


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

Кафедра «Радиотехнических устройств»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

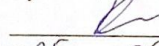
Декан ФРТ

 Холопов И.С.  
«25» 06 2020 г.

Проректор по РОП и МД

 Корячко А.В.  
2020 г.

Руководитель ОПОП

 Кириллов С.Н.  
«25» 06 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

**Б1.О.08 «Микросхемотехника»**

Специальность

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

ОПОП специалитета

«Радиоэлектронные системы передачи информации»

Квалификация выпускника – инженер

Форма обучения – очная

Рязань 2020 г.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»,  
утвержденного 09.02.2018 № 94

Разработчик старший преподаватель кафедры РТУ

\_\_\_\_\_ Степашкин В.А.

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «30» мая 2020 г., протокол № 10

Заведующий кафедрой РТУ

\_\_\_\_\_ Паршин Ю.Н., д.т.н., проф.

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы бакалавриата

Рабочая программа по дисциплине «Микросхемотехника» является составной частью основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки специалистов 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, разработанной в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы (уровень специалитета), утвержденным приказом Минобрнауки России от 11.08.2016 г. № 1031.

**Цель изучения дисциплины:** получение фундаментального естественно-научного образования, способствующего дальнейшему развитию личности.

Задачи изучения дисциплины распределены между семью ее модулями, изучаемыми в 5-м семестре.

**Задачи модуля 1:** изучить основные свойства компонентов интегральных микросхем и основные принципы архитектурного построения современных линейных интегральных микросхем.

**Задачи модуля 2:** изучить основную (классическую) схему дифференциального каскада, дифференциальный каскад с активной (динамической) нагрузкой, шумовые свойства и параметры дифференциального каскада и методы подачи сигнала на дифференциальный каскад.

**Задачи модуля 3:** изучить основные схемы базовых и вспомогательных каскадов аналоговых интегральных схем: входные и выходные каскады, источники тока (генераторы стабильного тока), источники напряжения и схемы сдвига (трансляторы) уровня.

**Задачи модуля 4:** изучить схемотехнику операционных усилителей, их общие характеристики, основные свойства и параметры, а также работу операционного усилителя с обратной связью.

**Задачи модуля 5:** изучить схемотехнику аналоговых устройств на основе операционных усилителей и методы их расчета (линейные и нелинейные схемы на базе операционных усилителей, активные фильтры).

**Задачи модуля 6:** изучить основную элементную базу электроники СВЧ, интегральные СВЧ транзисторы, монолитные интегральные микросхемы.

**Задачи модуля 7:** изучить основные проблемы повышения степени интеграции, основы функциональной электроники, основные принципы микросистемной техники и наноэлектроники.

Коды компетенции	Содержание компетенций
ОПК-6	Готовность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности
ПК-1	Способность осуществлять анализ состояния научно-технической проблемы, определять цели и выполнять постановку задач проектирования
ПК-2	Способность разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальные схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ
ПК-5	Способность использовать современные пакеты прикладных программ для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых устройств, устройств сверхвысоких частот (СВЧ) и антенн

## Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- иметь представления о тенденциях и перспективах развития и практического использования современной элементной базы радиоэлектроники (ОПК-6, ПК-1);
- знать основы схмотехники, элементную базу аналоговых устройств, их принцип работы, характеристики, модели и способы их количественного описания при использовании в радиотехнических цепях и устройствах (ОПК-6);
- уметь использовать полученную информацию для решения практических задач (ОПК-6, ПК-1, ПК-2);
- владеть методами, необходимыми для выбора элементной базы с учетом требований надежности, устойчивости к воздействию окружающей среды, ЭМС и технологичности, а также основными навыками экспериментального исследования характеристик устройств на аналоговых микросхемах, работы с приборами; анализа и обработки данных экспериментов (ПК-2, ПК-5).

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Микросхемотехника» относится к вариативной части блока №1 дисциплин основных профессиональных образовательных программ (ОПОП) «Радиоэлектронные системы передачи информации», "Радиосистемы и комплексы управления", "Радионавигационные системы и комплексы" и "Радиоэлектронная борьба" по направлению подготовки специалиста 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Дисциплина «Микросхемотехника» является основой для дальнейшего изучения дисциплин профессионального цикла и подготовки выпускной работы.

## 3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы (108 часов).

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины, в том числе:	<b>108</b>
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе:	<b>48</b>
Лекции	32
Лабораторные работы	16
Практические занятия	
Самостоятельная работа обучающихся (всего), в том числе:	<b>60</b>
Самостоятельные занятия	51
Консультации в семестре	
Иная контактная деятельность	0,25
Часы на контроль	8,75

Вид промежуточной аттестации обучающихся	Зачет
--	-------

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

В структурном отношении программа представлена следующими модулями:

**Модуль 1.** Введение. Основные схемотехнические направления построения аналоговых интегральных схем.

**Модуль 2.** Дифференциальный каскад (ДК) как основная схема каскада для интегральной схемы.

**Модуль 3.** Основные схемы базовых и вспомогательных каскадов аналоговых интегральных схем.

**Модуль 4.** Схемотехника операционных усилителей.

**Модуль 5.** Аналоговые устройства на основе операционных усилителей.

**Модуль 6.** Микросхемы СВЧ диапазона.

**Модуль 7.** Проблемы повышения степени интеграции. Основы функциональной электроники. Микросистемная техника и наноэлектроника.

##### 4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

Раздел дисциплины (модуля)	Содержание раздела
<b>Модуль 1.</b> Введение. Основные схемотехнические направления построения аналоговых интегральных схем 1.1. Основные понятия и определения	<p>Определение микросхемотехники. Общая характеристика интегральной электроники как технического и научного направления. Интеграция и миниатюризация – основные принципы микросхемотехники. Теоретические и практические ограничения интеграции и миниатюризации.</p> <p>Определение и понятие интегральной схемы (ИС), классификация ИС, основные компоненты ИС и их основные функции, степени компонентной интеграции и уровни схемотехнического построения ИС.</p>
1.2. Основные свойства компонентов интегральных микросхем. Основные принципы архитектурного построения современных линейных интегральных микросхем	<p>Отличия дискретных и интегральных элементов. Достоинства и недостатки интегральных компонентов. Основные принципы проектирования ИМС: принципы, позволяющие получить стабильность работы схем: принципы отношения, симметрии, малых номиналов, равных потенциалов, активности.</p>
<b>Модуль 2.</b> Дифференциальный каскад (ДК) как основная схема каскада для интегральной схемы 2.1. Основная (классическая) схема дифференциального каскада	<p>Основные свойства идеального и реального ДК. Причины, определяющие широкое применение дифференциального каскада (ДК) в полупроводниковой микросхемотехнике.</p> <p>Основные характеристики ДК. Проходная характеристика ДК и ее свойства. Основные свойства схем на основе ДК и их сравнение со схемой ОЭ.</p>
2.2. Дифференциальный каскад с	Особенности работы дифференциального каскада

активной (динамической) нагрузкой	(ДК) в микрорежиме. Применение в ДК активной (динамической) нагрузки. Основные характеристики ДК с активной нагрузкой. Схемные решения ДК с активной нагрузкой.
2.3. Шумовые свойства и параметры дифференциального каскада	Определение шумов. Эквивалентная схема реального шумящего четырехполюсника. Коэффициент шума. Условие согласования по минимуму коэффициента шума. Шумовая мощность ДК. Спектры НЧ и ВЧ шумов.
2.4. Методы подачи сигнала на дифференциальный каскад	Симметричный и несимметричный методы: схемы, достоинства и недостатки. Эквивалентная схема. Требования к ГСТ при использовании несимметричного метода.
<b>Модуль 3.</b> <i>Основные схемы базовых и вспомогательных каскадов аналоговых интегральных схем</i>	Основные требования. Базовая схема – дифференциальный усилитель (каскад): типовая схема, ДК с динамической нагрузкой, ДК с перевернутой нагрузкой, способы повышения входного сопротивления ДК (схемотехника). Реализация ДК в промышленных схемах.
3.1. Входные каскады интегральных схем	
3.2. Выходные каскады интегральных схем	Основные требования. Базовая и практическая схемы. Выходной каскад на транзисторах разного типа проводимости. Схемы защиты промышленных усилителей. Их свойства, характеристики, параметры.
3.3. Источники тока (генераторы стабильного тока (ГСТ))	Определения ГСТ. Две основные схемы ГСТ. Задачи при выборе схемы ГСТ. Способы, позволяющие получить аппроксимацию, близкую к идеальному источнику тока. Основная схема построения ГСТ – токовое зеркало и ее свойства. Схемотехника ГСТ на биполярных и полевых транзисторах, основные свойства, достоинства и недостатки схем.
3.4. Источники напряжения	Определение источника напряжения. Основные требования, предъявляемые к ним. Схемотехника источников напряжения и источников опорного напряжения, основные свойства, достоинства и недостатки схем.
3.5. Трансляторы (схемы сдвига) уровня	Необходимость применения схем сдвига уровня в ИС. Основная задача, решаемая с помощью трансляторов уровня. Схемотехника трансляторов уровня, основные свойства, достоинства и недостатки схем.
<b>Модуль 4.</b> <i>Схемотехника операционных усилителей</i>	
4.1. Общие характеристики операционных усилителей	Определение и условные обозначения операционных усилителей (ОУ). Структурные и упрощенные схемы стандартных ОУ. Схема включения. Условие баланса ОУ.
4.2. Основные свойства операционных усилителей	Свойства идеального ОУ. Два правила анализа схем включения ОУ. Свойства реального ОУ.
4.3. Основные параметры операционных усилителей	Коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление, напряжение смещения нуля и его температурный дрейф, коэффициент влияния источника питания, входной ток и его температурный дрейф, разность входных токов и их температурный дрейф, частота

	единичного усиления, скорость нарастания выходного напряжения, время восстановления.
4.4. Работа операционного усилителя с обратной связью	Основные математические выражения. Амплитудно-частотная характеристика ОУ. Частотная коррекция ОУ.
<b>Модуль 5. Аналоговые устройства на основе операционных усилителей</b> 5.1. Линейные и нелинейные схемы на базе операционных усилителей и методы их расчета	Инвертирующий и неинвертирующий усилители. Точный повторитель напряжения. Масштабирующий усилитель. Особенности схем включения ОУ от однополярного источника напряжения питания. Суммирующий усилитель. Неинвертирующий сумматор. Усилитель разности. Усилитель с регулируемым коэффициентом усиления. Преобразователи “ток-напряжение” и “напряжение-ток”. Аналоговый вольтметр постоянного тока. Усилитель с регулируемым сдвигом фазы. Компаратор. Логарифмический усилитель.
5.2. Активные фильтры на базе операционных усилителей	Параметры, характеристики, назначение фильтров. Преимущества и недостатки активных фильтров. Активные фильтры нижних и верхних частот, полосовые и режекторные фильтры. Методика расчета активных фильтров. Выбор элементов схемы на ОУ, обеспечивающие заданную точность обработки сигналов.
<b>Модуль 6. Микросхемы СВЧ диапазона</b> 6.1. Общие положения	Твердотельная электроника СВЧ. Арсенид галлия – основной материал монолитных микроволновых ИС. Тонкопленочные и толстопленочные гибридные ИС. Монолитные ИС. Проблема воспроизводимости и повторяемости результатов.
6.2. Элементная база электроники СВЧ	Пассивные и активные элементы, Линии межсоединений. Микрополосковые линии. Пассивные СВЧ элементы – резисторы, конденсаторы, индуктивности. Дiodы СВЧ диапазона.
6.3. Интегральные СВЧ транзисторы	Полевые транзисторы с барьером Шоттки. Другие типы транзисторов СВЧ диапазона.
6.4. Монолитные интегральные микросхемы	Транзисторные структуры для монолитных ИС.
<b>Модуль 7. Проблемы повышения степени интеграции. Основы функциональной электроники. Микросистемная техника и нанoeлектроника.</b> 6.1. Проблемы повышения степени интеграции	Барьеры на пути перехода от микро- к нанoeлектронике. Особенности нанoeлектронных приборов. Новые транзисторные структуры: полевые транзисторы, транзисторы с резонансным туннелированием. Квантовые приборы нанoeлектроники. Одноэлектронные приборы. Новые материалы нанoeлектроники.
6.2. Основы функциональной электроники	Возможности функциональной электроники. Элементы акустоэлектроники. Функциональная полупроводниковая электроника. Приборы функциональной электроники 2-го поколения.
6.3. Микросистемная техника и нанoeлектроника	Основные направления. Умная пыль, умная поверхность, умная структура. ВЧ микросистемы.

#### 4.2. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

№ п/п	Тема	Общая трудоемкость, всего часов	Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа обучающихся
			всего	лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7	8
	<b>Модуль 1</b> <i>Введение. Основные схемотехнические направления построения аналоговых интегральных схем</i>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>			<b>2</b>
1.1	Основные понятия и определения	2	1	1			1
1.2	Основные свойства компонентов интегральных микросхем. Основные принципы архитектурного построения современных линейных интегральных микросхем	2	1	1			1
	<b>Модуль 2</b> <i>Дифференциальный каскад (ДК) как основная схема каскада для интегральной схемы</i>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	<b>10</b>
2.1	Основная (классическая) схема дифференциального каскада	5,5	1,5	0,5		1	4
2.2	Дифференциальный каскад с активной (динамической) нагрузкой	5,5	1,5	0,5		1	4
2.3	Шумовые свойства и параметры дифференциального каскада	1,5	0,5	0,5			1
2.4	Методы подачи сигнала на дифференциальный каскад	1,5	0,5	0,5			1
	<b>Модуль 3</b> <i>Основные схемы базовых и вспомогательных каскадов аналоговых интегральных схем</i>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>5</b>		<b>2</b>	<b>10</b>
3.1	Входные каскады интегральных схем	3	1	1			2
3.2	Выходные каскады интегральных схем	3	1	1			2
3.3	Источники тока (генераторы стабильного тока (ГСТ))	4	2	1		1	2
3.4	Источники напряжения	4	2	1		1	2
3.5	Трансляторы (схемы сдвига) уровня	3	1	1			2
	<b>Модуль 4</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>3</b>			<b>5</b>



	<i>Схемотехника операционных усилителей</i>						
4.1	Общие характеристики операционных усилителей	1,5	0,5	0,5			1
4.2	Основные свойства операционных усилителей	1,5	0,5	0,5			1
4.3	Основные параметры операционных усилителей	2	1	1			1
4.4	Работа операционного усилителя с обратной связью	3	1	1			2
	<b>Модуль 5</b> <i>Аналоговые устройства на основе операционных усилителей</i>	<b>36</b>	<b>28</b>		<b>16</b>	<b>12</b>	<b>8</b>
5.1	Линейные и нелинейные схемы на базе операционных усилителей и методы их расчета	18	14		8	6	4
5.2	Активные фильтры на базе операционных усилителей	18	14		8	6	4
	<b>Модуль 6</b> <i>Микросхемы СВЧ диапазона</i>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>2</b>			<b>7</b>
6.1	Общие положения	1,5	0,5	0,5			1
6.2	Элементная база электроники СВЧ	2,5	0,5	0,5			2
6.3	Интегральные СВЧ транзисторы	2,5	0,5	0,5			2
6.4	Монолитные интегральные микросхемы	2,5	0,5	0,5			2
	<b>Модуль 7</b> <i>Проблемы повышения степени интеграции. Основы функциональной электроники. Микросистемная техника и наноэлектроника</i>	<b>20</b>	<b>2</b>	<b>2</b>			<b>18</b>
7.1	Проблемы повышения степени интеграции	7	1	1			6
7.2	Основы функциональной электроники	6,5	0,5	0,5			6
7.3	Микросистемная техника и наноэлектроника	6,5	0,5	0,5			6
	<b>Всего</b>	<b>108</b>	<b>48</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>60</b>

## 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Легостаев Н.С. Микросхемотехника. Аналоговая микросхемотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.С. Легостаев, К.В. Четвергов. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. — 238 с. — 978-5-86889-677-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72130.html>

2. Чижма С.Н. Электроника и микросхемотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.Н. Чижма. — Электрон. текстовые данные. — М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. — 359 с. — 978-5-89035-649-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16275.html>

3. Троян П.Е. Микроэлектроника [Электронный ресурс] : учебное пособие / П.Е. Троян. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. — 346 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13947.html>

4. Полевский В.И. Операционные усилители [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.И. Полевский, Е.Г. Касаткина. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 27 с. — 978-5-7782-2310-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45124.html>

5. Линейные усилители и активные фильтры : метод. указ к лаб. работам / Степашкин Владимир Анатольевич, Озеран Светлана Петровна ; РГРТУ. - Рязань, 2014. - 64с.

## 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

### 6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине (модулю)

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части)	Наименование оценочного средства
1	2	3	4
	<b>Модуль 1</b> <i>Введение. Основные схемотехнические направления построения аналоговых интегральных схем</i>		
1.1	Основные понятия и определения	ОПК-6, ПК-1	Зачет
1.2	Основные свойства компонентов интегральных микросхем. Основные принципы архитектурного построения современных линейных интегральных микросхем	ОПК-6	Зачет
	<b>Модуль 2</b> <i>Дифференциальный каскад (ДК) как основная схема каскада для интегральной схемы</i>		
2.1	Основная (классическая) схема дифференциального каскада	ОПК-6	Зачет
2.2	Дифференциальный каскад с активной (динамической) нагрузкой	ОПК-6	Зачет
2.3	Шумовые свойства и параметры дифференциального каскада	ОПК-6	Зачет
2.4	Методы подачи сигнала на дифференциальный каскад	ОПК-6	Зачет
	<b>Модуль 3</b> <i>Основные схемы базовых и вспомогательных каскадов аналоговых интегральных схем</i>		
3.1	Входные каскады интегральных схем	ОПК-6	Зачет
3.2	Выходные каскады интегральных схем	ОПК-6	Зачет
3.3	Источники тока (генераторы стабильного тока)	ОПК-6	Зачет

	(ГСТ))		
3.4	Источники напряжения	ОПК-6	Зачет
3.5	Трансляторы (схемы сдвига) уровня	ОПК-6	Зачет
	<b>Модуль 4</b> <i>Схемотехника операционных усилителей</i>		
4.1	Общие характеристики операционных усилителей	ОПК-6	Зачет
4.2	Основные свойства операционных усилителей	ОПК-6	Зачет
4.3	Основные параметры операционных усилителей	ОПК-6	Зачет
4.4	Работа операционного усилителя с обратной связью	ОПК-6	Зачет
	<b>Модуль 5</b> <i>. Аналоговые устройства на основе операционных усилителей</i>		
5.1	Линейные и нелинейные схемы на базе операционных усилителей и методы их расчета	ОПК-6, ПК-2	Зачет
5.2	Активные фильтры на базе операционных усилителей	ОПК-6, ПК-2, ПК-5	Зачет
	<b>Модуль 6</b> <i>Микросхемы СВЧ диапазона</i>		
6.1	Общие положения	ОПК-6	Зачет
6.2	Элементная база электроники СВЧ	ОПК-6	Зачет
6.3	Интегральные СВЧ транзисторы	ОПК-6	Зачет
6.4	Монолитные интегральные микросхемы	ОПК-6	Зачет
	<b>Модуль 7</b> <i>Проблемы повышения степени интеграции. Основы функциональной электроники. Микросистемная техника и наноэлектроника.</i>		
7.1	Проблемы повышения степени интеграции	ОПК-6, ПК-1	Зачет
7.2	Основы функциональной электроники	ОПК-6	Зачет
7.3	Микросистемная техника и наноэлектроника	ОПК-6	Зачет

## 6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы

### 6.2.1. Типовые задания для самостоятельной работы

Чтение, анализ и конспектирование научной литературы по темам и проблемам курса.  
 Ответы на контрольные вопросы и решение задач из учебника.  
 Конспектирование, аннотирование научных публикаций.

#### Критерии оценивания компетенций (результатов)

- 1). Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.
- 2). Умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи.
- 3). Ответы на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность, умение
- 4). Качество ответа (его структура, логичность, убежденность, общая эрудиция)
- 5). Использование дополнительной литературы при подготовке ответов.

Уровень освоения знаний, умений и навыков по дисциплине оценивается в форме бальной отметки:

**Оценка «зачтено»** выставляется студенту, который прочно усвоил предусмотренный

программный материал; правильно, аргументировано ответил на все вопросы, с приведением примеров; показал глубокие систематизированные знания, владеет приемами рассуждения и сопоставляет материал из разных источников: теорию связывает с практикой, другими темами данного курса, других изучаемых предметов; без ошибок выполнил практическое задание.

Обязательным условием выставленной оценки является правильная речь в быстром или умеренном темпе. Дополнительным условием получения оценки «зачтено» могут стать хорошие успехи при выполнении самостоятельной и контрольной работы, систематическая активная работа на семинарских занятиях.

**Оценка «не зачтено»** выставляется студенту, который не справился с 50% вопросов и заданий билета, в ответах на другие вопросы допустил существенные ошибки. Не может ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем. Целостного представления о взаимосвязях, компонентах, этапах развития культуры у студента нет. Оценивается качество устной и письменной речи, как и при выставлении положительной оценки.

## 6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы

### 6.2.1. Типовые задания для самостоятельной работы

Чтение, анализ и конспектирование научной литературы по темам и проблемам курса.

Ответы на контрольные вопросы и решение задач из учебника.

Конспектирование, аннотирование научных публикаций.

### 6.2.2. Перечень лабораторных работ и вопросов для контроля

№ работы	Название лабораторной работы и вопросы для контроля
1	<p><b>Исследование неинвертирующих усилителей на операционном усилителе</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Операционный усилитель: определение, общие характеристики, понятие идеального ОУ и его отличие от реального.</li> <li>2. Операционный усилитель: два правила анализа ОУ, схема включения, условие баланса ОУ.</li> <li>3. Основные параметры ОУ: коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление.</li> <li>4. Точностные параметры ОУ: напряжение смещения нуля и коэффициент влияния источника питания.</li> <li>5. Точностные параметры ОУ: температурный дрейф напряжения смещения, входной ток, разность входных токов, температурный дрейф входных токов и разности входных токов.</li> <li>6. Динамические параметры ОУ: частота единичного усиления, скорость нарастания выходного напряжения, время восстановления.</li> <li>7. Работа операционного усилителя с обратной связью. Коэффициент передачи обратной связи, коэффициент усиления ОУ с учетом обратной связи, их связь в идеальном ОУ.</li> <li>8. Частотная коррекция ОУ.</li> <li>9. Амплитудно-частотная характеристика ОУ.</li> <li>10. Структурные схемы стандартных ОУ.</li> <li>11. Неинвертирующий усилитель на ОУ. Коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление.</li> <li>12. Усилитель-повторитель на операционном усилителе: основные параметры и характеристики.</li> </ol>
2	<p><b>Исследование инвертирующих усилителей на операционном усилителе</b></p>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Инвертирующий усилитель на ОУ. Коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление.</li> <li>2. Преобразователь ток-напряжение на ОУ.</li> <li>3. Преобразователь напряжение-ток на ОУ. Вольтметр постоянного тока на ОУ.</li> <li>4. Инвертирующий сумматор на ОУ.</li> <li>5. Неинвертирующий сумматор на ОУ.</li> <li>6. Аналоговый вычитатель на ОУ.</li> <li>7. Аналоговый интегратор на ОУ.</li> <li>8. Аналоговый дифференциатор на ОУ.</li> <li>9. Усилитель с регулируемым сдвигом фазы на ОУ.</li> <li>10. Усилитель с регулируемым коэффициентом усиления на ОУ.</li> <li>11. Компараторы на ОУ.</li> <li>12. Логарифмирующий усилитель на ОУ.</li> </ol>
<b>3</b>	<p style="text-align: center;"><b>Исследование активных фильтров нижних и верхних частот на операционном усилителе</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Активные фильтры: преимущества и недостатки.</li> <li>2. Основные виды фильтров и их АЧХ и ФЧХ.</li> <li>3. Основные характеристики активных фильтров.</li> <li>4. Порядок фильтра и его влияние на АЧХ.</li> <li>5. Добротность фильтра и его влияние на АЧХ.</li> <li>6. Активные фильтры нижних частот 1-го порядка.</li> <li>7. Активные фильтры нижних частот 2-го порядка.</li> <li>8. Активные фильтры нижних частот 3-го порядка.</li> <li>9. Активные фильтры верхних частот 1-го порядка.</li> <li>10. Активные фильтры верхних частот 2-го порядка.</li> <li>11. Активные фильтры верхних частот 3-го порядка.</li> <li>12. Активные фильтры нижних частот. Схемотехника низкодобротных фильтров. АЧХ и ФЧХ.</li> <li>13. Активные фильтры нижних частот. Схемотехника среднедобротных фильтров. АЧХ и ФЧХ.</li> <li>14. Активные фильтры верхних частот. Схемотехника низкодобротных фильтров. АЧХ и ФЧХ.</li> <li>15. Активные фильтры верхних частот. Схемотехника среднедобротных фильтров. АЧХ и ФЧХ.</li> </ol>
<b>4</b>	<p style="text-align: center;"><b>Исследование полосового и режекторного активных фильтров на операционном усилителе</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Полосовой низкодобротный фильтр на ОУ.</li> <li>2. Полосовой среднедобротный фильтр на ОУ.</li> <li>3. Полосовой высокодобротный фильтр на ОУ.</li> <li>4. Активные полосовые фильтры. АЧХ и ФЧХ.</li> <li>5. Режекторный низкодобротный фильтр на ОУ.</li> <li>6. Режекторный среднедобротный фильтр на ОУ.</li> <li>7. Режекторный высокодобротный фильтр на ОУ.</li> <li>8. Активные режекторные фильтры. АЧХ и ФЧХ.</li> <li>9. Принципы выбора элементов и расчета активных фильтров.</li> </ol>

### 6.2.3. План практических занятий

1. Решение задач по теме «Дифференциальный каскад (ДК) как основная схема каскада для интегральной схемы».
2. Решение задач по теме «Источники тока (генераторы стабильного тока)».
3. Решение задач по темам «Источники напряжения» и «Трансляторы (схемы сдвига) уровня».
4. Решение задач по теме «Линейные и нелинейные схемы на базе операционных усилителей»: расчет инвертирующего и неинвертирующего усилителей, точного повторителя напряжения, масштабирующего усилителя, усилителя с регулируемым коэффициентом усиления.
5. Решение задач по теме «Линейные и нелинейные схемы на базе операционных усилителей»: расчет суммирующего усилителя, неинвертирующего сумматора, усилителя разности.
6. Решение задач по теме «Линейные и нелинейные схемы на базе операционных усилителей»: расчет преобразователя “ток-напряжение” и “напряжение-ток”, аналогового вольтметра постоянного тока, усилителя с регулируемым сдвигом фазы, компаратора, логарифмирующего усилителя.
7. Решение задач по теме «Активные фильтры на базе операционных усилителей»: расчет фильтров нижних и верхних частот, полосовых и режекторных фильтров.
8. Контрольное занятие

#### **Перечень учебной литературы, необходимой для проведения практических занятий:**

1. Полевский В.И. Операционные усилители [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.И. Полевский, Е.Г. Касаткина. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 27 с. — 978-5-7782-2310-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45124.html>
2. Сборник задач по электротехнике и электронике [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.В. Бладыко [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2013. — 478 с. — 978-985-06-2287-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20262.html>
3. Ситникова С.В. Сборник задач по дисциплине «Электроника» [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / С.В. Ситникова, А.С. Арефьев. — Электрон. текстовые данные. — Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 60 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71877.html>
4. Электроника и микросхемотехника : Сб.задач / Скаржепа Владимир Антонович, Сенько Виталий Иванович ; Под ред. Краснопрошиной А.А. - Киев:Выща шк., 1989. - 232с.
5. Линейные усилители и активные фильтры : метод. указ к лаб. работам / Степашкин Владимир Анатольевич, Озеран Светлана Петровна ; РГРТУ. - Рязань, 2014. - 64с.

### 6.2.4. Вопросы к зачету

1. Что такое интегральная микросхема (ИС)? Какие бывают ИС? Функции ИС? Что входит в их состав? Классификация по уровню сложности. Уровни схемотехнического представления ИМС.
2. Основные свойства компонентов интегральных микросхем. Основные принципы архитектурного построения современных линейных интегральных микросхем.
3. Принципиальная схема дифференциального каскада (ДК). Парафазный и синфазный сигналы, коэффициенты усиления, относительное ослабление синфазного сигнала. Почему ДК является основной схемой каскада для интегральной схемы?

4. Проходная характеристика дифференциального каскада и ее свойства.
5. Свойства дифференциального каскада (ДК): динамический диапазон, двухстороннее ограничение, крутизна проходной характеристики. Влияние величины и стабильности ГСТ на усилительные свойства ДК.
6. Входное сопротивление и коэффициент передачи дифференциального каскада (ДК). Особенности работы в микрорежиме. Динамическая нагрузка. Коэффициент передачи ДК с динамической нагрузкой.
7. Методы подачи сигнала на дифференциальный каскад. Достоинства и недостатки. Требования к источнику тока (ГСТ).
8. Шумовые параметры дифференциального каскада.
9. Источники тока (ГСТ): определение, назначение, две основные схемы. Способы получения аппроксимации источника тока, близкого к идеальному.
10. Основная схема ГСТ на биполярных транзисторах. Принцип работы «токового зеркала».
11. Источник тока с диодным смещением: принципиальная схема, принцип работы, достоинства и недостатки.
12. Источник тока с резисторным смещением с масштабированием и с резисторным смещением для схем с малыми токами: принципиальные схемы, принцип работы, достоинства и недостатки.
13. Источники тока на полевых транзисторах. Принципиальные схемы, принцип работы, достоинства и недостатки. Применение ГСТ в качестве динамической нагрузки.
14. Источники напряжения. Требования к источникам напряжения и источникам опорного напряжения. Источник напряжения на эмиттерном повторителе: принципиальная схема, принцип работы, достоинства и недостатки.
15. Источники напряжения на стабилитроне и диодной цепочке. Принципиальные схемы, принцип работы, достоинства и недостатки.
16. Источник напряжения на основе транзисторного преобразователя (с параллельной ОС). Принципиальная схема, принцип работы, достоинства и недостатки.
17. Источники опорного напряжения: основное требование и способы его достижения. Области применения источников опорного напряжения. Практические схемы источников опорного напряжения, принцип работы, достоинства и недостатки.
18. Схемы сдвига (трансляторы) уровня: определение, необходимость, основные задачи. Схема сдвига уровня на резистивном делителе: принципиальная схема, принцип работы, достоинства и недостатки.
19. Схемы сдвига (транслятора) уровня на стабилитроне и с использованием диодной цепочки: принципиальные схемы, принцип работы, достоинства и недостатки.
20. Схемы сдвига (транслятора) уровня с использованием комбинации резистивного каскада и ГСТ: принципиальная схема, принцип работы, достоинства и недостатки.
21. Операционный усилитель (ОУ): определение, условные обозначения, общие характеристики, схема включения, условие баланса.
22. Операционный усилитель (ОУ): понятие идеального ОУ и его основные свойства. Два правила анализа ОУ. Отличие реального ОУ от идеального.
23. Структурные схемы стандартных операционных усилителей (ОУ). Назначение входящих в них каскадов. Отличие двухкаскадной и трехкаскадной модели.
24. Основные параметры операционного усилителя.
25. Работа операционного усилителя (ОУ) с обратной связью. Коэффициент передачи обратной связи, коэффициент усиления ОУ с учетом обратной связи, их связь в идеальном ОУ.
26. Амплитудно-частотная характеристика операционного усилителя (ОУ). Связь коэффициента усиления и полосы пропускания ОУ.
27. Вопросы устойчивости операционных усилителей. Условие устойчивости и внутренняя коррекция.

28. Неинвертирующий усилитель и повторитель на операционном усилителе. Коэффициент усиления, входное и выходное сопротивления. Достоинства и недостатки.
29. Инвертирующий усилитель на операционном усилителе. Коэффициент усиления, входное и выходное сопротивления. Достоинства и недостатки.
30. Преобразователь ток-напряжение на операционном усилителе.
31. Преобразователь напряжение-ток на операционном усилителе. Вольтметр постоянного тока.
32. Сумматоры на операционном усилителе.
33. Аналоговый вычитатель на операционном усилителе.
34. Аналоговые интегратор и дифференциатор на операционном усилителе.
35. Усилитель с регулируемым сдвигом фазы на операционном усилителе.
36. Усилитель с регулируемым коэффициентом усиления на операционном усилителе.
37. Компараторы на операционном усилителе.
38. Логарифмирующий усилитель на операционном усилителе.
39. Активные фильтры: преимущества и недостатки. Основные виды фильтров и их основные характеристики.
40. Порядок фильтра и его влияние на АЧХ и ФЧХ. Добротность фильтра и его влияние на АЧХ.
41. Принципы проектирования активных фильтров. Передаточная характеристика, определение АЧХ и ФЧХ из передаточной характеристики. Методика расчета активных фильтров.
42. Активные низкодобротные фильтры нижних частот 1-ого, 2-ого и 3-ого порядка на операционных усилителях. Схемотехника и АЧХ.
43. Среднедобротный и высокодобротный фильтры нижних частот на операционных усилителях. Схемотехника и АЧХ.
44. Схемотехника среднедобротных фильтров нижних частот 2-ого порядка на операционных усилителях. АЧХ и ФЧХ.
45. Активные низкодобротные фильтры верхних частот 1-ого, 2-ого и 3-ого порядка на операционных усилителях. Схемотехника и АЧХ.
46. Схемотехника среднедобротных фильтров верхних частот 2-ого порядка на операционных усилителях. АЧХ и ФЧХ.
47. Низкодобротный, среднедобротный и высокодобротный полосовые активные фильтры на операционных усилителях. Схемотехника и АЧХ.
48. Среднедобротный полосовой активный фильтр на операционном усилителе. Схемотехника, АЧХ и ФЧХ.
49. Низкодобротный, среднедобротный и высокодобротный режекторные активные фильтры на операционных усилителях. Схемотехника и АЧХ.
50. Среднедобротный режекторный активный фильтр на операционном усилителе. Схемотехника, АЧХ и ФЧХ.
51. Принципы выбора элементов и расчета активных фильтров.
52. Входные каскады операционных усилителей: основные требования, типовые схемы.
53. Выходные каскады операционных усилителей: основные требования, практически схемы.
54. Проблемы повышения степени интеграции. От микро- к нанoeлектронике.



## 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

### Основная учебная литература:

1. Легостаев Н.С. Микросхемотехника. Аналоговая микросхемотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.С. Легостаев, К.В. Четвергов. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. — 238 с. — 978-5-86889-677-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72130.html>
2. Чижма С.Н. Электроника и микросхемотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.Н. Чижма. — Электрон. текстовые данные. — М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. — 359 с. — 978-5-89035-649-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16275.html>
3. Троян П.Е. Микроэлектроника [Электронный ресурс] : учебное пособие / П.Е. Троян. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. — 346 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13947.html>
4. Полевский В.И. Операционные усилители [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.И. Полевский, Е.Г. Касаткина. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 27 с. — 978-5-7782-2310-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45124.html>
5. Линейные усилители и активные фильтры : метод. указ к лаб. работам / Степашкин Владимир Анатольевич, Озеран Светлана Петровна ; РГРТУ. - Рязань, 2014. - 64с.

### Дополнительная учебная литература:

1. Микросхемотехника : Учеб.пособие для вузов / Алексенко Андрей Геннадьевич, Шагурин Игорь Иванович. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1990. - 496с.
2. Ульрих Титце Полупроводниковая схемотехника. Том I [Электронный ресурс] / Титце Ульрих, Шенк Кристоф. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Профобразование, 2017. — 826 с. — 978-5-4488-0052-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63579.html>
3. Ульрих Титце Полупроводниковая схемотехника. Том II [Электронный ресурс] / Титце Ульрих, Шенк Кристоф. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Профобразование, 2017. — 940 с. — 978-5-4488-0059-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63580.html>
4. Сборник задач по электротехнике и электронике [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.В. Бладыко [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2013. — 478 с. — 978-985-06-2287-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20262.html>
5. Водовозов А.М. Основы электроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.М. Водовозов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Инфра-Инженерия, 2016. — 140 с. — 978-5-9729-0137-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/51731.html>
6. Основы микроэлектроники : Учеб.пособие для вузов / Аваев Николай Александрович, Наумов Юрий Евгеньевич, Фролкин Виктор Тихонович. - М.: Радио и связь, 1991. - 288с.
7. Основы микроэлектроники : Учеб.пособие для вузов / Степаненко Игорь Павлович ; Техн.ун-т. - 2-е изд. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. - 488с.
8. Электроника и микросхемотехника : Сб.задач / Скаржепа Владимир Антонович, Сенько Виталий Иванович ; Под ред. Краснопрошиной А.А. - Киев: Выща шк., 1989. - 232с.
9. Микросхемотехника и наноэлектроника : учеб. пособие / Игнатов Александр Николаевич. - СПб. : Лань, 2011. - 528с.
10. Электроника : Учеб. / Щука Александр Александрович ; Под ред. Сигова А.С. - СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 800с.

## **8. Перечень ресурсов информационно–телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для изучения дисциплины**

Обучающимся предоставлена возможность индивидуального доступа к следующим электронно-библиотечным системам.

1 Электронно-библиотечная система «Лань», режим доступа – с любого компьютера РГРТУ без пароля. – URL: <https://e.lanbook.com/>

2 Электронно-библиотечная система «IPRbooks», режим доступа – с любого компьютера РГРТУ без пароля, из сети интернет по паролю. – URL: <https://iprbookshop.ru/>.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

### **9.1. Рекомендации по планированию и организации времени, необходимого для изучения дисциплины**

Рекомендуется следующим образом организовать время, необходимое для изучения дисциплины:

Изучение конспекта лекции в тот же день, после лекции – 10-15 минут.

Изучение конспекта лекции за день перед следующей лекцией – 10-15 минут.

Изучение теоретического материала по учебнику и конспекту – 1 час в неделю.

### **9.2. Описание последовательности действий студента («сценарий изучения дисциплины»)**

При изучении дисциплины очень полезно самостоятельно изучать материал, который еще не прочитан на лекции. Для понимания материала и качественного его усвоения рекомендуется такая последовательность действий:

1). После прослушивания лекции и окончания учебных занятий, при подготовке к занятиям следующего дня, нужно сначала просмотреть и обдумать текст лекции, прослушанной сегодня (10-15 минут).

2). При подготовке к лекции следующего дня, нужно просмотреть текст предыдущей лекции, подумать о том, какая может быть тема следующей лекции (10-15 минут).

В течение недели выбрать время (1-час) для работы с литературой в библиотеке или используя ресурсы информационно–телекоммуникационной сети «Интернет».

### **9.3. Рекомендации по работе с литературой**

Теоретический материал курса становится более понятным, когда дополнительно к прослушиванию лекции и изучению конспекта, изучаются и книги по рассмотренной теме. Литературу по курсу рекомендуется изучать в библиотеке и (или) используя ресурсы информационно–телекоммуникационной сети «Интернет». Полезно использовать несколько учебников по курсу. Рекомендуется после изучения очередного параграфа ответить на несколько простых вопросов по данной теме.

## **10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Для освоения дисциплины необходимы:

1) лекционная аудитория, оборудованная средствами отображения презентаций и других лекционных материалов на экран;

2) классы для проведения практических занятий;

3) лаборатория, оснащенная средствами измерения и генерации сигналов, а также лабораторными макетами для проведения лабораторных работ.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы (квалификация выпускника – специалист, форма обучения – очная).

Программу составил  
старший преподаватель кафедры  
радиотехнических устройств

В.А. Степашкин