и специфику применения корпусов СВЧ ИС. 2. Освоить общие принципы выполнения измерений параметров СВЧ устройств, познакомиться с современным измерительным оборудованием и методиками его калибровки. 3. Изучить методы оценки надежности изделий твердотельной электроники, освоить анализ основных физико-химических процессов, приводящих к отказам разрабатываемых изделий.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.
Модуль дисциплин: Модуль проектно-профессиональной подготовки.
Индекс дисциплины: Б1.В.01.ДВ.06.03.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):
Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

| Компетенция | Индикаторы достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|---|---|---|
| **Универсальные компетенции** | | |
| - | - | - |
| **Общепрофессиональные компетенции** | | |
| - | - | - |
| **Профессиональные компетенции** | | |

Согласована на портале № 85509

| | | |
|---|---|---|
| ПК-3. Способен использовать современные достижения науки и передовые технологии в профессиональной деятельности | ПК-3.1. Знает современные подходы к исследованию и разработке объектов профессиональной деятельности | Знает классификацию, конструктивные особенности и области применения современных корпусов СВЧ ИС; физические принципы, архитектуру и возможности современного СВЧ измерительного оборудования; теоретические основы, математический аппарат и нормативную базу оценки надежности изделий микроэлектроники. |
| | ПК-3.2. Умеет проводить исследования и разработку с использованием современных достижений науки и передовых технологий при решении задач профессиональной деятельности | Умеет обоснованно выбирать тип корпуса и технологию корпусирования ИС с учетом требований к паразитным параметрам и теплоотводу; применять современные методики калибровки и проводить функциональный контроль СВЧ параметров с использованием векторных анализаторов цепей (ВАЦ) и зондовых станций; применять методы ускоренных испытаний, выявлять и анализировать физико-химические механизмы деградации и отказов ИС. |
| | ПК-3.3. Владеет современными технологиями проектирования объектов профессиональной деятельности | Владеет методиками калибровки измерительных трактов (SOLT, TRL, LRM) и проведения СВЧ зондовых измерений на пластине; методами расчета и прогнозирования надежности СВЧ ИС на основе анализа физико-химических процессов; инструментарием передовых технологий сборки (Flip-Chip, TSV, 3D-интеграция) при конструировании СВЧ ИС. |

## 4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 3 семестр |
| **Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 36 | 36 |
| Лекционные занятия | 18 | 18 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| **Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 108 | 108 |
| Подготовка к зачету с оценкой | 50 | 50 |
| Выполнение практического задания | 6 | 6 |
| Подготовка к тестированию | 48 | 48 |
| Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 4 | 4 |
| **Общая трудоемкость (в часах)** | 144 | 144 |

Согласована на портале № 85509

| | | |
|---|---|---|
| **Общая трудоемкость (в з.е.)** | 4 | 4 |

## 5. Структура и содержание дисциплины

### 5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

| Названия разделов (тем) дисциплины | Лек. зан., ч | Прак. зан., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | | | |
| 1 Технологии сборки и корпуса интегральных схем | 6 | 6 | 36 | 48 | ПК-3 |
| 2 Функциональный контроль и измерения параметров СВЧ устройств | 6 | 6 | 34 | 46 | ПК-3 |
| 3 Испытания на надежность и физика отказов ИС | 6 | 6 | 38 | 50 | ПК-3 |
| Итого за семестр | 18 | 18 | 108 | 144 | |
| Итого | 18 | 18 | 108 | 144 | |

### 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) | Трудоемкость (лекционные занятия), ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | |
| 1 Технологии сборки и корпуса интегральных схем | Особенности СВЧ ИС и требования к их конструктивному исполнению. Понятие паразитных параметров на СВЧ. Требования к теплоотводу и экранированию. | 2 | ПК-3 |
| | Типы корпусов СВЧ ИС: металлокерамические, полимерные, с воздушной полостью, безкорпусные исполнения. Анализ современных зарубежных и отечественных аналогов. | 2 | ПК-3 |
| | Передовые технологии сборки СВЧ ИС. Проволочная разварка (Wire Bonding), перевернутый кристалл (Flip-Chip), сквозные кремниевые отверстия (TSV). Влияние технологии сборки на СВЧ характеристики. | 2 | ПК-3 |
| | Итого | 6 | |

Согласована на портале № 85509

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 Функциональный контроль и измерения параметров СВЧ устройств | Общие принципы измерений параметров СВЧ устройств. Матрицы рассеяния (S-параметры). Измерения коэффициента шума и нелинейных параметров. | 2 | ПК-3 |
| | Современное измерительное оборудование. Архитектура, принципы построения и возможности векторных анализаторов цепей (ВАЦ), анализаторов спектра. | 2 | ПК-3 |
| | Методики калибровки измерительного оборудования. Модели ошибок ВАЦ. Калибровки SOLT, TRL, LRM. Зондовые измерения: устройство зондовых станций и СВЧ зондов. | 2 | ПК-3 |
| | Итого | 6 | |
| 3 Испытания на надежность и физика отказов ИС | Основы теории надежности изделий твердотельной электроники. Законы распределения отказов. Количественные показатели надежности. | 2 | ПК-3 |
| | Физико-химические процессы, приводящие к отказам ИС: электромиграция, термомиграция, коррозия, диффузионные процессы, деградация диэлектриков. | 2 | ПК-3 |
| | Методы ускоренных испытаний на надежность и анализ отказов. Ускоряющие факторы. Методы разрушающего и неразрушающего контроля. | 2 | ПК-3 |
| | Итого | 6 | |
| Итого за семестр | | 18 | |
| Итого | | 18 | |

### 5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | |
| 1 Технологии сборки и корпуса интегральных схем | Анализ топологий и выбор типа корпуса СВЧ ИС для заданных технических характеристик. | 2 | ПК-3 |
| | Расчет паразитных параметров и теплового режима корпусов СВЧ ИС. | 2 | ПК-3 |
| | Сравнительный анализ технологий сборки (Wire Bond и Flip-Chip) для СВЧ применений. | 2 | ПК-3 |
| | Итого | 6 | |

Согласована на портале № 85509

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 Функциональный контроль и измерения параметров СВЧ устройств | Измерение S-параметров пассивных СВЧ структур с использованием ВАЦ. | 2 | ПК-3 |
| | Калибровка измерительного тракта и методы верификации качества калибровки. | 2 | ПК-3 |
| | Проведение зондовых измерений СВЧ параметров кристаллов на пластине. | 2 | ПК-3 |
| | Итого | 6 | |
| 3 Испытания на надежность и физика отказов ИС | Расчет показателей надежности и интенсивности отказов ИС. | 2 | ПК-3 |
| | Моделирование и анализ физики отказов (электродиффузия, термоциклирование). | 2 | ПК-3 |
| | Планирование ускоренных испытаний на надежность и обработка их результатов. | 2 | ПК-3 |
| | Итого | 6 | |
| Итого за семестр | | 18 | |
| Итого | | 18 | |

### 5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

### 5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

### 5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов (тем) дисциплины | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | | |
| 1 Технологии сборки и корпуса интегральных схем | Подготовка к зачету с оценкой | 16 | ПК-3 | Зачёт с оценкой |
| | Выполнение практического задания | 2 | ПК-3 | Практическое задание |
| | Подготовка к тестированию | 16 | ПК-3 | Тестирование |
| | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 2 | ПК-3 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Итого | 36 | | |

Согласована на портале № 85509

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2 Функциональный контроль и измерения параметров СВЧ устройств | Подготовка к зачету с оценкой | 16 | ПК-3 | Зачёт с оценкой |
| | Выполнение практического задания | 2 | ПК-3 | Практическое задание |
| | Подготовка к тестированию | 16 | ПК-3 | Тестирование |
| | Итого | 34 | | |
| 3 Испытания на надежность и физика отказов ИС | Подготовка к зачету с оценкой | 18 | ПК-3 | Зачёт с оценкой |
| | Выполнение практического задания | 2 | ПК-3 | Практическое задание |
| | Подготовка к тестированию | 16 | ПК-3 | Тестирование |
| | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 2 | ПК-3 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Итого | 38 | | |
| Итого за семестр | | 108 | | |
| Итого | | 108 | | |

### 5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Формируемые компетенции | Виды учебной деятельности | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| | Лек. зан. | Прак. зан. | Сам. раб. | |
| ПК-3 | + | + | + | Зачёт с оценкой, Отчет по практическому занятию (семинару), Практическое задание, Тестирование |

## 6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

| Формы контроля | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | | |
| Зачёт с оценкой | 0 | 0 | 30 | 30 |
| Практическое задание | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Тестирование | 5 | 10 | 5 | 20 |
| Отчет по практическому занятию (семинару) | 10 | 10 | 15 | 35 |
| Итого максимум за период | 20 | 25 | 55 | 100 |

Согласована на портале № 85509

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Нарастающим итогом | 20 | 45 | 100 | 100 |

### 6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

| Баллы на дату текущего контроля | Оценка |
|---|---|
| ≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 3 |
| < 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 2 |

### 6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS) |
|---|---|---|
| 5 (отлично) (зачтено) | 90 – 100 | A (отлично) |
| 4 (хорошо) (зачтено) | 85 – 89 | B (очень хорошо) |
| | 75 – 84 | C (хорошо) |
| | 70 – 74 | D (удовлетворительно) |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | 65 – 69 | |
| | 60 – 64 | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1. Основная литература

1. Белоус, А. И. Основы технологии микромонтажа интегральных схем / А. И. Белоус, В. А. Емельянов. — Москва: ДМК Пресс, 2013. — 216 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/9120.

2. Афонский, А. А. Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике : монография / А. А. Афонский, В. П. Дьяконов. — Москва : ДМК Пресс, 2011. — 688 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/900.

3. Бочкарев, С. В. Диагностика и надежность автоматизированных систем: учебное пособие / С. В. Бочкарев, А. И. Цаплин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Пермь: ПНИПУ, 2008. — 485 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/160311.

### 7.2. Дополнительная литература

1. Никифоров, И. К. Радиоэлектронная и силовая электронная аппаратура. Микро- и наноэлектроника. Материалы, технологии : учебное пособие / И. К. Никифоров ; под редакцией Н. Н. Николаева. — Чебоксары : ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2020. — 354 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/209531.

### 7.3. Учебно-методические пособия

#### 7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Антенны и устройства СВЧ. Микроволновые антенны и устройства СВЧ : Лабораторный практикум / А. С. Шостак, И. И. Горелкин, В. П. Зайцев - 2018. 54 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7266.

Согласована на портале № 85509

2. Тимошенков, С. П. Основы теории надежности : учебник и практикум для вузов / С. П. Тимошенков, Б. М. Симонов, В. Н. Горошко. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. 445 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://urait.ru/bcode/536405.

### 7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

### 7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

## 8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

### 8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

### 8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 124 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (13 шт.);
- Проектор Benq;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

### 8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Согласована на портале № 85509

Перечень программного обеспечения:
- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### 8.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

| Названия разделов (тем) дисциплины | Формируемые компетенции | Формы контроля | Оценочные материалы (ОМ) |
|---|---|---|---|
| 1 Технологии сборки и корпуса интегральных схем | ПК-3 | Зачёт с оценкой | Перечень вопросов для зачета с оценкой |
| | | Практическое задание | Темы практических заданий |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |
| 2 Функциональный контроль и измерения параметров СВЧ устройств | ПК-3 | Зачёт с оценкой | Перечень вопросов для зачета с оценкой |
| | | Практическое задание | Темы практических заданий |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |

Согласована на портале № 85509

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3 Испытания на надежность и физика отказов ИС | ПК-3 | Зачёт с оценкой | Перечень вопросов для зачета с оценкой |
| | | Практическое задание | Темы практических заданий |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

| Оценка | Баллы за ОМ | Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения | | |
|---|---|---|---|---|
| | | знать | уметь | владеть |
| 2 (неудовлетворительно) | < 60% от максимальной суммы баллов | отсутствие знаний или фрагментарные знания | отсутствие умений или частично освоенное умение | отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков |
| 3 (удовлетворительно) | от 60% до 69% от максимальной суммы баллов | общие, но не структурированные знания | в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение | в целом успешное, но не систематическое применение навыков |
| 4 (хорошо) | от 70% до 89% от максимальной суммы баллов | сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков |
| 5 (отлично) | ≥ 90% от максимальной суммы баллов | сформированные систематические знания | сформированное умение | успешное и систематическое применение навыков |

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

| Оценка | Формулировка требований к степени компетенции |
|---|---|
| 2 (неудовлетворительно) | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале<br>или<br>Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения. |

Согласована на портале № 85509

| | |
|---|---|
| 3 (удовлетворительно) | Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях. |
| 4 (хорошо) | Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения. |
| 5 (отлично) | Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины. |

### 9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Технология корпусирования на основе использования низкотемпературной керамики называется:
   а) LCC;
   б) LTCC;
   в) HTCC;
   г) LTCT.
2. Назначение интерпозера заключается в:
   а) электрическое соединение одного блока с другим;
   б) изоляция одного блока от другого;
   в) термоинтерфейс между блоками;
   г) минимизация влияния внешних воздействующих факторов.
3. При расчёте тепловыделения системы учитывают:
   а) теплопроводность материалов;
   б) температурные коэффициенты расширения материалов;
   в) уровень рассеиваемой мощности источника тепла;
   г) всё вышеперечисленное.
4. Какими методами компьютерного моделирования проводится расчёт параметров СВЧ корпусов?
   а) линейный анализ;
   б) нелинейный анализ;
   в) электромагнитное моделирование;
   г) схемотехнический анализ.
5. Понятие «система-в-корпусе» может включать в себя:
   а) интегрированную антенну с одной из сторон корпуса;
   б) множество функциональных узлов интегральных схем;
   в) интегральные схемы, изготовленные по различным технологиям;
   г) всё вышеперечисленное.
6. Наиболее дешевым типом корпусов является:
   а) WLP;
   б) Plastic QFN;
   в) LTCC;
   г) PBGA.
7. Наиболее оптимальным корпусом для интегральных схем усилителей мощности является:
   а) PBGA;
   б) металлокерамический корпус с балочными выводами;
   в) металлокерамический корпус с коаксиальными выводами;

Согласована на портале № 85509

г) flip-chip с андерфилом.

8. Классический корпус BGA изготавливается на:
   а) керамическом основании;
   б) кремниевом интерпозере;
   в) металлическом основании;
   г) печатной плате.
9. Что такое WLμE?
   а) корпусирование кристаллов на уровне отдельных микросхем;
   б) корпусирование кристаллов на уровне пластины методом «пластина-к-пластине»;
   в) корпусирование кристаллов в боросиликатное стекло;
   г) корпусирование кристаллов методом тонких плёнок.
10. Метод корпусирования на уровне пластины называется:
    а) DLP;
    б) WLP;
    в) LTCC;
    г)HTCC.
11. В каком случае применяется, как правило, радиоимпульсный метод измерения частотных характеристик СВЧ устройств?
    а) мощных интегральных СВЧ устройств на высоком уровне мощности.
    б) маломощных интегральных транзисторов СВЧ на малом уровне мощности.
    в) мощных интегральных транзисторов СВЧ на малом уровне мощности.
    г) маломощных интегральных транзисторов СВЧ на высоком уровне мощности.
12. Почему при лавинном пробое не происходит необратимого теплового пробоя транзистора?
    а) Этот экспериментальный результат до сих пор не имеет теоретического объяснения.
    б) Из-за того, что структура не успевает перегреться вследствие очень короткой длительности импульса.
    в) Из-за того, что структура не успевает перегреться вследствие малой амплитуды импульса.
    г) На самом деле при лавинном пробое структура перегревается и происходит необратимый тепловой пробой транзистора.
13. Сколько портов (плеч) в направленном ответвителе СВЧ?
    а) это 1-портовое устройство;
    б) это 2-портовое устройство;
    в) это 3-портовое устройство;
    г) это 4-портовое устройство;
14. Какие условные названия имеют порты (плечи) в любом направленном ответвителе СВЧ?
    а) входное, связанное, развязанное, проходное
    б) входное, импедансное, адмитансное, реактансное
    в) входное, вспомогательное, основное, трансформирующее
    г) входное, эластансное, резистивное, аттенюаторное
15. Какие типы направленности ответвителей известны?
    а) Прямой
    б) Обратный
    в) Поперечный
    г) Продольно-поперечный
16. Какие типы направленных ответвителей, различающиеся по виду направленности, существуют?
    а) противонаправленный,
    б) сонаправленный,
    в) транснаправленный,
    г) сверхнаправленный,
17. Как называется направленный ответвитель с 3-дБ связью?
    а) Мост
    б) Полумост
    в) Гиратор
    г) Циркулятор

Согласована на портале № 85509

18. Как классифицируются направленные ответвители по критерию фазового соотношения сигналов в выходных плечах?
    а) Квадратурный
    б) Синфазно-противофазный
    в) Квадратный
    г) Двушлейфный
19. На каких элементах можно построить направленный ответвитель?
    а) На отрезках одиночных линий передачи
    б) На связанных линиях
    в) На пассивных сосредоточенных элементах
    г) На полевых транзисторах
20. Назвать основные параметры направленных ответвителей?
    а) Согласование
    б) Связь
    в) Развязка
    г) Циркуляция
21. Что такое надежность изделия?
    а) качество изделия;
    б) дизайн изделия;
    в) свойство изделия;
    г) состояние изделия.
22. Что такое отказ изделия?
    а) изменение параметров изделия;
    б) нарушение работоспособности изделия;
    в) изменение условий эксплуатации изделия;
    г) электрические испытания изделия.
23. Что такое работоспособность изделия?
    а) готовность изделия к использованию;
    б) способность изделия выполнять заданные функции;
    в) состояние изделия после испытаний;
    г) утрата основных параметров.
24. Что такое долговечность изделия?
    а) износ изделия;
    б) сохранение работоспособности до износа;
    в) способность выдерживать нагрузки;
    г) сохранение надежности.
25. Что такое сохраняемость изделия?
    а) условия хранения изделия;
    б) способность изделия к транспортировке;
    в) свойство сохранять работоспособность в течение хранения и после хранения;
    г) упаковка изделия в герметичную тару.
26. Что такое вероятность отказа изделия Q(t)?
    а) вероятность того, что в отказ возникает в заданных пределах времени;
    б) Вероятность того, что в заданное время отказ не возникает;
    в) вероятность того, что изделие работоспособно;
    г) вероятность наработки изделием заданного времени.
27. Гамма-процентная наработка до отказа?
    а) суммарная наработка изделия;
    б) наработка изделия на отказ;
    в) наработка, в течении которой отказ не возникает с некоторой вероятностью;
    г) процентная наработка на отказ.
28. Какой математический закон положен в основу ускоренных испытаний?
    а) закон нормального распределения;
    б) закон Гаусса;
    в) закон Мура;
    г) закон Аррениуса.
29. Что такое граничные испытания?

Согласована на портале № 85509

а) определение режимов испытаний;
б) определение времени испытаний;
в) определение предельно-допустимых параметров изделий;
г) определение условий эксплуатации изделий.

30. Что такое случайная выборка изделий?
а) выборка изделий с заданными параметрами;
б) выборка изделий для испытаний;
в) отбор изделий из генеральной совокупности;
г) выборка качественных изделий

### 9.1.2. Перечень вопросов для зачета с оценкой

Блок I. Сборка и корпуса СВЧ ИС

1. Классификация и особенности применения корпусов СВЧ ИС. Влияние паразитных параметров корпуса на работу ИС.
2. Металлокерамические и полимерные корпуса СВЧ ИС: достоинства, недостатки и области применения.
3. Технологии межсоединений в микроэлектронике: Wire Bonding, Flip-Chip, TSV. Физические ограничения на СВЧ.
4. Особенности сборки СВЧ ИС с использованием технологий 3D-интеграции и кремниевых интерпозеров.
5. Методы обеспечения теплоотвода в корпусах мощных СВЧ ИС.

Блок II. Функциональный контроль и измерения

1. Понятие S-параметров и их физический смысл при измерении СВЧ устройств.
2. Архитектура и основные характеристики современных векторных анализаторов цепей (ВАЦ).
3. Назначение и принцип работы анализаторов спектра при функциональном контроле СВЧ ИС.
4. Суть, необходимость и математические модели ошибок при калибровке измерительного СВЧ тракта.
5. Методики калибровки SOLT, TRL, LRM: особенности, точность и области применения.
6. Устройство и принципы работы СВЧ зондовой станции. Особенности проведения зондовых измерений на пластине.

Блок III. Надежность и физика отказов

1. Основные показатели безотказности и долговечности изделий микроэлектроники. Законы распределения отказов.
2. Физические модели электромиграции и термомиграции в тонкопленочной металлизации ИС.
3. Механизмы деградации диэлектриков и коррозионные процессы в корпусах ИС.
4. Понятие ускоренных испытаний: ускоряющие факторы и модели ускорения.
5. Методы разрушающего и неразрушающего анализа отказов. Применение электронной микроскопии и рентгеновского контроля.
6. Планирование, проведение и статистическая обработка результатов ускоренных испытаний на надежность.
7. Взаимосвязь топологии СВЧ ИС, технологии сборки и доминирующих механизмов отказов.

### 9.1.3. Темы практических заданий

1. Проанализировать топологии и выбрать тип корпуса СВЧ ИС для заданных технических характеристик.
2. Рассчитать паразитные параметры и тепловой режим корпусов СВЧ ИС.
3. Провести сравнительный анализ технологий сборки (Wire Bond и Flip-Chip) для СВЧ применений.
4. Смоделировать и проанализировать физику отказов ИС.
5. Составить план ускоренных испытаний на надежность ИС и обработать их результаты.

### 9.1.4. Темы практических занятий

Согласована на портале № 85509

1. Анализ топологий и выбор типа корпуса СВЧ ИС для заданных технических характеристик.
2. Расчет паразитных параметров и теплового режима корпусов СВЧ ИС.
3. Сравнительный анализ технологий сборки (Wire Bond и Flip-Chip) для СВЧ применений.
4. Моделирование и анализ физики отказов (электродиффузия, термоциклирование).
5. Планирование ускоренных испытаний на надежность и обработка их результатов.

### 9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

### 9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |

Согласована на портале № 85509

| | | |
|---|---|---|
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

– в печатной форме с увеличенным шрифтом;

– в форме электронного документа;

– методом чтения ассистентом задания вслух;

– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;

– набор ответов на компьютере;

– набор ответов с использованием услуг ассистента;

– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 85509

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПИШ
протокол № 3 от «21» 10 2025 г.

**СОГЛАСОВАНО:**

| Должность | Инициалы, фамилия | Подпись |
|---|---|---|
| Заведующий выпускающей каф. ПИШ | А.С. Перин | Согласовано, a0f1668d-d020-4ff4-9a8a-4ff4e15b36fe |
| Заведующий обеспечивающей каф. ПИШ | А.С. Перин | Согласовано, a0f1668d-d020-4ff4-9a8a-4ff4e15b36fe |
| Начальник учебного управления | Г.А. Цой | Согласовано, 8a5745e4-63a0-4946-bbb0-ce4977ac113e |

**ЭКСПЕРТЫ:**

| | | |
|---|---|---|
| Заместитель директора по образованию, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева | А.В. Жечева | Согласовано, 10222954-0bcd-4026-99f7-5b18919a1928 |
| Заведующий кафедрой, каф. РСС | А.В. Фатеев | Согласовано, 595be322-a579-4ae5-8d93-e5f4ee9ceb7d |

**РАЗРАБОТАНО:**

| | | |
|---|---|---|
| Доцент, каф. ФЭ | Ю.С. Жидик | Разработано, db64d8d8-4523-45e4-9f1c-901117524a6a |

Согласована на портале № 85509