

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)



А.А. Панфилов

« 01 » 09 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕОРИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Направление подготовки 11.04.01 Радиотехника

Профиль/программа подготовки Радиотехнические и телекоммуникационные системы

Уровень высшего образования магистратура

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
3	3/108	-	36	-	45	Экзамен (27)
Итого	3/108	-	36	-	45	Экзамен (27)

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: усвоение основных положений и принципов теории многоэлементных фазированных антенных решеток (ФАР), ознакомление с методами компьютерного и имитационного моделирования характеристик многоэлементных ФАР, анализ характеристик многоэлементных ФАР методом физического моделирования с использованием современных средств вычислительной техники.

Задачи: углубленная подготовка в области компьютерного и имитационного моделирования характеристик многоэлементных антенных систем для профессиональной деятельности специалиста: научно-исследовательской.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина Теория многоэлементных фазированных антенных решеток (ТМЭФАР) относится к вариативной части.

Пререквизиты дисциплины: физика радиоволн, электродинамика и распространение радиоволн, устройств СВЧ и антенн, проектирование микросистемных устройств и антенн, основы компьютерного проектирования и моделирования электронных средств.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП.

Код формируемых компетенций.	Уровень освоения компетенций.	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность	Частичное освоение.	Знать: современное состояние и проблемы теории многоэлементных антенных систем, методы их математического и имитационного моделирования, эффективность различных методов в зависимости от конфигурации систем.
	Неполное освоение.	Знать: современное состояние и проблемы теории многоэлементных антенных систем, методы их математического и имитационного моделирования, эффективность различных методов в зависимости от конфигурации систем. Уметь: представлять и анализировать современное состояние и проблемы теории многоэлементных антенных систем, применять методы их математи-

<p>сделанного выбора.</p>	<p>Полное освоение.</p>	<p>ческого и имитационного моделирования, оценивать эффективность различных методов в зависимости от конфигурации систем.</p> <p>Знать: современное состояние и проблемы теории многоэлементных антенных систем, методы их математического и имитационного моделирования, эффективность различных методов в зависимости от конфигурации систем. Уметь: представлять и анализировать современное состояние и проблемы теории многоэлементных антенных систем, применять методы их математического и имитационного моделирования, оценивать эффективность различных методов в зависимости от конфигурации систем. Владеть: способами представления и анализа современного состояния и проблем теории многоэлементных антенных систем, методами их математического и имитационного моделирования, оценкой эффективности различных методов в зависимости от конфигурации систем.</p>
<p>ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументированно защищать результаты выполненной работы.</p>	<p>Частичное освоение.</p> <p>Неполное освоение.</p> <p>Полное освоение.</p>	<p>Знать: современные методы исследования многоэлементных антенных систем, представлять и аргументированно защищать результаты выполненного математического и имитационного моделирования фазированных антенных решеток.</p> <p>Знать: современные методы исследования многоэлементных антенных систем, представлять и аргументированно защищать результаты выполненного математического и имитационного моделирования фазированных антенных решеток. Уметь: применять современные методы исследования многоэлементных антенных систем, аргументированно защищать результаты математического и имитационного моделирования фазированных антенных решеток.</p> <p>Знать: современные методы исследования многоэлементных антенных систем, представлять и аргументированно защищать результаты выполненного математического и имитационного моделирования фазированных антенных решеток.</p>

		<p>ческого и имитационного моделирования фазированных антенных решеток. Уметь: применять современные методы исследования многоэлементных антенных систем, аргументированно защищать результаты математического и имитационного моделирования фазированных антенных решеток. Владеть: современными методами исследования многоэлементных антенных систем, способами аргументированно защищать результаты выполненного математического и имитационного моделирования фазированных антенных решеток.</p>
<p>ОПК-3 Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые подходы и решения инженерных задач.</p>	<p>Частичное освоение.</p> <p>Неполное освоение.</p> <p>Полное освоение.</p>	<p>Знать: способы поиска, приобретения и использования новой информации о современном состоянии и проблемах теории многоэлементных антенных систем, методах их математического и имитационного моделирования.</p> <p>Знать: способы поиска, приобретения и использования новой информации о современном состоянии и проблемах теории многоэлементных антенных систем, методах их математического и имитационного моделирования. Уметь: применять способы поиска, приобретения и использования новой информации о современном состоянии и проблемах теории многоэлементных антенных систем, методах их математического и имитационного моделирования.</p> <p>Знать: способы поиска, приобретения и использования новой информации о современном состоянии и проблемах теории многоэлементных антенных систем, методах их математического и имитационного моделирования. Уметь: применять способы поиска, приобретения и использования новой информации о современном состоянии и проблемах теории многоэлементных антенных систем, методах их математического и имитационного моделирования. Владеть: способами поиска, приобретения и использования новой информации о современном состоянии и проблемах теории многоэлементных</p>

		антенных систем, методах их математического и имитационного моделирования.
<p>ПК-2</p> <p>Способен выполнять моделирование объектов и процессов с целью анализа и оптимизации их параметров с использованием имеющихся средств исследований, включая стандартные пакеты прикладных программ.</p>	Частичное освоение.	Знать: математические методы компьютерного моделирования многоэлементных антенных систем и оптимизации их параметров, методы имитационного моделирования параметров фазированных антенных решеток и способы оценки погрешностей моделирования.
	Неполное освоение.	Знать: математические методы компьютерного моделирования многоэлементных антенных систем и оптимизации их параметров, методы имитационного моделирования параметров фазированных антенных решеток и способы оценки погрешностей моделирования. Уметь: выполнять компьютерного моделирования многоэлементных антенных систем и оптимизацию их параметров, проводить имитационное моделирование фазированных антенных решеток и оценку погрешностей моделирования.
	Полное освоение.	Знать: математические методы компьютерного моделирования многоэлементных антенных систем и оптимизации их параметров, методы имитационного моделирования параметров фазированных антенных решеток и способы оценки погрешностей моделирования. Уметь: выполнять компьютерного моделирования многоэлементных антенных систем и оптимизацию их параметров, проводить имитационное моделирование фазированных антенных решеток и оценку погрешностей моделирования. Владеть: математическими методами компьютерного моделирования многоэлементных антенных систем и оптимизации их параметров, методами имитационного моделирования фазированных антенных решеток и способами оценки погрешностей моделирования.

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Наименование разделов дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Расчет ФАР из плоских волноводов методом прямого обращения.	3	1		2		2,5	1/50	
			2		2		2,5	1/50	
2	Моделирование характеристик ФАР из плоско-параллельных волноводов при сканировании в Е- и Н-плоскостях.	3	3		2		2,5	1/50	
			4		2		2,5	1/50	
3	Моделирование характеристик ФАР из плоских волноводов с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях.	3	5		2		2,5	1/50	
			6		2		2,5	1/50	Рейтинг-контроль 1
4	Моделирование характеристик ФАР из плоских волноводов с диэлектрическими вставками при сканировании в Е- и Н-плоскостях.	3	7		2		2,5	1/50	
			8		2		2,5	1/50	
5	Компьютерный анализ метода «конечного фрагмента» ФАР.	3	9		2		2,5	1/50	
			10		2		2,5	1/50	

6	Погрешность метода «конечного фрагмента», обусловленная конечным числом излучателей.	3	11		2		2,5	1/50	
		3	12		2		2,5	1/50	Рейтинг-контроль 2
7	Погрешность метода «конечного фрагмента», обусловленная ошибкой измерения матрицы КВС.	3	13		2		2,5	1/50	
		3	14		2		2,5	1/50	
8	Погрешность метода «конечного фрагмента», обусловленная технологической ошибкой реализации макета.	3	15		2		2,5	1/50	
		3	16		2		2,5	1/50	
9	Суммарная погрешность метода «конечного фрагмента»	3	17		2		2,5	1/50	
		3	18		2		2,5	1/50	Рейтинг-контроль 3
Всего за 3 семестр				-	36	-	45	18/50	Экзамен
Наличие в дисциплине КР/КП									
Итого по дисциплине				-	36	-	45	18/50	Экзамен

Содержание практических занятий по дисциплине

Раздел 1. Расчет ФАР из плоских волноводов методом прямого обращения.

Тема 1. Описание метода прямого обращения.

Постановка задачи. Вспомогательные задачи. Схема вычислительного процесса.

Тема 2. Программная реализация метода прямого обращения.

Основная и сервисная части программного комплекса. Подпрограммы основной части, их содержание и назначение. Назначение и возможности сервисной части.

Раздел 2. Моделирование характеристик ФАР из плоско-параллельных волноводов при сканировании в Е- и Н-плоскостях.

Тема 1. Расчет зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР от угла фазирования при сканирование в Е- плоскости.

Расчет элементов столбца матрицы КВС. Расчёт решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, с шагом больше λ ; со стенками волноводов нулевой и конечной толщины.

Тема 2. Расчет зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР от угла фазирования при сканирование в Н- плоскости.

Расчет элементов столбца матрицы КВС. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , с шагом больше λ ; со стенками волноводов нулевой и конечной толщины.

Раздел 3. Моделирование характеристик ФАР из плоских волноводов с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в E- и H-плоскостях.

Тема 1. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическим экраном в раскрыве от угла фазирования при сканировании в E-плоскости.

Расчет элементов столбца матрицы КВС. Расчет решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, с шагом больше λ ; со стенками волноводов нулевой и конечной толщины. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты с толщиной экрана $\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon/4, 5\lambda_\epsilon/8, 6\lambda_\epsilon/8, 7\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon$, где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.

Тема 2. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическим экраном в раскрыве от угла фазирования при сканировании в H-плоскости.

Расчет элементов столбца матрицы КВС. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , с шагом больше λ ; со стенками волноводов нулевой и конечной толщины. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты с толщиной экрана $\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon/4, 5\lambda_\epsilon/8, 6\lambda_\epsilon/8, 7\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon$, где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.

Раздел 4. Моделирование характеристик ФАР из плоских волноводов с диэлектрическими вставками при сканировании в E-и H-плоскостях.

Тема 1. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическими вставками в раскрыве от угла фазирования при сканировании в E-плоскости.

Расчет элементов столбца матрицы КВС. Расчет решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, с шагом больше λ ; со стенками волноводов нулевой и конечной толщины. Относительная диэлектрическая проницаемость вставок $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты с толщиной вставок $\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon/4, 5\lambda_\epsilon/8, 6\lambda_\epsilon/8, 7\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon$, где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью вставок.

Тема 2. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическими вставками в раскрыве от угла фазирования при сканировании в H-плоскости.

Расчет элементов столбца матрицы КВС. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , с шагом больше λ ; со стенками волноводов нулевой и конечной толщины. Относительная диэлектрическая проницаемость вставок $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты с толщиной вставок $\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon/4, 5\lambda_\epsilon/8, 6\lambda_\epsilon/8, 7\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon$, где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью вставок.

Раздел 5. Компьютерный анализ метода «конечного фрагмента» ФАР.

Тема 1. Матрица КВС в антенной решетке.

Взаимная связь в бесконечной решетке. Взаимная связь в решетке конечных размеров и краевой эффект

Тема 2. Программная реализация метода «конечного фрагмента» .

Основная и сервисная части программного комплекса. Структурная схема вычислительного процесса. Подпрограммы основной части, их содержание и назначение. Назначение и возможности сервисной части.

Раздел 6. Погрешность метода «конечного фрагмента», обусловленная конечным числом излучателей.

Тема 1. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Е-плоскости, получаемой при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов.

Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Тема 2. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Н-плоскости, получаемой при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Тема 3. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Е-плоскости, получаемой при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов.

Расчет выполнить для решетки с диэлектрическим экраном в раскрыве с шагом меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты толщины экрана $\lambda_\epsilon/8; \lambda_\epsilon/2, \lambda_\epsilon/4$, где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.

Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Тема 4. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Н-плоскости, получаемой при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов.

Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты толщины экрана $\lambda_\epsilon/8$; $\lambda_\epsilon/2$, $\lambda_\epsilon/4$, где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Раздел 7. Погрешность метода «конечного фрагмента», обусловленная ошибкой измерения матрицы КВС.

Тема 1. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР от угла фазирования при сканировании в Е-плоскости.

С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Е-плоскости, получаемую при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\sigma=0,1$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Тема 2. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР от угла фазирования при сканировании в Н-плоскости.

С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Н-плоскости, получаемую при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\sigma=0,1$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Тема 3. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическим экраном в раскрыве от угла фазирования при сканировании в Е-плоскости.

Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\sigma=0,1$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией. Рассмотреть варианты с толщиной экрана $\lambda_\epsilon/8$, $\lambda_\epsilon/4$, $5\lambda_\epsilon/8$, $6\lambda_\epsilon/8$, $7\lambda_\epsilon/8$, λ_ϵ , где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.

Тема 4. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическим экраном в раскрыве от угла фазирования при сканировании в Н-плоскости.

Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\sigma=0,1$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией. Рассмотреть варианты с толщиной экрана $\lambda_\varepsilon/8, \lambda_\varepsilon/4, 5\lambda_\varepsilon/8, 6\lambda_\varepsilon/8, 7\lambda_\varepsilon/8, \lambda_\varepsilon$, где $\lambda_\varepsilon = \lambda_0/\sqrt{\varepsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.

Раздел 8. Погрешность метода «конечного фрагмента», обусловленная технологической ошибкой реализации макета.

Тема 1. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Е-плоскости, получаемой при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов.

Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,1$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Тема 2. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Н-плоскости, получаемой при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов.

Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,1$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Тема 3. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Е-плоскости, получаемой при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов.

Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,1$. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\varepsilon=3$. Рассмотреть варианты толщины экрана $\lambda_\varepsilon/8; \lambda_\varepsilon/2, \lambda_\varepsilon/4$, где $\lambda_\varepsilon = \lambda_0/\sqrt{\varepsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Тема 4. Тема 3. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Н-плоскости, получаемой при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов.

Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,1$. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты толщины экрана $\lambda_c/8$; $\lambda_c/2$, $\lambda_c/4$, где $\lambda_c = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Раздел 9. Суммарная погрешность метода «конечного фрагмента».

Тема 1. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Е-плоскости, получаемой при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов, при наличии технологической погрешности и погрешности измерения матрицы КВС.

С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Е-плоскости, получаемую при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,06$ и $\sigma=0,05$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

Тема 2. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Н-плоскости, получаемой при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов, при наличии технологической погрешности и погрешности измерения матрицы КВС.

С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Н-плоскости, получаемую при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,06$ и $\sigma=0,05$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без и с экстраполяцией.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Теория многоэлементных фазированных антенных решеток» используются разнообразные образовательные технологии, как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивных методы обучения:

- Интерактивные практические занятия (раздел № 1, темы № 1, 2; раздел № 2, темы № 1, 2; раздел № 3, темы № 1, 2; раздел № 4, темы № 1, 2; раздел № 5, темы № 1, 2; (раздел № 6, темы № 1, 2; раздел № 7, темы № 1, 2; раздел № 8, темы № 1, 2; раздел № 9, темы № 1, 2);

- Интерактивная СРС (раздел № 1, темы № 1, 2; раздел № 2, темы № 1, 2; раздел № 3, темы № 1, 2; раздел № 4, темы № 1, 2; раздел № 5, темы № 1, 2; (раздел № 6, темы № 1, 2; раздел № 7, темы № 1, 2; раздел № 8, темы № 1, 2; раздел № 9, темы № 1, 2).

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Текущий контроль успеваемости.

Рейтинг-контроль №1

1. Основные параметры многоэлементных ФАР и их взаимосвязь (п. 7а, [1] с. 7-10).
2. Математические и физические способы моделирования характеристик ФАР при сканировании (п. 7а, [1] с. 3-6).
3. Математическое обоснование метода «конечного фрагмента» (п. 7а, [1] с. 7-13).
4. Математическая модель бесконечной периодической ФАР (п. 7а, [1] с. 14-17).
5. Взаимная связь в бесконечной линейной ФАР (п. 7а, [1] с. 18-23).
6. Решетка конечных размеров и краевые эффекты (п. 7а, [1] с. 24-27).

Рейтинг-контроль №2

1. Расчет характеристик бесконечной ФАР из плоских волноводов комбинированным методом (п. 7а, [1] с. 28-36).
2. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 7а, [1] с. 37-39).
3. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 7а, [1] с. 40-43).
4. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов с диэлектрическими вставками в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 7а, [1] с. 44-46).

Рейтинг-контроль №3

1. Математическое содержание и описание алгоритма программы анализа погрешностей метода «конечного фрагмента» (п. 7а, [1] с. 47-50).
2. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента» и ее связь с числом излучателей на фрагменте (п. 7а, [1] с. 51-64).
3. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная погрешностью измерения матрицы КВС (п. 7а, [1] с. 65-72).
4. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная технологической погрешностью реализации макета (п. 7а, [1] с. 72-78).

5. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная суммарной погрешностью (п. 7а, [1] с. 78-79).

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.

Вопросы к экзамену.

1. Основные параметры многоэлементных ФАР и их взаимосвязь .
2. Математические и физические способы моделирования характеристик ФАР при сканировании .
3. Математическое обоснование метода «конечного фрагмента» .
4. Математическая модель бесконечной периодической ФАР .
5. Взаимная связь в бесконечной линейной ФАР .
6. Решетка конечных размеров и краевые эффекты .
7. Расчет характеристик бесконечной ФАР из плоских волноводов комбинированным методом .
8. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов при сканировании в Е- и Н-плоскостях .
9. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях .
10. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов с диэлектрическими вставками в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях .
11. Математическое содержание и описание алгоритма программы анализа погрешностей метода «конечного фрагмента» .
12. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента» и ее связь с числом излучателей на фрагменте .
13. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная погрешностью измерения матрицы КВС .
14. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная технологической погрешностью реализации макета .
15. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная суммарной погрешностью .

Самостоятельная работа студентов (СРС).

СРС с лекционными материалами.

1. Основные параметры многоэлементных ФАР и их взаимосвязь (п. 7а, [1] с. 7-10).
2. Математические и физические способы моделирования характеристик ФАР при сканировании (п. 7а, [1] с. 3-6).
3. Математическое обоснование метода «конечного фрагмента» (п. 7а, [1] с. 7-13).

4. Математическая модель бесконечной периодической ФАР (п. 7а, [1] с. 14-17).
5. Взаимная связь в бесконечной линейной ФАР (п. 7а, [1] с. 18-23).
6. Решетка конечных размеров и краевые эффекты (п. 7а, [1] с. 24-27).
7. Расчет характеристик бесконечной ФАР из плоских волноводов комбинированным методом (п. 7а, [1] с. 28-36).
8. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 7а, [1] с. 37-39).
9. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 7а, [1] с. 40-43).
10. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов с диэлектрическими вставками в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 7а, [1] с. 44-46).
11. Математическое содержание и описание алгоритма программы анализа погрешностей метода «конечного фрагмента» (п. 7а, [1] с. 47-50).
12. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента» и ее связь с числом излучателей на фрагменте (п. 7а, [1] с. 51-64).
13. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная погрешностью измерения матрицы КВС (п. 7а, [1] с. 65-72).
14. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная технологической погрешностью реализации макета (п. 7а, [1] с. 72-78).
15. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная суммарной погрешностью (п. 7а, [1] с. 78-79).

Расчетно-графическая работа для СРС.

1. Компьютерное моделирование характеристик ФАР из плоско - параллельных волноводов (п. 7а, [1] с. 28-37).
 - 1.1. Моделирование характеристик ФАР из плоско-параллельных волноводов при сканирование в Е- и Н- плоскостях (п. 7а, [1] с. 37-39).
 - 1.1(1) С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР от угла фазирования при сканирование в Е- плоскости. Рассчитать элементы столбца матрицы КВС. Расчёт выполнить для решетки с шагом как меньше, так и больше $\lambda/2$; со стенками волноводов нулевой и конечной толщины.
 - 1.1(2) С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР от угла фазирования при сканирование в Н- плоскости. Рассчитать элементы столбца матрицы

- КВС. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ .
- 1.1(3) С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР от угла фазирования при сканирование в Е- плоскости. Рассчитать элементы матрицы КВС. Расчет выполнить для решетки с шагом больше λ , со стенками волновода нулевой и конечной толщины.
- 1.1(4) С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР от угла фазирования при сканирование в Н- плоскости. Рассчитать элементы матрицы КВС. Расчет выполнить для решетки с шагом больше λ , со стенками волновода нулевой и конечной толщины.
- 1.2. Моделирование характеристик ФАР из плоских волноводов с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканирование в Е- и Н- плоскостях (п. 7а, [1] с. 40-44).
- 1.2(1) Решить задачу, аналогичную 1.1(1), для решетки с диэлектрическим экраном в раскрыве. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты с толщиной экрана $\lambda_e/8, \lambda_e/4, 5\lambda_e/8, 6\lambda_e/8, 7\lambda_e/8, \lambda_e$, где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.
- 1.2(2) Решить задачу, аналогичную 1.1(2), для решетки с диэлектрическим экраном в раскрыве. Электродинамические и геометрические параметры экрана – аналогичны задаче 1.2(1).
- 1.2(3) Решить задачу, аналогичную 1.1(3), для решетки с диэлектрическим экраном в раскрыве. Электродинамические и геометрические параметры экрана – аналогичны задаче 1.2(1).
- 1.2(4) Решить задачу, аналогичную 1.1(4), для решетки с диэлектрическим экраном в раскрыве. Электродинамические и геометрические параметры экрана – аналогичны задаче 1.2(1).
- 1.3. Моделирование характеристик ФАР из плоских волноводов с диэлектрическими вставками при сканирование в Е- и Н- плоскостях (п. 7а, [1] с. 44-46).
- 1.3(1) Решить задачу, аналогичную 1.1(1), для решетки с диэлектрическими вставками. Относительная диэлектрическая проницаемость материала вставок $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты с толщиной вставок $\lambda_e/8; \lambda_e/2, \lambda_e/4, 5\lambda_e/8, 6\lambda_e/8, 7\lambda_e/8, \lambda_e, \lambda_e$, где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью вставок.

- 1.3(2) Решить задачу, аналогичную 1.1(2), для решетки с диэлектрическими вставками. Электродинамические и геометрические параметры вставок – аналогичны задаче 1.3(1).
- 1.3(3) Решить задачу, аналогичную 1.1(3), для решетки с диэлектрическими вставками. Электродинамические и геометрические параметры вставок – аналогичны задаче 1.3(1).
- 1.3(4) Решить задачу, аналогичную 1.1(4), для решетки с диэлектрическими вставками. Электродинамические и геометрические параметры вставок – аналогичны задаче 1.3(1).
2. Компьютерный анализ погрешностей метода «конечного фрагмента» при имитационном моделировании характеристик ФАР из плоскопараллельных волноводов (п. 7а, [1] с. 47-50).
- 2.1 Анализ погрешности, обусловленной конечным числом элементов на фрагменте для ФАР различной конфигурации (п. 7а, [1] с. 51-64).
- 2.1(1) С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Е-плоскости, получаемую при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без экстраполяции.
- 2.1(2) С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Н-плоскости, получаемую при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без экстраполяции.
- 2.1(3) Решить задачу, аналогичную 2.1(1), для решетки с диэлектрическим экраном в раскрыве. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты толщины экрана $\lambda_\epsilon/8$; $\lambda_\epsilon/2$, $\lambda_\epsilon/4$, где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ – длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.
- 2.1(4) Решить задачу, аналогичную 2.1(2), для решетки с диэлектрическим

экраном в раскрыве. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты толщины экрана $\lambda_\epsilon/8$; $\lambda_\epsilon/2$, $\lambda_\epsilon/4$, где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.

- 2.2 Анализ погрешности, обусловленной погрешностью измерения матрицы КСВ фрагмента для ФАР различной конфигурации (п. 7а, [1] с. 65-72).
- 2.2(1) С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Е-плоскости, получаемую при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\sigma=0,1$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без экстраполяции.
- 2.2(2) С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Н-плоскости, получаемую при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\sigma=0,1$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без экстраполяции.
- 2.2(3) Решить задачу, аналогичную 2.2(1), для решетки с диэлектрическим экраном в раскрыве. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты толщины экрана $\lambda_\epsilon/8$; $\lambda_\epsilon/2$, $\lambda_\epsilon/4$, где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.
- 2.2(4) Решить задачу, аналогичную 2.2(2), для решетки с диэлектрическим экраном в раскрыве. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты толщины экрана $\lambda_\epsilon/8$; $\lambda_\epsilon/2$, $\lambda_\epsilon/4$, где $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.
- 2.3 Анализ погрешности, обусловленной технологической погрешностью реализации макета фрагмента ФАР различной конфигурации (п. 7а, [3] с. 72-78).
- 2.3(1) С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Е-плоскости, получаемую при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом

меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,1$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без экстраполяции.

- 2.3(2) С помощью программы МКФ рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Н-плоскости, получаемую при имитационном моделировании на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,1$. Рассмотреть задачи восстановления зависимости по 10, 20, 30, 40, 50, 80 КВС без экстраполяции.
- 2.3(3) Решить задачу, аналогичную 2.3(1), для решетки с диэлектрическим экраном в раскрыве. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты толщины экрана $\lambda_\epsilon/8$; $\lambda_\epsilon/2$, $\lambda_\epsilon/4$, где $\lambda_\epsilon=\lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.
- 2.3(4) Решить задачу, аналогичную 2.3(2), для решетки с диэлектрическим экраном в раскрыве. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты толщины экрана $\lambda_\epsilon/8$; $\lambda_\epsilon/2$, $\lambda_\epsilon/4$, где $\lambda_\epsilon=\lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.

Варианты заданий РГР

- Вариант РГР №1: 1.1(1); 1.2(1); 1.3(1); 2.1(1); 2.2(1); 2.3(1).
- Вариант РГР №2: 1.1(2); 1.2(2); 1.3(2); 2.1(2); 2.2(2); 2.3(2).
- Вариант РГР №3: 1.1(3); 1.2(3); 1.3(3); 2.1(3); 2.2(3); 2.3(3).
- Вариант РГР №4: 1.1(4); 1.2(4); 1.3(4); 2.1(4); 2.2(4); 2.3(4).

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Книгообеспеченность.

№ п/п	Название и выходные данные (автор, вид издания, издательство, издания, количество страниц)	Год издания	Количество экземпляров в библиотеке университета	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4	5
7а	Основная литература			

1	Сазонов Д.М. Многоэлементные антенные системы. Матричный подход. – М.: Радиотехника, 2015. – 144 с. ISBN 978-5-9221-1229-1	2015		http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112291.html
2	Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки/Хансен Р.С.; ред. С англ. Синани А.И. - [2-е изд.]. - М.: Техносфера, 2012. - 558 с. - ISBN 978-5-94836-323-3	2012		http://www.stulentlibrary.ru/book/ISBN9785948363233.htm
3	Банков С.Е. Антенные решетки с последовательным питанием [Электронный ресурс] / Банков С.Е. – Электрон. Текстовые данные. - М.: Физматлит, 2013. – 416 с. ISBN 978-5-9221-1405-9	2013		http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1-id=49102
7б	Дополнительная литература			
1	Типикин А.А. Моделирование антенных устройств в Matlab с использованием пакета расширения Antenna Toolbox [Электронный ресурс]/Типикин А.А.-Электрон. Текстовые данные.-М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2016.-116с. ISBN978-5-91359-197-5	2016		http://www.iprbookshop.ru/53831 .
2	Скобелев С.П. Фазированные антенные решетки с парциальными диаграммами направленности (электронный ресурс). – М.: Физматлит, 2012. – 320 с. ISBN 978-5-9221-1229-1	2012		http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112291.html

7.2. Периодические издания - .

7.3. Интернет-ресурсы:

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112291.html>

<http://www.stulentlibrary.ru/book/ISBN9785948363233.htm>;

<http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1-id=49102>;

<http://www.iprbookshop.ru/53831>;

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112291.html>.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеется специальное помещение для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, для самостоятельной работы. Практические занятия проводятся в лаборатории Антенн и устройств СВЧ (510-3). Материально-техни-

ческое обеспечение дисциплины включает компьютеры со специализированным программным обеспечением МКФ для выполнения практических заданий.

Рабочую программу составил профессор кафедры РТ и РС _____ В.М. Гаврилов
Рецензент Генеральный директор ОАО

“Владимирское КБ Радиосвязи” _____ А.Е.Богданов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТ и РС

Протокол № 1 от 31.03.20 года.

Заведующий кафедрой РТ и РС _____ О.Р. Никитин

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии
направления 11.03.01 Радиотехника

Протокол № 1 от 1.09.20 года.

Председатель комиссии _____ О.Р.Никитин

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины Теория многоэлементных фазированных антенных решеток образовательной программы направления подготовки 11.04.01 Радиотехника, направленность: магистратура.

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1	2	3	4

Зав. кафедрой