Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы радиотехники и компьютерных технологий
А.В. Дворкович

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Фазированные антенные решетки
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра радиофизики и технической кибернетики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:
- лекции: 30 час.
- семинары: 0 час.
- лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: А.М. Шитиков, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры радиофизики и технической кибернетики 09.04.2020

Аннотация

Фазированные антенные решетки (ФАР) – наиболее перспективная и стремительно развивающаяся отрасль антенной техники, возникшая в начале второй половины 20-го века. Настоящее учебное пособие аккумулирует опыт нескольких десятков лет чтения курса «теория и техника фазированных антенных решеток» в ПАО «РАДИОФИЗИКА», базовом предприятии МФТИ. Предполагается, что слушатель – студент 4-го курса МФТИ, получивший базовую подготовку (основы математического анализа и теории сигналов, свойства преобразования Фурье). Также предполагается, что семестром ранее студент прослушал общий курс теории и техники антенн на нашей базовой кафедре.

Курс теории и техники ФАР позволяет, с одной стороны, получить общее представление об антенных решетках и заложить основу для последующего обучения. Авторы ставят целью выработки у студента общего интуитивного «чувства» ФАР. С другой стороны, курс содержит достаточно информации для студентов, желающих впоследствии специализироваться непосредственно в разработке ФАР.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

изучение основ теории и техники современных фазированных антенных решеток (ФАР).

Задачи дисциплины

- приобретение теоретических знаний о назначении ФАР применительно к системам ра-диолокации и радиосвязи и их основных характеристиках;
- освоение базовых знаний в области физического моделирования ФАР;
- приобретение навыков анализа и синтеза современных ФАР разных конструкций и оценки их характеристик;
- получение представления об алгоритмах и методах формирования луча современных ФАР.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные понятия теории и техники ФАР;
- порядки численных величин, основных характеристик ФАР;
- типы современных ФАР и области их применения
- современные проблемы теории и техники ФАР.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения задач теории и техники ФАР;
- производить численные оценки характеристик ФАР;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- основными методами моделирования фазированных антенных решеток и расчета их характеристик;
- навыками самостоятельной работы и Интернете;
- навыками грамотной обработки результатов численного эксперимента и сопоставления с теоретическими данными.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Диаграммоформирование в ФАР	6			1
2	Калибровка и контроль ФАР	4			1
3	Основные характеристики ФАР	4			1
4	Принципы конструирования ФАР	4			2
5	Системы управления ФАР	4			3
6	Схемы возбуждения ФАР	2			3
7	Фазированные антенные решетки и их назначение	2			2
8	Широкополосные ФАР	4			2
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 8 (Весенний)

1. Диаграммоформирование в ФАР

Управление полем в апертуре – фазовращатели, аттенюаторы. Комплексные амплитуды. Непрерывное и дискретное управление, ошибка установки комплексной амплитуды. Влияние ошибок установки на форму ДН ФАР.

Вычисление комплексных амплитуд - формирование острого луча в заданном направлении. Формула для вычисления фаз. Управление амплитудой для расширения луча и снижения уровня БЛ. Особенности вычисления распределения для конформных антенн. Формула для вычисления фаз для случая конформных антенн.

Многолучевые решетки. Одновременное формирование нескольких лучей. Распределение в апертуре, необходимое для формирования нескольких лучей. Мощности в каналах, для случая когерентных и некогерентных лучей.

Метод парциальных диаграмм для формирования луча. Применение теоремы Котельникова совместно с методом парциальных диаграмм. Взаимное влияние лучей. Синтез ДН методом парциальных диаграмм. Применение метода парциальных ДН для формирования контурных диаграмм направленности.

Адаптивное диаграммоформирование, задачи. Решение задачи в общем виде, через управление распределением в апертуре. Метод Аппельбаума – вычисление ковариаций. Требования к вычислительной мощности и архитектуре системы управления. Итерационные методы оптимизации.

Управление распределением в апертуре с помощью метода парциальных диаграмм. Формирование нулей через вычисление матрицы ковариаций. Итерационные методы формирования нулей. Метод прямого вычисления весов парциальных лучей (многолучевая антенна).

Управление положением нулей для случая линейной антенны. Управление формой ДН. Подавление помехи.

Выбор критериев адаптации (отношение сигнал-шум или уровень сигнала помехи). Особенности адаптации для случая мерцающей помехи. Широкополосная помеха.

Влияние неточности установки комплексного веса на глубину нуля. Поэлементное управление в канале для увеличения глубины нуля.

2. Калибровка и контроль ФАР

Калибровка ФАР. Принципы калибровки. Определение начальной комплексной длины каналов и определение коэффициентов передачи в каждом состоянии. Методы калибровки – прямое измерение с помощью зонда, REV, другие методы. Особенности калибровки многоэлементных антенн. Особенности калибровки в процессе эксплуатации. Методы возбуждения апертуры контрольным сигналом. Влияние ошибки установки зонда на точность калибровки. Влияние безэховости на точность калибровки.

Методы контроля ФАР. Использование методов калибровки для контроля ФАР.

3. Основные характеристики ФАР

Поле ФАР как системы излучателей. Вычисление поля. ДН ФАР как комбинация ДН элемента и множителя решетки. ДН ФАР как преобразование Фурье от распределения в апертуре. Основные особенности ДН – интерференционные лепестки. Расположение и периодичность интерференционных лепестков в линейной антенне, антенне с прямоугольной и гексагональной сетками расстановки излучателей.

Взаимная связь в АР. Парциальная диаграмма излучателя в решетке. Коэффициент усиления ФАР и его изменение при сканировании. Синтез излучателей для ФАР и методы их согласования. Минимальное число управляющих элементов ФАР.

Подавление интерференционных лепестков. Использование ДН элемента для подавления интерференционных лепестков, оптимальная ДН элемента. Подавление интерференционных лепестков в неэквидистантных антеннах. Использование разбиения на подрешетки для подавления интерференционных лепестков.

4. Принципы конструирования ФАР

Принципы конструирования ФАР. Активные и пассивные ФАР. Модульность и компактность при конструировании ФАР. Надежность ФАР, взаимозаменяемость элементов. Необходимость контроля исправности составных элементов ФАР. Особенности конструирования больших антенн. Особенности конструирования ФАР миллиметрового диапазона. Особенности конструирования космических ФАР.

5. Системы управления ФАР

Системы управления ФАР. Принципы управления. Синхронное и несинхронное управление лучом. Центральное и распределенное вычисление. Скорость переключения луча – два времени. Момент переключения луча, синхронизация по импульсу и по времени получения команды. Принципы организации автоматического непрерывного контроля.

6. Схемы возбуждения ФАР

Схемы возбуждения ФАР – оптические, фидерные. Цифровые ФАР.

Волноводные и микрополосковые возбудители для ФАР. Схема "елочка" с делителями. Многолучевые ФАР – схема Батлера и Бласса.

Оптическое возбуждение. Проходные и отражательные ФАР. Многолучевые ФАР с оптическим диаграммоформированием. Линза Ротмана.

7. Фазированные антенные решетки и их назначение

ФАР. Область применения ФАР – локация, системы связи, облучатели ГЗА. Основные задачи – быстрое сканирование, формирование луча сложной формы, адаптивное диаграммоформирование.

Преимущество – быстрое переключение луча, гибкость управления формой луча.

Недостатки – относительно высокая стоимость, относительно низкая надежность при отсутствии возможности обслуживания (надежны при обслуживании).

Типы ФАР – линейные, плоские, конформные, многопанельные , круговые. Эквидистантные и неэквидистантные ФАР. Активные и пассивные ФАР. ФАР с управлением фазой, амплитудой, с дискретным и непрерывным переключением. Цифровые и аналоговые ФАР.

8. Широкополосные ФАР

Изменение положения и формы луча с частотой. Частотное сканирование, волноводно-щелевая антенна.

Вопрос широкополосности ДН, связь ширины рабочей полосы с размерами антенны и размером сектора электронного сканирования. Расширение полосы с использованием линий задержки. Широкополосность ФАР с оптическим диаграммоформированием

Формирование расширенного нуля для подавления помехи в рабочем диапазоне частот.

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

компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Проектирование фазированных антенных решеток. Под ред. Д.И. Воскресенского. Москва, Радиотехника, 2012.
2. О.Г. Вендик, М.Д. Парнес. Антенны с электрическим сканированием, введение в тео-рию. Москва, 2001.
3. Hansen, R.C., Phased array antennas. Willey, 2009.

Дополнительная литература

1. Проектирование фазированных антенных решеток [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. Д. И. Воскресенского .— 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Радиотехника, 2012 .— 744 с

2. Р.А. Мозинго, Т.У. Миллер. Адаптивные антенные решетки, введение в теорию. Мо-сква, Радио и связь, 1986.
3. А.Ф.Чаплин. Анализ и синтез антенных решеток. Львов, Вища школа, 1987 .
4. Mailloux, R.J., Phased array antenna handbook. Artech House Boston, 2005.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. http://lib.mipt.ru – электронная библиотека Физтеха.
2. http://www.edu.ru – федеральный портал «Российское образование».
3. http://benran.ru – библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

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

Мультимедийные технологии, презентации PowerPoint.

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

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

– чтение и конспектирование рекомендованной литературы,

– проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе)

– подготовку дифференцированному зачету.

Показателем владения материалом служит умение свободно оценивать, какое влияние на характеристики ФАР оказывают ее геометрические и конструктивные параметры и их изменение. Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа ответов на вопросы преподавателя, а также индивидуальных консультаций.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра радиофизики и технической кибернетики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: А.М. Шитиков, канд. техн. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Фазированные антенные решетки» обучающийся должен:

знать:

- основные понятия теории и техники ФАР;
- порядки численных величин, основных характеристик ФАР;
- типы современных ФАР и области их применения
- современные проблемы теории и техники ФАР.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения задач теории и техники ФАР;
- производить численные оценки характеристик ФАР;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- основными методами моделирования фазированных антенных решеток и расчета их характеристик;
- навыками самостоятельной работы и Интернете;
- навыками грамотной обработки результатов численного эксперимента и сопоставления с теоретическими данными.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примерный перечень заданий к выполнению расчетно-аналитической работы:

По заданной ширине луча, частоте и сектору электронного сканирования определить геометрию ФАР (размер апертуры, шаг между элементами и их количество).

Описать изменения в конструкции антенны, необходимые для обеспечения работы в широком диапазоне частот.

Другие формы текущего контроля:

Контроль посещаемости и активности на лекциях

Выполнение лабораторной работы по калибровке ФАР.

Критерии бальной оценки различных форм текущего контроля успеваемости:

учащийся получает полную отличную оценку (10 баллов) только при посещении 80% лекций, правильном выполнении расчетно-аналитической работы.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета:

1. Определение ФАР. Область применения современных ФАР. Задачи, решаемые современными ФАР. Типы современных ФАР.
2. Основные характеристики ФАР.
3. Методы подавления интерференционных лепестков ФАР.
4. Формулы для расчета амплитудно-фазового распределения, формирующего луч в заданном направлении. Использование метода парциальных диаграмм для синтеза ДН ФАР
5. Адаптивное диаграммоформирование через вычисление матрицы ковариации
6. Адаптивное диаграммоформирование методом парциальных диаграмм
7. Адаптивное диаграммоформирование итерационными методами
8. Сравнение методов адаптивного диаграммоформирования.
9. Схемы возбуждения ФАР
10. Широкополосные ФАР
11. Принципы конструирования ФАР
12. Надежность ФАР и методы контроля
13. Методы калибровки ФАР
14. Системы управления ФАР и их характеристики

Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

Обучающемуся предоставляется до 45 минут на подготовку. При подготовке обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой и конспектами лекций.

После подготовки обучающийся отвечает на вопрос и поясняет результаты, полученные при выполнении расчетно-аналитической работы. Преподаватель задает обучающемуся дополнительные вопросы, при подготовке к ответу обучающийся может пользоваться справочной литературой, вычислительной техникой и конспектами лекций.