

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 26.04.2023 14:52:26
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Информационные технологии
проектирования радиоэлектрон-
ных устройств»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«МИКРОЭЛЕКТРОНИКА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ»

для подготовки бакалавров

по направлению

11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

по профилю

**«Информационные технологии проектирования радиоэлектронных
устройств»**

Санкт-Петербург

2022

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

профессор, д.т.н., доцент Холодняк Д.В.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры МИТ
19.01.2022, протокол № 1

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФРТ, 29.03.2022, протокол № 3

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФРТ
Обеспечивающая кафедра	МИТ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	4
Семестр	8
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	30
Лабораторные занятия (академ. часов)	10
Практические занятия (академ. часов)	20
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	61
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	83
Всего (академ. часов)	144
Вид промежуточной аттестации	
Дифф. зачет (курс)	4

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«МИКРОЭЛЕКТРОНИКА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ»

Изучение дисциплины «Микроэлектроника сверхвысоких частот» позволяет студентам получить базовые знания в области разработки пассивных СВЧ-устройств: резонаторов, фильтров, согласующих цепей и практические навыки проектирования таких устройств в виде интегральных схем СВЧ. Курс также призван сформировать у студентов представление о современном состоянии СВЧ-микроэлектроники и тенденциях ее развития.

SUBJECT SUMMARY

«MICROWAVE MICROELECTRONICS»

The course «Microwave Microelectronics» allows studying basics of design of passive microwave devices such as resonators, filters and matching circuits. It is aimed at obtaining skills of practical design of microwave integrated circuits of those devices. The course is also intended to provide insight into the state of the art of the microwave microelectronics and development trends.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цели изучения дисциплины:

-изучение микроволновых СВЧ-устройств: резонаторов, фильтров и согласующих цепей;

-формирование на основе знаний о методах анализа и синтеза микроволновых СВЧ-устройств умений и навыков проектирования и разработки СВЧ-фильтров и согласующих цепей на отрезках линий передачи и элементах с сосредоточенными параметрами.

2. Задачи изучения дисциплины:

-получение знаний о принципах действия, методах анализа и синтеза СВЧ-устройств их конструкциях, применениях и тенденциях развития;

-овладение умениями проектировать изучаемые устройства на основе формального синтеза, рассчитывать их электрические и конструктивные параметры;

-овладение навыками разработки топологии интегральных схем проектируемых СВЧ-устройств.

3. Получение знаний о методах анализа и синтеза СВЧ-устройств, их конструкциях и применениях.

4. Формирование умений применения программных средств численного электродинамического моделирования характеристик микроволновых СВЧ-устройств

5. Формирование навыков проектирования СВЧ-фильтров и согласующих цепей на отрезках линий передачи и элементах с сосредоточенными параметрами.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Электромагнитные поля и волны»

2. «Проектирование интегральных схем СВЧ»

и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-4	Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований, в том числе, с применением систем автоматизированного проектирования
<i>ПК-4.1</i>	<i>Знает принципы подготовки технических заданий на современные электронные устройства</i>
<i>ПК-4.2</i>	<i>Умеет разрабатывать приборы и системы электронной техники</i>
<i>ПК-4.3</i>	<i>Владеет навыками проектирования и моделирования электронных приборов и систем с учетом заданных требований</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	2				1
2	Резонаторы на отрезках линий передачи	6	8	4		14
3	Фильтры СВЧ	14	8	4		44
4	Согласующие цепи	6	4	2	0	20
5	Заключение	2			1	4
	Итого, ач	30	20	10	1	83
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	144/4				

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Предмет и задачи курса, связь с другими дисциплинами. Применения фильтров СВЧ и согласующих цепей.
2	Резонаторы на отрезках линий передачи	Условие резонанса, определение условия резонанса для различных нагрузок на концах резонатора. Распределение напряжения и тока в резонаторе. Полуволновый резонатор с емкостными элементами связи. Параметры полуволнового резонатора: резонансная частота, собственная, внешняя и нагруженные добротности, коэффициент передачи, вносимое затухание, частотная избирательность.
3	Фильтры СВЧ	Типы фильтров СВЧ и их основные характеристики. Синтез фильтра нижних частот (ФНЧ) с заданной амплитудно-частотной характеристикой. Реализация ФНЧ в виде интегральной схемы. Синтез полосно-пропускающего фильтра (ППФ) на основе ФНЧ-прототипа. Реализация ППФ в виде интегральной схемы: на полуволновых резонаторах с оконечными емкостными связями и на полуволновых резонаторах с боковыми емкостными связями. Миниатюризация ППФ на полуволновых резонаторах. Частотное преобразование для перехода от ФНЧ к фильтру верхних частот и полосно-заграждающему фильтру.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
4	Согласующие цепи	Задача согласования произвольной нагрузки. Узкополосное согласование комплексной нагрузки при помощи двух реактивных элементов с сосредоточенными параметрами. Узкополосное согласование комплексной нагрузки при помощи отрезков линии передачи (отрезка линии и шлейфа, отрезка линии и четверть волнового трансформатора). Узкополосное согласование комплексной нагрузки при помощи отрезка линии передачи и реактивного элемента с сосредоточенными параметрами. Принципы широкополосного согласования, теорема Фано, ограничения полосы частот для согласования произвольной нагрузки. Широкополосное согласование активной нагрузки при помощи четвертьволновых трансформаторов.
5	Заключение	Передовые подходы к проектированию и реализации СВЧ-фильтров и согласующих цепей в микроэлектронном исполнении.

4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Исследование микрополосковых резонаторов.	4
2. Исследование фильтров СВЧ.	4
3. Исследование согласующих цепей.	2
Итого	10

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Распределение напряжения и тока в резонаторе на отрезке линии передачи. Способы возбуждения резонаторов. Условия возникновения резонанса.	4
2. Определение резонансной частоты, вносимого затухания и добротности резонатора по его частотным характеристикам. Зависимость частотных характеристик полуволнового резонатора с емкостными элементами связи от его геометрических параметров.	4
3. Синтез ППФ с заданной АЧХ. Определение требуемого порядка фильтра. Расчет параметров лестничной схемы ППФ.	4
4. Преобразование схемы ППФ при помощи инверторов сопротивлений и проводимости.	4
5. Решение задач согласования произвольной нагрузки с использованием круговой диаграммы полных сопротивлений.	4
Итого	20

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной

дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Самостоятельное изучение студентами теоретических основ дисциплины обеспечено необходимыми учебно-методическими материалами (учебники), выполненными в печатном виде.

Изучение студентами дисциплины сопровождается проведением регулярных консультаций преподавателей, обеспечивающих практические занятия по дисциплине, за счет бюджета времени, отводимого на консультации (внеаудиторные занятия, относящиеся к разделу «Самостоятельные часы для изучения дисциплины»).

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	24
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	12
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	12
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
ИТОГО СРС	83

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
Основная литература		
1	Белецкий, Александр Федорович. Теория линейных электрических цепей [Текст] : учеб. / А.Ф. Белецкий, 2009. -543 с.	неогр.
2	Холодняк, Дмитрий Викторович. Микроэлектроника СВЧ [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / Д. В. Холодняк, Б. С. Буянтуев, 2019. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
3	Пименов, Юрий Вадимович. Техническая электродинамика [Текст] : Учеб. пособие для вузов по специальностям "Сети связи и системы коммутации", "Многоканал. телекоммуникац. системы", "Радиосвязь, радиовещание и телевидение", "Средства связи с подвижными объектами", "Аудиовизуал. техника", "Физика и техника оптич. связи и направлению", "Телекоммуникации" / Ю.В.Пименов, В.И.Вольман, А.Д.Муравцов, 2000. -536 с.	152
4	Сазонов, Дмитрий Михайлович. Устройства СВЧ [Текст] : [учеб. пособие для вузов по специальности "Радиотехника"] / Д. М. Сазонов, А. Н. Гридин, Б. А. Мишустин, 1981. -295 с.	78
Дополнительная литература		
1	Холодняк, Дмитрий Викторович. Фильтры СВЧ на элементах с сосредоточенными параметрами [Текст] : [монография] / Д. В. Холодняк, Е. Ю. Замешаева, 2017. -154 с.	10
2	Многослойные интегральные СВЧ -устройства на основе ЛТСС [Текст] : [монография] / [И. Б. Вендик [и др.] ; под ред. И. Б. Вендик, Д. В. Холодняка], 2013. -206 с.	10
3	Хелзайн, Джозеф. Пассивные и активные цепи СВЧ [Текст] / Дж. Хелзайн ; пер. сангл. В. Повзнера ; под ред. А.С. Галина, 1981. -200 с.	28
4	Маттей, Г.Л. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи [Текст]. [Т. 1], 1971. -438, [1] с.	6

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Microwaves101.com http://www.microwaves101.com

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=12888>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Микроэлектроника сверхвысоких частот» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

Зачет с оценкой

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач

Особенности допуска

Студент допускается к зачету с оценкой, если он посетил не менее 80 % всех занятий и положительно аттестован по итогам промежуточной аттестации (коллоквиумы). Зачет с оценкой проводится в виде устной беседы, в ходе которой студенту могут быть заданы вопросы относительно различных тем изучаемой дисциплины.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Как формулируется условие резонанса для резонатора на отрезке линии передачи?
2	Как резонансная частота резонатора на отрезке линии передачи с емкостными элементами связи зависит от длины резонатора?
3	В каком направлении изменяется резонансная частота при изменении емкости связи (ширины зазоров связи)?
4	В каком случае вносимое затухание на резонансной частоте будет меньше: при использовании широких или узких зазоров связи?
5	Как и почему изменяется нагруженная добротность при изменении ширины зазоров связи?
6	Каким соотношением связаны частоты 1-го, 2-го и 3-го резонансов у идеального резонатора на отрезке линии передачи? Почему у резонатора на отрезке реальной МПЛ это соотношение не выполняется?
7	Чем определяется порядок фильтра?
8	От чего зависит крутизна склонов АЧХ фильтра? Как можно увеличить крутизну передаточной характеристики?
9	Почему различаются АЧХ у фильтров на элементах с сосредоточенными параметрами и на отрезках линий передачи?
10	От чего зависит центральная частота ППФ? Как можно ее изменить?
11	От чего зависит ширина полосы пропускания ППФ? Как ее изменить?
12	От чего зависят потери, вносимые ППФ в полосе пропускания?
13	Какой из фильтров обладает большими вносимыми потерями: широкополосный или узкополосный?
14	Как формулируются условия согласования комплексной нагрузки?
15	Где располагается согласованная нагрузка на круговой диаграмме полных сопротивлений?
16	Сколько степеней свободы согласующей цепи необходимо, чтобы согласовать комплексную нагрузку на одной частоте?

17	В чем заключается принцип согласования комплексной нагрузки при помощи двух сосредоточенных реактивностей?
18	Чем отличается способ согласования комплексной нагрузки при помощи отрезка линии передачи и шлейфа от использования сосредоточенных реактивностей?
19	чем состоит принципиальное отличие согласования комплексной нагрузки при помощи отрезка линии передачи и четвертьволнового трансформатора по сравнению с использованием отрезка линии и шлейфа?
20	Чем ограничена ширина полосы согласования для чисто вещественной (резистивной), чисто мнимой (реактивной) и комплексной нагрузок?
21	Как расширить ширину полосы согласования вещественной нагрузки?

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
4	Резонаторы на отрезках линий передачи	Коллоквиум
8	Фильтры СВЧ	Коллоквиум
10	Согласующие цепи	Коллоквиум

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск к дифф. зачету.

на лабораторных занятиях

- Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты

В процессе обучения по дисциплине «Проектирование интегральных схем СВЧ» студент обязан выполнить 3 лабораторных работы. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После каждой лабораторной работы предусматривается проведение коллоквиума на 4, 8, 10 неделях, на которых осуществляется защита лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется в бригадах до 2 человек. Оформление отчета студентами осуществляется в количестве одного отчета на бригаду в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите. Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется вре-

мя для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной. На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы. Примеры контрольных вопросов приведены в критериях оценивания. Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам, по результатам которой студент получает дифф. зачет.

на практических (семинарских) занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий) и оценивание активности работы студента на практических занятиях, по результатам которого студент получает допуск к дифф. зачету. Коллоквиумы проводятся в виде устной беседы со студентом по материалам лекционных и практических занятий по соответствующим темам.

самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных, лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, IBM совместимые персональные компьютеры (Pentium или выше), экран, проектор, маркерная или меловая доска.	1) Windows 7 или выше; 2) Microsoft Office 2007 или выше
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, IBM совместимые персональные компьютеры (Pentium или выше), экран, проектор, маркерная или меловая доска.	1) Windows 7 или выше; 2) Microsoft Office 2007 или выше; 3) AWR Microwave Design Environment (v12 или выше)
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, IBM совместимые персональные компьютеры (Pentium или выше), экран, проектор, маркерная или меловая доска.	1) Windows 7 или выше; 2) Microsoft Office 2007 или выше; 3) AWR Microwave Design Environment (v12 или выше)
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows 7 или выше; 2) Microsoft Office 2007 или выше; 3) AWR Microwave Design Environment (v12 или выше)

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА