

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.
« 1 » 09 2022 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 2022

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 <i>(код, содержание индикатора)</i>	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-5. Способен выполнять компьютерное моделирование объектов и процессов с целью анализа и оптимизации их параметров с использованием имеющихся средств исследований, включая стандартные пакеты и прикладные программы.	<p>ПК-5.1. Знает физические и математические модели и методы моделирования сигналов, процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиотехнических устройств и систем.</p> <p>ПК-5.2. Умеет формировать и решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы для анализа, синтеза и моделирования радиотехнических устройств и систем.</p> <p>ПК-5.3. Владеет математическим аппаратом для решения задач теоретической и прикладной радиотехники, методами исследования и моделирова-</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 оптимизацию их параметров, проводить имитационное моделирование фазированных антенных решеток и оценку погрешностей моделирования.</p> <p>Владеет математическими методами компьютер-</p>	Тестовые вопросы. Практикоориентированные задания к практическим занятиям.

	рования объектов радиотехники.	ного моделирования многоэлементных антенных систем и оптимизацией их параметров, методами имитационного моделирования фазированных антенных решеток и способами оценки погрешностей моделирования.	
--	--------------------------------	--	--

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 ¹	Лабораторные работы	в форме практической подготовки ²		
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 волноводов с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Е- и Н-плоскостях.	3	5		2		1	2	
		3	6		2		1	2	Рейтинг-контроль 1
4	Моделирование характеристик ФАР из плоских волноводов с диэлектрическими вставками при	3	7		2		1	2	
		3	8		2		1	2	

	сканировании в Е- и Н-плоскостях.							
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
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
Всего за 3 семестр:					36			45
Наличие в дисциплине КИ/КР					-			
Итого по дисциплине					36			45
								Экзамен (27)
								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 зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР 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 λ ; со стенками волноводов нулевой и конечной толщины.

Тема 2. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР от угла фазирования при сканировании 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 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. Расчёт 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 $\lambda_e/8$, $\lambda_e/4$, $5\lambda_e/8$, $6\lambda_e/8$, $7\lambda_e/8$, λ_e , где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью экрана.

Тема 2. Расчет зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическим экраном в раскрыве 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. Относительная диэлектрическая проницаемость экрана $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты с толщиной экрана $\lambda_e/8$, $\lambda_e/4$, $5\lambda_e/8$, $6\lambda_e/8$, $7\lambda_e/8$, λ_e , где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - 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 зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическими вставками в раскрыве 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. Относительная диэлектрическая проницаемость вставок $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты с толщиной вставок $\lambda_e/8$, $\lambda_e/4$, $5\lambda_e/8$, $6\lambda_e/8$, $7\lambda_e/8$, λ_e , где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью вставок.

Тема 2. Расчет зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическими вставками в раскрыве 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. Относительная диэлектрическая проницаемость вставок $\epsilon=3$. Рассмотреть варианты с толщиной вставок $\lambda_e/8$, $\lambda_e/4$, $5\lambda_e/8$, $6\lambda_e/8$, $7\lambda_e/8$, λ_e , где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - 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 моделирование 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 $\lambda_e/8$; $\lambda_e/2$, $\lambda_e/4$, где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - 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 $\lambda_e/8$; $\lambda_e/2$, $\lambda_e/4$, где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - 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 MKF рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Е-плоскости, получаемую при имитационном моделировании. Расчет выполнить для решетки с шагом меньше и больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\sigma=0,1$.

Тема 2. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР от угла фазирования при сканировании в Н-плоскости. С помощью программы MKF рассчитать зависимость действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Н-плоскости, получаемую при имитационном моделировании. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , с шагом больше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\sigma=0,1$.

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 варианты с толщиной экрана $\lambda_e/8$, $\lambda_e/4$, $5\lambda_e/8$, $6\lambda_e/8$, $7\lambda_e/8$, λ_e , где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - 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 , с шагом больше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\sigma=0,1$. 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.

Тема 5. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическими вставками в излучателях от угла фазирования при сканирование 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 варианты с толщиной вставок $\lambda_e/8, \lambda_e/4, 5\lambda_e/8, 6\lambda_e/8, 7\lambda_e/8, \lambda_e$, где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью вставки.

Тема 6. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическими вставками в излучателях от угла фазирования при сканирование в Н- плоскости. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , с шагом больше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\sigma=0,1$. Рассмотреть варианты с толщиной вставок $\lambda_e/8, \lambda_e/4, 5\lambda_e/8, 6\lambda_e/8, 7\lambda_e/8, \lambda_e$, где $\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью вставки.

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

Тема 2. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР при сканировании в Н-плоскости, получаемой при имитационном моделировании. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,1$.

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

Тема 4. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическим экраном в раскрыве при сканировании в Н-плоскости, получаемой при имитационном моделировании. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , с шагом больше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,1$.

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

Тема 5. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическими вставками в излучателях от угла фазирования при сканирование в Е- плоскости. 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 варианты с толщиной вставок $\lambda_e/8,$

$\lambda_0/4, 5\lambda_0/8, 6\lambda_0/8, 7\lambda_0/8, \lambda_0$, где $\lambda_0 = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью вставки.

Тема 6. Расчет зависимости действующего коэффициента отражения на входе излучателей ФАР с диэлектрическими вставками в излучателях от угла фазирования при сканировании в Н- плоскости. Расчет выполнить для решетки с шагом больше $\lambda/2$, но меньше λ , с шагом больше λ , со стенками волноводов конечной толщины при $\Delta/\lambda=0,1$. Рассмотреть варианты с толщиной вставок $\lambda_0/8, \lambda_0/4, 5\lambda_0/8, 6\lambda_0/8, 7\lambda_0/8, \lambda_0$, где $\lambda_0 = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ - длина волны в среде с диэлектрической проницаемостью вставки.

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

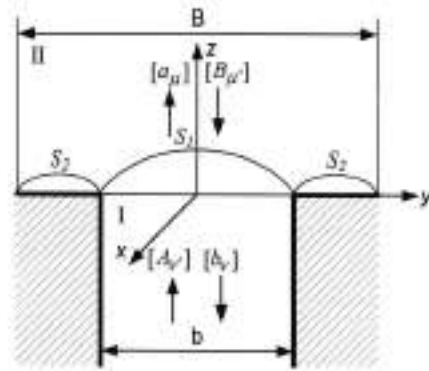
5.1. Текущий контроль успеваемости

Рейтинг-контроль 1. Тесты

1. Общее решение задачи рассеяния волн на стыке единичной ячейки решетки и пространственного волновода эквивалентно отысканию «.....».

- 1) обобщенной матрицы рассеяния;
- 2) матрицы сопротивлений;
- 3) матрицы проводимостей.

2. В обобщенной матрице рассеяния



$$\begin{bmatrix} [b_v] \\ [a_\mu] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [R_{vv'}] & [R_{v\mu'}] \\ [R_{\mu v'}] & [R_{\mu\mu'}] \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} [A_{v'}] \\ [B_{\mu'}] \end{bmatrix},$$

матричные блоки $[R_{vv'}]$ и $[R_{\mu\mu'}]$ могут быть названы матрицами «.....» для I и II областей, а блоки $[R_{v\mu'}]$ и $[R_{\mu v'}]$ - матрицами «.....» из области I во II и обратно (использована более простая индексация волн: n вместо qmn , m вместо qrt).

- 1) передачи, отражения;
- 2) отражения, передачи;
- 3) сопротивлений, проводимостей.

3. Соотношение $A_{q'm'n'}^{\mathcal{E}} = -1/y_{q'm'n'} \sum_{q=1}^2 \sum_{r=-\infty}^{\infty} \sum_{t=-\infty}^{\infty} B_{qrt}^{\mathcal{E}} Y_{qrt} L_{q'm'n',qrt}$, связывает амплитуду

любой падающей на границу раздела «.....» с амплитудой падающих на границу «.....».

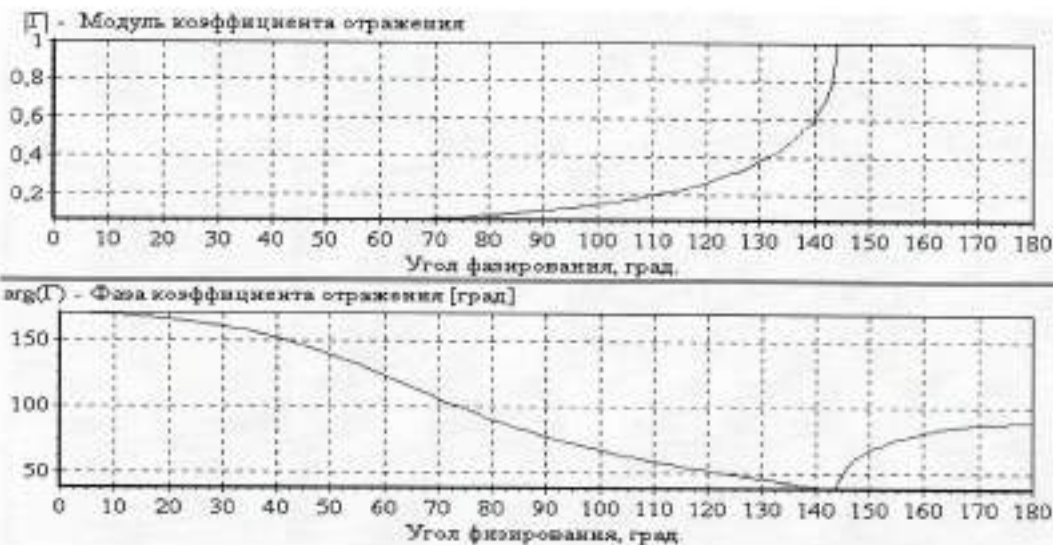
- 1) пространственной волны, волноводных волн;
- 2) волноводно-пространственной волны, пространственно-волноводных волн;
- 3) волноводной волны, пространственных волн.

4. Соотношение $B_{q'r't'}^M = \sum_{q=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{qmn}^M L_{q'r't',qmn}$, связывает амплитуду любой

«.....», падающей на границу раздела, со всеми амплитудами падающих на границу раздела «.....».

- 1) пространственной волны, волноводных волн;
- 2) волноводно-пространственной волны, пространственно-волноводных волн;
- 3) волноводной волны, пространственных волн.

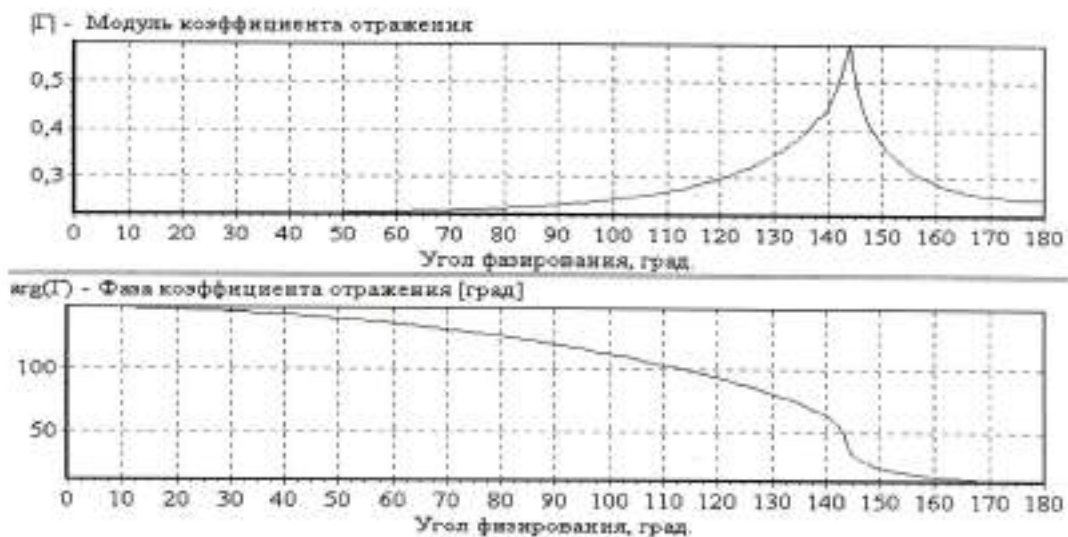
5. Приведен график зависимости коэффициента отражения от угла фазорования для решетки из плоских волноводов «.....» и «.....» при сканировании в E-плоскости.



- 1) с шагом $D > \lambda/2$, стенками конечной толщины;
- 2) с шагом $D < \lambda/2$, стенками конечной толщины;
- 3) с шагом $D < \lambda/2$, стенками нулевой толщины.

Рейтинг-контроль 2. Тесты

1. Приведен график зависимости коэффициента отражения от угла фазирования для решетки из плоских волноводов «.....» и «.....» при сканировании в E-плоскости.



- 1) с шагом $D > \lambda/2$, стенками нулевой толщины;
- 2) с шагом $D < \lambda/2$, стенками конечной толщины;
- 3) с шагом $\lambda/2 < D < \lambda$, стенками конечной толщины.

2. Приведен график зависимости коэффициента отражения от угла фазирования для решетки из плоских волноводов «.....», «.....» и «.....» при сканировании в E-плоскости.

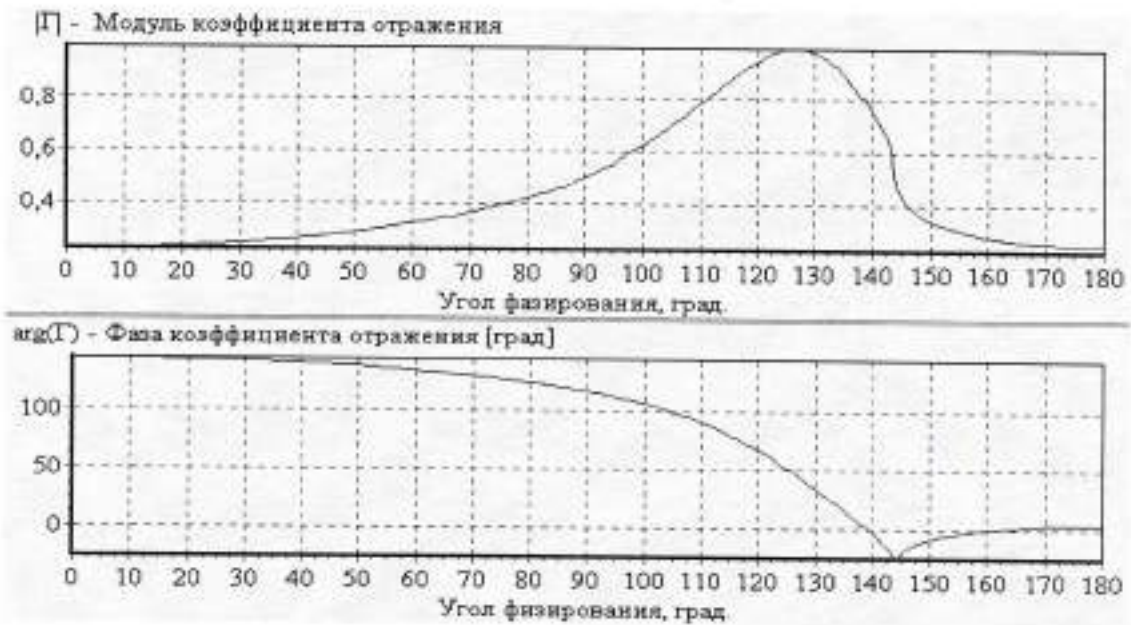


- 1) с диэлектрическим экраном в раскрыве ($\varepsilon = 3$; $d_\varepsilon = 0,5\lambda_\varepsilon$), шагом $\lambda/2 < D < \lambda$ и стенками конечной толщины;
- 2) с диэлектрическим экраном в раскрыве ($\varepsilon = 1$; $d_\varepsilon = 0,5\lambda_\varepsilon$), шагом $D > \lambda/2$ и стенками нулевой толщины;
- 3) с диэлектрическим экраном в раскрыве ($\varepsilon = 1$; $d_\varepsilon = 0,5\lambda_\varepsilon$), шагом $D < \lambda/2$ и стенками нулевой толщины.

3. При увеличении толщины диэлектрического экрана в раскрыве или его диэлектрической проницаемости единичный всплеск коэффициента отражения волноводной ФАР сканирующей в Е-плоскости смещается в область «.....» углов фазирования.

- 1) больших;
- 2) меньших;
- 3) нулевых.

4. Приведен график зависимости коэффициента отражения от угла фазирования для решетки из плоских волноводов «.....», «.....» и «.....» при сканировании в Е-плоскости.



- 1) с диэлектрическими вставками ($\epsilon=1$; $d_\epsilon = 0,5\lambda_\epsilon$) шагом $D > \lambda/2$ и стенками нулевой толщины;
- 2) с диэлектрическими вставками ($\epsilon=1$; $d_\epsilon = 0,5\lambda_\epsilon$) шагом $D < \lambda/2$ и стенками нулевой толщины;
- 3) с диэлектрическими вставками ($\epsilon=3$; $d_\epsilon = 0,5\lambda_\epsilon$) шагом $\lambda/2 < D < \lambda$ и стенками конечной толщины.

5. При увеличении толщины диэлектрических вставок или их диэлектрической проницаемости единичный всплеск коэффициента отражения волноводной ФАР сканирующей в Е-плоскости смещается в область «.....» углов фазирования.

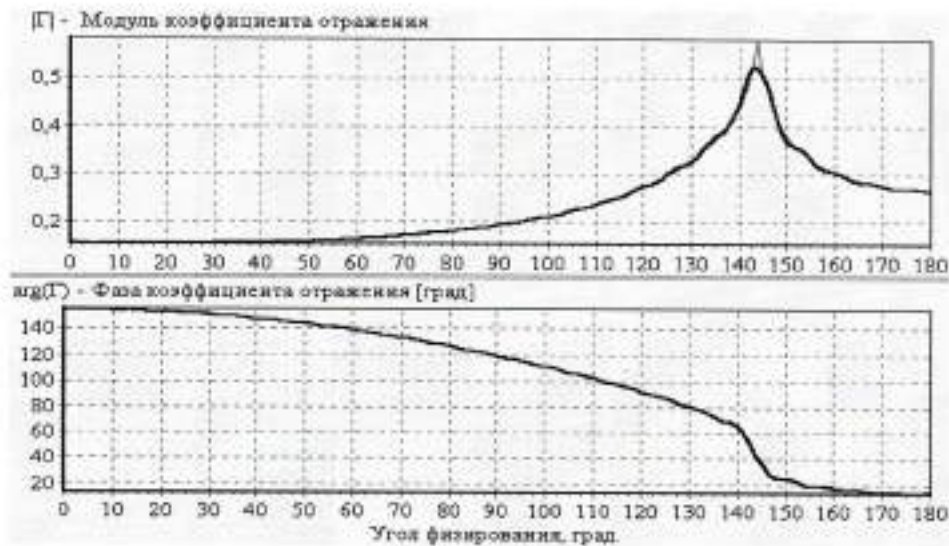
- 1) меньших;
- 2) нулевых;
- 3) больших.

Рейтинг-контроль 3. Тесты

1. Реализация математической модели макета в методе «конечного фрагмента» выполнялась путем «.....» из матрицы коэффициентов взаимной связи бесконечной ФАР.
 - 1) суммирования матриц конечных размеров;
 - 2) выделения матрицы конечных размеров;
 - 3) обращения матрицы конечных размеров.
2. Применение метода «конечного фрагмента» выполнялось путем восстановления зависимости коэффициента отражения от угла фазирования «.....».
 - 1) по обращенной матрице коэффициентов взаимной связи;
 - 2) по матрице коэффициентов взаимной связи бесконечной размерности;
 - 3) по матрице коэффициентов взаимной связи конечной размерности.

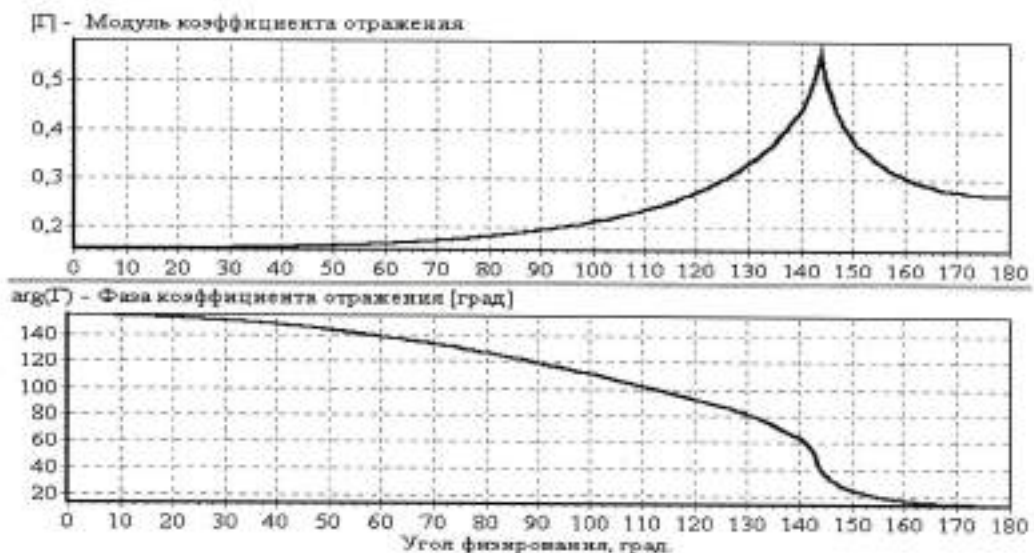
3. Для удовлетворительного совпадения моделируемой методом «конечного фрагмента» зависимости коэффициента отражения от угла фазирования с соответствующей зависимостью бесконечной волноводной ФАР при сканировании в Е-плоскости необходим фрагмент с числом излучателей «...».

- 1) > 50;
- 2) > 20;
- 3) > 10.



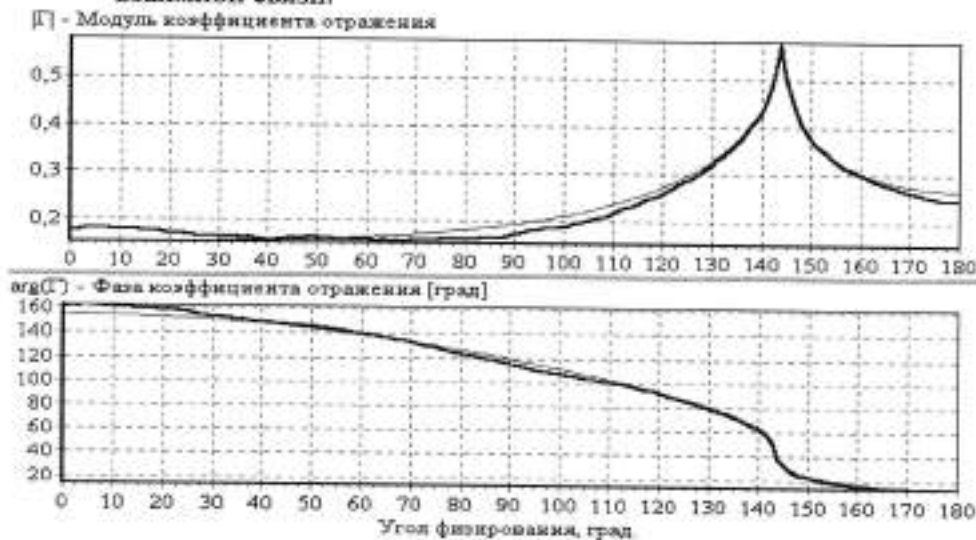
4. Для практически полного совпадения моделируемой зависимости коэффициента отражения от угла фазирования по матрице коэффициентов взаимной связи конечного фрагмента с использованием экстраполяции в случае волноводной ФАР простой конфигурации при сканировании в Е-плоскости достаточно «...» излучателей на фрагменте.

- 1) 5;
- 2) 10;
- 3) 20.



5. Алгоритм вычисления погрешности зависимости коэффициента отражения от угла фазирования, обусловленной погрешностью измерения матрицы коэффициентов взаимной связи, включает «.....» бесконечной ФАР псевдослучайной последовательностью, распределенной по нормальному закону и восстановление зависимости коэффициента отражения по искаженной матрице коэффициентов взаимной связи.

- 1) искажение модуля и фазы матрицы коэффициентов взаимной связи;
- 2) искажение модуля и фазы матрицы коэффициентов взаимной связи фрагмента;
- 3) искажение действительной и мнимой частей матрицы коэффициентов взаимной связи.



6. Максимальные погрешности коэффициента отражения по модулю и фазе в секторе углов фазирования, обусловленные среднеквадратичной ошибкой измерения матрицы коэффициентов взаимной связи $\sigma_{КВС}$ для ФАР из плоских волноводов $D=0,6\lambda$:

$d=0,45\lambda$ характеризуются значениями:

- при $\sigma_{КВС} = \dots$: 0,1 по модулю и 28° по фазе;
- при $\sigma_{КВС} = \dots$: 0,055 по модулю и 23° по фазе;
- при $\sigma_{КВС} = \dots$: 0,047 по модулю и 14° по фазе.

- 1) 0,1; 0,07; 0,05;
- 2) 0,5; 0,07; 0,10;
- 3) 0,07; 0,10; 0,05.

7. При оценке влияния технологической погрешности предполагалось, что матрица коэффициентов взаимной связи «.....» расстояния между излучателями.

- 1) не зависит от;
- 2) является непрерывной функцией;
- 3) случайным образом зависит от.

8. При оценке влияния технологической погрешности, величина случайного смещения излучателей в решетке задавалась «.....» смещением на интервале $\pm \Delta_{\text{макс}}/2$.

- 1) логарифмическим распределением;
- 2) нормально распределенным;
- 3) равномерным распределением.

9. В программе МКФ источниками суммарной погрешности коэффициента отражения являются: «.....».

- 1) конечное число излучателей на фрагменте;
- 2) погрешность измерения матрицы коэффициентов взаимной связи;
- 3) технологическая погрешность реализации макета.

10. При оценке влияния суммарной погрешности ($\sigma_{\text{КВС}} = 0,05$, $\Delta_{\text{макс}} = 0,06\lambda$) для фрагмента ФАР ($D=0,6\lambda$; $d=0,45\lambda$) с числом излучателей 10 и 15 максимальные погрешности коэффициента отражения соответственно равны: 0,08 по модулю и 21° по фазе; 0,07 по модулю и 21° по фазе. Что позволяет сделать заключение о «.....» увеличения количества излучателей на фрагменте для дальнейшего уменьшения максимальной погрешности коэффициента отражения.

- 1) целесообразности;
- 2) нецелесообразности;
- 3) невозможности.

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	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.-ISBN978-5-94836-323-3	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
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 978-5-9221-1229-17038-3928	2012	http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112291.html

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 каф. РТ и РС _____

Рецензент АО "Конструкторское опытное бюро радиоаппаратуры", руководитель проектной группы к.т.н. Кучин С.И. _____

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТ и РС _____

Протокол № 1 от 29.08.22 года

Заведующий кафедрой РТ и РС к.т.н. Корнеева Н.Н. _____

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 11.04.01 «Радиотехника»

Протокол № 1 от 30.08.22 года

Председатель комиссии зав. кафедрой РТ и РС к.т.н. Н.Н.Корнеева _____

**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

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

Заведующий кафедрой _____ / Н.Н. Корнеева*Подпись**ФИО*