

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)

Институт информационных технологий и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института



Галкин А.А.

2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
ТЕОРИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

**направление подготовки / специальность**

11.04.01 Радиотехника

**направленность (профиль) подготовки**

Радиотехнические и телекоммуникационные системы

г. Владимир

Год 2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины Теория многоэлементных фазированных антенных решеток является 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

Дисциплина Теория многоэлементных фазированных антенных решеток относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-1. Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора.	ОПК-1.1. Знает тенденции и перспективы развития радиотехники, а также смежных областей науки и техники. ОПК-1.2 Умеет использовать передовой и зарубежный опыт в профессиональной сфере деятельности. ОПК-1.3 Владеет методиками оценки эффективности предлагаемых вариантов выбора решения проблемы.	Знает современное состояние и проблемы теории многоэлементных антенных систем, методы их математического и имитационного моделирования, эффективность различных методов в зависимости от конфигурации систем. Умеет 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 сис-	Опрос по пройденному материалу. Тестовые вопросы.

		<p>тем.</p> <p>Владеет способами представления и анализа современного состояние 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>ОПК-2.1. Знает методы синтеза и исследования моделей.</p> <p>ОПК-2.2. Умеет адекватно ставить задачи исследования и оптимизации сложных объектов на основе методов математического моделирования.</p> <p>ОПК-2.3. Владеет навыками методологического анализа научного исследования и его результатов.</p>	<p>Знает современные методы исследования многоэлементных антенных систем, представляет и аргументированно защищает результаты выполненного математического и имитационного моделирования фазированных антенных решеток.</p> <p>Умеет применять современные методы исследования многоэлементных антенных систем, аргументированно защищать результаты математического и имитационного моделирования фазированных антенных решеток.</p> <p>Владеет современными методами исследования многоэлементных антенных систем, способами аргументированно защищать результаты выполненного математического и имитационного моделирования фазированных антенных решеток.</p>	<p>Решение контрольных задач на практических занятиях.</p>

<p>ОПК-3. Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач.</p>	<p>ОПК-3.1. Знает принципы построения локальных и глобальных компьютерных сетей, основы интернет-технологий, типовые процедуры применения проблемно-ориентированных прикладных программных средств в дисциплинах профессионального цикла и профессиональной сфере деятельности.</p> <p>ОПК-3.2. Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности научной и образовательной деятельности.</p> <p>ОПК-3.3. Владеет методами математического моделирования радиотехнических устройств и систем, технологических процессов с использованием современных информационных технологий.</p>	<p>Знает способы поиска, приобретения и использования новой информации о современном состоянии и проблемах теории многоэлементных антенных систем, методах их математического и имитационного моделирования.</p> <p>Умеет 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>Владеет способами поиска, приобретения и использования новой информации о современном состоянии и проблемах теории многоэлементных антенных систем, методах их математического и имитационного моделирования.</p>	<p>Решение контрольных задач на практических занятиях.</p>
<p>ПК-2. Способен выполнять моделирование объектов и процессов с целью анализа и оптимизации их параметров с использованием имеющихся средств исследований, включая стандартные пакеты прикладных программ.</p>	<p>ПК-2.1. Знает физические и математические модели и методы моделирования сигналов, процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиотехнических устройств и систем.</p> <p>ПК-2.2. Умеет формулировать и решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы для анализа, синтеза и моделирования</p>	<p>Знает математические методы компьютерного моделирования многоэлементных антенных систем и оптимизации их параметров, методы имитационного моделирования параметров фазированных антенных решеток и способы оценки погрешностей моделирования.</p> <p>Умеет выполнять компьютерное моделирование многоэлементных антенных систем и оптимиза-</p>	<p>Решение контрольных задач на практических занятиях.</p>

	<p>радиотехнических устройств и систем.  ПК-2.3. Владеет математическим аппаратом для решения задач теоретической и прикладной радиотехники, методами исследования и моделирования объектов радиотехники.</p>	<p>цию их параметров, проводить имитационное моделирование фазированных антенных решеток и оценку погрешностей моделирования.  Владеет математическими методами компьютерного моделирования многоэлементных антенных систем и оптимизацией их параметров, методами имитационного моделирования фазированных антенных решеток и способами оценки погрешностей моделирования.</p>	
--	---	---	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия <sup>1</sup>	Лабораторные работы	в форме практической подготовки <sup>2</sup>		
1	Расчет ФАР из плоских волноводов методом прямого обращения.	3	1		2		1	2	
		3	2		2		1	2	
2	Моделирование характеристик ФАР из плоскопараллельных волноводов при сканировании в Е- и Н-плоскостях.	3	3		2		1	2	
		3	4		2		1	2	
3	Моделирование характеристик ФАР из плоских	3	5		2		1	2	
		3	6		2		1	2	Рейтинг-

	волноводов с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях.								контроль 1
4	Моделирование характеристик ФАР из плоских волноводов с диэлектрическими вставками при сканировании в Е- и Н-плоскостях.	3	7		2		1	2	
		3	8		2		1	2	
5	Компьютерный анализ метода «конечного фрагмента» ФАР.	3	9		2		1	2	
		3	10		2		1	3	
6	Погрешность метода «конечного фрагмента», обусловленная конечным числом излучателей.	3	11		2		1	3	
		3	12		2		1	3	Рейтинг-контроль 2
7	Погрешность метода «конечного фрагмента», обусловленная ошибкой измерения матрицы КВС.	3	13		2		1	3	
		3	14		2		1	3	
8	Погрешность метода «конечного фрагмента», обусловленная технологической ошибкой реализации макета.	3	15		2		1	3	
		3	16		2		1	3	
9	Суммарная погрешность метода «конечного фрагмента»	3	17		2		1	3	
		3	18		2		1	3	Рейтинг-контроль 3
Всего за 3 семестр:					36			45	Экзамен (27)
Наличие в дисциплине КП/КР					-				
Итого по дисциплине					36			45	Экзамен (27)

### 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  $\lambda$ ; 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  $\lambda$ , с шагом больше  $\lambda$ ; со стенками волноводов нулевой и конечной толщины.

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

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

Расчет элементов столбца матрицы КВС. Расчет решетки с шагом меньше и больше  $\lambda/2$ , с шагом больше  $\lambda$ ; 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 Н- плоскости.

Расчет элементов столбца матрицы КВС. Расчет выполнить для решетки с шагом больше  $\lambda/2$ , но меньше  $\lambda$ , с шагом больше  $\lambda$ ; 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 Е-и Н-плоскостях.

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

Расчет элементов столбца матрицы КВС. Расчет решетки с шагом меньше и больше  $\lambda/2$ , с шагом больше  $\lambda$ ; 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 Н- плоскости.

Расчет элементов столбца матрицы КВС. Расчет выполнить для решетки с шагом больше  $\lambda/2$ , но меньше  $\lambda$ , с шагом больше  $\lambda$ ; 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , 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  $\lambda$ , 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 сканирование в Е- плоскости. Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше  $\lambda/2$ , но меньше  $\lambda$ , 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  $\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon/4, 5\lambda_\epsilon/8, 6\lambda_\epsilon/8, 7\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon$ , 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 сканирование в Н- плоскости. Расчет выполнить для решетки с шагом больше  $\lambda/2$ , но меньше  $\lambda$ , 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  $\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon/4, 5\lambda_\epsilon/8, 6\lambda_\epsilon/8, 7\lambda_\epsilon/8, \lambda_\epsilon$ , где  $\lambda_\epsilon = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$  - 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 моделирование на фрагменте с конечным числом элементов.

Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше  $\lambda/2$ , но меньше  $\lambda$ , 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 экстраполяции.

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

Расчет выполнить для решетки с шагом больше  $\lambda/2$ , но меньше  $\lambda$ , 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 экстраполяции.

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

Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше  $\lambda/2$ , но меньше  $\lambda$ , со стенками волноводов конечной толщины при  $\Delta/\lambda=0,1$ . 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 экстраполяции.

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 моделирование на фрагменте с конечным числом элементов. Расчет выполнить для решетки с шагом больше  $\lambda/2$ , но меньше  $\lambda$ , со стенками волноводов конечной толщины при  $\Delta/\lambda=0,1$ . 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 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 выполняется для решетки с шагом меньше и больше  $\lambda/2$ , но меньше  $\lambda$ , 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 выполняется для решетки с шагом больше  $\lambda/2$ , но меньше  $\lambda$ , 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. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **5.1. Текущий контроль успеваемости**

#### Рейтинг-контроль №1

1. Основные параметры многоэлементных ФАР и их взаимосвязь (п. 6.1, [1] с. 7-10).
2. Математические и физические способы моделирования характеристик ФАР при сканировании (п. 6.1, [1] с. 3-6).
3. Математическое обоснование метода «конечного фрагмента» (п. 6.1, [1] с. 7-13).
4. Математическая модель бесконечной периодической ФАР (п. 6.1, [1] с. 14-17).
5. Взаимная связь в бесконечной линейной ФАР (п. 6.1, [1] с. 18-23).
6. Решетка конечных размеров и краевые эффекты (п. 6.1, [1] с. 24-27).

#### Рейтинг-контроль №2

1. Расчет характеристик бесконечной ФАР из плоских волноводов комбинированным методом (п. 6.1, [1] с. 28-36).
2. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 6.1, [1] с. 37-39).

3. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 6.1, [1] с. 40-43).
4. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов с диэлектрическими вставками в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 6.1, [1] с. 44-46).

#### Рейтинг-контроль №3

1. Математическое содержание и описание алгоритма программы анализа погрешностей метода «конечного фрагмента» (п. 6.1, [1] с. 47-50).
2. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента» и ее связь с числом излучателей на фрагменте (п. 6.1, [1] с. 51-64).
3. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная погрешностью измерения матрицы КВС (п. 6.1, [1] с. 65-72).
4. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная технологической погрешностью реализации макета (п. 6.1, [1] с. 72-78).
5. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная суммарной погрешностью (п. 6.1, [1] с. 78-79).

## **5.2. 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 .

### 5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

#### СРС с теоретическими материалами.

1. Основные параметры многоэлементных ФАР и их взаимосвязь (п. 6.1, [1] с. 7-10).
2. Математические и физические способы моделирования характеристик ФАР при сканировании (п. 6.1, [1] с. 3-6).
3. Математическое обоснование метода «конечного фрагмента» (п. 6.1, [1] с. 7-13).
4. Математическая модель бесконечной периодической ФАР (п. 6.1, [1] с. 14-17).
5. Взаимная связь в бесконечной линейной ФАР (п. 6.1, [1] с. 18-23).
6. Решетка конечных размеров и краевые эффекты (п. 6.1, [1] с. 24-27).
7. Расчет характеристик бесконечной ФАР из плоских волноводов комбинированным методом (п. 6.1, [1] с. 28-36).
8. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 6.1, [1] с. 37-39).
9. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 6.1, [1] с. 40-43).
10. Характеристики бесконечной ФАР из плоских волноводов с диэлектрическими вставками в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях (п. 6.1, [1] с. 44-46).
11. Математическое содержание и описание алгоритма программы анализа погрешностей метода «конечного фрагмента» (п. 6.1, [1] с. 47-50).
12. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента» и ее связь с числом излучателей на фрагменте (п. 6.1, [1] с. 51-64).
13. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная погрешностью измерения матрицы КВС (п. 6.1, [1] с. 65-72).
14. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная технологической погрешностью реализации макета (п. 6.1, [1] с. 72-78).
15. Погрешность моделирования характеристик ФАР методом «конечного фрагмента», обусловленная суммарной погрешностью (п. 6.1, [1] с. 78-79).

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		

1. Сазонов Д.М. Многоэлементные антенные системы. Матричный подход. – М.: Радиотехника, 2015. – 144 с. ISBN 978-5-9221-1229-1	2015	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112291.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112291.html</a>
2. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки/Хансен Р.С. ;ред. С англ. Синани А.И. -[2-е изд.] - М.: Техносфера, 2012. -558 с. -ISBN978-5-94836-323-3	2012	<a href="http://www.stulentlibrary.ru/book/ISBN9785948363233.htm">http://www.stulentlibrary.ru/book/ISBN9785948363233.htm</a>
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	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1-id=49102">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1-id=49102</a>
<b>Дополнительная литература</b>		
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	<a href="http://www.iprbookshop.ru/53831">http://www.iprbookshop.ru/53831</a> .
2. Скобелев С.П. Фазированные антенные решетки с парциальными диаграммами направленности (электронный ресурс). – М.: Физматлит, 2012. – 320 с. ISBN 978-5-9221-1229-17038-3928	2012	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112291.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112291.html</a>

## 6.2. Периодические издания

Антенны, Электросвязь, Радиотехника и электроника, Электродинамика и техника телекоммуникационных систем, Электродинамика и техника СВЧ и КВЧ.

## 6.3. 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>.

## 7. 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-техническое обеспечение дисциплины включает компьютеры со специализированным программным обеспечением МКФ для выполнения практических заданий.

Рабочую программу составил Гаврилов В.М., доцент кафедры РТ и РС

Рецензент

«Владимирское КБ Радиосвязи», Генеральный директор Богданов А.Е.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТ и РС

Протокол № 1 от 30.02.20 года

Заведующий кафедрой Никитин О.Р.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

на заседании учебно-методической комиссии направления 11.03.01 Радиотехника

Протокол № 1 от 1.09.21 года

Председатель комиссии Никитин О.Р., заведующий кафедрой

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

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:

Радиотехнические и телекоммуникационные системы

(магистр)

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Подпись

ФИО