

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: **27.04.05 Инноватика**

Направленность (профиль) / специализация: **Бизнес-аналитика и управление наукоемкими проектами**

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                 | 144       | 144   | часов   |
| (включая промежуточную аттестацию) | 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 № 85511

## **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 |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Универсальные компетенции</b>        |                                   |                                               |
| -                                       | -                                 | -                                             |
| <b>Общепрофессиональные компетенции</b> |                                   |                                               |
| -                                       | -                                 | -                                             |
| <b>Профессиональные компетенции</b>     |                                   |                                               |

|                                                                                                                 |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-5. Способен использовать современные достижения науки и передовые технологии в профессиональной деятельности | ПК-5.1. 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-5.2. Умеет проводить исследование 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-5.3. 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 |
| <b>Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b>                                               | 36          | 36        |
| Лекционные занятия                                                                                                    | 18          | 18        |
| Практические занятия                                                                                                  | 18          | 18        |
| <b>Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b> | 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         |
| <b>Общая трудоемкость (в часах)</b>                                                                                   | 144         | 144       |

|                                    |          |          |
|------------------------------------|----------|----------|
| <b>Общая трудоемкость (в з.е.)</b> | <b>4</b> | <b>4</b> |
|------------------------------------|----------|----------|

## 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.<br>зан., ч | Прак.<br>зан., ч | Сам.<br>раб., ч | Всего часов<br>(без<br>экзамена) | Формируемые<br>компетенции |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------|
| <b>3 семестр</b>                                               |                 |                  |                 |                                  |                            |
| 1 Технологии сборки и корпуса интегральных схем                | 6               | 6                | 36              | 48                               | ПК-5                       |
| 2 Функциональный контроль и измерения параметров СВЧ устройств | 6               | 6                | 34              | 46                               | ПК-5                       |
| 3 Испытания на надежность и физика отказов ИС                  | 6               | 6                | 38              | 50                               | ПК-5                       |
| 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 |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| <b>3 семестр</b>                                |                                                                                                                                                                                                   |                                      |                         |
| 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-5                    |
|                                                 | Типы корпусов СВЧ ИС: металлокерамические, полимерные, с воздушной полостью, безкорпусные исполнения. Анализ современных зарубежных и отечественных аналогов.                                     | 2                                    | ПК-5                    |
|                                                 | 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-5                    |
|                                                 | Итого                                                                                                                                                                                             | 6                                    |                         |

|                                                                |                                                                                                                                                              |    |      |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------|
| 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-5 |
|                                                                | Современное измерительное оборудование. Архитектура, принципы построения и возможности векторных анализаторов цепей (ВАЦ), анализаторов спектра.             | 2  | ПК-5 |
|                                                                | Методики калибровки измерительного оборудования. Модели ошибок ВАЦ. Калибровки SOLT, TRL, LRM. Зондовые измерения: устройство зондовых станций и СВЧ зондов. | 2  | ПК-5 |
|                                                                | Итого                                                                                                                                                        | 6  |      |
| 3 Испытания на надежность и физика отказов ИС                  | Основы теории надежности изделий твердотельной электроники. Законы распределения отказов. Количественные показатели надежности.                              | 2  | ПК-5 |
|                                                                | Физико-химические процессы, приводящие к отказам ИС: электромиграция, термомиграция, коррозия, диффузионные процессы, деградация диэлектриков.               | 2  | ПК-5 |
|                                                                | Методы ускоренных испытаний на надежность и анализ отказов. Ускоряющие факторы. Методы разрушающего и неразрушающего контроля.                               | 2  | ПК-5 |
|                                                                | 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 |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|
| <b>3 семестр</b>                                |                                                                                      |                 |                         |
| 1 Технологии сборки и корпуса интегральных схем | Анализ топологий и выбор типа корпуса СВЧ ИС для заданных технических характеристик. | 2               | ПК-5                    |
|                                                 | Расчет паразитных параметров и теплового режима корпусов СВЧ ИС.                     | 2               | ПК-5                    |
|                                                 | Сравнительный анализ технологий сборки (Wire Bond и Flip-Chip) для СВЧ применений.   | 2               | ПК-5                    |
|                                                 | Итого                                                                                | 6               |                         |

|                                                                |                                                                             |    |      |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|------|
| 2 Функциональный контроль и измерения параметров СВЧ устройств | Измерение S-параметров пассивных СВЧ структур с использованием ВАЦ.         | 2  | ПК-5 |
|                                                                | Калибровка измерительного тракта и методы верификации качества калибровки.  | 2  | ПК-5 |
|                                                                | Проведение зондовых измерений СВЧ параметров кристаллов на пластине.        | 2  | ПК-5 |
|                                                                | Итого                                                                       | 6  |      |
| 3 Испытания на надежность и физика отказов ИС                  | Расчет показателей надежности и интенсивности отказов ИС.                   | 2  | ПК-5 |
|                                                                | Моделирование и анализ физики отказов (электродиффузия, термоциклирование). | 2  | ПК-5 |
|                                                                | Планирование ускоренных испытаний на надежность и обработка их результатов. | 2  | ПК-5 |
|                                                                | 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                            |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| <b>3 семестр</b>                                |                                                      |                 |                         |                                           |
| 1 Технологии сборки и корпуса интегральных схем | Подготовка к зачету с оценкой                        | 16              | ПК-5                    | Зачёт с оценкой                           |
|                                                 | Выполнение практического задания                     | 2               | ПК-5                    | Практическое задание                      |
|                                                 | Подготовка к тестированию                            | 16              | ПК-5                    | Тестирование                              |
|                                                 | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 2               | ПК-5                    | Отчет по практическому занятию (семинару) |
|                                                 | Итого                                                | 36              |                         |                                           |

|                                                                |                                                      |     |      |                                           |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----|------|-------------------------------------------|
| 2 Функциональный контроль и измерения параметров СВЧ устройств | Подготовка к зачету с оценкой                        | 16  | ПК-5 | Зачёт с оценкой                           |
|                                                                | Выполнение практического задания                     | 2   | ПК-5 | Практическое задание                      |
|                                                                | Подготовка к тестированию                            | 16  | ПК-5 | Тестирование                              |
|                                                                | Итого                                                | 34  |      |                                           |
| 3 Испытания на надежность и физика отказов ИС                  | Подготовка к зачету с оценкой                        | 18  | ПК-5 | Зачёт с оценкой                           |
|                                                                | Выполнение практического задания                     | 2   | ПК-5 | Практическое задание                      |
|                                                                | Подготовка к тестированию                            | 16  | ПК-5 | Тестирование                              |
|                                                                | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 2   | ПК-5 | 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-5                    | +                         | +          | +         | 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 |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------|
| <b>3 семестр</b>                          |                                                |                                             |                                                           |                  |
| 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              |

|                    |    |    |     |     |
|--------------------|----|----|-----|-----|
| 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                                                  | E (посредственно)       |
|                                      | 60 – 64                                                  |                         |
| 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 нанoeлектроника. 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>.

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.

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-5                    | 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-5                    | Зачёт с оценкой                           | Перечень вопросов для зачета с оценкой |
|                                                                |                         | Практическое задание                      | Темы практических заданий              |
|                                                                |                         | Тестирование                              | Примерный перечень тестовых заданий    |

|                                               |      |                                           |                                        |
|-----------------------------------------------|------|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| 3 Испытания на надежность и физика отказов ИС | ПК-5 | 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<br>(неудовлетворительно) | < 60% от максимальной суммы баллов         | отсутствие знаний или фрагментарные знания                                          | отсутствие умений или частично освоенное умение             | отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков              |
| 3<br>(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<br>(неудовлетворительно) | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или<br>Знать на уровне <b>ориентирования</b> , 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. |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3<br>(удовлетворительно) | Знать и уметь на <b>репродуктивном</b> уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.                                                                                                                                                               |
| 4 (хорошо)               | Знать, уметь, владеть на <b>аналитическом</b> 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 <b>системном</b> 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;

- 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 WL $\mu$ E?
- 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

18. Как классифицируются направленные ответвители по критерию фазового соотношения сигналов в выходных плечах?
  - а) Квадратурный
  - б) Синфазно-противофазный
  - в) Квадратный
  - г) Двухшейфный
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?

- 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**

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         |

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

## 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,<br>a0f1668d-d020-4ff4-<br>9a8a-4ff4e15b36fe |
| Заведующий обеспечивающей каф. ПИШ | А.С. Перин        | Согласовано,<br>a0f1668d-d020-4ff4-<br>9a8a-4ff4e15b36fe |
| Начальник учебного управления      | Г.А. Цой          | Согласовано,<br>8a5745e4-63a0-4946-<br>bbb0-ce4977ac113e |

### ЭКСПЕРТЫ:

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

### РАЗРАБОТАНО:

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