

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,  
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)**

Кафедра \_\_\_\_\_ Электроники и схемотехники  
(полное наименование кафедры)



Регистрационный №\_24.09/257-Д

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Схемотехника цифроаналоговых синтезаторов частот  
(наименование дисциплины)

образовательная программа высшего образования

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

бакалавр

(квалификация)

Промышленная электроника

(направленность / профиль образовательной программы)

очная форма

(форма обучения)

Санкт-Петербург

Рабочая программа дисциплины составлена на основе требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности) подготовки «11.03.04 Электроника и наноэлектроника», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19.09.2017 № 927, и в соответствии с рабочим учебным планом, утвержденным ректором университета.

## 1. Цели и задачи дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Схемотехника цифроаналоговых синтезаторов частот» является:

теоретическое изучение и освоение методов реализации современных схемотехнических решений, применяемых в аналоговых, цифровых и аналого-цифровых устройствах синтеза частот, в том числе, и в микроволновом диапазоне. Изучение дисциплины ССЧ направлено на формирование глубокого понимания и знания аналитических и компьютерных методов исследования схемотехники отдельных электронных узлов и структур синтезаторов и их взаимодействия в рамках радиопередающих и радиоприемных устройств различного назначения. Курс ССЧ предназначен также для получения знаний, умений и компетенций по комплексному решению практических задач проектирования цифроаналоговых микроэлектронных устройств синтеза частот, применяемых в телекоммуникациях.

Эта цель достигается путем решения следующих(ей) задач(и):

Дисциплина ССЧ является одной из основных дисциплин базовой части профессионального цикла подготовки, в которой студенты изучают методы структурного анализа и синтеза цифроаналоговых ССЧ, а также методы схемотехнического анализа и расчета важных узлов и модулей современных устройств электро- и радиосвязи. Она находится в ряду дисциплин, обеспечивающих специальную подготовку магистров по направлению инфокоммуникационных технологий.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Схемотехника цифроаналоговых синтезаторов частот» Б1.В.ДВ.03.02 является дисциплиной по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1 учебного плана подготовки бакалавриата по направлению «11.03.04 Электроника и нанoeлектроника». Исходный уровень знаний и умений, которыми должен обладать студент, приступая к изучению данной дисциплины, определяется изучением таких дисциплин, как «Теория электрических цепей»; «Физические основы электроники»; «Электроника».

## 3. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Таблица 1

№ п/п	Код компетенции	Наименование компетенции
1	ПК-2	Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения

2	ПК-3	Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования
---	------	---

#### Индикаторы достижения компетенций

Таблица 2

ПК-2.1	Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков
ПК-2.2	Умеет проводить исследования характеристик электронных приборов
ПК-3.1	Знает принципы конструирования отдельных узлов и блоков электронных приборов
ПК-3.2	Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов
ПК-3.3	Владеет навыками подготовки принципиальных и монтажных электрических схем

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

##### Очная форма обучения

Таблица 3

Вид учебной работы		Всего часов	Семестры
			7
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ	108	108
<b>Контактная работа с обучающимися</b>		50.25	50.25
в том числе:			
Лекции		20	20
Практические занятия (ПЗ)		16	16
Лабораторные работы (ЛР)		14	14
Защита контрольной работы			-
Защита курсовой работы			-
Защита курсового проекта			-
Промежуточная аттестация		0.25	0.25
<b>Самостоятельная работа обучающихся (СРС)</b>		57.75	57.75
в том числе:			
Курсовая работа			-
Курсовой проект			-
И / или другие виды самостоятельной работы: подготовка к лабораторным работам, практическим занятиям, контрольным работам, изучение теоретического материала		49.75	49.75
Подготовка к промежуточной аттестации		8	8
<b>Вид промежуточной аттестации</b>			Зачет

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Содержание разделов дисциплины.

Таблица 4

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	№ семестра		
			очная	очно-заочная	заочная
1	Раздел 1. Введение. Термины и определения. Области применения синтезаторов частот. Классификация методов синтеза частот. Основные параметры и свойства формируемых колебаний. Временное и спектральное представление колебаний.	1. Предмет, цели и задачи курса ССЧ, методы исследования. 2. Термины и определения, используемые в технике синтеза частот. 3. Области применения синтезаторов частот. 4. Структурные схемы и основные модули приемо-передающих трактов. 5. Методы синтеза частот - история развития. 6. Метод пассивного аналогового синтеза. 7. Метод пассивного цифрового синтеза. 8. Метод возвратного гетеродина. 9. Метод активного аналогового синтеза частот с помощью колец частотной автоподстройки частоты. 10. Метод активного цифрового синтеза частот с помощью колец импульсно-фазовой автоподстройки частоты. 11. Квазигармоническое колебание и его описание. 12. Устранение неоднозначности в представлении колебаний. 13. Аналитическое описание формируемых колебаний. 14. Когерентные колебания. 15. Спектральные характеристики колебаний - дискретные и шумовые побочные спектральные составляющие. Спектральная плотность мощности. 16. Временная неравномерность (джиттер) колебаний и его связь со спектром. 17. Моделирование спектров с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12.	7		

2	<p>Раздел 2. Схемотехника аналоговых элементов синтезаторов частот. Усилители. Основные нормируемые параметры. Радиочастотные усилители. Усилители с распределенным усилением. Операционные СВЧ усилители с токовой обратной связью. Генераторы (автогенераторы). Основные нормируемые параметры. Типы генераторов и формируемых ими колебаний. Стабильность генерируемых колебаний. Примеры схем.</p>	<p>1. Работа транзисторного усилительного каскада на высоких частотах. Устойчивость широкополосных усилителей. 2. Оценка качества выходного колебания - шумы, точка однодецибелной компрессии, уровень интермодуляционных искажений, динамический диапазон. 3. Буферные усилители. Примеры микросхем. 4. Формирователь импульсов. 5. Каскодные усилители ОЭ-ОБ и ОК-ОБ. 6. Широкополосные усилители тока на ячейке Джильберта. 7. Сверхширокополосные усилители с распределенным усилением. Примеры микросхем. 8. СВЧ операционные усилители. Примеры микросхем. 9. Ключевые высокочастотные усилители. 10. Основные нормируемые параметры генераторов и формируемых ими колебаний. 11. Типы фиксирующих цепей генераторов -RC, LC. 12. Виды положительной обратной связи - индуктивная и емкостная трехточки, мост Вина и двойной Тобразный мост. 13. Стабильность колебаний. 14. Генераторы колебаний на биполярных и полевых транзисторах. 15. Генераторы на туннельных диодах. 16. Генераторы на диодах Ганна. 17. Генераторы на ОУ. 18. Генераторы на цифровых микросхемах. 19. Генераторы на линиях задержки, ПАВ-генераторы и генераторы на оптическом волокне. 20. Мазеры и лазеры. 21. Релаксационные генераторы. 22. Кольцевые генераторы. 23. Функциональные генераторы. 24. Управление частотой колебаний - изменением емкости контура, изменением индуктивности контура, изменением режима работы активных приборов. 25. Схемотехническое моделирование с помощью пакета программ MicroCap 9 - 12.</p>	7		
---	--	---	---	--	--

3	<p>Раздел 3. Схемотехника аналоговых элементов синтезаторов частот. Преобразователи частоты (смесители). Аналоговые перемножители сигналов. Основные нормируемые параметры. Диодные смесители. Транзисторные смесители. Модуляторы и демодуляторы сигналов. Аналоговые СВЧ аттенюаторы. Основные нормируемые параметры. Постоянные аттенюаторы. Управляемые аналоговые аттенюаторы на p-i-n диодах и полевых транзисторах. Управляемые цифроаналоговые аттенюаторы</p>	<p>1. Преобразование частоты на нелинейностях полупроводниковых приборов; параметрические цепи. 2. Нормируемые параметры и оценка качества преобразования с помощью интермодуляционных коэффициентов. 3. Балансный смеситель, кольцевой и двойной кольцевой смеситель. 4. Аналоговый фазовый детектор. 5. Перемножение сигналов на операционных усилителях и специализированных микросхемах. 6. Зеркальный канал. Однополосное преобразование. 7. Цифроаналоговое преобразование частоты. 8. Микросхемы квадратурных модуляторов сигналов. 9. Микросхемы квадратурных демодуляторов сигналов. 10. Назначение аттенюаторов в технике синтеза частот и нормировка их основных параметров. 11. Постоянные аттенюаторы. П-образные и Т-образные аттенюаторы. Расчет и примеры реализации. 12. Управляемый диодный аттенюатор, аттенюаторы на p-i-n диодах. Примеры микросхем. 13. Управляемые аттенюаторы на полевых транзисторах. Примеры микросхем. 14. Цифроуправляемые аналоговые аттенюаторы на резисторных матрицах. 15. Факторы ограничения динамического диапазона в СВЧ области частот. 16. Схемотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12.</p>	7		
---	--	---	---	--	--

4	<p>Раздел 4. Схемотехника аналоговых элементов синтезаторов частот. СВЧ переключатели. Основные нормируемые параметры. Электромеханические переключатели. SPDT и SPST переключатели. Цифроуправляемые СВЧ переключатели аналоговых сигналов на p-i-n диодах и полевых транзисторах. Ключевой режим. Многопозиционные переключатели. Микромеханические СВЧ переключатели (MEMS). СВЧ фильтры, Ферритовые вентили и циркуляторы – типы и основные нормируемые параметры.</p>	<p>1. Основные нормируемые параметры СВЧ переключателей. 2. Типы переключателей – SPDT и SPST переключатели. 3. Ключевой режим работы аналоговых СВЧ переключателей на p-i-n диодах и полевых транзисторах. 4. Микромеханические СВЧ переключатели (MEMS). 5. Примеры микросхемной реализации СВЧ переключателей. 6. Типы фильтров и их основные нормируемые параметры 7. Перестраиваемый ЖИГ фильтр. 8. Микросхема перестраиваемого фильтра-усилителя. 9. Микросхемы неперестраиваемых фильтров – полосовых, ФНЧ, ФВЧ. 10. Схемотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12. 11. Ферритовые вентили и циркуляторы.</p>	7		
5	<p>Раздел 5. Схемотехника цифровых элементов синтезаторов частот. СВЧ делители частоты и счетчики импульсов. Импульсно-фазовые детекторы.</p>	<p>1. Назначение счетчиков импульсов и предделителей частоты в синтезаторах. Примеры микросхем. 2. Основные нормируемые параметры. 3. Способы изменения коэффициентов деления. 4. Особенности применения в СВЧ диапазоне, двойная тактовая синхронизация. 5. Делитель с дробнопеременным коэффициентом деления с сигмадельта модулятором 1 – 4 порядков. 6. Схемы поглотителей импульсов. Варианты реализации. 7. Назначение импульсно-фазовых детекторов (ИФД) в технике синтеза частот. 8. ИФД на схеме «Исключающее ИЛИ». 9. ИФД на RS триггере. 10. ИФД «выборка – запоминание». 11. ИФД со схемой подкачки заряда (частотно-фазовый детектор). Примеры микросхем. 12. Схемотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12.</p>	7		

6	<p>Раздел 6. Схемотехника цифровых элементов синтезаторов частот. Способы управления временным положением импульсов. Микросхемы интегрированных активных и пассивных цифровых синтезаторов частот.</p>	<p>1. Назначение устройств задержки импульсного сигнала в синтезаторах частоты. 2. Линии задержки. 3. Микросхемы коммутируемой постоянной задержки. 4. Микросхемы управляемой задержки на основе промежуточных преобразований. 5. Влияние нелинейностей входящих узлов и неточности настройки на результат преобразования цифрового кода управления во временной интервал. 6. Микросхема делителя частоты с управляемой задержкой. 7. Схемотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12. 8. Назначение микросхемы активного цифрового синтезатора ИФАП (PLL). Примеры микросхем. 9. Цифровой кластер микросхемы. 10. Аналоговый кластер микросхемы. 11. Шумы выходного колебания микросхемы. 12. Назначение микросхемы многоуровневого пассивного цифрового синтезатора (DDS). Примеры микросхем DDS. 13. Принцип работы и структура микросхемы. 14. Параметры формируемого колебания.</p>	7		
7	<p>Раздел 7. Конечный автомат. Прямочастотный конечный автомат. Накапливающий сумматор. Прямопериодный конечный автомат. Делитель частоты с дробно-переменным коэффициентом деления.</p>	<p>1. Конечный автомат (КА) и его использование в технике синтеза частот. 2. Временное описание работы КА применительно к задачам синтеза частот. 3. Критерии оценки качества формируемого колебания на выходе КА. 4. Функциональная фазоимпульсная модуляция формируемого колебания. 5. Оптимальный двухуровневый синтез частот. Квазиравномерная последовательность импульсов. 6. Структуры конечных автоматов. 7. Накапливающий сумматор (НС) и его составляющие - арифметический сумматор и регистр памяти. Примеры микросхем программируемой логики. 8. Быстродействие НС и способы его увеличения. 9. Прямочастотный конечный автомат - описание его работы во временной области. 10. Быстродействие счетчика импульсов. Примеры микросхем. 11. Прямопериодный конечный автомат - описание его работы во временной области. 12. Схемотехническое моделирование с помощью пакета программ Micro-Cap 9 - 12.</p>	7		
8	<p>Раздел 8. Модифицированный конечный автомат. Спектральная теория конечных автоматов.</p>	<p>1. Двухуровневый модифицированный конечный автомат (МКА). 2. Прямочастотный двухуровневый МКА. 3. Прямопериодный двухуровневый МКА. 4. Многоуровневый МКА с треугольной и моногармонической огибающей. 5. Схемотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12. 1. Представление рационального числа в виде цепной дроби. Алгоритм Евклида. 2. Модель сложнопериодической решетчатой функции. 3. Псевдо- и квазимеандры. 4. Цифровой идеальный треугольник. 5. Цифровая идеальная моногармоника.</p>	7		

9	Раздел 9. Активный цифровой синтез частот с помощью кольца импульсно-фазовой автоподстройки. Частотный метод анализа ИФАП. Типовые звенья.	1. Уравнение линейной непрерывной модели фазовой автоподстройки (ФАП) с астатизмом по частоте. 2. Уравнение линейной непрерывной модели фазовой автоподстройки (ФАП) с астатизмом по фазе. 3. Типовая структура кольца импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАП). 4. Частотный метод анализа фильтрующей способности и устойчивости умножающего кольца ИФАП. 5. Логарифмические амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики. 6. Типовые звенья ИФАП и их описание во временной и спектральной областях. 7. Безынерционное звено. 8. Безынерционное звено с запаздыванием. 9. Инерционное звено. 10. Идеальное интегрирующее звено. 11. Идеальное дифференцирующее звено. 12. Инерционное дифференцирующее звено. 13. Изотропное звено. 14. Колебательное звено второго порядка. 15. Фазовращательное звено. 16. Схемотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12.	7		
10	Раздел 10. Анализ фильтрации помех в синтезаторных кольцах ИФАП. Уменьшение помех на выходе умножающего кольца ИФАП.	1. Построение асимптотической логарифмической амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик условно разомкнутого кольца ИФАП. 2. Определение запасов устойчивости по фазе и амплитуде. Критерий Найквиста. 3. Определение прохождения на выход кольца ИФАП помех, приходящих с опорным колебанием. 4. Определение фильтрации помех, воздействующих на выход кольца ИФАП. 5. Применение W-преобразования. 6. Пути уменьшения побочных спектральных составляющих - дискретных и шумовых, - на выходе умножающего кольца ИФАП. 7. Введение дробного коэффициента деления в цепь отрицательной обратной связи умножающего кольца ИФАП. 8. Введение частоты подставки от внешнего гетеродина в цепь отрицательной обратной связи умножающего кольца ИФАП. 9. Модуляция коэффициента деления ДДПКД псевдослучайной последовательностью с нулевым средним. 10. Введение дополнительных цифровых интеграторов в ДДПКД. 11. Использование нониусного цифрового тракта приведения. 12. Примеры реализации активных цифровых синтезаторов частот на основе колец ИФАП.	7		

5.2. Междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами.

Таблица 5

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1	Основы микроволновой промышленной электроники

5.3. Разделы дисциплин и виды занятий.

Очная форма обучения

Таблица 6

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лек-ции	Практ. занятия	Лаб. занятия	Семи-нары	СРС	Всего часов
1	Раздел 1. Введение. Термины и определения. Области применения синтезаторов частот. Классификация методов синтеза частот. Основные параметры и свойства формируемых колебаний. Временное и спектральное представление колебаний.	2				4.5	6.5
2	Раздел 2. Схемотехника аналоговых элементов синтезаторов частот. Усилители. Основные нормируемые параметры. Радиочастотные усилители. Усилители с распределенным усилением. Операционные СВЧ усилители с токовой обратной связью. Генераторы (автогенераторы). Основные нормируемые параметры. Типы генераторов и формируемых ими колебаний. Стабильность генерируемых колебаний. Примеры схем.	2	2	2		4.5	10.5
3	Раздел 3. Схемотехника аналоговых элементов синтезаторов частот. Преобразователи частоты (смесители). Аналоговые перемножители сигналов. Основные нормируемые параметры. Диодные смесители. Транзисторные смесители. Модуляторы и демодуляторы сигналов. Аналоговые СВЧ аттенюаторы. Основные нормируемые параметры. Постоянные аттенюаторы. Управляемые аналоговые аттенюаторы на p-i-n диодах и полевых транзисторах. Управляемые цифроаналоговые аттенюаторы	2	2	2		4.5	10.5
4	Раздел 4. Схемотехника аналоговых элементов синтезаторов частот. СВЧ переключатели. Основные нормируемые параметры. Электромеханические переключатели. SPDT и SPST переключатели. Цифроуправляемые СВЧ переключатели аналоговых сигналов на p-i-n диодах и полевых транзисторах. Ключевой режим. Многопозиционные переключатели. Микромеханические СВЧ переключатели (MEMS). СВЧ фильтры, Ферритовые вентили и циркуляторы – типы и основные нормируемые параметры.	2				4.5	6.5
5	Раздел 5. Схемотехника цифровых элементов синтезаторов частот. СВЧ предделители частоты и счетчики импульсов. Импульсно-фазовые детекторы.	2	2	2		4.5	10.5

6	Раздел 6. Схемотехника цифровых элементов синтезаторов частот. Способы управления временным положением импульсов. Микросхемы интегрированных активных и пассивных цифровых синтезаторов частот.	2	2	2		4.5	10.5
7	Раздел 7. Конечный автомат. Прямочастотный конечный автомат. Накапливающий сумматор. Прямопериодный конечный автомат. Делитель частоты с дробно-переменным коэффициентом деления.	2	2			4.5	8.5
8	Раздел 8. Модифицированный конечный автомат. Спектральная теория конечных автоматов.	2	2	2		4.5	10.5
9	Раздел 9. Активный цифровой синтез частот с помощью кольца импульсно-фазовой автоподстройки. Частотный метод анализа ИФАП. Типовые звенья.	2	2	2		4.5	10.5
10	Раздел 10. Анализ фильтрации помех в синтезаторных кольцах ИФАП. Уменьшение помех на выходе умножающего кольца ИФАП.	2	2	2		9.25	15.25
Итого:		20	16	14	-	49.75	99.75

## 6. Лекции

### Очная форма обучения

Таблица 7

№ п/п	Номер раздела	Тема лекции	Всего часов
1	1	Введение. Термины и определения. Области применения синтезаторов частот. Классификация методов синтеза частот. Основные параметры и свойства формируемых колебаний. Временное и спектральное представление колебаний.	2
2	2	Схемотехника аналоговых элементов синтезаторов частот. Усилители. Основные нормируемые параметры. Радиочастотные усилители. Усилители с распределенным усилением. Операционные СВЧ усилители с токовой обратной связью. Генераторы (автогенераторы). Основные нормируемые параметры. Типы генераторов и формируемых ими колебаний. Стабильность генерируемых колебаний. Примеры схем.	2
3	3	Схемотехника аналоговых элементов синтезаторов частот. Преобразователи частоты (смесители). Аналоговые перемножители сигналов. Основные нормируемые параметры. Диодные смесители. Транзисторные смесители. Модуляторы и демодуляторы сигналов. Аналоговые СВЧ аттенюаторы. Основные нормируемые параметры. Постоянные аттенюаторы. Управляемые аналоговые аттенюаторы на p-i-n диодах и полевых транзисторах. Управляемые цифроаналоговые аттенюаторы.	2

4	4	Схемотехника аналоговых элементов синтезаторов частот. СВЧ переключатели. Основные нормируемые параметры. Электромеханические переключатели. SPDT и SPST переключатели. Цифроуправляемые СВЧ переключатели аналоговых сигналов на р-і-п диодах и полевых транзисторах. Ключевой режим. Многопозиционные переключатели. Микромеханические СВЧ переключатели (MEMS). СВЧ фильтры, Ферритовые вентили и циркуляторы – типы и основные нормируемые параметры.	2
5	5	Схемотехника цифровых элементов синтезаторов частот. СВЧ предделители частоты и счетчики импульсов. Импульсно-фазовые детекторы.	2
6	6	Схемотехника цифровых элементов синтезаторов частот. Способы управления временным положением импульсов. Микросхемы интегрированных активных и пассивных цифровых синтезаторов частот.	2
7	7	Конечный автомат. Прямочастотный конечный автомат. Накапливающий сумматор. Прямопериодный конечный автомат. Делитель частоты с дробно-переменным коэффициентом деления.	2
8	8	Модифицированный конечный автомат. Спектральная теория конечных автоматов.	2
9	9	Активный цифровой синтез частот с помощью кольца импульсно-фазовой автоподстройки. Частотный метод анализа ИФАП. Типовые звенья.	2
10	10	Анализ фильтрации помех в синтезаторных кольцах ИФАП. Уменьшение помех на выходе умножающего кольца ИФАП.	2
Итого:			20

## 7. Лабораторный практикум

Очная форма обучения

Таблица 8

№ п/п	Номер раздела	Наименование лабораторной работы	Всего часов
1	2	Усилители. Радиочастотные усилители. Усилители с распределенным усилением. Операционные СВЧ усилители с токовой обратной связью. Генераторы (автогенераторы). Схемотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12.	2
2	3	Преобразователи частоты (смесители). Диодные смесители. Транзисторные смесители. Спектральный анализ выходных колебаний. Схемотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12. Аналоговые СВЧ аттенюаторы. Постоянные аттенюаторы. Управляемые аналоговые аттенюаторы на р-і-п диодах и полевых транзисторах. Управляемые цифроаналоговые аттенюаторы.	2
3	5	СВЧ переключатели. Цифроуправляемые СВЧ переключатели аналоговых сигналов на р-і-п диодах и полевых транзисторах. Ключевой режим. Многопозиционные переключатели. Микромеханические СВЧ переключатели (MEMS). СВЧ предделители частоты и счетчики импульсов. Каскадирование.	2
4	6	Импульсно-фазовые детекторы. Способы управления временным положением импульсов.	2

5	8	Конечный автомат. Прямочастотный конечный автомат. Накапливающий сумматор. Учет задержек переключения. Каскадирование. Прямопериодный конечный автомат. Делитель частоты с дробнопеременным коэффициентом деления. Модифицированный конечный автомат. Схмотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12.	2
6	9	Активный цифровой синтез частот с помощью кольца импульснофазовой автоподстройки. Частотный метод анализа ИФАП. Типовые звенья.	2
7	10	Анализ фильтрации помех в синтезаторных кольцах ИФАП. Пути прохождения помех. Фильтрация. Корректировка амплитудночастотной характеристики. Определение запасов устойчивости.	2
Итого:			14

## 8. Практические занятия (семинары)

Очная форма обучения

Таблица 9

№ п/п	Номер раздела	Тема занятия	Всего часов
1	2	Усилители. Радиочастотные усилители. Усилители с распределенным усилением. Операционные СВЧ усилители с токовой обратной связью. Генераторы (автогенераторы). Схмотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12.	2
2	3	Преобразователи частоты (смесители). Диодные смесители. Транзисторные смесители. Спектральный анализ выходных колебаний. Схмотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12. Аналоговые СВЧ аттенюаторы. Постоянные аттенюаторы. Управляемые аналоговые аттенюаторы на p-i-n диодах и полевых транзисторах. Управляемые цифроаналоговые аттенюаторы.	2
3	5	СВЧ переключатели. Цифроуправляемые СВЧ переключатели аналоговых сигналов на p-i-n диодах и полевых транзисторах. Ключевой режим. Многопозиционные переключатели. Микромеханические СВЧ переключатели (MEMS). СВЧ предделители частоты и счетчики импульсов. Каскадирование.	2
4	6	Импульсно-фазовые детекторы. Способы управления временным положением импульсов.	2
5	7	Конечный автомат. Прямочастотный конечный автомат. Накапливающий сумматор. Учет задержек переключения. Каскадирование. Схмотехническое моделирование с помощью пакетов программ FASTMEAN и Micro-Cap 9-12.	2
6	8	Прямопериодный конечный автомат. Делитель частоты с дробнопеременным коэффициентом деления. Модифицированный конечный автомат. Схмотехническое моделирование с помощью пакета программ Micro-Cap 9 - 12.	2
7	9	Активный цифровой синтез частот с помощью кольца импульснофазовой автоподстройки. Частотный метод анализа ИФАП. Типовые звенья.	2

8	10	Анализ фильтрации помех в синтезаторных кольцах ИФАП. Пути прохождения помех. Фильтрация. Корректировка амплитудночастотной характеристики. Определение запасов устойчивости.	2
Итого:			16

## 9. Примерная тематика курсовых проектов (работ)

Рабочим учебным планом не предусмотрено

## 10. Самостоятельная работа

Очная форма обучения

Таблица 10

№ п/п	Номер раздела	Содержание самостоятельной работы	Форма контроля	Всего часов
1	1	Проработка учебного материала по теме.	Проверка схмотехнических моделей	4.5
2	2	Проработка учебного материала по теме.	Проверка схмотехнических моделей	4.5
3	3	Проработка учебного материала по теме.	Проверка схмотехнических моделей	4.5
4	4	Проработка учебного материала по теме.	Проверка схмотехнических моделей	4.5
5	5	Проработка учебного материала по теме.	Проверка схмотехнических моделей	4.5
6	6	Проработка учебного материала по теме.	Проверка схмотехнических моделей	4.5
7	7	Проработка учебного материала по теме.	Проверка схмотехнических моделей	4.5
8	8	Проработка учебного материала по теме.	Проверка схмотехнических моделей	4.5
9	9	Проработка учебного материала по теме.	Проверка схмотехнических моделей	4.5
10	10	Проработка учебного материала по теме. Подготовка к зачету по дисциплине СЦСЧ.	Проверка схмотехнических моделей. Зачет.	9.25
Итого:				49.75

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

Для самостоятельной работы по дисциплине рекомендовано следующее учебно-

методическое обеспечение:

- Положение о самостоятельной работе студентов в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича;
- рекомендованная основная и дополнительная литература;
- конспект занятий по дисциплине;
- слайды-презентации и другой методический материал, используемый на занятиях;
- методические рекомендации по подготовке письменных работ, требования к их содержанию и оформлению (реферат, эссе, контрольная работа) ;
- фонды оценочных средств;
- методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов;

## **12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Фонд оценочных средств разрабатывается в соответствии с локальным актом университета «Положение о фонде оценочных средств» и является приложением (Приложение А) к рабочей программе дисциплины.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Для каждого результата обучения по дисциплине определяются показатели и критерии оценки сформированности компетенций на различных этапах их формирования, шкалы и процедуры оценивания.

## **13. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### 12.1. Основная литература:

1. Никитин, Юрий Александрович. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот : учебное пособие / Ю. А. Никитин ; рец.: С. Л. Федоров, Л. М. Коновалов ; Федер. агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ. Ч. 1 : Общие положения. Пассивный синтез частот. - 2015. - 100 с. : ил., табл. - 537.34 р.

2. Никитин, Юрий Александрович. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот : учебное пособие / Ю. А. Никитин ; рец.: С. Л. Федоров, Л. М. Коновалов ; Федер. агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ. Ч. 2 : Активный синтез частот. - 2015. - 94 с. : ил., табл. - 515.84 р.
3. Никитин, Юрий Александрович. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот : учебное пособие / Ю. А. Никитин ; рец.: С. Л. Федоров, Л. М. Коновалов ; Федер. агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ. Ч. 3 : Элементы микроволновых синтезаторов. Аналоговая схемотехника. - 2016. - 90 с. : ил., табл. - 565.44 р.

#### 12.2. Дополнительная литература:

1. Павлов, В. Н.  
Схемотехника аналоговых электронных устройств : учебник для вузов / В. Н. Павлов, В. Н. Ногин. - 2-е изд., испр. - М. : Горячая линия-Телеком, 2001. - 320 с. : ил. - ISBN 5-93517-025-6 : 65.00 р., 85.00 р., 67.50 р. - Текст : непосредственный.
2. Шапиро, Д. Н.  
Основы теории синтеза частот : научное издание / Д. Н. Шапиро, А. А. Паин. - М. : Радио и связь, 1981. - 264 с. : ил., табл. - Библиогр. : с. 256-259. - 1.20 р. - Текст : непосредственный.
3. Никитин, Юрий Александрович.  
Цифроаналоговый синтез частот. Теория и схемотехника : [Электронный ресурс] : монография / Ю. А. Никитин ; рец.: С. Л. Федоров, Л. М. Коновалов ; Федер. агентство связи, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2018. - 367 с. : ил., цв. ил. - ISBN 978-5-89160-178-9 : 1977.39 р.

## 14. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети интернет из указанного перечня являются рекомендуемыми дополнительными (вспомогательными) источниками официальной информации, размещенной на легальных основаниях с открытым доступом. За полноту содержания и качество работу сайтов несет ответственность правообладатель.

Таблица 11

Наименование ресурса	Адрес
----------------------	-------

MicroCAP -программа аналогового, цифрового и смешанного моделирования и анализа цепей электронных устройств	<a href="http://www.spectrum-soft.com/index.shtml">www.spectrum-soft.com/index.shtml</a>
---	--

**15. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

15.1. Программное обеспечение дисциплины:

- Open Office
- Google Chrome

15.2. Информационно-справочные системы:

- ЭБС iBooks (<https://ibooks.ru>)
- ЭБС СПбГУТ (<http://lib.spbgut.ru>)

**16. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

15.1. Планирование и организация времени, необходимого для изучения дисциплины

Важным условием успешного освоения дисциплины «Схемотехника цифроаналоговых синтезаторов частот» является создание системы правильной организации труда, позволяющей распределить учебную нагрузку равномерно в соответствии с графиком образовательного процесса. Большую помощь в этом может оказать составление плана работы на семестр, месяц, неделю, день. Его наличие позволит подчинить свободное время целям учебы, трудиться более успешно и эффективно. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Все задания, включая вынесенные на самостоятельную работу, рекомендуется выполнять непосредственно после соответствующего аудиторного занятия (лекции, практического занятия), что способствует лучшему усвоению материала, позволяет своевременно выявить и устранить пробелы в знаниях, систематизировать ранее пройденный материал, на его основе приступить к овладению новыми знаниями и навыками.

Система университетского обучения основывается на рациональном сочетании нескольких видов учебных занятий (в первую очередь лекций и практических занятий), работа на которых обладает определенной спецификой.

15.2. Подготовка к лекциям

Знакомство с дисциплиной происходит уже на первой лекции, где от студента требуется не просто внимание, но и самостоятельное оформление конспекта. При работе с конспектом лекций необходимо учитывать тот фактор, что одни лекции дают ответы на конкретные вопросы темы, другие – лишь выявляют взаимосвязи между явлениями, помогая студенту понять глубинные процессы развития

изучаемого предмета, как в истории, так и в настоящее время.

Конспектирование лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы, предполагающий интенсивную умственную деятельность студента. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное и сделано это самим обучающимся. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Целесообразно вначале понять основную мысль, излагаемую лектором, а затем записать ее. Желательно запись осуществлять на одной странице листа или оставляя поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места.

Конспект лекции лучше подразделять на пункты, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать вопросы плана лекции, предложенные преподавателям. Следует обращать внимание на акценты, выводы, которые делает лектор, отмечая наиболее важные моменты в лекционном материале замечаниями «важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек, подчеркивая термины и определения.

Целесообразно разработать собственную систему сокращений, аббревиатур и символов. Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть теоретическим материалом.

### 15.3. Подготовка к практическим занятиям

Тщательное продумывание и изучение вопросов плана основывается на проработке пройденного материала (материала лекций, практических занятий), а затем изучения обязательной и дополнительной литературы, рекомендованной к данной теме.

Результат такой работы должен проявиться в способности студента свободно ответить на теоретические вопросы практикума, его выступлении и участии в коллективном обсуждении вопросов изучаемой темы, правильном выполнении практических заданий и контрольных работ.

Необходимо понимать, что невозможно во время аудиторных занятий изложить весь материал из-за лимита аудиторных часов, и при изучении дисциплины недостаточно конспектов занятий. Поэтому самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме.

### 15.4. Рекомендации по работе с литературой

Работу с литературой целесообразно начать с изучения общих работ по теме, а также учебников и учебных пособий. Далее рекомендуется перейти к анализу монографий и статей, рассматривающих отдельные аспекты проблем, изучаемых в

рамках курса, а также официальных материалов и неопубликованных документов (научно-исследовательские работы, диссертации), в которых могут содержаться основные вопросы изучаемой проблемы.

Работу с источниками надо начинать с ознакомительного чтения, т.е. просмотреть текст, выделяя его структурные единицы. При ознакомительном чтении закладками отмечаются те страницы, которые требуют более внимательного изучения. В зависимости от результатов ознакомительного чтения выбирается дальнейший способ работы с источником. Если для разрешения поставленной задачи требуется изучение некоторых фрагментов текста, то используется метод выборочного чтения. Если в книге нет подробного оглавления, следует обратить внимание обучающегося на предметные и именные указатели.

Избранные фрагменты или весь текст (если он целиком имеет отношение к теме) требуют вдумчивого, неторопливого чтения с «мысленной проработкой» материала. Такое чтение предполагает выделение: 1) главного в тексте; 2) основных аргументов; 3) выводов. Особое внимание следует обратить на то, вытекает тезис из аргументов или нет. Необходимо также проанализировать, какие из утверждений автора носят проблематичный, гипотетический характер, и уловить скрытые вопросы.

Понятно, что умение таким образом работать с текстом приходит далеко не сразу. Наилучший способ научиться выделять главное в тексте, улавливать проблематичный характер утверждений, давать оценку авторской позиции – это сравнительное чтение, в ходе которого студент знакомится с различными мнениями по одному и тому же вопросу, сравнивает весомость и доказательность аргументов сторон и делает вывод о наибольшей убедительности той или иной позиции.

Если в литературе встречаются разные точки зрения по тому или иному вопросу из-за сложности прошедших событий и правовых явлений, нельзя их отвергать, не разобравшись. При наличии расхождений между авторами необходимо найти рациональное зерно у каждого из них, что позволит глубже усвоить предмет изучения и более критично оценивать изучаемые вопросы. Знакомясь с особыми позициями авторов, нужно определять их схожие суждения, аргументы, выводы, а затем сравнивать их между собой и применять из них ту, которая более убедительна.

Следующим этапом работы с литературными источниками является создание конспектов, фиксирующих основные тезисы и аргументы. Можно делать записи на отдельных листах, которые потом легко систематизировать по отдельным темам изучаемого курса. Другой способ – это ведение тематических тетрадей-конспектов по одной какой-либо теме. Большие специальные работы монографического характера целесообразно конспектировать в отдельных тетрадях. Здесь важно вспомнить, что конспекты пишутся на одной стороне листа, с полями и достаточным для исправления и ремарок межстрочным расстоянием (эти правила соблюдаются для удобства редактирования). Если в конспектах приводятся цитаты, то непременно должно быть дано указание на источник (автор, название, выходные данные, № страницы). Впоследствии эта информация может быть использована при написании текста реферата или другого задания.

Таким образом, при работе с источниками и литературой важно уметь:

- сопоставлять, сравнивать, классифицировать, группировать, систематизировать

- информацию в соответствии с определенной учебной задачей;
- обобщать полученную информацию, оценивать прослушанное и прочитанное;
  - фиксировать основное содержание сообщений; формулировать, устно и письменно, основную идею сообщения; составлять план, формулировать тезисы;
  - готовить и презентовать развернутые сообщения типа доклада;
  - работать в разных режимах (индивидуально, в паре, в группе), взаимодействуя друг с другом;
  - пользоваться реферативными и справочными материалами;
  - контролировать свои действия и действия своих товарищей, объективно оценивать свои действия;
  - обращаться за помощью, дополнительными разъяснениями к преподавателю, другим студентам;
  - пользоваться лингвистической или контекстуальной догадкой, словарями различного характера, различного рода подсказками, опорам в тексте (ключевые слова, структура текста, предваряющая информация и др.);
  - использовать при говорении и письме перифраз, синонимичные средства, слова-описания общих понятий, разъяснения, примеры, толкования, «словотворчество»
  - повторять или перефразировать реплику собеседника в подтверждение понимания его высказывания или вопроса;
  - обратиться за помощью к собеседнику (уточнить вопрос, переспросить и др.);
  - использовать мимику, жесты (вообще и в тех случаях, когда языковых средств не хватает для выражения тех или иных коммуникативных намерений).

#### 15.5. Подготовка к промежуточной аттестации

При подготовке к промежуточной аттестации целесообразно:

- внимательно изучить перечень вопросов и определить, в каких источниках находятся сведения, необходимые для ответа на них;
- внимательно прочитать рекомендованную литературу;
- составить краткие конспекты ответов (планы ответов).

## 17. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Таблица 12

№ п/п	Наименование специализированных аудиторий и лабораторий	Наименование оборудования
1	Лекционная аудитория	Аудио-видео комплекс
2	Аудитории для проведения групповых и практических занятий	Аудио-видео комплекс
3	Компьютерный класс	Персональные компьютеры
4	Аудитория для курсового и дипломного проектирования	Персональные компьютеры
5	Аудитория для самостоятельной работы	Компьютерная техника
6	Читальный зал	Персональные компьютеры

Лист изменений № 1 от 9 января 2020 г

Рабочая программа дисциплины  
**«Схемотехника цифроаналоговых синтезаторов частот»**

Код и наименование направления подготовки/специальности:

**11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

Направленность/профиль образовательной программы:

**Промышленная электроника**

---

Из п. 14.2 Информационно-справочные системы исключить с 08.01.2020 г.  
строку: ЭБС IPRbooks (<http://www.iprbookshop.ru>)

Основание: прекращение контракта № 4784/19 от 25.01.2019 г. на  
предоставление доступа к электронно-библиотечной системе IPRbooks.

Внесенные изменения утверждаю:

Начальник УМУ \_\_\_\_\_ Л.А. Васильева