

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Выборнова Любовь Алексеевна

Должность: Ректор

Дата подписания: 21.09.2026 15:31:21

Уникальный программный ключ:

c3b3b9c625f6c113afa2a2c42baff9e05a38b76e

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Поволжский государственный университет сервиса» (ФГБОУ ВО «ПВГУС»)

Высшая школа передовых производственных технологий

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### «Схемотехника устройств обработки сигналов»

Направление подготовки:

**11.03.01 «Радиотехника»**

Направленность (профиль):

**«Радиоэлектронные средства беспилотных систем»**

Квалификация выпускника: **бакалавр**

Рабочая программа дисциплины «Схемотехника устройств обработки сигналов» разработана в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.01 «Радиотехника», утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 сентября 2017 г. № 931.

Составитель:

\_\_\_\_\_  
Д.Т.Н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
В.И. Воловач  
(ФИО)

РПД обсуждена на заседании Высшей школы передовых производственных технологий  
26.09.2025 г., протокол № 1

\_\_\_\_\_  
Директор Высшей школы  
передовых производственных технологий

\_\_\_\_\_  
Д.Т.Н., доцент  
(уч. степень, уч. звание)

\_\_\_\_\_  
В.И. Воловач  
(ФИО)

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СО- ОТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## 1.1. Цель освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является:

- формирование у обучающихся профессиональных компетенций, необходимых для решения задач профессиональной деятельности в области применения принципов усиления, преобразования и фильтрации аналоговых сигналов, проведения технических расчетов и компьютерного моделирования принципиальных электрических схем устройств их обработки, а также экспериментального исследования и измерения характеристик радиоэлектронной аппаратуры.

## 1.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

| Код и наименование компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Планируемые результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Основание (ПС)<br>*для профессиональных компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПК-1</b><br>Обеспечивает техническую эксплуатацию радиоэлектронной аппаратуры, включая мониторинг, диагностику, оценку, настройку, применение измерительного оборудования, средств контроля и обработку результатов измерений с использованием средств вычислительной техники, в том числе для беспилотных систем | <b>ИПК-1.4</b><br>Способен проводить моделирование работы приёмопередающих устройств по их принципиальным электрическим схемам, оценивать их работоспособность, определять количественные показатели качества и модифицировать для достижения заданных требований<br><b>ИПК-1.5</b><br>Способен проводить технические расчёты и измерения характеристик радиотехнических цепей и сигналов, включая применение современных средств вычислительной техники | <b>Знает:</b><br>- принципы построения, классификацию, физические основы работы и эквивалентные схемы базовых аналоговых электронных компонентов и функциональных узлов обработки сигналов;<br>- методы расчета показателей качества, режимов работы по постоянному и переменному току аналоговых усилительных каскадов различных типов, преобразователей частоты и фильтров;<br>- математические модели, алгоритмы функционирования и особенности применения современных программных средств автоматизированного проектирования и моделирования электрических схем;<br>- методики проведения технических измерений основных характеристик аналоговых и смешанных радиотехнических цепей, включая амплитудно-частотные, фазочастотные и переходные характеристики;<br>- принципы сопряжения аналогового и цифрового трактов радиоэлектронной аппаратуры, структуру и параметры устройств аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования сигналов<br><br><b>Умеет:</b><br>- проводить аналитический расчет электрических параметров, элементов схем смещения, цепей термостабилизации и частотной коррекции аналоговых устройств обработки сигналов;<br>- разрабатывать компьютерные | 06.005 Специалист по техническому обслуживанию и ремонту радиоэлектронной аппаратуры<br>06.022 Системный аналитик<br>06.027 Специалист по администрированию сетевых устройств информационно-коммуникационных систем<br>06.051 Специалист в области аппаратно-программных средств цифровой обработки сигналов<br>32.001 Специалист по разработке и модернизации бортового радиоэлектронного оборудования летательных аппаратов |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Основание (ПС)<br>*для профессиональных компетенций |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                |                                                      | <p>модели принципиальных электрических схем приёмопередающих и обрабатывающих устройств в специализированных программных средах моделирования;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- оценивать работоспособность электронных узлов, определять количественные показатели их качества и вносить изменения в структуру схем для достижения заданных технических требований;</li> <li>- применять измерительное оборудование и средства вычислительной техники для экспериментального исследования характеристик и настройки радиотехнических цепей;</li> <li>- выполнять математическую обработку результатов технических расчетов и экспериментальных измерений параметров сигналов в узлах радиоэлектронной аппаратуры</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками проектирования и инженерного расчета принципиальных электрических схем базовых усилительных, избирательных и преобразовательных каскадов аналоговой схемотехники;</li> <li>- инструментами компьютерного моделирования радиотехнических устройств в режимах анализа по постоянному току (DC), переменному току (AC) и переходных процессов;</li> <li>- методикой экспериментального определения параметров аналоговых электронных схем с помощью генераторов сигналов, осциллографов и анализаторов спектра;</li> <li>- технологиями оптимизации и модификации схемотехнических решений устройств обработки сигналов для обеспечения их стабильности и помехоустойчивости;</li> <li>- методами системного анализа технического состояния аналоговых функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры в процессах её настройки и эксплуатации</li> </ul> |                                                     |

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока

1. Дисциплины (модули) образовательной программы (Профессиональный модуль).

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Объем и структура дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет **5 з.е. (180 час.)**, их распределение по видам работ и семестрам представлено в таблице.

| Виды учебных занятий и работы обучающихся                                                                             | Трудоёмкость, час |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>Общая трудоёмкость дисциплины, час</b>                                                                             | <b>180</b>        |
| <b>Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий (всего), в т.ч.:</b>                       | <b>58/-</b>       |
| <b>занятия лекционного типа (лекции)</b>                                                                              | 18/-              |
| <b>занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия)</b> | 28/-              |
| <b>лабораторные работы</b>                                                                                            | 12/-              |
| <b>Самостоятельная работа всего, в т.ч.:</b>                                                                          | <b>95/-</b>       |
| Самоподготовка по темам (разделам) дисциплины                                                                         | 95/-              |
| Выполнение курсового проекта /курсовой работы                                                                         | -                 |
| <b>Контроль (часы на экзамен)</b>                                                                                     | <b>27/-</b>       |
| <b>Промежуточная аттестация</b>                                                                                       | <b>экзамен</b>    |

Примечание: -/- объем часов соответственно для очной, очно-заочной, заочной форм обучения

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

В процессе освоения дисциплины может применяться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

В процессе освоения дисциплины обучающиеся обеспечены доступом к электронной информационно-образовательной среде и электронно-библиотечным системам.

#### 3.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

| Планируемые<br>результаты<br>освоения:<br>код<br>формируемой<br>компетенции<br>и индикаторы<br>достижения<br>компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Виды учебной работы |                                  |                                     |                                  | Формы текущего<br>контроля<br>(наименование<br>оценочного сред-<br>ства) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Контактная работа   |                                  |                                     | Самостоятель-<br>ная работа, час |                                                                          |
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Лекции, час         | Лаборатор-<br>ные работы,<br>час | Практиче-<br>ские заня-<br>тия, час |                                  |                                                                          |
| ПК-1<br>ИПК-1.4<br>ИПК-1.5                                                                                               | <b>ТЕМА 1. БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ АНАЛОГОВОЙ СХЕМОТЕХНИКИ. РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СХЕМЫ ТРАНЗИСТОРОВ.</b><br>Содержание лекции:<br>Место и роль устройств обработки аналоговых сигналов в структуре современной радиоэлектронной аппаратуры. Классификация и основные показатели качества усилительных устройств (коэффициенты усиления, полоса частот, динамический диапазон, нелинейные искажения). Физические основы работы и вольт-амперные характеристики биполярных и полевых транзисторов в линейном режиме. Малосигнальные эквивалентные схемы транзисторов (Н-, У- и П-параметры). Принципы стабилизации исходного рабочего тока: схемы фиксированного смещения и эмиттерной (истоковой) термостабилизации по постоянному току. | 2/-                 |                                  |                                     |                                  | Лекция-визуализация<br>(в т.ч. в ЭИОС)                                   |
|                                                                                                                          | Лабораторная работа № 1 «Исследование и стабилизация режима покоя транзисторного каскада»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                     | 2/-                              |                                     |                                  | Отчет по лабораторной работе                                             |
|                                                                                                                          | Практическая работа № 1 «Расчет малосиг-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                     |                                  | 2/-                                 |                                  | Отчет по прак-                                                           |

| Планируемые<br>результаты<br>освоения:<br>код<br>формируемой<br>компетенции<br>и индикаторы<br>достижения<br>компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Виды учебной работы |                                  |                                     |                                  | Формы текущего<br>контроля<br>(наименование<br>оценочного сред-<br>ства)                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Контактная работа   |                                  |                                     | Самостоятель-<br>ная работа, час |                                                                                                                                      |
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Лекции, час         | Лаборатор-<br>ные работы,<br>час | Практиче-<br>ские заня-<br>тия, час |                                  |                                                                                                                                      |
|                                                                                                                          | нальных параметров и схем стабилизации режима покоя транзисторов»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |                                  |                                     |                                  | тической рабо-<br>те                                                                                                                 |
|                                                                                                                          | Самостоятельная работа.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                                  |                                     | 10/-                             | Самостоятель-<br>ное изучение<br>учебных мате-<br>риалов;<br>подготовка к<br>практическим<br>и лаборатор-<br>ным занятиям;<br>доклад |
| ПК-1<br>ИПК-1.4<br>ИПК-1.5                                                                                               | <b>ТЕМА 2. ОДНОКАСКАДНЫЕ ТРАНЗИ-<br/>СТОРНЫЕ УСИЛИТЕЛИ В ОБЛАСТИ<br/>СРЕДНИХ И ВЕРХНИХ ЧАСТОТ.</b><br>Содержание лекции:<br>Базовые схемотехнические конфигурации транзисторных каскадов: общая схема с общим эмиттером (ОЭ) и общим истоком (ОИ). Анализ каскадов в области средних частот: расчет входного/выходного сопротивлений и коэффициента усиления по напряжению. Частотные свойства транзисторных каскадов в области верхних частот. Физическая сущность и математическое описание эффекта Миллера. Особенности каскадов с общей базой (ОБ) и общим затвором (ОЗ) в высокочастотном диапазоне. Повторители напряжения (ОК, ОС) и их трансформирующие свойства. | 2/-                 |                                  |                                     |                                  | Лекция-<br>визуализация<br>(в т.ч. в ЭИОС)                                                                                           |
|                                                                                                                          | Лабораторная работа № 2 «Исследование частотных и временных характеристик однокаскадных усилителей»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                     | 2/-                              |                                     |                                  | Отчет по лабо-<br>раторной рабо-<br>те                                                                                               |
|                                                                                                                          | Практическая работа № 2 «Инженерный рас-<br>чет однокаскадных усилителей в области<br>средних и верхних частот»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                     |                                  | 2/-                                 |                                  | Отчет по прак-<br>тической рабо-<br>те                                                                                               |
|                                                                                                                          | Самостоятельная работа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                     |                                  |                                     |                                  | 10/-                                                                                                                                 |
| ПК-1<br>ИПК-1.4<br>ИПК-1.5                                                                                               | <b>ТЕМА 3. ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В УСИЛИ-<br/>ТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ. КРИТЕРИИ<br/>УСТОЙЧИВОСТИ И ПОМЕХОПОДАВ-<br/>ЛЕНИЕ.</b><br>Содержание лекции:<br>Понятие обратной связи (ОС) в аналоговой схемотехнике. Классификация видов ОС (последовательная, параллельная, по напряжению, по току). Математическая модель усилителя с ОС, петлевое усиление и глубина обратной связи. Физическое влияние отрицательной обратной связи (ООС) на стабильность параметров, нелинейные искажения и полосу пропускания. Действие ООС на                                                                                                                                                       | 2/-                 |                                  |                                     |                                  | Лекция-<br>визуализация<br>(в т.ч. в ЭИОС)                                                                                           |

| Планируемые<br>результаты<br>освоения:<br>код<br>формируемой<br>компетенции<br>и индикаторы<br>достижения<br>компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Виды учебной работы |                                  |                                     |                                  | Формы текущего<br>контроля<br>(наименование<br>оценочного сред-<br>ства)                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Контактная работа   |                                  |                                     | Самостоятель-<br>ная работа, час |                                                                                                        |
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Лекции, час         | Лаборатор-<br>ные работы,<br>час | Практиче-<br>ские заня-<br>тия, час |                                  |                                                                                                        |
|                                                                                                                          | уровень внутренних шумов, помех и наводок, возникающих в тракте усилителя. Проблема устойчивости усилителей с ООС. Критерии устойчивости Найквиста и Боде; запасы устойчивости по амплитуде и фазе. Методы частотной коррекции схем.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     |                                  |                                     |                                  |                                                                                                        |
|                                                                                                                          | Лабораторная работа № 3 «Исследование влияния обратной связи на показатели качества и устойчивость схем».                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                     | 2/-                              |                                     |                                  | Отчет по практической работе                                                                           |
|                                                                                                                          | Практическая работа № 3 «Анализ устойчивости и расчет цепей частотной коррекции усилителей с обратной связью»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                                  | 2/-                                 |                                  | Отчет по практической работе                                                                           |
|                                                                                                                          | Самостоятельная работа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                     |                                  |                                     | 11/-                             | Самостоятельное изучение учебных материалов; подготовка к практическим и лабораторным занятиям; доклад |
| ПК-1<br>ИПК-1.4<br>ИПК-1.5                                                                                               | <b>ТЕМА 4. МНОГОКАСКАДНЫЕ ТРАКТЫ, МЕТОДЫ МЕЖКАСКАДНОГО СОПРЯЖЕНИЯ И МОЩНЫЕ ВЫХОДНЫЕ КАСКАДЫ.</b><br>Содержание лекции:<br>Принципы построения многокаскадных аналоговых структур. Способы межкаскадной связи: емкостная (RC-связь), трансформаторная и непосредственная (гальваническая) связи. Проблема взаимного влияния каскадов и согласования импедансов. Схемотехника каскодных усилителей (ОЭ-ОБ, ОИ-ОЗ) как метод минимизации эффекта Миллера. Мощные оконечные (выходные) каскады аналоговых устройств обработки сигналов. Особенности работы транзисторов в режиме большого сигнала. Бестрансформаторные двухтактные выходные каскады на комплементарных парах транзисторов (схемы с общим коллектором/источком). Расчет максимальной выходной мощности, коэффициента полезного действия (КПД) и тепловых режимов работы. Способы устранения нелинейных искажений типа «ступенька». | 2/-                 |                                  |                                     |                                  | Лекция-визуализация (в т.ч. в ЭИОС)                                                                    |
|                                                                                                                          | Лабораторная работа № 4 «Исследование мощных каскадов класса АВ и дифференциальных усилителей» (Часть 1: оконечные каскады).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                     | 1/-                              |                                     |                                  | Отчет по практической работе                                                                           |
|                                                                                                                          | Практическая работа № 4 «Расчет частотных характеристик многокаскадных усилителей в области нижних частот».                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                                  | 2/-                                 |                                  | Отчет по практической работе                                                                           |
|                                                                                                                          | Практическая работа № 5 «Расчет и оптимизация мощных двухтактных выходных каскадов».                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     |                                  | 2/-                                 |                                  | Отчет по практической работе                                                                           |
|                                                                                                                          | Самостоятельная работа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                     |                                  |                                     | 10/-                             | Самостоятельное изучение учебных мате-                                                                 |

| Планируемые<br>результаты<br>освоения:<br>код<br>формируемой<br>компетенции<br>и индикаторы<br>достижения<br>компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Виды учебной работы |                                  |                                     |                                  | Формы текущего<br>контроля<br>(наименование<br>оценочного сред-<br>ства)           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Контактная работа   |                                  |                                     | Самостоятель-<br>ная работа, час |                                                                                    |
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Лекции, час         | Лаборатор-<br>ные работы,<br>час | Практиче-<br>ские заня-<br>тия, час |                                  |                                                                                    |
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |                                  |                                     |                                  | риалов;<br>подготовка к<br>практическим<br>и лаборатор-<br>ным занятиям;<br>доклад |
| ПК-1<br>ИПК-1.4<br>ИПК-1.5                                                                                               | ТЕМА 5. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ<br>УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ И МЕ-<br>ТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ.<br>Содержание лекции:<br>Схемотехника классического дифференци-<br>ального усилительного каскада на биполяр-<br>ных и полевых транзисторах. Принцип сим-<br>метрии. Анализ работы каскада в режимах<br>дифференциального (полезного) и синфазно-<br>го (помехового) сигналов. Коэффициент<br>ослабления синфазной помехи (КОСП) как<br>ключевой показатель качества. Природа и<br>механизмы возникновения внешних наводок,<br>перекрестных помех, температурного и вре-<br>менного дрейфа «нуля» в аналоговых схе-<br>мах. Дифференциальный каскад как базовый<br>инструмент подавления синфазных помех и<br>дрейфа параметров. Способы повышения<br>КОСП: применение источников стабильного<br>тока (генераторов тока) в эмиттер-<br>ной/истоковой цепи и токовых зеркал. | 2/-                 |                                  |                                     |                                  | Лекция-<br>визуализация<br>(в т.ч. в ЭИОС)                                         |
|                                                                                                                          | Лабораторная работа № 4 «Исследование<br>мощных каскадов класса АВ и дифференци-<br>альных усилителей» (Часть 2: дифференци-<br>альные каскады).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     | 1/-                              |                                     |                                  | Отчет по прак-<br>тической рабо-<br>те                                             |
|                                                                                                                          | Практическая работа № 6 «Анализ диффе-<br>ренциальных усилительных каскадов и рас-<br>чет параметров помехозащищенности»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                     |                                  | 2/-                                 |                                  | Отчет по прак-<br>тической рабо-<br>те                                             |
|                                                                                                                          | Самостоятельная работа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                     |                                  |                                     |                                  | 11/-                                                                               |
| ПК-1<br>ИПК-1.4<br>ИПК-1.5                                                                                               | ТЕМА 6. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИ-<br>ОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ И БАЗОВЫЕ<br>ЛИНЕЙНЫЕ УЗЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ.<br>Содержание лекции:<br>Системная архитектура и параметры идеаль-<br>ного и реального операционного усилителя<br>(ОУ). Входные и выходные параметры ОУ,<br>частота единичного усиления, скорость<br>нарастания выходного напряжения. Базовые<br>схемы на ОУ с ООС: инвертирующий и не-<br>инвертирующий усилители, сумматоры, вы-<br>читатели и измерительные дифференциаль-<br>ные усилители. Правило «виртуального за-<br>земления» и его применение для анализа<br>схем.                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2/-                 |                                  |                                     |                                  | Лекция-<br>визуализация<br>(в т.ч. в ЭИОС)                                         |

| Планируемые<br>результаты<br>освоения:<br>код<br>формируемой<br>компетенции<br>и индикаторы<br>достижения<br>компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Виды учебной работы                                                                                                                                |                                  |                                     |                                  | Формы текущего<br>контроля<br>(наименование<br>оценочного сред-<br>ства)                                                             |                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Контактная работа                                                                                                                                  |                                  |                                     | Самостоятель-<br>ная работа, час |                                                                                                                                      |                                            |
|                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Лекции, час                                                                                                                                        | Лаборатор-<br>ные работы,<br>час | Практиче-<br>ские заня-<br>тия, час |                                  |                                                                                                                                      |                                            |
|                                                                                                                          | Лабораторная работа № 5 «Проектирование и исследование линейных, динамических и избирательных узлов на ОУ» (Часть 1: Линейные узлы).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                    | 1/-                              |                                     |                                  | Отчет по прак-<br>тической рабо-<br>те                                                                                               |                                            |
|                                                                                                                          | Практическая работа № 7 «Проектирование и расчет линейных узлов на операционных усилителях»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                    |                                  | 2/-                                 |                                  | Отчет по прак-<br>тической рабо-<br>те                                                                                               |                                            |
|                                                                                                                          | Самостоятельная работа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                    |                                  |                                     | 10/-                             | Самостоятель-<br>ное изучение<br>учебных мате-<br>риалов;<br>подготовка к<br>практическим<br>и лаборатор-<br>ным занятиям;<br>доклад |                                            |
| ПК-1<br>ИПК-1.4<br>ИПК-1.5                                                                                               | <b>ТЕМА 7. АНАЛОГОВЫЕ МАТЕМАТИ-<br/>ЧЕСКИЕ ОПЕРАТОРЫ И АКТИВНЫЕ<br/>РС-ФИЛЬТРЫ.</b><br>Содержание лекции:<br>Схемотехника узлов интегрирования и диф-<br>ференцирования аналоговых сигналов на<br>ОУ: частотные ограничения реальных ОУ,<br>проблемы устойчивости и методы их устра-<br>нения. Принципы построения избирательных<br>активных РС-фильтров. Фильтры нижних<br>(ФНЧ) и верхних (ФВЧ) частот первого и<br>второго порядков. Классические топологии:<br>звенья Саллена-Ки и схемы с многопетлевой<br>обратной связью (МПОС). Понятие об ап-<br>проксимации Баттерворта и Чебышева. | 2/-                                                                                                                                                |                                  |                                     |                                  | Лекция-<br>визуализация<br>(в т.ч. в ЭИОС)                                                                                           |                                            |
|                                                                                                                          | Лабораторная работа № 5 «Проектирование и исследование линейных, динамических и избирательных узлов на ОУ» (Часть 2: Интеграторы и фильтры Саллена-Ки).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                    | 1/-                              |                                     |                                  | Отчет по прак-<br>тической рабо-<br>те                                                                                               |                                            |
|                                                                                                                          | Практическая работа № 8 «Расчет аналого-<br>вых интеграторов, дифференциаторов и уз-<br>лов логарифмирования».                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                    |                                  | 2/-                                 |                                  | Отчет по прак-<br>тической рабо-<br>те                                                                                               |                                            |
|                                                                                                                          | Практическая работа № 9 «Синтез и расчет<br>передаточных функций активных РС-<br>фильтров нижних частот».                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                    |                                  | 2/-                                 |                                  | Отчет по прак-<br>тической рабо-<br>те                                                                                               |                                            |
|                                                                                                                          | Практическая работа № 10 «Расчет аналого-<br>вых интеграторов, дифференциаторов и уз-<br>лов логарифмирования».                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                    |                                  | 2/-                                 |                                  | Отчет по прак-<br>тической рабо-<br>те                                                                                               |                                            |
|                                                                                                                          | Самостоятельная работа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                    |                                  |                                     | 11/-                             | Самостоятель-<br>ное изучение<br>учебных мате-<br>риалов;<br>подготовка к<br>практическим<br>и лаборатор-<br>ным занятиям;<br>доклад |                                            |
|                                                                                                                          | ПК-1<br>ИПК-1.4<br>ИПК-1.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>ТЕМА 8. СХЕМОТЕХНИКА НЕЛИНЕЙ-<br/>НЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ<br/>И СИГНАЛОВ.</b><br>Содержание лекции:<br>Принципы нелинейного преобразования | 2/-                              |                                     |                                  |                                                                                                                                      | Лекция-<br>визуализация<br>(в т.ч. в ЭИОС) |

| Планируемые результаты освоения: код формируемой компетенции и индикаторы достижения компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Виды учебной работы |                          |                           |                             | Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Контактная работа   |                          |                           | Самостоятельная работа, час |                                                                                                        |
|                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Лекции, час         | Лабораторные работы, час | Практические занятия, час |                             |                                                                                                        |
|                                                                                                  | аналоговых сигналов. Схемотехника логарифмических и экспоненциальных преобразователей на основе ОУ и р-п переходов. Аналоговые перемножители сигналов. Принципы построения, классификация и базовые электрические схемы смесителей и преобразователей частоты радиоприемных и радиопередающих устройств. Понятие об интермодуляционных искажениях и динамическом диапазоне.                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                          |                           |                             |                                                                                                        |
|                                                                                                  | Лабораторная работа № 6 «Исследование характеристик смешанных устройств сопряжения (АЦП и ЦАП) и нелинейных преобразователей» (Часть 1: Балансный смеситель).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     | 1/-                      |                           |                             | Отчет по практической работе                                                                           |
|                                                                                                  | Практическая работа № 11 «Расчет и инженерное проектирование аналоговых смесителей частоты»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                          | 2/-                       |                             | Отчет по практической работе                                                                           |
|                                                                                                  | Самостоятельная работа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                     |                          |                           | 11/-                        | Самостоятельное изучение учебных материалов; подготовка к практическим и лабораторным занятиям; доклад |
| ПК-1<br>ИПК-1.4<br>ИПК-1.5                                                                       | <b>ТЕМА 9. СХЕМОТЕХНИКА ИНТЕРФЕЙСОВ СОПРЯЖЕНИЯ АНАЛОГОВОГО И ЦИФРОВОГО ТРАКТОВ.</b><br>Содержание лекции:<br>Физические принципы стыковки аналоговой и цифровой радиоэлектронной аппаратуры. Элементы теории квантования и дискретизации. Базовые схемотехнические топологии аналого-цифровых преобразователей (флэш-АЦП, АЦП последовательного приближения SAR, дельта-сигма АЦП) и цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП на взвешенных резисторах, матрица R-2R). Назначение и схемотехника устройств выборки-хранения (УВХ) и восстанавливающих ФНЧ. Параметры нелинейности и динамического качества преобразователей. | 2/-                 |                          |                           |                             | Лекция-визуализация (в т.ч. в ЭИОС)                                                                    |
|                                                                                                  | Лабораторная работа № 6 «Исследование характеристик смешанных устройств сопряжения (АЦП и ЦАП) и нелинейных преобразователей» (Часть 2: Квантование SAR АЦП и матрица R-2R ЦАП).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                     | 1/-                      |                           |                             | Отчет по практической работе                                                                           |
|                                                                                                  | Практическая работа № 12 «Расчет статических и динамических характеристик интерфейсов сопряжения (АЦП)»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                     |                          | 2/-                       |                             | Отчет по практической работе                                                                           |
|                                                                                                  | Практическая работа № 13 «Схемотехнический расчет и оценка нелинейности устройств цифро-аналогового преобразования»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                     |                          | 2/-                       |                             | Отчет по практической работе                                                                           |
|                                                                                                  | Практическая работа № 14 «Проектирование и расчет восстанавливающих и сглаживающих фильтров смешанных трактов»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |                          | 2/-                       |                             | Отчет по практической работе                                                                           |

| Планируемые<br>результаты<br>освоения:<br>код<br>формируемой<br>компетенции<br>и индикаторы<br>достижения<br>компетенций | Наименование разделов, тем | Виды учебной работы |                                  |                                     |                                  | Формы текущего<br>контроля<br>(наименование<br>оценочного сред-<br>ства)                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                          |                            | Контактная работа   |                                  |                                     | Самостоятель-<br>ная работа, час |                                                                                                                                      |
|                                                                                                                          |                            | Лекции, час         | Лаборатор-<br>ные работы,<br>час | Практиче-<br>ские заня-<br>тия, час |                                  |                                                                                                                                      |
|                                                                                                                          | Самостоятельная работа     |                     |                                  |                                     | 11/-                             | Самостоятель-<br>ное изучение<br>учебных мате-<br>риалов;<br>подготовка к<br>практическим<br>и лаборатор-<br>ным занятиям;<br>доклад |
|                                                                                                                          | ИТОГО                      | 18/-                | 12/-                             | 18/-                                | 95/-                             |                                                                                                                                      |

Примечание: -/- объем часов соответственно для очной, очно-заочной, заочной форм обучения

## **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **4.1. Общие методические рекомендации по освоению дисциплины, образовательные технологии**

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

При проведении учебных занятий по дисциплине обеспечивается развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений, лидерских качеств (включая проведение интерактивных лекций, групповых дискуссий, ролевых игр, тренингов, анализ ситуаций и имитационных моделей, преподавание дисциплины в форме курса, составленного на основе результатов научных исследований, проводимых университетом, в том числе с учетом региональных особенностей профессиональной деятельности выпускников и потребностей работодателей).

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов **образовательных технологий**:

- балльно-рейтинговая технология оценивания;
- электронное обучение;
- проблемное обучение;
- разбор конкретных ситуаций;
- информационные технологии: Google-документы

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенции по дисциплине применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов. В основу балльно-рейтинговой системы положены принципы, в соответствии с которыми формирование рейтинга студента осуществляется в ходе текущего контроля успеваемости. Максимальное количество баллов в семестре - 100.

### **4.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины на занятиях лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины. Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала.

Лекционные занятия проводятся в поточной аудитории с применением мультимедийного проектора в виде учебной презентации или в ЭИОС университета.

В ходе лекционных занятий рекомендуется конспектирование учебного материала. Возможно ведение конспекта лекций в виде интеллект-карт.

Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения (конспектируются).

Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям / лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

### **4.3. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины на лабораторных работах**

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом по ней подлежит защите преподавателю.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

Лабораторные работы организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

#### **4.4. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины на занятиях семинарского типа / на практических занятиях**

Практические (семинарские) занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения семинаров и практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях.

Практические (семинарские) занятия обучающихся обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- обсуждение вопросов по учебному материалу дисциплины;
- получение умений и навыков составления докладов и сообщений, обсуждения вопросов по учебному материалу дисциплины;
- подведение итогов занятий по рейтинговой системе, согласно технологической карте дисциплины.

Практические занятия организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

#### **4.5. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

Самостоятельная работа студентов включает:

- изучение учебной литературы по курсу;
- работу с ресурсами Интернет;
- подготовка докладов
- подготовку к практическим (семинарским) занятиям;
- выполнение практических заданий;
- подготовку к промежуточной аттестации по курсу.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы.

Для обучающихся по заочной форме обучения самостоятельная работа является основным видом учебной деятельности.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используется электронный учебный курс, созданный в ЭИОС университета <http://sdo.tolgas.ru/>

Самостоятельная работа обучающихся направлена на закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиска и приобретения новых знаний, а также выполнения учебных заданий, подготовки к предстоящим занятиям, текущему контролю успеваемости и промежуточной аттестации.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Вся литература, включенная в данный перечень, представлена в виде электронных ресурсов в электронной библиотеке университета (ЭБС). Литература, используемая в печатном виде, представлена в научной библиотеке университета в объеме не менее 0,25 экземпляров на одного обучающегося.

#### Основная литература

1. Галочкин, В. А. Схемотехника радиотехнических устройств : учебник / В. А. Галочкин. - Документ read. - Москва [и др.] : Инфра-Инженерия, 2023. - 332 с. - URL: <https://znanium.ru/read?id=434507> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-9729-1470-8. - Текст : электронный.
2. Гимпилевич, Ю. Б. Сигналы и процессы в радиоэлектронике : учеб. для бакалавров по направлениям и специальностям УГСН 11.00.00 "Электроника, радиотехника и системы связи" / Ю. Б. Гимпилевич. - Документ read. - Москва : ИНФРА-М, 2024. - 245 с. - (Высшее образование). - Прил. - URL: <https://znanium.ru/read?id=442954> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-16-109897-4. - Текст : электронный.
3. Радиоинформатика и радиоэлектронные технологии схемоархитектурного проектирования сигнальных модулей : учебник / М. С. Костин, С. М. Печенкин, О. А. Демин, А. С. Корчагин ; под ред. Г. В. Куликова. - Документ read. - Москва [и др.] : Инфра-Инженерия, 2024. - 412 с. - URL: <https://znanium.ru/read?id=434829> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-9729-1778-5. - Текст : электронный.
4. Строгонов, А. В. Реализация алгоритмов цифровой обработки сигналов в базе программируемых логических интегральных схем : учеб. пособие / А. В. Строгонов. - Изд. 4-е, испр. и доп. - Документ Reader. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. - 352 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - URL: <https://reader.lanbook.com/book/206102> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-8114-3491-6. - Текст : электронный.
5. Строгонов, А. В. Цифровая обработка сигналов в базе программируемых логических интегральных схем : учеб. пособие / А. В. Строгонов. - 5-е. изд., стер. - Документ Reader. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2025. - 310 с. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/505594> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-507-54169-0. - Текст : электронный.
6. Травин, Г. А. Основы схемотехники телекоммуникационных устройств : учеб. пособие / Г. А. Травин. - Документ Reader. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. - 216 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - URL: <https://reader.lanbook.com/book/212582> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-8114-2771-0. - Текст : электронный.

#### Дополнительная литература

7. Амосов, В. В. Схемотехника и средства проектирования цифровых устройств : учеб. пособие для студентов вузов по направлению подгот. 220100 "Системный анализ и упр." и 230100 "Информатика и вычисл. техника" / В. В. Амосов. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2014. - 542 с. : схем. - (Учебное пособие). - Предм. указ. - ISBN 978-5-9775-0018-0 : 400-00. - Текст : непосредственный.
8. Буснюк, Н. Н. Системы мобильной связи : учеб. пособие / Н. Н. Буснюк, Г. И. Мельянец. - Изд. 2-е, стер. - Документ Reader. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2023. - 127 с. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/302873> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-507-46238-4. - Текст : электронный.
9. Магазинникова, А. Л. Основы цифровой обработки сигналов : учеб. пособие для вузов / А. Л. Магазинникова. - Изд. 5-е, стер. - Документ Reader. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2024. - 129 с. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/359951> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-507-48636-6. - Текст : электронный.
10. Муханин, Л. Г. Схемотехника измерительных устройств : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. и специальности "Приборостроение" / Л. Г. Муханин. - Изд. 4-е, стер. - Документ Reader. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. - 284 с. : схем. - Предм. указ. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/205958> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-8114-0843-6. - Текст : электронный.

11. Обработка и преобразование сигналов в радиотехнических и инфокоммуникационных системах : [монография] / К. В. Анфалов, В. И. Воловач, В. В. Иванов [и др.] ; под ред. В. И. Воловача. - Москва : Радио и связь, 2014. - 444 с. - ISBN 978-5-89776-019-0 : 27-50. - Текст : непосредственный.
12. Першин, В. Т. Формирование и генерирование сигналов в цифровой радиосвязи : учеб. пособие для вузов по направлению "Электроника техника, радиотехника и связь" (квалификация (степень) "бакалавр") / В. Т. Першин. - Документ HTML. - Минск [и др.] : Новое знание [и др.], 2013. - 613 с. - (Высшее образование - Бакалавриат). - URL: <http://znanium.com/bookread.php?book=405030#none> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-985-475-557-1. - 978-5-16-006703-2. - Текст : электронный.
13. Столов, Е. Л. Цифровая обработка сигналов. Водяные знаки в аудиофайлах : учеб. пособие / Е. Л. Столов. - Документ read. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. - 176 с. - Прил. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/212891> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-8114-3014-7. - Текст : электронный.
14. Цифровая обработка сигналов : учеб. пособие для студентов вузов по направлению подгот. 11.05.04 "Инфоком. технологии и системы спец. связи" (квалификация "инженер") / С. В. Ролдугин, А. В. Парин, А. Н. Голубинский, А. В. Душкин ; Воронеж. ин-т ФСИН России. - Документ Bookread2. - Воронеж : [б. и.], 2016. - 144 с. - URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=923327> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-4446-0908-8. - Текст : электронный.

## 5.2. Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы, интернет-ресурсы

1. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека: сайт.- Москва, 2000. - URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 24.09.2025).- Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.- Текст: электронный.
2. КонсультантПлюс : справочная правовая система: сайт / ЗАО «КонсультантПлюс».- Москва, 1992. - URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 24.09.2025). - Текст : электронный.
3. Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса: сайт / ФГБОУ ВО «ПВГУС».- Тольятти, 2010. - URL. : <http://elib.tolgas.ru> (дата обращения 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - Текст : электронный.
4. Электронно-библиотечная система Znanium.com : сайт / ООО "ЗНАНИУМ".- Москва, 2011. - URL: <https://znanium.com/> (дата обращения 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - Текст : электронный.
5. Электронно-библиотечная система Лань : сайт / ООО "ЭБС ЛАНЬ". - Москва, 2011. - URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - Текст : электронный.

## 5.3. Программное обеспечение

Информационное обеспечение учебного процесса по дисциплине осуществляется с использованием следующего программного обеспечения (лицензионного и свободно распространяемого), в том числе отечественного производства:

| №п/п | Наименование                             | Условия доступа                                                                                                    |
|------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Microsoft Windows                        | из внутренней сети университета (лицензионный договор)                                                             |
| 2    | Microsoft Office                         | из внутренней сети университета (лицензионный договор)                                                             |
| 3    | Консультант Плюс                         | из внутренней сети университета (лицензионный договор)                                                             |
| 4    | СДО MOODLE                               | из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет (лицензионный договор)                                    |
| 5    | Qucs (Quite Universal Circuit Simulator) | свободно распространяемое кроссплатформенное ПО сквозного моделирования электронных схем с открытым исходным кодом |
| 6    | LTspice                                  | свободно распространяемое ПО, профессиональный симулятор                                                           |
| 7    | GNU Octave                               | свободно распространяемое ПО, высокоуровневый аналог MATLAB, содержащий пакеты обработки сигналов signal           |
| 8    | Scilab/Xcos                              | свободно распространяемое ПО, визуальная среда моделирования цифровых систем, аналог Simulink                      |
| 9    | SMath Studio                             | свободно распространяемое кроссплатформенное ПО                                                                    |

## 6. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

**Занятия лекционного типа.** Учебные аудитории для занятий лекционного типа укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации (стационарные или переносные наборы демонстрационного оборудования (проектор, экран, компьютер/ноутбук), учебно-наглядные пособия (презентации по темам лекций), обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие данной программе дисциплины.

**Занятия семинарского типа.** Учебные аудитории для занятий семинарского типа укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации (стационарные или переносные наборы демонстрационного оборудования (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

**Лабораторные работы.** Для проведения лабораторных работ используется учебная аудитория Т-404 «Комплексная лаборатория радиоэлектронных и телекоммуникационных систем», оснащенная следующим оборудованием: персональные компьютеры.

**Промежуточная аттестация.** Для проведения промежуточной аттестации по дисциплине используются компьютерные классы, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета и/или учебные аудитории, укомплектованные мебелью и техническими средствами обучения.

**Самостоятельная работа.** Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде университета. Для организации самостоятельной работы обучающихся используются:

- компьютерные классы университета;
- библиотека (медиазал), имеющая места для обучающихся, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и сети Интернет.

**Электронная информационно-образовательная среда университета (ЭИОС).** Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) <http://sdo.tolgas.ru/> из любой точки, в которой имеется доступ к информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", как на территории университета, так и вне ее.

ЭИОС университета обеспечивает:

- доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), программам практик, электронным учебным изданиям и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочих программах дисциплин (модулей), программах практик;
- формирование электронного портфолио обучающегося, в том числе сохранение его работ и оценок за эти работы.

В случае реализации образовательной программы с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий ЭИОС дополнительно обеспечивает:

- фиксацию хода образовательного процесса, результатов промежуточной аттестации и результатов освоения образовательной программы;
- проведение учебных занятий, процедур оценки результатов обучения, реализация которых предусмотрена с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий;
- взаимодействие между участниками образовательного процесса, в том числе синхронное и (или) асинхронное взаимодействия посредством сети "Интернет".

## 7. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

При необходимости рабочая программа дисциплины может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе для дистанционного обучения. Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК).

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенции по дисциплине применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов. В основу балльно-рейтинговой системы положены принципы, в соответствии с которыми формирование рейтинга студента осуществляется в ходе текущего контроля успеваемости. Максимальное количество баллов в семестре - 100.

#### Шкала оценки результатов освоения дисциплины, сформированности результатов обучения

| Форма проведения промежуточной аттестации | Шкалы оценки уровня сформированности результатов обучения |                       | Шкала оценки уровня освоения дисциплины |                                                  |                             |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                           | Уровневая шкала оценки компетенций                        | 100 балльная шкала, % | 100 балльная шкала, %                   | 5-балльная шкала, дифференцированная оценка/балл | недифференцированная оценка |
| экзамен                                   | допороговый                                               | ниже 61               | ниже 61                                 | «неудовлетворительно» / 2                        | не зачтено                  |
|                                           | пороговый                                                 | 61-85,9               | 61-69,9                                 | «удовлетворительно» / 3                          | зачтено                     |
|                                           |                                                           |                       | 70-85,9                                 | «хорошо» / 4                                     | зачтено                     |
|                                           | повышенный                                                | 86-100                | 86-100                                  | «отлично» / 5                                    | зачтено                     |

По итогам текущей успеваемости студенту может быть выставлена оценка по промежуточной аттестации в соответствии за набранными за семестр баллами (по накопительному рейтингу). Студентам, набравшим в ходе текущего контроля успеваемости по дисциплине от 61 до 100 баллов и выполнившим все обязательные виды запланированных учебных занятий, по решению преподавателя без прохождения промежуточной аттестации выставляется оценка в соответствии со шкалой оценки результатов освоения дисциплины.

**Результат обучения считается сформированным (повышенный уровень)**, если теоретическое содержание курса освоено полностью; при устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний, использует в ответе дополнительный материал; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий, качество их выполнения оценено числом баллов от 86 до 100, что соответствует повышенному уровню сформированности результатов обучения.

**Результат обучения считается сформированным (пороговый уровень)**, если теоретическое содержание курса освоено полностью; при устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий, качество их выполнения оценено числом баллов от 61 до 85,9, что соответствует пороговому уровню сформированности результатов обучения.

**Результат обучения считается несформированным**, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже 61, что соответствует допороговому уровню.

#### Формы текущего контроля успеваемости

| Формы текущего контроля                                                                                                      | Количество контрольных точек | Количество баллов за 1 контр. точку | Макс. возм. кол-во баллов |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Отчет по темам лекционных занятий                                                                                            | 9                            | 3                                   | 27                        |
| Доклад                                                                                                                       | 1                            | 3                                   | 3                         |
| Отчет по лабораторной работе                                                                                                 | 6                            | 3                                   | 18                        |
| Отчет по практической работе                                                                                                 | 14                           | 3                                   | 42                        |
| Творческий рейтинг (участие в конференциях, олимпиадах и т.п.)<br>Дополнительные баллы за активное изучение дисциплины и др. | 1                            | 10                                  | 10                        |
| <b>Итого по дисциплине</b>                                                                                                   |                              |                                     | <b>100 баллов</b>         |

Система оценивания представлена в электронном учебном курсе по дисциплине <http://sdo.tolgaz.ru/>.

## 8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ

### 8.2.1. Типовые задания к практическим занятиям

#### Практическая работа № 1. Расчет малосигнальных параметров и схем стабилизации режима покоя транзисторов

Цель работы: Освоение инженерных методик расчета элементов цепей термостабилизации рабочей точки транзисторов и определение параметров эквивалентных схем.

Задание:

1. По заданным статическим вольт-амперным характеристикам (ВАХ) транзистора аналитически и графически определить малосигнальные Н- или Y-параметры в выбранной точке покоя.
2. Рассчитать номиналы резисторов схемы эмиттерной (истоковой) стабилизации для обеспечения заданного коллекторного (стокового) тока и базового смещения.
3. Реализовать расчетный алгоритм в среде GNU Octave (или SMATH Studio) и оценить относительное изменение тока покоя при температурном дрейфе параметров транзистора.

#### Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов:

1. Физические причины неустойчивости рабочей точки транзистора (влияние температуры на  $I_{k0}$ ,  $U_{be}$  и  $\beta$ ) и сравнительный анализ схем фиксации базового тока и коллекторной стабилизации.
2. Математический вывод коэффициента неустойчивости тока коллектора для схемы эмиттерной (истоковой) термостабилизации.
3. Связь между физической структурой транзистора, его барьерными емкостями и элементами П-образной малосигнальной эквивалентной схемы Джиаккетто.
4. Особенности выбора и расчета цепей смещения полевых транзисторов с управляющим р-п переходом и изолированным затвором (МДП) в режиме обеднения и обогащения.
5. Влияние выбора положения точки покоя на динамический диапазон усилительного каскада и уровень вносимых нелинейных искажений.
6. Расчет и применение нелинейных термокомпенсирующих элементов (термисторов, полупроводниковых диодов) в прецизионных цепях стабилизации режима покоя.

Форма отчетности: Расчетный файл в формате GNU Octave (.m) или SMath Studio / конспект доклада со сквозным выводом формул термостабилизации.

## **Практическая работа № 2. Инженерный расчет однокаскадных усилителей в области средних и верхних частот**

Цель работы: Расчет основных показателей качества транзисторных каскадов и анализ влияния емкостей транзистора на верхнюю граничную частоту.

Задание:

1. Выполнить аналитический расчет входного сопротивления, выходного сопротивления и коэффициента усиления по напряжению для схем ОЭ (ОИ) и ОК (ОС).
2. Рассчитать динамическую входную емкость каскада ОЭ с учетом эффекта Миллера.
3. С использованием пакета signal в GNU Octave построить теоретический профиль амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) каскада в области верхних частот и определить частоту среза.

### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Физическая сущность эффекта Миллера в инвертирующих каскадах (ОЭ, ОИ) и математическое обоснование его влияния на полосу пропускания каскада сверху.
2. Сравнительный анализ частотных свойств каскадов ОБ (ОЗ) и ОЭ (ОИ): почему схемы с общей базой/затвором являются базовыми в ВЧ-трактах.
3. Трансформирующие свойства эмиттерного (истокового) повторителя: вывод формул входного и выходного сопротивлений и области их применения для согласования импедансов.
4. Оценка влияния сопротивления источника сигнала ( $R_g$ ) и сопротивления нагрузки ( $R_n$ ) на результирующий коэффициент усиления и полосу пропускания однокаскадного усилителя.
5. Частотные свойства транзистора: физический смысл граничной частоты передачи тока ( $f_T$ ) и методы определения предельной частоты усиления каскада по напряжению.
6. Анализ фазовых искажений в транзисторном каскаде: расчет фазочастотной характеристики (ФЧХ) и группового времени задержки (ГВЗ) в области верхних частот.

Форма отчетности: Электронный расчетный протокол с частотными графиками / доклад с анализом эквивалентных схем транзистора на высоких частотах.

## **Практическая работа № 3. Анализ устойчивости и расчет цепей частотной коррекции усилителей с обратной связью**

Цель работы: Оценка влияния глубокой отрицательной обратной связи на устойчивость аналоговых трактов и расчет корректирующих звеньев.

Задание:

1. Составить передаточную функцию многокаскадного усилителя, охваченного частотно-независимой ООС.
2. В среде GNU Octave рассчитать запасы устойчивости усилителя по амплитуде и фазе с использованием критерия Найквиста (функции nyquist и margin).
3. Рассчитать параметры корректирующей RC-цепи (опережающей или запаздывающей), обеспечивающей заданный запас устойчивости по фазе (не менее 45 градусов).

### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Физический механизм превращения отрицательной обратной связи в положительную (ПОС) на высоких частотах из-за фазового сдвига в транзисторах.
2. Математическая трактовка критериев устойчивости Найквиста и Боде: физический смысл понятий «запас по амплитуде» и «запас по фазе».
3. Принципы частотной коррекции усилителей: сравнительный анализ метода «доминирующего полюса» и метода введения нуля передачи в петлю ОС.
4. Оценка влияния ООС на нелинейные искажения усилителя: математическое доказательство снижения коэффициента гармоник внутри петли ОС.
5. Влияние различных видов ОС (по току, по напряжению, последовательной, параллельной) на величину входного и выходного сопротивлений усилительного каскада.
6. Метод линеаризации и стабилизации сквозных характеристик многокаскадных аналоговых трактов с помощью глубокой местной и общей ООС.

Форма отчетности: Расчетный скрипт в Octave / доклад с векторным анализом фазовых сдвигов в многокаскадных петлях обратной связи.

#### **Практическая работа № 4. Расчет частотных характеристик многокаскадных усилителей в области нижних частот**

Цель работы: Изучение влияния разделительных и блокировочных конденсаторов на нижнюю граничную частоту пропускания многокаскадного тракта.

Задание:

1. Рассчитать постоянные времени разделительных цепей на входе, выходе и между каскадами двухкаскадного транзисторного усилителя.
2. Определить требуемые номиналы разделительных емкостей и шунтирующего конденсатора в цепи термостабилизации по заданному коэффициенту частотных искажений на нижней граничной частоте.
3. Построить логарифмические частотные характеристики (диаграммы Бode) многокаскадной системы в среде Scilab.

##### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Анализ эквивалентной схемы транзисторного каскада в области нижних частот: как разделительный конденсатор формирует нули и полюса передаточной функции.
2. Назначение блокировочного конденсатора в цепи эмиттера (истока) и математический расчет частоты, начиная с которой ООС по постоянному току отключается в области средних частот.
3. Закон суммирования частотных искажений в многокаскадных некоррелированных усилительных трактах при последовательном соединении RC-звеньев.
4. Особенности межкаскадного согласования в усилителях с непосредственной (гальванической) связью: проблемы сдвига уровней постоянного напряжения и методы их схемотехнического решения.
5. Сравнительный анализ емкостной и трансформаторной межкаскадных связей: частотные ограничения, габариты и энергетическая эффективность сопряжения.
6. Схемотехника каскодных усилителей (ОЭ-ОБ, ОИ-ОЗ): математическое доказательство подавления эффекта Миллера и расширения полосы пропускания.

Форма отчетности: Расчетная модель в Scilab / доклад с графическим выводом частотных искажений в децибелах на низких частотах.

#### **Практическая работа № 5. Расчет и оптимизация мощных двухтактных выходных каскадов**

Цель работы: Освоение методологии энергетического расчета и теплового проектирования оконечных усилителей мощности класса АВ.

Задание:

1. Рассчитать максимальную неискаженную выходную мощность двухтактного каскада на элементарных транзисторах при заданном сопротивлении нагрузки и напряжении питания.
2. Вычислить максимальную мощность, рассеиваемую на коллекторах (стоках) транзисторов, и рассчитать коэффициент полезного действия (КПД) каскада.
3. Провести расчет элементов цепи начального смещения для устранения нелинейных искажений типа «ступенька» и выполнить тепловой расчет площади радиаторов охлаждения.

##### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Сравнительный анализ режимов работы транзисторов в классах А, В, АВ: баланс между энергетической эффективностью (КПД) и уровнем нелинейных искажений.
2. Природа возникновения искажений типа «ступенька» в двухтактных повторителях класса В и схемотехнические методы их минимизации с помощью диодных цепей смещения.
3. Методика теплового расчета мощных каскадов: понятие теплового сопротивления «переход–корпус–радиатор–среда» и расчет площади охлаждающей поверхности.
4. Особенности работы выходных каскадов на мощных полевых транзисторах (MOSFET): крутизна характеристики, температурная стабильность и управление емкостью затвора.
5. Схемы защиты мощных оконечных каскадов от короткого замыкания в нагрузке и теплового разгона (терморезистивная и электронная защита).
6. Математический расчет высших гармоник выходного тока в режиме большого сигнала и оценка коэффициента нелинейных искажений (КНИ) мощного каскада.

Форма отчетности: Расчетная записка энергетических и тепловых параметров / доклад с графиками мгновенных мощностей, рассеиваемых на транзисторах.

#### **Практическая работа № 6. Анализ дифференциальных усилительных каскадов и расчет параметров помехозащищенности**

Цель занятия: Математическое описание и расчет коэффициентов усиления дифференциального сигнала и подавления синфазных помех.

Задание:

1. Выполнить аналитический расчет коэффициентов усиления дифференциального ( $K_d$ ) и синфазного ( $K_c$ ) сигналов для симметричного каскада.
2. Рассчитать коэффициент ослабления синфазной помехи (КОСП) каскада в децибелах при использовании резистора в эмиттерной цепи и при его замене на генератор стабильного тока (схему токового зеркала).
3. Смоделировать в среде SMATH Studio температурный дрейф напряжения смещения нуля, обусловленный технологическим разбросом параметров транзисторов плеч.

#### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Природа синфазных помех (наводок промышленной частоты, электромагнитных полей) в радиотехнических трактах и физический принцип их взаимного уничтожения в симметричных цепях.
2. Почему внутреннее динамическое сопротивление источника тока в эмиттерной цепи определяет величину КОСП: математическое обоснование.
3. Схемотехника и расчет базовых конфигураций токовых зеркал (классического и Уилсона) как динамической нагрузки дифференциальных каскадов.
4. Внутренние шумы транзисторов (тепловой, дробовой, фликкер-шум) и методы расчета эквивалентного напряжения шума, приведенного ко входу дифференциального каскада.
5. Методы минимизации статической погрешности дифференциального каскада: расчет цепей балансировки и влияние асимметрии резисторов коллекторной нагрузки.
6. Особенности динамического поведения дифференциального каскада при воздействии импульсных помех большой амплитуды: эффект динамической перегрузки входов.

Форма отчетности: Математический расчет КОСП / доклад со сравнительным анализом схемотехники токовых зеркал различных типов.

### **Практическая работа № 7. Проектирование и расчет линейных узлов на операционных усилителях**

Цель занятия: Математическое моделирование и расчет номиналов резистивных цепей обратной связи для выполнения линейных операций над аналоговыми сигналами.

Задание:

1. Рассчитать номиналы резисторов инвертирующего и неинвертирующего усилителей на ОУ для обеспечения заданного входного импеданса и масштабирующего коэффициента.
2. Спроектировать схему многоканального аналогового сумматора-вычитателя для реализации заданного линейного математического уравнения связи между входными напряжениями.
3. На основе уравнений Кирхгофа составить матричную модель схемы на ОУ и верифицировать расчеты численными методами в GNU Octave.

#### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Концепция идеального операционного усилителя: обоснование золотых правил ОУ (равенство потенциалов входов и равенство нулю входных токов) при глубокой ООС.
2. Математический вывод передаточной функции инвертирующего сумматора на основе метода узловых потенциалов.
3. Почему неинвертирующий усилитель имеет входное сопротивление, стремящееся к бесконечности, а инвертирующий – фиксированное: схемотехнический анализ.
4. Влияние конечного коэффициента усиления реального ОУ на точность выполнения линейных математических операций в инвертирующих схемах.
5. Оценка погрешностей ОУ, вызванных входными токами смещения и разностью входных токов: расчет номинала компенсирующего резистора в цепи неинвертирующего входа.
6. Схемотехника и расчет трехтрансформаторного (измерительного) инструментального усилителя на ОУ: обеспечение сверхвысокого КОСП и входного импеданса.

Форма отчетности: Скрипт расчетов в Octave и схема сумматора / доклад с выводом формул погрешностей реальных ОУ.

### **Практическая работа № 8. Расчет аналоговых интеграторов, дифференциаторов и узлов логарифмирования**

Цель работы: Изучение динамических характеристик интегрирующих и дифференцирующих звеньев, методов устранения их температурного дрейфа и насыщения.

Задание:

1. Рассчитать постоянную времени ( $\tau = RC$ ) аналогового интегратора на ОУ для неискаженного преобразования прямоугольного импульсного сигнала в треугольный.
2. Спроектировать элементы частотной коррекции дифференциатора (входной резистор и конденсатор ОС) для подавления высокочастотных шумов и обеспечения устойчивости.
3. Рассчитать номиналы элементов схемы логарифмического преобразователя на ОУ с р-п переходом в цепи ОС и цепи термокомпенсации дрейфа насыщения.

#### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Проблема временной интеграции постоянной составляющей (дрейфа нуля) в реальных интеграторах на ОУ и схемотехнические способы предотвращения насыщения усилителя.
  2. Почему идеальный дифференциатор на ОУ является неустойчивым узлом и имеет склонность к самовозбуждению на высоких частотах.
  3. Использование нелинейной вольт-амперной характеристики р-п перехода для построения аналоговых логарифматоров и антилогарифматоров.
  4. Оценка частотного диапазона корректной работы интегратора и дифференциатора на ОУ: анализ логарифмических амплитудно-частотных характеристик звеньев.
  5. Влияние напряжения сдвига ( $U_{см}$ ) и входных токов ОУ на скорость дрейфа выходного напряжения интегратора в режиме хранения сигнала.
  6. Схемотехника аналоговых перемножителей сигналов на основе логарифмических и антилогарифмических узлов: математический принцип реализации операции умножения.
- Форма отчетности: Графики переходных процессов из Octave / доклад с частотным анализом устойчивости дифференциатора по диаграммам Боде.

### **Практическая работа № 9. Синтез и расчет передаточных функций активных RC-фильтров нижних частот**

Цель работы: Изучение методов аппроксимации характеристик аналоговых фильтров и расчет номиналов элементов звеньев второго порядка.

Задание:

1. По заданным требованиям к полосе пропускания, неравномерности и уровню затухания в полосе задерживания определить необходимый порядок фильтра нижних частот Баттерворта и Чебышева.
2. Выполнить расчет номиналов резисторов и конденсаторов активного ФНЧ второго порядка по топологии Саллена-Ки для реализации заданного полинома передающей функции.
3. В среде Scilab / Xcos построить частотные характеристики синтезированного фильтра и проверить выполнение требований к затуханию помех.

#### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Понятие полиномиальной аппроксимации передаточных функций: качественные отличия фильтров Баттерворта (гладкая АЧХ) и Чебышева (наличие пульсаций) по переходным характеристикам.
  2. Математический вывод передаточной функции звена ФНЧ второго порядка Саллена-Ки и определение его собственной частоты и добротности.
  3. Проблема реализации высокопорядковых аналоговых фильтров: почему пассивные LC-фильтры уступают активным RC-структурам в низкочастотном диапазоне.
  4. Влияние площади усиления реального ОУ на искажение АЧХ активного фильтра вблизи частоты среза: методы оценки частотных ограничений ОУ.
  5. Понятие нормированного фильтра-прототипа и методика использования табличных коэффициентов полиномов для ускоренного расчета номиналов фильтров.
  6. Сравнительный анализ фильтров Чебышева и Бесселя: компромисс между крутизной спада АЧХ и линейностью фазовой характеристики (постоянством ГВЗ).
- Форма отчетности: Расчетная модель фильтра в Scilab / доклад с математическим сопоставлением передаточных функций фильтров Баттерворта и Чебышева.

### **Практическая работа № 10. Проектирование активных RC-фильтров верхних и полосовых частот**

Цель работы: Освоение методик схемотехнического проектирования избирательных активных фильтров на основе многопетлевой обратной связи (МПОС).

Задание:

1. Путем частотного преобразования ( $p \rightarrow 1/p$ ) рассчитать элементы активного ФВЧ второго порядка на ОУ.
2. Спроектировать полосовой активный фильтр по схеме с многопетлевой обратной связью (МПОС), обеспечивающий заданную центральную частоту и добротность ( $Q$ ).

3. В GNU Octave провести анализ чувствительности АЧХ фильтра к технологическому разбросу номиналов резисторов и конденсаторов (метод Монте-Карло).

#### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Метод нормированных частотных преобразований: алгоритм перехода от схемы-прототипа ФНЧ к принципиальной электрической схеме ФВЧ.

2. Преимущества и топология схем с многопетлевой обратной связью (МПОС) для реализации узкополосных фильтров с высокой добротностью.

3. Сущность анализа чувствительности схем: как разброс номиналов пассивных компонентов (допуски 1%, 5%) влияет на смещение центральной частоты фильтра.

4. Схемотехника полосовых активных фильтров на основе гираторов (имитаторов индуктивности) и структура фильтров на ОУ со структурой «state-variable» (переменные состояния).

5. Понятие режекторного (заградительного) фильтра: расчет и проектирование схемы двойного Т-образного моста в цепи ОС операционного усилителя.

6. Оценка влияния фазового сдвига ОУ на явление «самовозбуждения» высокодобротных полосовых активных фильтров.

Форма отчетности: Код статистического анализа в Octave / доклад с выводом формул чувствительности добротности фильтра к изменению параметров элементов.

### **Практическая работа № 11. Расчет и инженерное проектирование аналоговых смесителей частоты**

Цель работы: Изучение нелинейных преобразователей частоты, расчет режимов работы и оценка спектрального состава выходного тока смесителя.

Задание:

1. На основе аппроксимации ВАХ нелинейного элемента полиномом второй степени рассчитать амплитуды комбинационных частот на выходе смесителя при воздействии сигналов радиочастоты и гетеродина.

2. Выполнить расчет параметров балансного смесителя частоты на дифференциальном каскаде (ячейке Гилберта): определить крутизну преобразования.

3. Рассчитать требования к избирательности полосового фильтра промежуточной частоты (ПЧ) для подавления зеркального и прямого каналов помех.

#### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Математическое обоснование процесса преобразования частоты: почему перемножение двух гармонических сигналов во временной области порождает суммарные и разностные частоты в спектре.

2. Схемотехника и физический принцип подавления сигналов гетеродина на выходе балансных и двойных балансных (перемножительных) смесителей частоты.

3. Природа возникновения зеркального канала помехи в супергетеродинных приемных трактах и методы его фильтрации.

4. Интермодуляционные искажения в смесителях: понятие точки пересечения третьего порядка (IP3) и ее связь с динамическим диапазоном устройства.

5. Сравнительный анализ диодных кольцевых смесителей и активных транзисторных смесителей по коэффициенту шума и коэффициенту передачи.

6. Квадратурные смесители частоты: назначение, схемотехника фазовращателей и роль в трансиверах с прямым преобразованием частоты.

Форма отчетности: Расчетный протокол комбинационных частот смесителя / доклад с тригонометрическим разложением спектра нелинейных каскадов.

### **Практическая работа № 12. Расчет статических и динамических характеристик интерфейсов сопряжения (АЦП)**

Цель работы: Изучение параметров смешанных устройств обработки сигналов, расчет погрешностей квантования и требований к устройствам выборки-хранения.

Задание:

1. Рассчитать шаг квантования, максимальное напряжение шкалы и предельную мощность шума квантования для АЦП заданной разрядности (N).

2. Вычислить минимально необходимое время дискретизации (время апертурного зазора) устройства выборки-хранения (УВХ), обеспечивающее точность фиксации динамического сигнала без превышения шага квантования.

3. Смоделировать в GNU Octave процесс квантования синусоидального сигнала и рассчитать идеальное отношение сигнал/шум (SNR) по формуле  $6.02N + 1.76$  дБ.

### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Статистическая природа шума квантования: допущения, при которых шум квантования аппроксимируется белым шумом с равномерной плотностью распределения.
  2. Сравнительный анализ быстродействия и аппаратной сложности параллельных (Flash) АЦП и АЦП последовательного приближения (SAR).
  3. Физическая необходимость и схемотехника устройств выборки-хранения (УВХ): расчет динамической погрешности из-за апертурной неопределенности.
  4. Архитектура и схемотехника дельта-сигма ( $\Delta\Sigma$ ) АЦП: математический принцип формирования шума (noise shaping) и роль цифровой децимации.
  5. Понятие интегральной (INL) и дифференциальной (DNL) нелинейностей АЦП: причины возникновения и влияние на пропуск кодов при преобразовании.
  6. Эффект дрожания фазы тактового сигнала (джиттер) и его математическое описание как источника дополнительного шума в высокоскоростных АЦП.
- Форма отчетности: Программный код модели квантования в Octave / доклад с анализом статистических характеристик нелинейности АЦП.

### **Практическая работа № 13. Схемотехнический расчет и оценка нелинейности устройств цифро-аналогового преобразования**

Цель работы: Инженерный расчет номиналов матриц сопротивлений ЦАП различных типов и анализ влияния погрешностей элементов на точность преобразования.

Задание:

1. Рассчитать номиналы прецизионных резисторов для схемы ЦАП на основе взвешенных сопротивлений и оценить требования к точности их подгонки.
2. Выполнить расчет токов и напряжений в узлах лестничной матрицы резисторов типа R-2R для заданного входного цифрового кода.
3. В среде SMath Studio смоделировать влияние дифференциальной нелинейности (DNL) резисторов R-2R на появление статической погрешности и пропуск кодов на выходе ЦАП.

### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Сравнительный анализ ЦАП со взвешенными резисторами и матриц R-2R: почему матрицы R-2R являются доминирующими в интегральном исполнении (проблема диапазона номиналов).
2. Математическое доказательство постоянства входного сопротивления звеньев матрицы R-2R методом эквивалентного генератора (теорема Тевенина).
3. Динамические погрешности ЦАП: природа возникновения коммутационных выбросов (glitch) и методы их подавления.
4. Архитектура ЦАП с сегментированной структурой: совмещение матриц взвешенных токов и термометрического кодирования для минимизации динамических помех.
5. Влияние температурного коэффициента сопротивления (ТКС) резисторов матрицы на монотонность характеристики преобразования ЦАП.
6. Использование прецизионных источников опорного напряжения (ИОН) на основе запрещенной зоны полупроводника (Bandgap) в схемах высокоточных ЦАП.

Форма отчетности: Модель токораспределения в R-2R матрице / доклад с математическим выводом выходного напряжения ЦАП для произвольного слова.

### **Практическая работа № 14. Проектирование и расчет восстанавливающих и сглаживающих фильтров смешанных трактов**

Цель работы: Математическое обоснование требований и расчет параметров аналоговых ФНЧ, устанавливаемых на входе АЦП и выходе ЦАП для подавления эффектов наложения и высших гармоник.

Задание:

1. Рассчитать требуемый уровень подавления частот за пределами полосы Найквиста для антиалиасингового (противоналоженного) ФНЧ на входе АЦП.
2. Спроектировать восстанавливающий активный ФНЧ нижних частот на выходе ЦАП для сглаживания ступенчатого напряжения и эффективного подавления тактовой частоты преобразования.
3. Выполнить сквозной расчет результирующего спектра сигнала в Scilab и оценить уровень спектральных искажений.

### **Вопросы для устных расчетно-теоретических докладов**

1. Эффект наложения частот (алиасинг) в дискретных системах: математическая необходимость подавления частот выше частоты Найквиста до момента квантования.

2. Математическое описание спектра ступенчатого сигнала на выходе ЦАП: функция  $\text{sinc}(f)$  и роль восстанавливающего фильтра в подавлении спектральных зеркальных составляющих.

3. Концепция передискретизации (Oversampling) в АЦП/ЦАП как метод радикального снижения требований к крутизне среза аналоговых противоналоженных и восстанавливающих фильтров.

4. Оценка влияния фазовых искажений (нелинейности ФЧХ) восстанавливающего фильтра на форму сложных импульсных сигналов в телекоммуникационных трактах.

5. Особенности выбора элементной базы (типа диэлектрика конденсаторов, операционных усилителей) для прецизионных аналоговых фильтров смешанных трактов с целью минимизации собственных шумов.

6. Системный анализ сквозного динамического диапазона (SFDR) аналого-цифрового тракта с учетом искажений, вносимых восстанавливающим аналоговым фильтром.

Форма отчетности: Принципиальные схемы фильтров с номиналами компонентов / доклад со спектральным анализом ступенчатого напряжения.

## 8.2.2. Типовые задания для лабораторных работ

### Лабораторная работа № 1. Исследование и стабилизация режима покоя транзисторного каскада

Цель работы: Экспериментальное исследование влияния температуры на положение рабочей точки транзистора и оценка эффективности схемы эмиттерной (истоковой) термостабилизации в среде симулятора.

Задание:

1. Собрать в симуляторе схему транзисторного каскада с фиксированным базовым током и провести анализ по постоянному току (DC Analysis) для определения исходных токов и напряжений.

2. Изменить параметр температуры окружающей среды в настройках симулятора от  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зафиксировать температурный дрейф коллекторного (стокового) тока и построить график смещения рабочей точки на семействе ВАХ.

3. Модифицировать схему каскада, введя цепи эмиттерной (истоковой) автоматической термостабилизации (резистивный делитель в базе и резистор в цепи эмиттера/истока).

4. Повторить температурное сканирование (Temperature Sweep) для модернизированной схемы и рассчитать экспериментальный коэффициент неустойчивости.

5. Исследовать влияние блокировочного конденсатора в цепи стабилизации на коэффициент усиления каскада в режиме анализа переходных процессов (Transient Analysis).

Форма отчетности: Электронный отчет, содержащий файлы схем симулятора, графики температурного дрейфа токов для обеих конфигураций и расчетное обоснование эффективности термостабилизации.

### Лабораторная работа № 2. Исследование частотных и временных характеристик однокаскадных усилителей

Цель работы: Количественная оценка входных/выходных импедансов, полосы пропускания и искажений сигналов однокаскадных усилителей ОЭ (ОИ) и ОК (ОС).

Задание:

1. Сформировать принципиальную электрическую схему каскада ОЭ (ОИ) и определить его входное и выходное сопротивления на средних частотах методом подключения тестовых нагрузок.

2. В режиме частотного анализа (AC Analysis) снять амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную (ФЧХ) характеристики каскада, определить верхнюю и нижнюю граничные частоты по уровню  $-3\text{ дБ}$ .

3. Путем удаления шунтирующего эмиттерного конденсатора ввести местную ООС и зафиксировать количественные изменения полосы пропускания и коэффициента усиления.

4. Переключить схему в конфигурацию эмиттерного (истокового) повторителя (ОК/ОС) и экспериментально подтвердить отсутствие фазового сдвига между входом и выходом.

5. Измерить переходную характеристику каскадов при подаче импульсного сигнала (Transient Analysis), определить время нарастания фронта и величину спада вершины импульса.

Форма отчетности: Семейство АЧХ и ФЧХ каскадов Боде, осциллограммы входных/выходных сигналов и переходных процессов, сводная таблица сравнительного анализа параметров ОЭ (ОИ) и ОК (ОС).

### **Лабораторная работа № 3. Исследование влияния обратной связи на показатели качества и устойчивость схем**

Цель работы: Компьютерное моделирование различных типов петель обратной связи и исследование запасов устойчивости усилителей по амплитуде и фазе.

Задание:

1. На основе трехкаскадной транзисторной модели построить схему усилителя, охваченного глубокой общей отрицательной обратной связью по напряжению.
2. Измерить сквозной коэффициент нелинейных искажений (КНИ) с помощью спектрального анализа (Fourier Analysis) на выходе схемы с ОС и без неё при одинаковой амплитуде выходного напряжения.
3. Разомкнуть петлю обратной связи и в режиме AC Analysis построить частотную характеристику петлевого усиления.
4. По графикам Боде разомкнутой системы определить частоту, на которой фазовый сдвиг достигает 180 градусов, и рассчитать запасы устойчивости по амплитуде и фазе.
5. Путем изменения глубины ОС перевести схему в режим автоколебаний (самовозбуждения), зафиксировать форму и частоту возникших генераций.

Форма отчетности: Спектрограммы выходных сигналов (гармоник), графики Боде разомкнутой петли с нанесенными маркерами запасов устойчивости, осциллограммы автоколебаний.

### **Лабораторная работа № 4. Исследование мощных каскадов класса АВ и дифференциальных усилителей**

Цель работы: Экспериментальное исследование двухтактных оконечных усилителей мощности и оценка коэффициента ослабления синфазной помехи (КОСП) в дифференциальных каскадах.

Задание:

1. Собрать схему двухтактного выходного каскада класса В и в режиме Transient Analysis зафиксировать нелинейные искажения типа «ступенька», после чего ввести диодную цепь смещения для перевода в класс АВ.
2. С помощью измерителей мощности рассчитать общую мощность, потребляемую от источников питания, мощность в нагрузке и фактический КПД мощного каскада.
3. Сформировать схему классического симметричного дифференциального каскада, подать противофазные сигналы и определить коэффициент дифференциального усиления ( $(K_{d})$ ).
4. Переключить генераторы в синфазный режим (имитация внешней помехи), измерить выходной сигнал и рассчитать исходный КОСП каскада.
5. Заменить эмиттерный резистор дифференциального каскада на принципиальную схему токового зеркала, повторить измерения и зафиксировать рост КОСП.

Форма отчетности: Осциллограммы искажений типа «ступенька», расчетные значения КПД, схемы модификаций дифференциального каскада и численные показатели подавления синфазной помехи.

### **Лабораторная работа № 5. Проектирование и исследование линейных, динамических и избирательных узлов на ОУ**

Цель работы: Исследование математических операторов (сумматоров, интеграторов) и частотных характеристик активных RC-фильтров Саллена-Ки на базе операционных усилителей.

Задание:

1. Собрать схему инвертирующего сумматора на ОУ, подать на входы постоянные напряжения и верифицировать точность выполнения операции сложения.
2. Спроектировать схему аналогового интегратора на ОУ, подать на вход прямоугольный импульсный сигнал и зафиксировать форму выходного напряжения (треугольник).
3. Собрать схему активного ФНЧ второго порядка Саллена-Ки, рассчитанного на практических занятиях.
4. Снять АЧХ и ФЧХ фильтра в режиме AC Analysis, измерить реальную частоту среза по уровню -3 дБ и крутизну спада характеристики в полосе задерживания.
5. Включить в симуляторе режим статистического разброса параметров элементов (Monte Carlo Analysis) с допуском 5% и оценить стабильность частоты среза фильтра.

Форма отчетности: Принципиальные схемы операционных узлов и фильтра, осциллограммы сигналов, частотные характеристики Боде и результаты статистического анализа Монте-Карло в виде гистограммы.

### **Лабораторная работа № 6. Исследование характеристик смешанных устройств сопряжения (АЦП и ЦАП) и нелинейных преобразователей**

Цель работы: Моделирование процессов цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразования, а также исследование спектрального состава сигналов в нелинейных смесителях.

Задание:

1. Собрать макет схемы 4-разрядного ЦАП на основе лестничной матрицы резисторов типа R-2R и, подавая коды от 0000 до 1111, снять статическую характеристику преобразования.
2. Смоделировать влияние технологического разброса номиналов резисторов матрицы R-2R на появление дифференциальной нелинейности (DNL) и пропуск кодов.
3. Исследовать работу модели АЦП последовательного приближения (SAR) и зафиксировать процесс ступенчатого уравнивания входного напряжения во времени.
4. Собрать схему балансного смесителя частоты на дифференциальном каскаде, подать сигналы радиочастоты и гетеродина.
5. С помощью спектрального анализа (Fourier Analysis) зафиксировать амплитуды комбинационных частот на выходе смесителя и оценить уровень подавления частоты гетеродина.

Форма отчетности: Таблицы статических кодов и выходных напряжений ЦАП, графики процессов SAR АЦП, спектрограммы выходных токов смесителя частоты с фиксацией комбинационных составляющих.

### **Темы докладов**

1. Сравнительный анализ физических процессов и малосигнальных параметров биполярных и полевых транзисторов в линейных режимах усиления сигналов.
2. Схемотехнические методы температурной и временной стабилизации режима покоя транзисторных каскадов: преимущества и ограничения эмиттерной и коллекторной термокомпенсации.
3. Особенности частотных и фазовых характеристик базовых конфигураций транзисторных каскадов (ОЭ, ОБ, ОК) в диапазоне высоких частот.
4. Физическая природа эффекта Миллера в инвертирующих усилительных каскадах и схемотехнические способы его минимизации.
5. Математические модели и методы анализа устойчивости аналоговых трактов, охваченных глубокой отрицательной обратной связью (критерии Найквиста и Боде).
6. Способы частотной коррекции многокаскадных усилителей с ООС для предотвращения самовозбуждения каскадов.
7. Влияние отрицательной обратной связи на нелинейные искажения, внутренние шумы и полосу пропускания усилительных устройств.
8. Методы межкаскадного сопряжения и проблемы согласования импедансов в многокаскадных аналоговых трактах обработки сигналов.
9. Схемотехника каскодных усилителей (конфигурации ОЭ-ОБ и ОИ-ОЗ) как инструмент расширения частотного диапазона радиоэлектронной аппаратуры.
10. Энергетический и спектральный анализ двухтактных бестрансформаторных мощных выходных каскадов класса АВ.
11. Способы минимизации нелинейных искажений типа «ступенька» и методы теплового расчета радиаторов охлаждения мощных транзисторных каскадов.
12. Архитектура и схемотехника дифференциального усилительного каскада: математическое обоснование высокой помехозащищенности к синфазным наводкам.
13. Генераторы стабильного тока и токовые зеркала (схемы Уилсона и каскодные структуры) в качестве динамической нагрузки дифференциальных систем.
14. Внутренние шумы транзисторов и методы расчета эквивалентного шумового напряжения, приведенного ко входу усилительного тракта.
15. Системный анализ архитектуры, идеальных и реальных параметров интегральных операционных усилителей.
16. Схемотехника и погрешности прецизионных измерительных (инструментальных) дифференциальных усилителей на базе операционных усилителей.
17. Математическое моделирование и частотные ограничения аналоговых интеграторов и дифференциаторов на ОУ.
18. Физические принципы построения и схемотехника нелинейных аналоговых логарифмических и экспоненциальных преобразователей сигналов.
19. Схемотехника аналоговых перемножителей сигналов на основе ячейки Гилберта и их применение в радиотехнических трактах.

20. Балансные и двойные балансные смесители частоты: принципы функционирования, крутизна преобразования и фильтрация зеркального канала помех.

21. Методы аппроксимации передаточных функций аналоговых активных RC-фильтров: сравнительный анализ полиномов Баттерворта, Чебышева и Бесселя.

22. Схемотехника активных RC-фильтров второго порядка по топологии Саллена-Ки и схемам с многопетлевой обратной связью (МПОС).

23. Архитектура и схемотехнические топологии высокоскоростных аналого-цифровых преобразователей (Flash АЦП и SAR АЦП).

24. Схемотехника устройств цифро-аналогового преобразования на основе лестничной матрицы резисторов типа R-2R и источники опорного напряжения.

25. Математическое обоснование параметров и проектирование восстанавливающих и антиалиасинговых аналоговых фильтров нижних частот смешанных трактов.

### 8.3. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине: экзамен (по результатам накопительного рейтинга или в устно-письменной форме по экзаменационным билетам).

#### Перечень вопросов для подготовки к экзамен

| №                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Содержание вопроса                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПК-1 Обеспечивает техническую эксплуатацию радиоэлектронной аппаратуры, включая мониторинг, диагностику, оценку, настройку, применение измерительного оборудования, средств контроля и обработку результатов измерений с использованием средств вычислительной техники, в том числе для беспилотных систем</b> |                                                                                                                                                     |
| 1.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Классификация устройств обработки аналоговых сигналов и их место в структуре радиоэлектронной аппаратуры.                                           |
| 2.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Основные технические показатели качества усилителей: коэффициенты усиления, входное и выходное сопротивление, динамический диапазон.                |
| 3.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Частотные и фазовые искажения в аналоговых трактах, амплитудно-частотная (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики.                                |
| 4.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Нелинейные искажения в устройствах обработки сигналов, коэффициент гармоник (коэффициент нелинейных искажений).                                     |
| 5.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Режимы работы активных элементов (транзисторов) по уровню начального смещения: классы А, В, АВ, С.                                                  |
| 6.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Малосигнальные физические эквивалентные схемы биполярных транзисторов, Н- и П-параметры.                                                            |
| 7.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Малосигнальные эквивалентные схемы полевых транзисторов, Y-параметры и крутизна характеристики.                                                     |
| 8.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Физические причины неустойчивости рабочей точки транзистора (влияние температуры на ток базы, напряжение база-эмиттер и коэффициент передачи тока). |
| 9.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Схемотехника цепей фиксированного базового тока и коллекторной стабилизации режима покоя транзистора.                                               |
| 10.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Схемотехника, принцип работы и инженерный расчет цепей эмиттерной (истоковой) термостабилизации рабочей точки.                                      |
| 11.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Анализ транзисторного каскада с общим эмиттером (ОЭ) в области средних частот: расчет коэффициента усиления и импедансов.                           |
| 12.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Анализ транзисторного каскада с общим истоком (ОИ) в области средних частот: расчет коэффициента усиления и импедансов.                             |
| 13.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Частотные свойства каскада ОЭ (ОИ) в области верхних частот; влияние барьерных и диффузионных емкостей транзистора.                                 |
| 14.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Физическая сущность и математическое описание эффекта Миллера в инвертирующих усилительных каскадах.                                                |
| 15.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Схемотехника, свойства и область применения транзисторных каскадов с общей базой (ОБ) и общим затвором (ОЗ).                                        |
| 16.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Схемотехника, свойства и область применения транзисторных каскадов с общим коллектором (ОК, эмиттерный повторитель).                                |
| 17.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Схемотехника, свойства и область применения транзисторных каскадов с общим стоком (ОС, истоковый повторитель).                                      |
| 18.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Понятие обратной связи (ОС) в аналоговой схемотехнике, классификация видов и способов введения петель ОС.                                           |
| 19.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Математическая модель усилителя, охваченного обратной связью, понятия петлевого усиления и глубины обратной связи.                                  |
| 20.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Физическое влияние отрицательной обратной связи (ООС) на стабильность коэффициента усиления и уро-                                                  |

|     |                                                                                                                                                   |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | вень нелинейных искажений каскада.                                                                                                                |
| 21. | Влияние ООС на частотные характеристики, полосу пропускания и фазовые сдвиги в усилительных устройствах.                                          |
| 22. | Изменение входного и выходного сопротивлений усилителя при введении различных видов ООС (по току, по напряжению, последовательной, параллельной). |
| 23. | Действие ООС на уровень внутренних шумов, помех и наводок, возникающих внутри петли обратной связи.                                               |
| 24. | Проблема устойчивости усилителей, охваченных глубокой ООС; физический механизм возникновения автоколебаний.                                       |
| 25. | Критерий устойчивости Найквиста для аналоговых систем с обратной связью; анализ годографа на комплексной плоскости.                               |
| 26. | Критерий устойчивости Боде; понятия запаса устойчивости по амплитуде и запаса устойчивости по фазе.                                               |
| 27. | Схемотехнические методы частотной коррекции усилителей с ООС (коррекция доминирующим полюсом, введение нуля передачи).                            |
| 28. | Способы межкаскадной связи в многокаскадных аналоговых структурах: емкостная (RC), трансформаторная и непосредственная (гальваническая) связи.    |
| 29. | Проблема взаимного влияния каскадов и методология их согласования по входным и выходным импедансам.                                               |
| 30. | Анализ частотных характеристик многокаскадных усилителей в области нижних частот; влияние разделительных и блокировочных конденсаторов.           |
| 31. | Схемотехника и преимущества каскодных усилителей (конфигурации ОЭ-ОБ и ОИ-ОЗ) в высокочастотном диапазоне.                                        |
| 32. | Мощные оконечные (выходные) каскады аналоговых устройств; особенности работы полупроводниковых приборов в режиме большого сигнала.                |
| 33. | Схемотехника бестрансформаторных двухтактных выходных каскадов на комплементарных парах транзисторов.                                             |
| 34. | Энергетический расчет мощных каскадов: определение максимальной выходной мощности и коэффициента полезного действия (КПД) в классах В и АВ.       |
| 35. | Природа возникновения нелинейных искажений типа «ступенька» в двухтактных повторителях и методы их диодно-резистивной компенсации.                |
| 36. | Методика теплового расчета мощных транзисторных каскадов: расчет площади охлаждающей поверхности радиаторов.                                      |
| 37. | Схемотехника и принцип работы классического симметричного дифференциального усилительного каскада.                                                |
| 38. | Анализ дифференциального каскада в режиме воздействия дифференциального (полезного) сигнала; расчет коэффициента усиления.                        |
| 39. | Анализ дифференциального каскада в режиме воздействия синфазного (помехового) сигнала; расчет коэффициента усиления.                              |
| 40. | Коэффициент ослабления синфазной помехи (КОСП) как ключевой показатель качества дифференциальных систем.                                          |
| 41. | Природа и механизмы возникновения внешних наводок, перекрестных помех и температурного дрейфа «нуля» в аналоговой схемотехнике.                   |
| 42. | Дифференциальный каскад как базовый инструмент подавления синфазных помех и дрейфа параметров.                                                    |
| 43. | Схемотехника и расчет генераторов стабильного тока в качестве эмиттерной (истоковой) нагрузки дифференциальных каскадов.                          |
| 44. | Схемотехника и принцип работы отражателей тока (токовых зеркал) в качестве динамической коллекторной нагрузки.                                    |
| 45. | Системная архитектура, эквивалентная схема и внутренние каскады интегрального операционного усилителя (ОУ).                                       |
| 46. | Основные технические параметры идеального операционного усилителя и их отличие от характеристик реального ОУ.                                     |
| 47. | Входные статические погрешности ОУ (напряжение сдвига, входные токи смещения, разность токов) и методы их резистивной компенсации.                |
| 48. | Динамические и частотные параметры ОУ: скорость нарастания выходного напряжения, частота единичного усиления.                                     |
| 49. | Схемотехника, принцип работы и расчет инвертирующего усилителя на операционном усилителе.                                                         |
| 50. | Схемотехника, принцип работы и расчет неинвертирующего усилителя и повторителя напряжения на ОУ.                                                  |
| 51. | Схемотехника и расчет многоканального инвертирующего сумматора аналоговых сигналов на ОУ.                                                         |
| 52. | Схемотехника и расчет вычитателей и измерительных (инструментальных) дифференциальных усилителей на ОУ.                                           |
| 53. | Схемотехника и разностные уравнения аналоговых интеграторов на ОУ; проблема временного дрейфа постоянной составляющей.                            |
| 54. | Схемотехника и разностные уравнения аналоговых дифференциаторов на ОУ; проблемы устойчивости на                                                   |

|     |                                                                                                                                             |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | высоких частотах и методы коррекции.                                                                                                        |
| 55. | Физические принципы нелинейного преобразования аналоговых сигналов; вольт-амперные характеристики р-п перехода как логарифмический элемент. |
| 56. | Схемотехника логарифмических и экспоненциальных (антилогарифмических) преобразователей сигналов на базе ОУ.                                 |
| 57. | Схемотехника аналоговых перемножителей сигналов на основе ячейки Гилберта и их функциональные возможности.                                  |
| 58. | Принципы построения, классификация и базовые схемы смесителей и преобразователей частоты.                                                   |
| 59. | Ограничения нелинейной обработки сигналов: интермодуляционные искажения и точка пересечения третьего порядка (IP3).                         |
| 60. | Понятие зеркального канала помехи и требования к избирательности фильтров промежуточной частоты (ПЧ).                                       |
| 61. | Классификация, параметры и математические модели аналоговых фильтров (частота среза, неравномерность, полоса задерживания).                 |
| 62. | Сравнительный анализ передаточных функций и характеристик фильтров Баттерворта, Чебышева и Бесселя.                                         |
| 63. | Схемотехника и принципы расчета активных RC-фильтров нижних (ФНЧ) и верхних (ФВЧ) частот первого порядка.                                   |
| 64. | Активные RC-фильтры второго порядка по топологии Саллена-Ки: функциональная схема, вывод передаточной функции.                              |
| 65. | Активные RC-фильтры второго порядка со структурой многопетлевой обратной связи (МПОС); расчет добротности.                                  |
| 66. | Принципы построения и схемотехника активных полосовых и режекторных (заградительных) аналоговых фильтров.                                   |
| 67. | Физические принципы сопряжения аналогового и цифрового трактов радиоэлектронных устройств.                                                  |
| 68. | Теоретические основы дискретизации непрерывных сигналов во времени и квантования по уровню.                                                 |
| 69. | Статическая погрешность квантования, шаг квантования и математический расчет предельной мощности шума квантования.                          |
| 70. | Расчет идеального отношения сигнал/шум (SNR) аналого-цифрового интерфейса в зависимости от его разрядности.                                 |
| 71. | Назначение, принцип работы и схемотехника устройств выборки-хранения (УВХ); расчет апертурной погрешности.                                  |
| 72. | Схемотехника и алгоритм работы высокоскоростных аналого-цифровых преобразователей параллельного типа (Flash АЦП).                           |
| 73. | Схемотехника и алгоритм работы АЦП последовательного приближения (SAR АЦП).                                                                 |
| 74. | Назначение, структура и преимущества дельта-сигма АЦП в низкочастотном диапазоне.                                                           |
| 75. | Основные параметры статической и динамической нелинейности АЦП (дифференциальная DNL и интегральная INL нелинейности).                      |
| 76. | Назначение, математические модели и базовые топологии устройств цифро-аналогового преобразования (ЦАП).                                     |
| 77. | Схемотехника и расчет ЦАП на основе двоично-взвешенных резисторов; требования к точности номиналов.                                         |
| 78. | Схемотехника, токораспределения и расчет лестничной матрицы резисторов типа R-2R в схемах ЦАП.                                              |
| 79. | Назначение, расчет параметров и схемотехника антиалиасинговых (противоналоженных) аналоговых ФНЧ на входе АЦП.                              |
| 80. | Назначение, расчет параметров и схемотехника восстанавливающих (сглаживающих) аналоговых ФНЧ на выходе ЦАП.                                 |