

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ**  
**УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**  
**(ТУСУР)**



УТВЕРЖДАЮ  
 Директор департамента образования

Документ подписан электронной подписью  
 Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820  
 Владелец: Троян Павел Ефимович  
 Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Моделирование и проектирование микро- и наносистем**

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**

Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**

Направленность (профиль) / специализация: **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**

Форма обучения: **очная**

Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**

Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**

Курс: **4**

Семестр: **8**

Учебный план набора 2017 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности    | 8 семестр | Всего | Единицы |
|---|------------------------------|-----------|-------|---------|
| 1 | Лекции                       | 20        | 20    | часов   |
| 2 | Практические занятия         | 34        | 34    | часов   |
| 3 | Лабораторные работы          | 36        | 36    | часов   |
| 4 | Всего аудиторных занятий     | 90        | 90    | часов   |
| 5 | Из них в интерактивной форме | 32        | 32    | часов   |
| 6 | Самостоятельная работа       | 54        | 54    | часов   |
| 7 | Всего (без экзамена)         | 144       | 144   | часов   |
| 8 | Подготовка и сдача экзамена  | 36        | 36    | часов   |
| 9 | Общая трудоемкость           | 180       | 180   | часов   |
|   |                              | 5.0       | 5.0   | З.Е.    |

Экзамен: 8 семестр

Томск 2018

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, утвержденного 06.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

Разработчик:

Доцент каф. ФЭ \_\_\_\_\_ А. С. Сальников

Заведующий обеспечивающей каф.  
ФЭ

\_\_\_\_\_ П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ \_\_\_\_\_ А. И. Воронин

Заведующий выпускающей каф.  
ФЭ

\_\_\_\_\_ П. Е. Троян

Эксперты:

Председатель методической комиссии факультета ФЭТ

\_\_\_\_\_ И. А. Чистоедова

Профессор кафедры физической электроники (ФЭ)

\_\_\_\_\_ Т. И. Данилина

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Целью преподавания дисциплины является формирование знаний в области разработки и моделирования изделий нано- и микросистемной техники.

### 1.2. Задачи дисциплины

- сформировать общее представление о микросистемной технике;
- продемонстрировать основной маршрут проектирования микросистемной техники;
- рассмотреть подходы к моделированию элементов микросистемной техники.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Моделирование и проектирование микро- и наносистем» (Б1.В.ОД.12) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Микросхемотехника, Схемотехника, Технология материалов микро- и нанoeлектроники, Физические основы микро- и наносистемной техники.

Последующими дисциплинами являются: Преддипломная практика, Технология кремниевой нанoeлектроники.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ПК-1 способностью проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий;
- ПСК-1 способностью владеть современными методами расчета и проектирования изделий микро- и нанoeлектроники и микросистемной техники, изготовленных с применением нанотехнологий, способностью к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** - виды и уровни абстракции математических моделей микросистем и их компонентов - способы представления механических систем в виде электрических аналогий - принципы физического моделирования микросистемных объектов - принципы работы основных классов микросистем - основы технологии изготовления микросистем - основные подходы к проектированию микроэлектромеханических систем - основные конструкции СВЧ микроэлектромеханического переключателя
- **уметь** - провести моделирование микросистемы и её блоков на разных уровнях абстракции - составить модель микросистемы в виде эквивалентной схемы - строить модели электронных компонентов - рассчитывать СВЧ микроэлектромеханический переключатель
- **владеть** - навыками работы в программах 3D физического моделирования - навыками проектирования простых схем управления микросистемами - навыками работы в системах автоматизированного проектирования микросистем

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности  | Всего часов | Семестры  |
|----------------------------|-------------|-----------|
|                            |             | 8 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 90          | 90        |
| Лекции                     | 20          | 20        |
| Практические занятия       | 34          | 34        |
| Лабораторные работы        | 36          | 36        |

|   |     |     |
|---|-----|-----|
| Из них в интерактивной форме                  | 32  | 32  |
| Самостоятельная работа (всего)                | 54  | 54  |
| Подготовка к контрольным работам              | 4   | 4   |
| Оформление отчетов по лабораторным работам    | 20  | 20  |
| Проработка лекционного материала              | 5   | 5   |
| Написание рефератов                           | 13  | 13  |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 12  | 12  |
| Всего (без экзамена)                          | 144 | 144 |
| Подготовка и сдача экзамена                   | 36  | 36  |
| Общая трудоемкость, ч                         | 180 | 180 |
| Зачетные Единицы                              | 5.0 | 5.0 |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины                  | Лек., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---------|---------------|--------------|--------------|----------------------------|-------------------------|
| 8 семестр                                     |         |               |              |              |                            |                         |
| 1 Введение. Основные подходы к проектированию | 4       | 0             | 0            | 14           | 18                         | ПК-1, ПСК-1             |
| 2 Моделирование микросистем                   | 4       | 8             | 8            | 9            | 29                         | ПК-1, ПСК-1             |
| 3 Проектирование СВЧ микросистем              | 4       | 8             | 4            | 13           | 29                         | ПК-1, ПСК-1             |
| 4 СВЧ микросистемные переключатели            | 4       | 8             | 12           | 13           | 37                         | ПК-1, ПСК-1             |
| 5 Виды СВЧ переключателей и их проектирование | 4       | 10            | 12           | 5            | 31                         | ПК-1, ПСК-1             |
| Итого за семестр                              | 20      | 34            | 36           | 54           | 144                        |                         |
| Итого   | 20      | 34            | 36           | 54           | 144                        |                         |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов                             | Содержание разделов дисциплины (по лекциям)  | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|--|-----------------|-------------------------|
| 8 семестр                                     |  |                 |                         |
| 1 Введение. Основные подходы к проектированию | Введение. Что такое микросистемы и их применение. Под-ходы к проектированию микросистем. Уровни моделирования. | 4               | ПК-1, ПСК-1             |

|   |   |    |                |
|---|---|----|----------------|
|   | Итого   | 4  |                |
| 2 Моделирование микросистем                   | Представление в виде сосредоточенных элементов. Двухполосники. Применение закона Кирхгофа в микросистемах. Формулировка динамических уравнений. Примеры моделирования.                          | 4  | ПК-1,<br>ПСК-1 |
|   | Итого   | 4  |                |
| 3 Проектирование СВЧ микросистем              | Введение. Принципы работы и определяющие параметры микросистемных приборов. Влияние окружающей среды. Виды микросистемных переключателей. Аспекты проектирование микросистемных переключателей. | 4  | ПК-1,<br>ПСК-1 |
|   | Итого   | 4  |                |
| 4 СВЧ микросистемные переключатели            | Требования к электростатическому воздействию. Численное моделирование параметров переключателя. Определение вносимых потерь и изоляции переключателя.   | 4  | ПК-1,<br>ПСК-1 |
|   | Итого   | 4  |                |
| 5 Виды СВЧ переключателей и их проектирование | Переключатели с высокой изоляцией. Переключатели для миллиметрового диапазона волн. Переключатели с металлической мембраной.  | 4  | ПК-1,<br>ПСК-1 |
|   | Итого   | 4  |                |
| Итого за семестр                              |   | 20 |                |

### 5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин                             | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|
|  | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Предшествующие дисциплины                          |   |   |   |   |   |
| 1 Микросхемотехника                                |   |   | + | + | + |
| 2 Схемотехника                                     | +   | + | + | + | + |
| 3 Технология материалов микро- и наноэлектроники   | +   | + | + | + | + |
| 4 Физические основы микро- и наносистемной техники | +   | + | + | + | + |
| Последующие дисциплины                             |   |   |   |   |   |
| 1 Преддипломная практика                           | +   | + | + |   |   |
| 2 Технология кремниевой наноэлектроники            | +   | + | + | + | + |

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

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Компетенции | Виды занятий |            |           |           | Формы контроля  |
|-------------|--------------|------------|-----------|-----------|---|
|             | Лек.         | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. |   |
| ПК-1        | +            | +          | +         | +         | Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Реферат, Отчет по практическому занятию |
| ПСК-1       | +            | +          | +         | +         | Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Реферат, Отчет по практическому занятию |

### 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

| Методы   | Интерактивные практические занятия, ч | Интерактивные лабораторные занятия, ч | Интерактивные лекции, ч | Всего, ч |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------|
| 8 семестр  |                                       |                                       |                         |          |
| Презентации с использованием мультимедиа с обсуждением |                                       | 8                                     |                         | 8        |
| Работа в команде                                       | 12                                    | 4                                     |                         | 16       |
| Case-study (метод конкретных ситуаций)                 |                                       |                                       | 8                       | 8        |
| Итого за семестр:                                      | 12                                    | 12                                    | 8                       | 32       |
| Итого  | 12                                    | 12                                    | 8                       | 32       |

### 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов           | Наименование лабораторных работ  | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|-----------------------------|--|-----------------|-------------------------|
| 8 семестр                   |  |                 |                         |
| 2 Моделирование микросистем | Моделирование физических полей в функциональных элементах микро- и наносистем при заданном воздействии | 4               | ПК-1, ПСК-1             |
|                             | Моделирование технологического процесса формирования элемента микро- и наносистемы                     | 4               |                         |

|   |   |    |                |
|---|---|----|----------------|
|   | Итого   | 8  |                |
| 3 Проектирование СВЧ микросистем              | Знакомство с набором программных средств для проектирования функциональных элементов    | 4  | ПК-1,<br>ПСК-1 |
|   | Итого   | 4  |                |
| 4 СВЧ микросистемные переключатели            | Проектирование топологии функционального элемента микро- и наносистемы                  | 12 | ПК-1,<br>ПСК-1 |
|   | Итого   | 12 |                |
| 5 Виды СВЧ переключателей и их проектирование | Проектирование функциональных узлов микро-механических систем в пакете Microwave Office | 12 | ПК-1,<br>ПСК-1 |
|   | Итого   | 12 |                |
| Итого за семестр                              |   | 36 |                |

### 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов                             | Наименование практических занятий (семинаров)  | Трудоемкость,<br>ч | Формируемые компетенции |
|---|--|--------------------|-------------------------|
| 8 семестр                                     |  |                    |                         |
| 2 Моделирование микросистем                   | Особенности моделирования физико-механических компонентов микро- и наносистем. Моделирование физико-механических компонентов микро- и наносистем с использованием моделей различных уровней иерархии.  | 8                  | ПК-1,<br>ПСК-1          |
|   | Итого  | 8                  |                         |
| 3 Проектирование СВЧ микросистем              | Идентификация параметров модели. Расчетный способ определения параметров модели для различных технологических узлов.   | 4                  | ПК-1,<br>ПСК-1          |
|   | Методы формирования математических моделей физико-механических компонентов микро- и наносистем   | 4                  |                         |
|   | Итого  | 8                  |                         |
| 4 СВЧ микросистемные переключатели            | Применение пакета Matlab для моделирования физико-механических компонентов микро- и наносистем на меж-дисциплинарном уровне. Применение пакета Matlab для моделирования физико-механических компонентов микро- и наносистем на компонентном уровне | 8                  | ПК-1,<br>ПСК-1          |
|   | Итого  | 8                  |                         |
| 5 Виды СВЧ переключателей и их проектирование | Применение пакета Matlab для многовариантного моделирования физико-механических компонентов микро- и наносистем. Применение пакета Matlab для построения макромоделей физико-механических компонентов микро- и наносистем                          | 10                 | ПК-1,<br>ПСК-1          |
|   | Итого  | 10                 |                         |

|                  |  |    |  |
|------------------|--|----|--|
| Итого за семестр |  | 34 |  |
|------------------|--|----|--|

### 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов                             | Виды самостоятельной работы                   | Трудоемкость,<br>ч | Формируемые<br>компетенции | Формы контроля   |
|---|---|--------------------|----------------------------|--|
| <b>8 семестр</b>                              |   |                    |                            |  |
| 1 Введение. Основные подходы к проектированию | Написание рефератов                           | 13                 | ПК-1,<br>ПСК-1             | Реферат, Экзамен   |
|   | Проработка лекционного материала              | 1                  |                            |  |
|   | Итого   | 14                 |                            |  |
| 2 Моделирование микросистем                   | Проработка лекционного материала              | 1                  | ПК-1,<br>ПСК-1             | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен                     |
|   | Оформление отчетов по лабораторным работам    | 4                  |                            |  |
|   | Оформление отчетов по лабораторным работам    | 4                  |                            |  |
|   | Итого   | 9                  |                            |  |
| 3 Проектирование СВЧ микросистем              | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4                  | ПК-1,<br>ПСК-1             | Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен |
|   | Проработка лекционного материала              | 1                  |                            |  |
|   | Оформление отчетов по лабораторным работам    | 4                  |                            |  |
|   | Подготовка к контрольным работам              | 4                  |                            |  |
|   | Итого   | 13                 |                            |  |
| 4 СВЧ микросистемные переключатели            | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 8                  | ПК-1,<br>ПСК-1             | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен                     |
|   | Проработка лекционного материала              | 1                  |                            |  |
|   | Оформление отчетов по лабораторным работам    | 4                  |                            |  |
|   | Итого   | 13                 |                            |  |
| 5 Виды СВЧ переключателей и их проектирование | Проработка лекционного материала              | 1                  | ПК-1,<br>ПСК-1             | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Экзамен                           |
|   | Оформление отчетов по лабораторным работам    | 4                  |                            |  |
|   | Итого   | 5                  |                            |  |



|                  |                             |    |  |         |
|------------------|-----------------------------|----|--|---------|
| Итого за семестр |                             | 54 |  |         |
|                  | Подготовка и сдача экзамена | 36 |  | Экзамен |
| Итого            |                             | 90 |  |         |

### 10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

### 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

#### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

| Элементы учебной деятельности | 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 |
|-------------------------------|--|---|---|------------------|
| 8 семестр                     |  |   |   |                  |
| Контрольная работа            | 4  |   |   | 4                |
| Опрос на занятиях             | 8  | 10  | 6   | 24               |
| Отчет по лабораторной работе  | 10   | 10  | 12  | 32               |
| Реферат                       |  | 10  |   | 10               |
| Итого максимум за период      | 22   | 30  | 18  | 70               |
| Экзамен                       |  |   |   | 30               |
| Нарастающим итогом            | 22   | 52  | 70  | 100              |

#### 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

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

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка (ГОС)                    | 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        | Е (посредственно)       |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. П.Е. Троян. Функциональная электроника : Учебное пособие // Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 70 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://yadi.sk/i/OwzfANAn3YZzPm> (дата обращения: 29.06.2018).
2. Д.Д. Зыков, К.Ю. Осипов. Проектирование и технология электронной компонентной базы. Основы САПР Synopsys TCAD // Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 76 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://yadi.sk/i/IOHF8mxy3YZxZG> (дата обращения: 29.06.2018).

### 12.2. Дополнительная литература

1. Микросхемотехника : учебное пособие для вузов / А. Г. Алексенко, И. И. Шагурин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 496 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 8 экз.)
2. Физика микросистем : учебное пособие для вузов / В. А. Гридчин, В. П. Драгунов. - Новосибирск : НГТУ, 2004. - Ч. 1. - 415 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)
3. Электронные цепи и микросхемотехника : Учебник для вузов / Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко. - М. : Высшая школа, 2002. - 384 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 99 экз.)
4. А.А. Жигальский. Проектирование и конструирование микросхем: Учебное пособие // Томск: ТУСУР, 2007. - 195 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://yadi.sk/i/hqWsD2-N3Ya8Dp> (дата обращения: 29.06.2018).

### 12.3. Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. К.Ю. Осипов, П.Е. Троян. Приборно-технологическое моделирование: Методические указания по выполнению лабораторных работ и самостоятельной работе. // Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 24 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://yadi.sk/i/NOBEhnK03Ya8hb> (дата обращения: 29.06.2018).
2. Зыков Д.Д. Проектирование и технология электронной компонентной базы: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 49 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://yadi.sk/i/nrDpKD6Z3Ya8aA> (дата обращения: 29.06.2018).

#### 12.3.2. 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.

### 12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>

2. 2. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/>

### **13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение**

#### **13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины**

##### **13.1.1. 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 количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

##### **13.1.2. 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 персональный (13 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- LibreOffice
- Microsoft Windows 7
- PDF-XChange Viewer
- PascalABC

##### **13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ**

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 персональный (13 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- LibreOffice
- Microsoft Windows 7
- PDF-XChange Viewer
- PascalABC

##### **13.1.4. 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, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### **13.2. 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 зрениями** 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.

## **14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

### **14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации**

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### **14.1.1. Тестовые задания**

Какова длина волны «I-линии» ртути?

- a) 800 нм
- b) 365 нм
- c) 2 микрона
- d) 50 нм

Что означает акроним MEMS?

- a) Микроэлектромеханические устройства
- b) Микроэлектромеханические системы
- c) Микроэлектронные и механические устройства
- d) Миниатюрная электромеханическая система

Какой материал обычно используется в RF MEMS для его превосходных магнитных и термических свойства расширения?

- a) Хлопок
- b) Оксид олова
- c) Гальванический никель
- d) Гомогенизированный стронций

Что отличает MEMS-устройства от традиционных интегральных схем?

- a) Значительно более высокий коэффициент усиления для усилителей
- b) Радиационное упрочнение для космических сред
- c) Менее дорого
- d) Физическое перемещение внутренних компонентов

По каким свойствам переключателя MEMS RF превосходят твердотельный RF-переключатель?

- a) Вносимые потери и пропускная способность
- b) Скорость и размер
- c) упаковка устройства
- d) Межсоединения

По каким свойствам переключателя MEMS RF уступает твердотельному RF-переключателю?

- a) Вносимые потери и пропускная способность
- b) Скорость и размер
- c) упаковка устройства
- d) Межсоединения

Какова цель жертвенного слоя во время изготовления MEMS?

- a) Более быстрая обработка
- b) дешевле производить
- c) Он успокаивает богов MEMS
- d) Позволяет сухую травление уменьшать подрезание и эрозию, общие с мокрым травлением

ем

Какое приложение было бы идеальным для многополосного переключателя MEMS RF с несколькими бросками?

- a) Тесты тестовой матрицы
- b) Многодиапазонные смартфоны
- c) Управляемые антенные решетки
- d) все вышеперечисленное

Какова цель «удерживающего электрода»?

а) Для противодействия индуцированному смещению от сильного уровня мощности радиочастотного сигнала

- b) Чтобы соединение не позволяло
- c) Предотвращение возникновения дуги
- г) Назван в честь изобретателя Эммануэля Холда

Какое явление возможно в устройстве MEMS, но не в твердотельном устройстве?

- a) Ударное самосрабатывание
- b) Активация из-за космических лучей
- c) Предохранитель перегрузки по току
- d) Осцилляция

Что такое упаковка с нулевым уровнем (0-уровневая)?

- a) Не требуется инкапсуляция
- b) Самый высокий уровень чистой комнаты для инкапсуляции
- c) Инкапсуляция на пластине
- d) Металлическая упаковка

Какие бывают классы усиления в усилителях:

- a) A, B, AB, C, D;
- b) A, B, ABC, CD;
- c) A, B, C, D, E;
- d) AB, BC, CD, DE;

Покажите верное расположение рабочей точки в А классе усиления:

- a) на середине линейного участка сквозной динамической характеристики.
- b) в верхней точке.
- c) в нижней части.
- d) произвольно, вне пределах линейного участка.

В классе А низкий:

- a) Коэффициент нелинейных искажений (Кн);
- b) К.п.д.  $\eta = 0,4$ ;
- c) Коэффициент Ромера;
- d) Нет верного варианта ответа;

Класс А применяется:

- a) Все ответы верны;
- b) в каскадах предварительного усиления;
- c) в предоконечных каскадах;
- d) в РС-генераторах синусоидального напряжения;

Где выбирается начальная рабочая точка в классе усиления В:

- a) в точке запираания транзистора;
- b) на середине линейного участка;
- c) левее начала СДХ на оси абсцисс;
- d) в начале оси координат;

Угол, при котором ток коллектора максимальный  $I_{kmax}$ , называется

- a) углом отсечки;
- b) углом искажения;
- c) углом смещения линейного участка;
- d) углом нелинейного искажения;

Режим усиления В характеризуется:

- a) высоким к.п.д.  $\eta = 0.7$ ;
- b) высоким Кн (коэффициентом нелинейных искажений);
- c) низким к.п.д.  $\eta = 0.4$ ;
- d) низким Кн (коэффициентом нелинейных искажений);

Какое значение имеет к.п.д. класса усиления С:

- a) Высокий  $\eta \approx 0,9$ ;
- b)  $\eta \gg 0,9$ ;
- c)  $\eta \ll 0$  стремится к 0;
- d)  $\eta = 0.5$ ;

Режим класса Д или ключевой режим работы транзистора, состоит в том, что на его вход подаются:

- a) прямоугольные импульсы большой амплитуды;
- b) синусоидальный импульс;
- c) треугольный импульс малой амплитуды;
- d) Прямоугольные импульсы с малой амплитудой;

#### 14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Микросистемы. Особенности, примеры использования.
2. Понятие о проектировании. Этапы проектирования.
3. Основные принципы развития технических систем.
4. Математическая модель: понятие, виды, свойства.
5. Моделирование микросистем на физическом уровне. Особенности численных методов моделирования.
6. Моделирование схем на постоянном токе. Математические основы, преимущества и ограничения.
7. Моделирование схем на переменном токе в частотной области. Математические основы, преимущества и ограничения.
8. Моделирование схем во временной области (режиме переходных процессов). Математические основы, преимущества и ограничения.
9. Принцип действия инвертора на КМОП-логике. Логический элемент И-НЕ на КМОП-логике.
10. Назначение и параметры ВЧ ключей. Примеры конструкций МЭМС ключей, их принцип работы (не менее 4-х).
11. Назначение и параметры ВЧ ключей. Принцип действия ВЧ переключателей на pin-

диодах и транзисторах.

12. Основные понятия надёжности. Факторы надёжности ВЧ МЭМС переключателей.

13. Электростатический актюатор: принцип работы, эквивалентная модель, срабатывание (схлопывание пластин).

14. Виды моделей транзисторов. Эквивалентная схема Эберса-Молла.

15. Виды моделей транзисторов. Эквивалентная схема Шихмана-Ходжеса.

16. Понятие эквивалентной схемы. Модели пассивных элементов: резистора, конденсатора, катушки индуктивности, п/п диода.

17. Понятие эквивалентной схемы. Принцип экстракции ЭС.

18. Метод электромеханических аналогий при моделировании МЭМС. Обобщенный резистор, обобщенный конденсатор, обобщенная индуктивности (инертность).

19. Емкостные акселерометры: принципы работы, схемы замещения, параметры

20. Измерение положения тела с помощью измерения ёмкости в МЭМС: структуры и формулы.

#### **14.1.3. Темы контрольных работ**

1. Составьте эквивалентную схему для механической системы, представленной на рисунке

2. Составьте уравнение, описывающее комплексную передаточную функцию  $I(s)/V(s)$  для эквивалентной схемы, представленной на рисунке.

3. Составьте систему уравнений состояния для схемы, представленной в задаче №2.

4. Насос производит постоянный поток воды в течение всех суток и наполняет цистерну. Уровень воды в цистерне изменяется в течение дня, в зависимости от её потребления. Представьте эквивалентную схему, которая описывает такое поведение системы. Обоснуйте выбор эквивалентных элементов для насоса, цистерны и потребителей воды.

#### **14.1.4. Темы опросов на занятиях**

Введение. Что такое микросистемы и их применение. Под-ходы к проектированию микросистем. Уровни моделирования.

Представление в виде сосредоточенных элементов. Двухполюсники. Применение закона Кирхгофа в микросистемах. Формулировка динамических уравнений. Примеры моделирования.

Введение. Принципы работы и определяющие параметры микросистемных приборов. Влияние окружающей среды. Виды микросистемных переключателей. Аспекты проектирование микросистемных переключателей.

Требования к электростатическому воздействию. Численное моделирование параметров переключателя. Определение вносимых потерь и изоляции переключателя.

Переключатели с высокой изоляцией. Переключатели для миллиметрового диапазона волн. Переключатели с металлической мембраной.

#### **14.1.5. Темы рефератов**

Пьезорезистивный датчик давления

Способы построения дисплеев на мэмс

DMD-чипы

Газоанализатора на МЭМС

Использование МЭМС в электрических аккумуляторах

Запоминающие устройства на основе микросистем

Оптические микросистемы (интегральная оптика)

Фазовращатели на основе МЭМС

Микродвигатели

Микронасосы

МЭМС-микрофоны

Печатающие микроголовки струйных принтеров

Микротурбины

МЭМС-генераторы сигналов

МЭМС-манипуляторы для перемещения микрообъектов

Компьютерные мыши на основе технологий МЭМС

Использование МЭМС в миниатюрных фотокамерах

МЭМС в очках виртуальной реальности  
 Пульсометры на МЭМС  
 Google Glass и используемые в них МЭМС  
 Нанороботы в медицине

#### 14.1.6. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Особенности моделирования физико-механических компонентов микро- и наносистем. Моделирование физико-механических компонентов микро- и наносистем с использованием моделей различных уровней иерархии.

Идентификация параметров модели. Расчетный способ определения параметров модели для различных технологических узлов.

Применение пакета Matlab для моделирования физико-механических компонентов микро- и наносистем на меж-дисциплинарном уровне. Применение пакета Matlab для моделирования физико-механических компонентов микро- и наносистем на компонентном уровне

Применение пакета Matlab для многовариантного моделирования физико-механических компонентов микро- и наносистем. Применение пакета Matlab для построения макромоделей физико-механических компонентов микро- и наносистем

#### 14.1.7. Темы лабораторных работ

Моделирование физических полей в функциональных элементах микро- и наносистем при заданном воздействии

Моделирование технологического процесса формирования элемента микро- и наносистемы

Знакомство с набором программных средств для проектирования функциональных элементов

Проектирование топологии функционального элемента микро- и наносистемы

Проектирование функциональных узлов микромеханических систем в пакете Microwave Office

#### 14.2. 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 14.

Таблица 14 – 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 общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы         | Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

#### 14.3. 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.