

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  В.А. Небольсин

_____/_____/_____
«30» августа 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины (модуля)

«Микроэлектромеханические устройства в радиоэлектронных си-
стемах и комплексах»

Специальность 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Специализация Радиоэлектронные системы передачи информации

Квалификация выпускника Инженер

Нормативный период обучения 5,5 лет

Форма обучения Очная

Год начала подготовки 2017 г.

Автор программы

_____ /Худяков Ю.В./

Заведующий кафедрой
радиоэлектронных устройств
и систем

_____ /Балашов Ю.С./

Руководитель ОПОП

_____ /Балашов Ю.С./

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель изучения дисциплины: изучение общих методов анализа и синтеза устройств на микроэлектромеханических системах (МЭМС) для радиоэлектронных средств (РЭС), систем сотовой телефонии, спутниковой связи, систем GPS, систем контроля ускорений и ориентации движущегося объекта

Задачи освоения дисциплины:

Формирование у студентов знаний по теории проектирования устройств на элементах микроэлектромеханических систем для новейших достижений в этой области, овладения методами расчета и конструирования типовых элементов МЭМС, используемых в радиотехнических системах и компонентах микросистемной техники с применением новейших технологий, а также научиться обоснованно выбирать материалы, корпуса и разрабатывать схемы с устройствами на элементах микроэлектромеханических систем в микронном исполнении.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Микроэлектромеханические устройства в радиоэлектронных системах и комплексах» относится к дисциплинам по выбору блока Б.1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Микроэлектромеханические устройства в радиоэлектронных системах и комплексах» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 - Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальные схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ

ПК-3 - Способен осуществлять проектирование конструкций электронных средств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	Знать: представление согласно требованиям ЕСКД структурных и функциональных схем радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схем радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ

	<p>Уметь: представлять согласно требованиям ЕСКД структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ</p> <p>Владеть: методами представления согласно требованиям ЕСКД структурных и функциональных схем радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схем радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ</p>
ПК-3	<p>Знать: принципы проектирования конструкций радиоэлектронных средств.</p>
	<p>Уметь: использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации.</p>
	<p>Владеть: навыками оформления проектно-конструкторской документации в соответствии со стандартами</p>

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Микроэлектромеханические устройства в радиоэлектронных системах и комплексах»

Основы конструирования и технологии производства РЭС Теплогазоснабжение с основами теплотехники» составляет 7 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		2	3		
Аудиторные занятия (всего)	144	54	90		
В том числе:					
Лекции	54	18	36		
Практические занятия (ПЗ)	18	-	18		
Лабораторные работы (ЛР)	72	36	36		
Самостоятельная работа	72	18	54		
Курсовая работа	-	-	-		
Контрольная работа	-	-	-		
Вид промежуточной аттестации – зачет во втором семестре и экзамен в третьем	36		36		
Общая трудоемкость	час	252	72	180	
	зач. ед.	7	2	5	

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Все го, час
2 семестр							
1	Электромеханические устройства РЭС	Механизмы приводов (находят применение в таких блоках и узлах РЭС, как антенны РЛС, следящие системы, аттенюаторы, системы охлаждения, реле, узлы астройки, отсчетные устройства и т. д.); механизмы настройки (верньеры, редукторы, дифференциалы, мультипликаторы); отсчетные устройства (датчики электромеханические, емкостные, индуктивные, фотоэлектрические, одовые); счетчики, шкалы; записывающие устройства и переключающие устройства; ограничительные механизмы (предохранительные, возврата, граничения скорости, упоры);- установочные механизмы (программные, согласования, кулачковые, выдачи команд); коммутаторы; следящие электромеханические устройства; соединительные элементы соединительные муфты, зубчатые колеса, электромагнитные муфты, стаканы, фланцы); комплектующие (покупные) узлы и элементы (двигатели, тахогенераторы, потенциометры, сельсины, вращающиеся трансформаторы, гироскопы, амортизаторы и др.).Классификация электромеханических устройств по функциональным признакам	2	-	-	2	4
2	Обзор современных МЭМС	Микро Электро Механические Системы или сокращенно МЭМС - это множество микроустройств самых разнообразных конструкций и назначения, производимых сходными методами с использованием модифицированных групповых технологических приемов микроэлектроники. Два объединяющих признака МЭМС: размер, наличие движущихся частей и предназначение к механическим действиям. Понятия сенсоров и актюаторов. Датчики движения: акселерометры и гироскопы. Микроскопические микрофоны. Датчики давления. Микроскопические биодатчики. DLP-проекторы - цифровое микрозеркальное устройство. Зеркала с изменяющейся геометрией. Микрозеркала для коммутации оптоволоконных сетей. Дозаторы краски в струйных принтерах. МЭМС транспортер. Самодвижущиеся МЭМС. МЭМС-турбина для аккумуляторов. Микронасосы. создали Микроскопический паровой двигатель. Оптический затвор. Микроэлектродвигатели на базе электростатических актюаторов и МЭМС трансмиссии. Микрозеркало с изменяемым углом наклона. Мик-	2	-	-	2	4

		ромеханический динамометр. Храповой механизм в микроисполнении. Микроскопическое индексирующее устройство. Пружины для подвески головки винчестера. Гидравлические и пневмо клапаны. Микроинструменты: скальпели и пинцеты для работы с объектами микронных размеров. Микророботы					
3	Физические основы проектирования элементов РЭС с использованием микроэлектромеханических систем.	Понятие электрической цепи. Распространение электромагнитной волны по электрической цепи. Понятие длинной линии. Бегущие и стоячие волны в длинных линиях. Условие использования электрических цепей при квазистационарных электромагнитных процессах. Паразитные параметры как ограничители функциональных возможностей электрической цепи. Распространение акустических волн в твердых телах. Бегущие и стоячие акустические волны. Ограничения размеров твердых тел при передаче СВЧ акустической энергии. Понятие микроэлектроники. Понятие микросистемы и микросистемной техники	2	-	-	2	4
4	Линии связи в микромеханических устройствах	Соединительные проводники как двухпроводная линия. Параметры двухпроводной линии передачи электромагнитной волны. Использование двухпроводной линии для передачи электромагнитной энергии и для обработки электрических сигналов. Паразитные параметры линии передачи.	2	-	4	2	8
5	Резисторы в МЭМС структурах.	Определение и функциональное назначение резисторов. Классификация по функциональному назначению, по виду резистивного материала, конструктивным и эксплуатационным особенностям. Система параметров резисторов постоянного сопротивления. Обобщенная модель конструктивного построения резисторов постоянного сопротивления и электрические эквивалентные схемы. Паразитные параметры резисторов. Варианты конструктивного исполнения несущего основания, резистивного слоя, электрических контактов. Материалы резистивного элемента и физические процессы их электропроводности. Материалы защитных слоев. Материалы электрических контактов и надежность паяных соединений. Герметизация корпусов. Ряды номиналов и допусков. Резисторы специального назначения: варисторы, терморезисторы, фоторезисторы, магниторезисторы и тензорезисторы. Физические принципы функционирования резисторов специального назначения. Функциональное назначение различных резисторов специального назначения. Резисторы переменного сопротивления. Системы параметров. Особенности конструктивного построения. Резисторы как линия передачи электромагнитной энергии. Условие использования резисторов при квазистационарных электромагнитных процессах.	2	-	4	2	8
6	Конденсаторы в МЭМС структурах	Определение и функциональное назначение. Классификация по функциональному назначению, по виду материала диэлектрика, кон-	2	-	12	2	16

		<p>структивным и эксплуатационным особенностям. Система параметров конденсаторов постоянной емкости. Физические процессы в материале диэлектрика. Обобщенная модель конструктивного построения конденсаторов постоянной емкости и электрические эквивалентные схемы. Паразитные параметры. Варианты конструктивного исполнения диэлектрических прокладок, корпусных элементов, основания, обкладок конденсатора, внутренних электрических соединений и внешних электрических контактов. Материалы диэлектрических прокладок, корпусных элементов, основания, обкладок конденсатора и внутренних электрических соединений. Материалы защитных слоев. Материалы электрических контактов и надежность паяных соединений. Герметизация корпусов. Влияние внешних дестабилизирующих факторов на основные электрические, конструктивные и технологические параметры конденсаторов постоянной емкости. Ряды номиналов и допусков. Конденсаторы переменной емкости: подстроечные конденсаторы, варикапы и вариконды. Физические принципы функционирования. Функциональное назначения. Системы параметров. Конструктивное построение подстроечных конденсаторов, варикапов и варикондов. Конденсаторы в микроисполнении как элемент частного применения. Типовое конструктивное исполнение МЭМС постоянного конденсатора. Емкость плоско-параллельного конденсатора с учетом краевых эффектов. Влияние непараллельности электродов на характеристики микромеханических конденсаторов. МЭМС- переменные конденсаторы, управляемые напряжением: с параллельными электродами; с цифровым управлением; с диэлектрической изоляцией; трехэлектродный; с бамперным элементом; с прогибающим электродом; с планарным расположением неподвижной обкладки конденсатора и управляющего электрода; вакуумированный; с переменным диэлектриком; гребенчатый; с дискретной перестройкой емкости.</p>					
7	Катушки индуктивности в МЭМС структурах	<p>Определение и функциональное назначение. Классификация катушек по разным признакам. Система параметров катушек индуктивности. Катушки индуктивности с сердечниками из ферромагнитных материалов. Экранирование катушек индуктивности. Совершенствование альтернативных устройств частотной селекции. Области применения моточных изделий в различных функциональных узлах современных приборов. Унифицированные ряды высокочастотных катушек индуктивности. Обобщенная модель конструктивного построения катушек индуктивности и электрические эквивалентные схемы. Паразитные параметры. Варианты конструктивного исполнения сердечников,</p>	2	-	16	2	20

		<p>каркасов, обмотки, корпусных элементов, экранов, внутренних электрических соединений и внешних электрических контактов. Материалы сердечников, каркасов, обмотки, корпусных элементов, экранов, внутренних электрических соединений. Материалы защитных слоев. Материалы электрических контактов и надежность паяных соединений. Герметизация корпусов. Влияние внешних дестабилизирующих факторов на основные электрические, конструктивные и технологические параметры катушек индуктивности. Ряды номиналов и допусков. Феррорвариометры с электрическим управлением. Принцип электрического управления индуктивностью катушки с ферритовым сердечником. Функциональное назначения. Система параметров. Конструктивное построение феррорвариометров. Планарные МЭМС катушки индуктивности. Недостатки планарных катушек индуктивностей. Объемные МЭМС катушки индуктивности с воздушным зазором и цилиндрической обмоткой. Планарные и объемные МЭМС катушки индуктивности с сердечниками. Плоские микрокатушки, подвешенные над подложкой. Многоуровневой катушки индуктивности из меандров. Многослойная ферромагнитная интегрированная МЭМС катушка индуктивности. Спиральная микрокатушка индуктивности с замкнутым сердечником. Объединения МЭМС-катушек индуктивности на одном кристалле для увеличения коэффициента усиления, рассеяние мощности и снижения фазовых шумов.</p>					
8	Коммутационные устройства в МЭМС структурах	<p>Коммутационные устройства. Классификации коммутационных устройств. Методы соединения двух проводников. Физические процессы при непосредственном контакте двух проводников. Соединение двух проводников при помощи электронных ключей. Коммутация с механическим и электромеханическим приводом. Электромеханические параметры коммутационных устройств с механическим и электромеханическим приводом. Паразитные параметры. Электронные аналоги различных типов механических и электромеханических коммутационных устройств. Поликристаллический кремний - исходный материал для создания микромеханических ключей. Электростатические, магнитные или электромагнитные микромеханические ключи. Структура МЭМС-ключа. Режимы работы МЭМС-ключа: нормальный и инверсный. Гистерезисная характеристика МЭМС-ключей с электростатической активацией. Проблема залипания подвижных частей. МЭМС-ключи контактные («металл – металл» или «жидкость – металл») и с емкостным замыканием цепи. Сравнительные характеристики переключения МЭМС-ключей, пин-диодов и полевых транзисторов.</p>	2	-	-	2	4

9	МЭМС фильтры	Фильтры электрических сигналов.. Определение. Классификация по виду АЧХ: ФВЧ, ФНЧ, полосовой, режекторный, адападизированный и адаптировный. Способы реализации частотной селекции. Резонансные явления в электрических цепях с сосредоточенными и распределенными параметрами. Параметры. Электрические схемы различных по АЧХ фильтров на дискретных RLC-радиоэлементах Особенности конструкции таких фильтров. Аperiodические частотно-избирательные цепи. Активные фильтры. Трансверсальные фильтры.. Понятия о дискретных, цифровых и фильтров на ПЗС. Комбинированные методы. Конструкции электрических фильтров на элементах с распределенными параметрами. МЭМС фильтры на катушках индуктивности и конденсаторах. Способы перестройки фильтров. МЭМС фильтры на элементах с распределенными параметрами. Диэлектрические МЭМС резонаторы. Электромеханические фильтры в МЭМС исполнении. Классификация механических колебаний. Механические колебательные системы с сосредоточенными и распределенными параметрами. Моды поперечных колебаний нагруженной струны в зависимости от степени свободы. Моды колебания мембран. Молы колебаний стержня и пластины. Резонансные явления в твердых телах. Понятие об устройствах функциональной электроники (УФЭ). Конструкции ЭМФ и пьезофильтров. Фильтры на ПАВ. Механические резонаторы как основа МЭМС фильтров.	2	-	-	2	4
Итого за 2 семестр			18	-	36	18	72
3 семестр							
№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Сенсоры	Понятие сенсор в микросистемах. Классификация сенсоров. Активные и пассивные сенсоры. Объемные, мембранные, балочные и струнные сенсоры. Емкостные чувствительные элементы. Примеры емкостных датчиков. Достоинства и недостатки емкостных сенсоров. Пьезоэлектрические чувствительные элементы. Примеры пьезоэлектрических датчиков. Достоинства и недостатки пьезоэлектрических сенсоров. Резонансные чувствительные элементы. Примеры резонансных чувствительных элементов. Достоинства и недостатки резонансных чувствительных элементов.	2	2	-	2	6
2	Актуаторные элементы микросистемной техники.	Актуаторные элементы микросистемной техники: термоактуатор, термопневматический актуатор, пьезоэлектрический актуатор, электростатический актуатор, магнитный актуатор. Электростатические воздушные планарные микродвигатели. Электростатические диэлектрические планарные микродвигатели.	2		4	4	10

		Пьезоэлектрические микродвигатели.					
3	Построение МЭМС - структуры для переключательных емкостей.	Построение МЭМС - структуры для переключательных емкостей. Моделирование фильтра с переключательными емкостями. МЭМС-схемы, основанные на варакторе. МЭМС-варакторы, построенные двумя различными способами: в виде двух параллельно расположенных пластин или в виде встречно-штыревой структуры. Методы расчета и особенности проектирования таких варакторов. Применение варакторов для настройки схем: в различных согласующих схемах и ГУН	2	2		4	8
4	Расчет, моделирование и сравнение микропереключателей.	Расчет, моделирование и сравнение микропереключателей. Схемы, представляющие МЭМС-переключатели. МЭМС- коммутатор и его применение в преселекторе приемника радиочастотных сигналов.	2		4	2	8
5	МЭМС -схемы на микрообработанных объемных резонаторах.	МЭМС - схемы на микрообработанных объемных резонаторах, повышение добротности Q объемного резонатора. Использование МЭМС - объемных резонаторов в традиционных схемах и приложениях: схем генераторов, ГУН и фильтров.	2	2		3	11
6	Микроэлектромеханические системы для избирательных устройств.	Микроэлектромеханические системы для избирательных устройств, дисковые резонаторы. МЭМС-резонаторы с ограничителем и поперечной вибрацией балочного упругого элемента. Двухпортовые емкостно-управляемые МЭМС -резонаторы с ограничителем и их параметры.	2		4	3	9
7	Микрорезонаторы	Микрорезонаторы со свободно колеблющимися концами резонирующего элемента в поперечной плоскости. Резонаторы с продольной вибрацией упругого элемента.	2	2		3	7
8	Резонаторные МЭМС фильтры.	Резонаторные МЭМС фильтры. Их характеристики и модели при проектировании. Основные параметры фильтров на МЭМС-структурах	2		4	3	9
9	Линии передач.	Линии передач. Расчетные уравнения. Влияние толщины проводящей полоски на СВЧ характеристики. Потери в микрополосковой линии. Копланарные линии передач. Экранированные линии передач и линии передач опирающиеся на мембраны. Линии передачи на МЭМС-структурах: микрополосковая линия, размещенная на диэлектрической мембране, копланарная экранированная линия передачи, копланарный волновод с травлением по верхнему слою, микромеханический волновод. Компоненты волноводов в микросистемах. Направленные ответвители в микросистемах Линии передачи для дуплексов.	2	2		4	8
10	Структурные схемы МЭМС приемопередатчиков.	. Структурные схемы МЭМС приемопередатчиков. Первый вариант схемы, использующей МЭМС настраиваемый фильтр в входной цепи и набор среднечастотных МЭМС фильтров для промежуточных частот. Основные параметры и снижение требований на динамический диапазон. Второй вариант схемы, использующий МЭМС-	2		4	4	10

		коммутатор для переключения набора акустических резонансных фильтров, упрощающий систему из-за используемого при этом фиксированного первого гетеродина и расширение динамического диапазона. Третий вариант схемы, использующей МЭМС-коммутатор для выбора полосы приема, осуществляется матрицей коммутируемых фильтров со схемами согласования. Основные параметры и снижение требований на динамический диапазон.					
11	Чувствительные элементы на ПАВ.	Чувствительные элементы на ПАВ. Принцип действия фильтров на ПАВ. Распространение волн в пьезоэлектрических подложках. Разработка встречно-штыревых преобразователей. Устройства на ПАВ. Фильтры промежуточных частот на ПАВ. Фильтры на объемных акустических волнах. Конструкции фильтра лестничного типа.	2	2		2	6
12	Датчики, гироскопы и акселерометры.	Датчики, гироскопы и акселерометры. Принцип действия МЭМС-гироскопов и акселерометров. Основные параметры и характеристики. Схема включения гироскопа. Конструкция МЭМС-гироскопа камертонного типа. Расчет и моделирование основных параметров дифференциального емкостного МЭМС-акселерометра. Конструкция МЭМС-акселерометра. Схема включения акселерометра. Структура трехосевого гироскопа-акселерометра. Принцип действия вращательного вибрационного гироскопа. Особенности построения датчиков, акселерометров и гироскопов на ПАВ-структурах. Датчик перемещения с электрической обратной связью. Емкостный преобразователь перемещений в составе интегрального акселерометра.	2		4	4	10
13	Структура и основные параметры пьезоэлектрических резонаторов выполненных по толстопленочной технологии.	Структура и основные параметры пьезоэлектрических резонаторов выполненных по толстопленочной технологии FBAR (Film Bulk Acoustic wave Resonator) для частот нескольких ГГц. Особенности построения FBAR-резонатора, состоящего из слоя пьезоэлектрического материала (нитрида алюминия), расположенного между верхним и нижним электродами. Методы расчета и проектирования. Построение резонаторных фильтров с малыми потерями для входных цепей приемопередатчиков на основе резонаторов FBAR.	2	2		2	6
14	Микрофазовращатели.	Микрофазовращатели. Разновидности фазовращателей и их ограничения. Распределенные микрофазовращатели. Распределенные конденсаторы с параллельными пластинами. Двухсторонние гребенчатые фазовращатели. Емкостные гребенчатые фазовращатели. Применение фазовращателей.	2		4	2	8
15	Микроантенны.	Микроантенны. Основные характеристики микрополосковых антенн. Расчет параметров микрополосковых антенн. Способы улучшения параметров микрополосковых антенн. Процесс изготовления микроантенн. Микроантенны с переменной конфигурацией.	2	2		4	8

16	Интеграция СВЧ МЭМС - структур и новые архитектуры.	Интеграция СВЧ МЭМС- структур и новые архитектуры. Структурные схемы в таких изделиях, как сотовые телефоны, радиосети, радары, системы передачи данных на базе стандарта Bluetooth и устройствах позиционирования на местности, системах GPS, антенны с управляемой диаграммой направленности и спутниковая связь. Увеличение степени интеграции СВЧ-компонентов и создание новых архитектур, направленных на выполнение современных требований по увеличению мощности портативных средств связи, получения встраиваемых в кристалл коммутаторов сигналов с нулевым потреблением в состоянии покоя, мощностью переключения на уровне единиц нДж и напряжением срабатывания менее 5 В;	2		4	2	8
17	МЭМС-микрофоны Оптические коммутаторы.	МЭМС-микрофоны как с аналоговым, так и с цифровым выходом, основные параметры и амплитудно-частотные характеристики. Оптические коммутаторы для оптоволоконных телекоммуникационных систем, микроактюаторы.	2	2		1	5
18	Технологии изготовления МЭМС-структур.	Технологии изготовления МЭМС-структур. Объемная микрообработка, поверхностная микрообработка и так называемая технология LIGA. Корпусирование МЭМС-устройств	2		4	5	11
19	Контроль						36
Итого за 3 семестр			36	18	36	54	180
Итого			54	18	72	72	252

5.2 Перечень практических занятий

№ п/п	Тема практического занятия	Объем часов	Виды контроля
1	Расчет емкости плоско-параллельного конденсатора с учетом краевых эффектов	2	Устный опрос
2	Влияние непараллельности электродов на характеристики микромеханических конденсаторов	2	Устный опрос
3	МЭМС-ключи и коммутаторы	2	Устный опрос
4	Сравнительный анализ МЭМС-ключей, пин-диодов и полевых транзисторов	2	Устный опрос
5	МЭМС- конденсаторы, управляемые напряжением	2	Устный опрос
6	МЭМС- индуктивные элементы	2	Устный опрос
7	Микромеханический резонатор	2	Устный опрос
8	Объемный акустический резонатор на МЭМС структурах	2	Устный опрос
9	МЭМС-генераторы	2	Устный опрос
	Итого часов	18	

5.3 Перечень лабораторных работ

№ п/п	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Виды контроля
1	Исследование стационарных и переходных процессов в цепях, содержащих конденсаторы	4	Отчет
2	Исследование стационарных и переходных процессов в цепях, содержащих катушку индуктивности	4	Отчет
3	Исследование статистических параметров дискретных компонентов массового применения	4	Отчет
4	Исследование катушек переменной индуктивности	4	Отчет
5	Исследование резисторов переменного сопротивления	4	Отчет
6	Исследование конденсаторов переменной емкости	4	Отчет
7	Исследование катушек индуктивности ч.1	4	Отчет
8	Исследование катушек индуктивности ч.2	4	Отчет
9	Исследования температурной стабильности конденсаторов и катушек	4	Отчет
Итого за 2 семестр		36	
1	Статический анализ элементов микросистемной техники в программе ANSYS	4	Отчет
2	Модальный анализ элементов микросистемной техники в программе ANSYS	4	Отчет
3	Гармонический анализ элементов микросистемной техники в программе ANSYS	4	Отчет
4	Анализ тепловых процессов элементов микросистемной техники в программе ANSYS	4	Отчет
5	Моделирование течения жидкости в капилляре микролаборатории-на-кристалле в программе ANSYS	4	Отчет
6	Создание электрической модели проекта для двумерного электростатического анализа элементов микросистемной техники в программе ANSYS	4	Отчет
7	Создание механической модели проекта для двумерного электростатического анализа элементов микросистемной техники в программе ANSYS	4	Отчет
8	Решение связанной задачи электростатического анализа для двумерного электростатического анализа элементов микросистемной техники в программе ANSYS	4	Отчет
9	Трехмерный электростатический анализ элементов микросистемной техники в программе ANSYS	4	Отчет
Итого часов за 3 семестр		36	
Итого часов		72	

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Учебным планом не предусмотрен.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

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

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-2	Знать: представление согласно требованиям ЕСКД структурных и функциональных схем радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схем радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	Активная работа на практических занятиях, вовремя выполняет и отчитывается по лабораторным работам	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: представлять согласно требованиям ЕСКД структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	Решение стандартных практических задач, верные ответы при защите отчета по лабораторным работам	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть: методами представления согласно требованиям ЕСКД структурных и функциональных схем радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, верные выводы по результатам экспериментальных данных лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	схем радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ			
ПК-3	Знать принципы проектирования конструкций радиоэлектронных средств.	Активная работа на практических занятиях, вовремя выполняет и отчитывается по лабораторным работам	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации.	Решение стандартных практических задач, верные ответы при защите отчета по лабораторным работам	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками оформления проектно-конструкторской документации в соответствии со стандартами	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, верные выводы по результатам экспериментальных данных лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются во 2 семестре по системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	аттестован	неаттестован
ПК-2	Знать: представление согласно требованиям ЕСКД структурных и функциональных схем радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схем радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	Тест	В тесте более 70% правильных ответов	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь: представлять согласно требованиям ЕСКД структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	Тест	В тесте более 70% правильных ответов	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть: методами представления согласно требованиям ЕСКД структурных и функциональных схем радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схем радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	Тест	В тесте более 70% правильных ответов	В тесте менее 70% правильных ответов
ПК-3	Знать принципы проектирования конструкций радиоэлектронных средств.	Тест	В тесте более 70% правильных ответов	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации.	Тест	В тесте более 70% правильных ответов	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть навыками оформления проектно-конструкторской документации в соответствии со стандартами	Тест	В тесте более 70% правильных ответов	В тесте менее 70% правильных ответов

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 3 семестре по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;
«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ПК-2	Знать: представление согласно требованиям ЕСКД структурных и функциональных схем радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схем радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь: представлять согласно требованиям ЕСКД структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть: методами представления согласно требованиям ЕСКД структурных и функциональных схем радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальных схем радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
ПК-3	. Владеть навыками оформления проектно-конструкторской документации в соответствии со стандартами.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	Владеть навыками оформления проектно-конструкторской документации в соответствии со стандартами	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
--	---	------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	--------------------------------------

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. В качестве материала полупроводникового слоя в электронно- акустическом устройстве используют:

- а) кремниевые монокристаллы p-типа;
- б) CdS, CdSe;
- в) металлы;
- г) кремниевые монокристаллы n-типа.

2. В чем заключается трудность практической реализации эффекта усиления объемных акустических волн дрейфовым потоком электронов?

- а) в быстром джоулевым перегреве усилителя;
- б) в высокой скорости движения акустических волн с звукопроводе;
- в) в сложности возбуждения акустическ волн;
- в) в затухании амплитуды акустических волн.

3. Акустическая волна в электронно- акустическом устройстве на поверхностных волнах возбуждается:

- а) встречно-штырьевым преобразователем;
- б) во входном пьезопреобразователе при подаче на вход переменного напряжения;
- в) движением электронов в звукопроводе;
- г) разностью потенциалов на границе пьезоэлектрика и полупроводника.

4. Главное достоинство электронно- акустических устройств поверхностного типа состоит в:

- а) простоте возбуждения ПАВ;
- б) использовании ПАВ вместо ОАВ;
- в) возможности использования разных материалов пьезоэлектрика и полупроводника;
- г) использовании одинаковых материалов пьезоэлектрика и полупроводника.

5. В качестве материала полупроводникового слоя в электронно- акустических устройствах используют:

- а) кремниевые монокристаллы р-типа;
- б) CdS, CdSe;
- в) металлы;
- г) кремниевые монокристаллы n-типа.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Из каких трех основных частей состоит радиопередатчик?

- а) генератор, модулятор, антенна;
- б) радиочастотный тракт, антенна, модулятор;
- в) радиочастотный тракт, модулятор, источник электропитания;
- г) манипулятор, гальваническая батарея, антенна;
- д) модулятор, манипулятор, генератор.

2. Устройством предназначенным для генерации радиочастотных колебаний и управлений или с целью передачи информации без использования проводных каналов является?

- а) модулятор;
- б) генератор;
- в) антенна;
- г) фидер;
- д) радиопередатчик.

3. По диапазону используемых частот РРЛС могут быть:

- а) дециметрового;
- б) миллиметрового;
- в) нет правильного ответа;
- г) сантиметрового;
- д) все выше перечисленное.

4. Основные части радиопередатчика:

- а) генератор;
- б) модулятор;
- в) источники электропитания;
- г) все выше перечисленное;
- д) нет верного ответа.

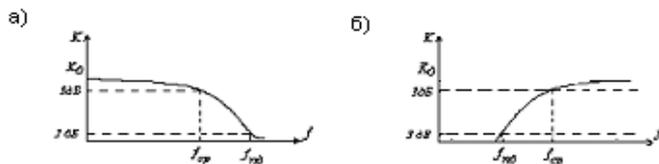
5. Какое устройство должно усилить принятый сигнал

и выделить модулирующее напряжение?

- а) передатчик;
- б) приемник;
- в) усилитель;
- г) ретранслятор;
- д) фидер.

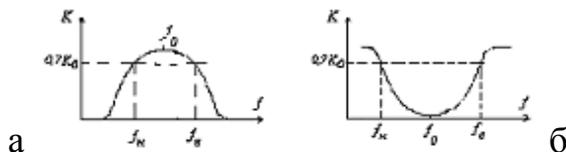
7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. По графикам АЧХ, определите к каким фильтрам они относятся:



- а) а- низких частот, б-высоких частот;
- б) а- высоких частот, б- низких частот;
- в) а- заграждающий фильтр, б- полосовой фильтр;
- г) а- полосовой фильтр, б- заграждающий фильтр;

2. По графикам АЧХ, определите к каким фильтрам они относятся:



- а) а- полосовой фильтр, б- режекторный фильтр;
- б) а- заграждающий фильтр, б- полосовой фильтр;
- в) а- низких частот, б-высоких частот;
- г) а- высоких частот, б- низких частот.

3. В режекторном фильтре если полоса подавления узкая $f_{нд}$, то такой фильтр принято называть:

- а) фильтр-пробкой;
- б) фильтр-машлера;
- в) фильтр высоких частот;
- г) фильтр низких частот.

4. Достоинства активных фильтров:

- а) возможность увеличения каскадов фильтра для улучшения АЧХ;
- б) используются только конденсаторы и резисторы;
- в) усиление отфильтрованного сигнала;
- г) все перечисленное.

5. Недостатки активных фильтров:

- а) наличие источника питания; рабочий диапазон частот ограничен максимальной рабочей частотой ОУ;
- б) относительно дорогие;
- в) крупногабаритность;
- г) рабочий диапазон частот неограничен максимальной рабочей частотой ОУ.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

- 1 Понятие катушки индуктивности
- 2 Физическая природа индуктивности и индуктивного сопротивления
- 3 Токопровод – основной элемент катушки индуктивности. Соотношение геометрической формы токопроводов и их индуктивности
- 4 Классификации катушек индуктивности
- 5 Общее конструктивное построение катушек индуктивностей
- 6 Виды обмоток катушек индуктивности
- 7 Типы намотки токопроводов катушек индуктивности
- 8 Магнитные материалы. Основные свойства высокочастотных магнитных материалов
- 9 Основные параметры магнитных сердечников катушек индуктивности
- 10 Конструкции сердечников катушек индуктивности
- 11 Основные параметры катушек индуктивности
- 12 Начальная, действующая и номинальная индуктивности
- 13 Эквивалентная схема реальной катушки индуктивности, и влияние паразитных параметров на частотный диапазон использования катушек
- 14 Конструктивные методы снижения собственной емкости катушки. Каркасы катушек индуктивности
- 15 Сопротивление потерь в токопроводе катушек индуктивности
- 16 Потери в сердечнике катушек индуктивности
- 17 Диэлектрические потери в катушках индуктивности
- 18 Потери в катушках индуктивности на вихревые токи
- 19 Температурная стабильность катушек индуктивности
- 20 Плоскостные МЭМС катушки индуктивности
- 21 Объемные МЭМС катушки индуктивности
- 22 Свободные колебания в контуре

- 23 Вынужденные колебания в контуре. Резонансные явления.
- 24 Последовательный колебательный контур. Резонанс напряжений. Векторная диаграмма и основные характеристики. Резонансные кривые последовательного контура.
- 25 Параллельный колебательный контур. Резонанс токов. Векторная диаграмма и основные характеристики. Резонансные кривые параллельного контура
- 26 Связанные колебательные контуры/ Виды связи между контурами. АЧХ двухконтурной системы связанных контуров в зависимости от степени связи.
- 27 Электрические фильтры. Применение тех или иных фильтров в разных диапазонах частот
28. Классификация электрических фильтров по расположению полосы пропускания на частотной шкале
29. Фильтры сосредоточенной избирательности. Основные параметры фильтров
30. Фильтры первого порядка. RC-фильтры. Примеры различных RC-фильтров
31. RL-фильтры. Примеры различных RL-фильтров
- 32 Последовательное включение RC-фильтров
- 33 Фильтры второго порядка типа «К». Согласованный фильтр типа «К» на Г-образной LC цепочке.
- 34 Векторная диаграмма согласованного фильтра низкой частоты типа «К» на Г-образной LC цепочке. Основной недостаток этих фильтров.
- 35 Принцип синтеза Т-образных звеньев из Г-образных звеньев типа «К». Входные и выходные сопротивления таких фильтров.
36. Фильтры типа “М”.
37. Трансверсальные фильтры.
38. Понятие длинной линии
39. Режимы работы длинных линий
40. Входные сопротивления отрезков длинных линий в режиме стоячих волн
41. Резонаторы в виде отрезков регулярных линий передачи
42. Общие свойства объемных резонаторов
43. Диэлектрические резонаторы
44. Классификация механических колебаний
45. Упругие колебания механических систем с одной степенью свободы
46. Механические системы с распределенными параметрами
47. Распространения периодических механических возмущений в геометрически ограниченных средах.
48. Колебание струны
49. Бегущая поперечная волна по струне при отсутствии затухания
50. Стоячая волна в струне при отсутствии затухания
51. Свободные колебания в струне

52. Колебание мембран
53. Поперечные колебания стержня и пластины
54. Колебания круглой пластины
55. Электромеханические фильтры (ЭМФ)
56. Преобразователи электрических сигналов в их механические аналоги и обратно
57. Природа пьезоэффекта. Прямой и обратный пьезоэффект.
58. Пьезоэлектрические резонаторы . Принцип работы. Классификация
59. Основными параметрами пьезоэлектрических резонаторов
60. Основные типы резонаторов
- 61 АЧХ и эквивалентная схема пьезорезонатора
- 62 Пьезоэлектрические фильтры
- 63 Пьезомеханические фильтры
64. Резонаторы на ПАВ

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Микроэлектроника и микросистемная техника
2. Физические основы проектирования элементов с использованием микроэлектромеханических систем.
3. Современные тенденции развития элементной базы микросистемной техники.
4. Классификация компонентов микросистем по функциональному назначению
5. Классификация компонентов микросистем по принципу действия.
6. Классификация компонентов микросистем по иерархической структуре
7. Классификация компонентов микросистем по физической природе функционирования преобразования энергии.
8. Типы преобразователей.
9. Сенсорные элементы микросистемной техники.
10. Классификация сенсоров по различным признакам.
11. Характеристики сенсоров.
12. Микромеханические сенсоры.
13. Эффект Зеебека. Эффект Томсона. Эффект Пельтье. Термоэлектрические сенсоры.
14. Оптические сенсоры и датчики на их основе. Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы.
15. Датчики светового потока и оптического поглощения.
16. Датчики смещения и положения на основе оптических сенсоров.
17. Магнитоэлектрические сенсоры. Индуктивные преобразователи.
18. Датчики магнитного поля на эффекте Холла
19. Магниторезисторы.
20. Магнитодиоды.

21. Магнитотранзисторы.
22. Физическая природа индуктивности.
23. Факторы, влияющие на индуктивность катушки.
24. Катушки индуктивности как ключевые элементы резонансных контуров.
25. Основные параметры катушек индуктивности.
26. Самоиндукция и взаимная индукция.
27. Уменьшение паразитной емкости планарных катушек индуктивности.
28. Потери в катушках индуктивности.
29. Способы улучшения добротности катушки индуктивности.
30. Планарные (плоские) индуктивные элементы, выполненные по МЭМС –технологии.
31. Моделирование и расчет планарных катушек индуктивности.
32. Спиральные катушки индуктивности и их расчет.
33. Объемные катушки индуктивности.
34. Катушки в виде соленоида, выполненные по МЭМС – технологии.
35. Однослойные обмотки с шагом и их расчет.
36. Переменные катушки индуктивности.
37. Катушки индуктивности на основе полимеров.
38. Объединения МЭМС-катушек индуктивности на одном кристалле для увеличения коэффициента усиления, рассеяние мощности и снижения фазовых шумов.
39. Микромеханические приводы движения. Актюаторные элементы микросистемной техники.
40. Термоактюатор.
41. Термопневматический актюатор.
42. Пьезоэлектрический актюатор.
43. Электростатический актюатор.
44. Магнитный актюатор.
45. Электростатические воздушные планарные микродвигатели.
46. Электростатические диэлектрические планарные микродвигатели.
47. Пьезоэлектрические микродвигатели.
48. Построение МЭМС - структуры для переключательных емкостей.
49. Использование МЭМС коммутаторов в преселекторных трактах.
50. Использование коммутаторов для фильтрации узкополосных сигналов.
51. Реализация МЭМС фильтра с переключаемыми емкостями.
52. Конденсаторы с регулируемым зазором.
53. Моделирование фильтра с переключаемыми емкостями.
54. Конденсаторы с регулируемой площадью пластин.
55. Конденсаторы с регулируемой диэлектрической проницаемостью.

56. Моделирование фильтра с переключательными емкостями.
57. МЭМС-схемы, основанные на варакторе.
58. МЭМС-варакторы, построенные двумя различными способами: в виде двух параллельно расположенных пластин или в виде встречно-штыревой структуры.
59. Методы расчета и особенности проектирования таких варакторов.
60. Применение варакторов для настройки схем: в различных согласующих схемах и ГУН.
61. Три основные группы МЭМС-генераторов.
62. Микрореле и коммутаторы.
63. Расчет, моделирование и сравнение микропереключателей.
64. Схемы, представляющие МЭМС-переключатели.
65. МЭМС- коммутатор и его применение в преселекторе приемника радиочастотных сигналов.
66. Эквивалентная схема МЭМС – коммутатора.
67. Анализ эффекта коммутации.
68. Применение МЭМС – переключателей.
69. Микрорезонаторы.
70. МЭМС - схемы на микрообработанных объемных резонаторах.
71. Повышение добротности Q объемного резонатора.
72. Использование МЭМС - объемных резонаторов в традиционных схемах и приложениях: схем генераторов, ГУН и фильтров.
73. Микроэлектромеханические системы для избирательных устройств, дисковые резонаторы.
74. МЭМС-резонаторы с ограничителем и поперечной вибрацией балочного упругого элемента.
75. Двухпортовые емкостно-управляемые МЭМС -резонаторы с ограничителем и их параметры.
76. Микрорезонаторы со свободно колеблющимися концами резонирующего элемента в поперечной плоскости.
77. Резонаторы с продольной вибрацией упругого элемента.
78. Резонаторные МЭМС фильтры.
79. Характеристики МЭМС фильтров и модели при проектировании.
80. Основные параметры фильтров на МЭМС- структурах.
81. Линии передач. Определение, принцип функционирования.
82. Микрополосковые линии.
83. Типы волн в микрополосковых линиях.
84. Характеристики микрополосковых линий.
85. Расчетные уравнения для микрополосковых линий.
86. Связанные микрополосковые линии.
87. Материалы подложек и проводников микрополосковых линий.
88. Влияние толщины проводящей полоски на СВЧ характеристики.
89. Потери в микрополосковой линии.
90. Резистор как элемент микрополосковой линии.

91. Конденсатор как элемент микрополосковой линии.
92. Копланарные линии передач.
93. Микрополосковые линии на МЭМС-структурах.
94. Микрополосковые линии на МЭМС-структурах, размещенная на диэлектрической мембране.
95. Микрополосковая копланарная экранированная линия передачи.
96. Экранированные линии передач и линии передач опирающиеся на мембраны.
97. Компоненты волноводов в микросистемах.
98. Копланарный волновод с травлением по верхнему слою.
99. Микромеханический волновод.
100. Виды направленных ответвителей.
101. Условия полного согласования всех плеч направленного ответвителя.
102. Основные характеристики и параметры направленного ответвителя.
103. Волноводные направленные ответвители.
104. Коаксиальные и полосковые направленные ответвители
105. Направленные ответвители в микросистемах.
106. Линии передачи для дуплексеров.
107. Микрополосковые фильтры.
108. Топология некоторых типов микрополосковых фильтров.
109. Структурные схемы МЭМС для приемопередатчиков.
110. Схемы, использующей MEMS -коммутатор для выбора полосы приема, осуществляется матрицей коммутируемых фильтров со схемами согласования.
111. Схемы, использующие МЭМС-коммутаторы для переключения набора акустических резонансных фильтров, упрощающих систему из-за используемого при этом фиксированного первого гетеродина и расширение динамического диапазона.
112. Схемы, использующей MEMS настраиваемый фильтр в входной цепи и набор среднечастотных MEMS фильтров для промежуточных частот.
113. Основные параметры МЭМС для приемопередатчиков и снижение требований на динамический диапазон.
114. Однокристалльные приемопередатчики для ближней радиосвязи.
115. Функциональная схема однокристалльного приемопередатчика.
116. Эквивалентная схема и характеристики кварцевого частотного модулятора.
117. Применение МЭМС-конденсатора управляемого напряжением в кварцевом частотном модуляторе.
118. Трансверсальные фильтры.
119. Устройства на ПАВ.
120. Чувствительные элементы на ПАВ. Принцип действия фильтров на ПАВ. Распространение волн в пьезоэлектрических подложках.

121. Потери на преобразование и распространение в фильтрах на ПАВ.
122. Разработка встречно-штыревых преобразователей.
123. Самосогласованные кольцевые фильтры на ПАВ с малыми потерями.
124. Охарактеризуйте эквивалентные схемы одноходового и двухходового резонаторов.
125. Определение длины и ширины звукопровода двухходового резонатора.
126. Фильтры на объемных акустических волнах.
127. Г-образные элементарные звенья— основа лестничных фильтров. Прямые и обратные Г-образные элементарные звенья.
128. Конструкции фильтра ПАВ лестничного типа.
129. Фильтры промежуточных частот на ПАВ.
130. Распределенные микрофазовращатели.
131. Разновидности фазовращателей и их ограничения. микрофазовращатели.
132. Полимерные фазовращатели.
133. Распределенные микрофазовращатели с параллельными пластинами.
134. Двухсторонние гребенчатые фазовращатели.
135. Емкостные гребенчатые фазовращатели. Применение фазовращателей.
136. Датчики, гироскопы и акселерометры.
137. Вибрационные микромеханические гироскопы LL-типа.
138. Вибрационные микромеханические гироскопы RR-типа.
139. Микромеханические гироскопы волнового типа.
140. Принцип действия МЭМС-гироскопов и акселерометров.
141. Основные параметры и характеристики МЭМС-гироскопов и акселерометров.
142. Схема включения гироскопа.
143. Конструкция МЭМС - гироскопа камертонного типа.
144. Расчет и моделирование основных параметров дифференциального емкостного МЭМС-акселерометра.
145. Конструкция МЭМС - акселерометра.
146. Микро- акселерометры и гироскопы на поверхностных акустических волнах.
147. Схема включения акселерометра на поверхностных акустических волнах.
148. Структура трехосевого гироскопа-акселерометра.
149. Принцип действия вращательного вибрационного гироскопа.
150. Датчик перемещения с электрической обратной связью.
151. Емкостный преобразователь перемещений в составе интегрального акселерометра.

152. Структура трехосевого гироскопа-акселерометра. Схема включения акселерометра.
153. Принцип действия вращательного вибрационного гироскопа.
154. Структура и основные параметры пьезоэлектрических резонаторов выполненных по толстопленочной технологии FBAR.
155. Особенности построения FBAR-резонатора, состоящего из слоя пьезоэлектрического материала (нитрида алюминия), расположенного между верхним и нижним электродами.
156. Построение резонаторных фильтров с малыми потерями для входных цепей приемопередатчиков на основе резонаторов FBAR.
157. Микрофазовращатели. Разновидности фазовращателей и их ограничения
158. Распределенные микрофазовращатели.
159. Распределенные конденсаторы с параллельными пластинами.
160. Двухсторонние гребенчатые фазовращатели.
161. Емкостные гребенчатые фазовращатели.
162. Применение фазовращателей.
163. Микроантенны. Основные характеристики микрополосковых антенн.
164. Расчет параметров микрополосковых МЭМС-антенн.
165. Способы улучшения параметров микрополосковых антенн.
166. Процесс изготовления микроантенн.
167. Микроантенны с переменной конфигурацией.
168. Перестраиваемые антенны на основе отражательных антенн с одним управляющим приводом или блоком смещающих механизмов.
169. Перестраиваемые антенны на основе управления относительной фазой входных сигналов, поступающих на элементы решетки.
170. Перестройка антенны за счет изменения поверхности отражателя.
171. Цепи обеспечения работы фазированных антенных решеток.
172. Технологии изготовления МЭМС-структур.
173. Объемная микрообработка, поверхностная микрообработка и так называемая технология LIGA.
174. Корпусирование МЭМС-устройств.
175. Оптические коммутаторы для оптоволоконных телекоммуникационных систем, микроактюаторы.
176. Увеличение степени интеграции СВЧ-компонентов и создание новых архитектур, направленных на выполнение современных требований по увеличению мощности портативных средств связи.
177. Интеграция СВЧ МЭМС- структур и новые архитектуры. Структурные схемы в таких изделиях, как сотовые телефоны, радиосети, радары, системы GPS.
178. Варианты архитектуры СВЧ радиосистем с использованием МЭМС.
179. Применение МЭМС в интегральных схемах сотовых телефонов.

180. Состав устройств инерциальной навигации. Параметры инерциальных датчиков.
181. МЭМС-микрофоны с аналоговым выходом.
182. МЭМС-микрофоны с цифровым выходом.
183. Основные параметры МЭМС-микрофонов.
184. Амплитудно-частотные характеристики МЭМС-микрофонов.
185. Оптические коммутаторы для оптоволоконных телекоммуникационных систем.
186. Обобщенная схема оптической системы передачи.
187. Принципы построения аппаратуры оптических систем передачи и транспортных сетей.
188. Технологии мультиплексирования и передачи в транспортных сетях.
189. Особенности объемной микрообработки кремния.
190. Виды анизотропных травителей, их характеристики.
191. Особенности изотропного травления.
192. Защитные покрытия при объемной микрообработке.
193. LIGA – технология, ее особенности.
194. MUMPS – процесс, его особенности.
195. Особенности химической обработки в жидких растворах.
196. RCA – обработка.
197. Плазменная обработка.
198. Фотолитография. Изготовление фотошаблонов.
199. Проекционная фотолитография.
200. Позитивные и негативные фоторезисты.
201. Электронно-лучевая фотолитография. Особенности процесса.
202. Рентгеновская фотолитография и ее особенности.
203. Диффузионные процессы при формировании элементов МЭМС.
204. Осаждение тонких пленок структур МЭМС.
205. Эпитаксия структур МЭМС.
206. Виды «сухого» травления МЭМС. Его особенности.
207. Металлизация структур МЭМС.
208. Технологии «прямого» соединения деталей МЭМС.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Студенты, не отчитавшиеся по лабораторным работам и практическим занятиям, к экзамену не допускаются.

Время и место проведения экзамена указывается в расписании экзаменационной сессии.

Раздаются билеты с тремя вопросами. В первом вопросе проверяются знания по принципам функционирования базовых сенсорных и актюаторных элементов МЭМС, во втором вопросе проверяются знания по применению этих сенсорных и актюаторных элементов МЭМС в конкретных функцио-

нальных узлах телекоммутационных устройств согласно требованиям компетенции ПК-3. Третий вопрос содержит по 5 тестов из заданий для подготовки к тестированию, заданий для решения стандартных задач, заданий для решения прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 15.

Оценка «Неудовлетворительно» по третьему вопросу ставится в случае, если студент набрал менее 8 баллов, «Удовлетворительно» - от 8 до 10 баллов, «Хорошо» - от 11 до 13 баллов, «Отлично» - от 14 до 15 баллов.

По первым двум вопросам используется устный метод контроля. Время подготовки 30 мин. Время ответа на вопросы билета и дополнительные вопросы не менее 30 минут. Подготовка выполняется с использованием справочной литературы и средств коммуникации.

При промежуточном (итоговом) контроле в форме экзамена на оценку «отлично» могут претендовать студенты, демонстрирующие знание теоретического материала, способные ответить по меньшей мере на 80% вопросов преподавателя и Оценку «хорошо» заслуживают студенты, демонстрирующие знание наиболее важных положений теоретического материала, способные ответить по меньшей мере 60% вопросов преподавателя и самостоятельно решать задачи невысокой сложности. Оценку «удовлетворительно» получают студенты, демонстрирующие знание наиболее важных положений теоретического материала, способные ответить, как минимум, на 40% вопросов преподавателя (в рамках КОС При более низкой результативности студент получает оценку «неудовлетворительно»).

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Электромеханические устройства РЭС	ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, зачет
2	Обзор современных МЭМС	ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, зачет
3	Физические основы проектирования элементов РЭС с использованием микроэлектромеханических систем.	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, зачет
4	Линии связи в микромеханических устройствах	ПК-2	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, зачет
5	Резисторы в МЭМС структурах.	ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, зачет
6	Конденсаторы в МЭМС структурах	ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, зачет
7	Катушки индуктивности в МЭМС структурах	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, зачет
8	Коммутационные устройства в МЭМС структурах	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, зачет
9	МЭМС фильтры	ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, зачет
10	Сенсоры	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
11	Актуаторные элементы микро-системной техники.	ПК-2	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
12	Построение МЭМС - структуры для переключательных емкостей.	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен

13	Расчет, моделирование и сравнение микропереключателей.	ПК-2	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
14	МЭМС -схемы на микрообработанных объемных резонаторах.	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
15	Микроэлектромеханические системы для избирательных устройств.	ПК-2	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
16	Микрорезонаторы	ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
17	Резонаторные МЭМС фильтры.	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
18	Линии передач.	ПК-2	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
19	Структурные схемы МЭМС приемопередатчиков.	ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
20	Чувствительные элементы на ПАВ.	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
21	Датчики, гироскопы и акселерометры.	ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
22	Структура и основные параметры пьезоэлектрических резонаторов выполненных по толстопленочной технологии.	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
23	Микрофазовращатели.	ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
24	Микроантенны.	ПК-2	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
25	Интеграция СВЧ МЭМС - структур и новые архитектуры.	ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен

			мен
26	МЭМС-микрофоны Оптические коммутаторы.	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен
27	Технологии изготовления МЭМС-структур.	ПК-2 ПК-3	Тест, устный опрос, отчет по лабораторным работам, экзамен

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Допуск к выполнению лабораторной работе осуществляется непосредственно перед ее выполнением и проводится в форме опроса студента по соответствующим пунктам, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 5 минут.

Защита лабораторной работы осуществляется на следующем занятии согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 10 минут.

Контроль за выполнением курсовой работы осуществляется в течении всего семестра в заранее оговоренное время. На каждом этапе обсуждается представленная студентом информация (обычно содержание одного из разделов курсовой работы), и фиксируется процент выполнения плана выполнения данной работы. Защита курсовой работы осуществляется в форме беседы и оценивается на основании ритмичности его выполнения, оформления, а также правильности ответов на поставленные вопросы в процессе защиты работы.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Смирнов, Ю.А. Основы нано- и функциональной электроники: учебное пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. - СПб.: Лань, 2013. - 320 с.

2. Игнатов, А.И. Микросхемотехника и наноэлектроника / А.И. Игнатов. - СПб.: Лань, 2011. - 496 с.

3. Андреев, И.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1, 2 для специалистов направления 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения / И.В. Андреев, А.И. Андреев Воронеж: ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", 2016. 46 с.

4. Андреев, И.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ № 3, 4 для специалистов направления 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения / И.В. Андреев, А.И. Андреев Воронеж: ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", 2016. 43 с.

5. Худяков Ю. В. Резисторы и конденсаторы: учеб. пособие [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые и граф. данные (12,8 Мб) / Ю.В.Худяков. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : цв.

6. Худяков Ю.В. Катушки индуктивности: учеб. пособие [Электронный ресурс] - Электрон. текстовые и граф. данные (2,37 Мб) / Ю.В.Худяков. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : цв.

7. Худяков, Ю.В. Анализ статистических параметров радиоэлементов массового производства: методические указания к выполнению лабораторной работы № 1 по дисциплине Б1.В.ДВ.3.1 «Элементная база электронных средств» для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») очной и заочной форм обучения [Электронный ресурс] - Электрон. текстовые и граф. данные (4,35 Мб) / Ю.В.Худяков. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : цв.

8. Худяков, Ю.В. Катушки индуктивности: методические указания к выполнению лабораторной работы № 3 по дисциплине Б1.В.ДВ.3.1«Элементная база электронных средств» для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») очной и заочной форм обучения [Электрон-

ный ресурс] - Электрон. текстовые и граф. данные (470 Кб) / Ю.В.Худяков. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : цв.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, «MathCad».

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оснащенная плакатами и пособиями по профилю.

Компьютерный класс, оснащенный ПЭВМ с установленным программным обеспечением в ауд 229А/3.

Видеопроектор Epson

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Микроэлектромеханические устройства в радиоэлектронных системах и комплексах» читаются лекции, проводятся практические занятия, выполняются лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета МЭМС устройств систем связи. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы направлены на приобретение практических навыков по компьютерному моделированию МЭМС устройств систем связи и созданию соответствующих графических документов по ЕСКД. Допуск к выполнению лабораторной работе осуществляется непосредственно перед ее выполнением и проводится в форме опроса студента по соответствующим пунктам, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 5 мин

Защита лабораторной работы осуществляется на следующем занятии согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 10 мин.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторные работы	Подготовка к выполнению лабораторной работы путем изучения содержания соответствующего методического пособия. Подготовка заготовки отчета по лабораторной работе. Изучение соответствующего теоретического материала по тематике лабораторной работы. Получение допуска к выполнению лабораторной работе в процессе беседы с преподавателем по методике проведения работы. Выполнение экспериментальной части работы. Оформление отчета и его защита.
Подготовка к зачету и экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, отчеты по лабораторным работам и решение задач на практических занятиях.

АННОТАЦИЯ
к рабочей программе дисциплины
**«Микроэлектромеханические устройства в радиоэлектронных
системах и комплексах»**

Специальность 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы
Направленность Радиоэлектронные системы передачи информации
Квалификация выпускника Инженер
Нормативный период обучения 5,5 лет
Форма обучения Очная
Год начала подготовки 2017 г.

Цель изучения дисциплины:

изучение общих методов анализа и синтеза устройств на микроэлектромеханических системах (МЭМС) для радиоэлектронных средств (РЭС), систем сотовой телефонии, спутниковой связи, систем GPS, систем контроля ускорений и ориентации движущегося объекта

Задачи изучения дисциплины:

Формирование у студентов знаний по теории проектирования устройств на элементах микроэлектромеханических систем для новейших достижений в этой области, овладения методами расчета и конструирования типовых элементов МЭМС, используемых в радиотехнических системах и компонентах микросистемной техники с применением новейших технологий, а также научиться обоснованно выбирать материалы, корпуса и разрабатывать схемы с устройствами на элементах микроэлектромеханических систем в микронном исполнении.

Перечень формируемых компетенций:

ПК-2 - Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальные схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ/

ПК-3 - Способен осуществлять проектирование конструкций электронных средств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ.

Общая трудоемкость дисциплины ЗЕТ: 7 з.е.

Форма итогового контроля по дисциплине: ЭКЗАМЕН
(зачет, зачет с оценкой, экзамен)

Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	<p>Актуализирован раздел 8 в части учебно-методического обеспечения дисциплины;</p> <p>в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем;</p> <p>Актуализирован раздел 9 в части материально-технической базы необходимой для проведения образовательного процесса.</p>	30.08.2018	
2	<p>Актуализирован раздел 8 в части учебно-методического обеспечения дисциплины;</p> <p>в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем;</p> <p>Актуализирован раздел 9 в части материально-технической базы необходимой для проведения образовательного процесса.</p>	30.08.2019	
3	<p>Актуализирован раздел 8 в части учебно-методического обеспечения дисциплины;</p> <p>в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем;</p> <p>Актуализирован раздел 9 в части материально-технической базы необходимой для проведения образовательного процесса.</p>	30.08.2020	