Е. Г. Зелкин, В. Ф. Кравченко, В. И. Гусевский

Конструктивные методы аппроксимации в теории антенн

Издательство «САЙНС-ПРЕСС»

Москва 2005

УДК 621.396.677.494; 519.62
З 48
ББК 32.845; 22.19

Рецензенты:
Л.Д. Бахрах – чл.-корр. РАН;
В.И. Пустовойт – чл.-корр. РАН;
Я.С. Шифрин – докт. техн. наук, проф.

Е.Г. Зелкин, В.Ф. Кравченко, В.И. Гусевский

348 Конструктивные методы аппроксимации в теории антенн. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2005.– 512 с.: ил.

ISBN 5-94818-027-1

Приведены и обоснованы методы решения задач анализа и синтеза антенн на основе атомарных функций и метода апертурных ортогональных полиномов; даны практические рекомендации по их использованию в технике СВЧ-диапазона.

Для научных и инженерно-технических работников, аспирантов и студентов старших курсов радиотехнических специальностей вузов, занимающихся вопросами антенной техники.

УДК 621.396.677.494; 519.62
ББК 32.845; 22.19

ISBN 5-94818-027-1

© Е.Г. Зелкин, В.Ф. Кравченко, В.И. Гусевский
© Издательство «САЙНС-ПРЕСС», 2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 7

Глава I. Задачи синтеза антенн и новые методы их решения

Введение 8
1. Состояние проблемы синтеза антенных решёток 11
1.1. Постановка задачи синтеза антенной решётки 11
1.2. Условие существования точного решения для линейных антенных решёток 13
1.3. Линейные антенные решётки 15
1.4. Плоские решётки 24
1.5. Криволинейные решётки излучателей, расположенные на плоскости 26
2. Атомарные функции 30
2.1. Атомарная функция $\mathrm{up}(x)$ и её свойства 32
2.2. Атомарные функции $\mathrm{fup}_N(x)$ 38
2.3. Атомарные функции $\Xi_n(x)$ 43
2.4. Атомарные функции $g_{k,h}(x)$ и их свойства 46
2.5. Атомарные функции $h_\alpha(x)$ и их свойства 54
2.6. Атомарные функции $y_r(x)$ 62
2.7. Атомарные функции $\pi_m(x)$ 65
2.8. Атомарные экспоненциальные функции $\mathrm{eup}_a(x)$ 69
3. Новые весовые функции (окна) 74
3.1. Операции свертки и корреляции 74
3.2. Синтезирование новых весовых функций (окон) 79
3.3. Окна В.Ф. Кравченко–В.А. Рвачева в цифровой радиолокации 86
3.4. Спектральные свойства весовых функций (окон) $\mathrm{fup}_n(x)$ 90
3.5. Спектральные свойства весовых функций (окон) $\mathrm{up}_m(x)$, $\mathrm{fup}_n(x)$, $\Xi_n(x)$, применяемых в качестве амплитудных распределений поля по раскрыву антенны 108

Глава II. Синтез антенн на основе атомарных функций

1. Аппроксимация диаграммы направленности атомарными функциями 128
1.1. Представление ДН алгебраическим полиномом 128
1.2. Разложение ДН в тригонометрический ряд 132

1.3. Атомарные функции в качестве парциальных диаграмм 142
1.4. Аппроксимация целых функций экспоненциального типа 147
1.5. Атомарные функции и прямые методы решения интегрального уравнения Фредгольма первого рода 160
1.6. Аппроксимационные свойства атомарных функций при решении интегральных уравнений методом моментов 167
1.7. Атомарные функции в преобразованиях Лапласа 178
1.8. Вариационный метод 189
2. Применение атомарных функций к решению некоторых задач синтеза 192
2.1. Синтез неэквидистантных антенных решёток 193
2.2. Синтез диаграмм направленности эквидистантной антенной решётки 201
2.3. Смешанные задачи синтеза излучающих систем 202
2.4. Оптимальная крутизна разностной диаграммы направленности 213
2.5. Оптимальная ДН линейной антенной решётки 218
2.6. Синтез секторной ДН с помощью АФ 221
2.7. Плоские решётки 224
2.8. Синтез нулей в ДН решётки 230

Глава III. Фрактальные антенные решетки

Введение 234
1. Введение в теорию фракталов. Одномерные антенные решетки 239
1.1. Алгоритмы построения некоторых классических фрактальных функций 241
1.2. Построение одномерных антенных решеток с фрактальным распределением тока 249
1.3. Функции Кравченко-Вейерштрасса при анализе и синтезе антенных решеток с фрактальными характеристиками излучения 260
2. Двумерные антенные решетки 278
2.1. Двумерные фрактальные антенные решетки, построенные на основе классических фрактальных функций и функций Кравченко 278
2.2. Фрактальные антенные решетки на основе нового класса атомарно-фрактальных функций Кравченко 286
2.3. Анализ и синтез многодиапазонных двумерных фрактальных антенных решеток 294
3. Кольцевые антенные решетки 321
3.1. Основные соотношения 321
3.2. Линейные решетки 324
3.3. Плоские квадратные решетки 325

3.4. Плоские треугольные решетки 330
3.5. Гексагональные решетки 337
3.6. Численный эксперимент и анализ полученных результатов 341

Глава IV. Конструктивный синтез алгоритмов фазирования линейных и плоских фазированных антенных решеток на основе метода апертурных ортогональных полиномов

4.1. Введение 343
4.2. Описание метода АОП и его обоснование 346
4.3. Примеры ортогональных полиномов первых порядков для различных линейных и плоских антенных раскрывов 351
4.4. Угловое положение главного лепестка ДН плоского раскрыва с произвольным АФР 362
4.5. Оценка степени снижения коэффициента усиления линейного и плоского раскрывов с нелинейными фазовыми искажениями поля 370
4.6. Коррекция углового положения ДН плоской ФАР при наличии неисправных элементов 376
4.7. Двухступенчатые адаптивные алгоритмы фазирования 385
4.8. Управление положением луча путем изменения амплитудного распределения поля в раскрыве линейной или плоской ФАР 395
4.9. О влиянии локальных фазовых возмущений в раскрывах линейных и плоских антенн на искажения ДН в дальней зоне 398

Глава V. Синтез нулей в ДН линейных и плоских ФАР в направлениях прихода помех с использованием метода АОП

5.1. Синтез нулей в ДН линейных АР 409
5.2. Синтез нулей в ДН неэквидистантных линейных ФАР 416
5.3. Синтез нулей в ДН плоских ФАР 418
5.4. Формирование секторных провалов в ДН линейных и плоских ФАР при воздействии широкополосных помех 422
5.5. О невозможности подавления дифракционных лепестков эквидистантных ФАР с помощью фазового синтеза нулей ДН 430
5.6. Оптимизация вычислительных процедур при решении задачи синтеза нулей в ДН линейных плоских ФАР 434

Глава VI. Проектирование неэквидистантных ФАР с использованием метода апертурных ортогональных полиномов

6.1. Описание метода 436
6.2. Оценка степени снижения коэффициента усиления в разреженных НФАР 442
6.3. Результаты численного моделирования характеристик направленности НФАР 444
6.4. Заключение 459

Приложения

Приложение III.1. Основы теории меры 461
Приложение III.2. Алгоритмы построения некоторых фрактальных функций 473
Приложение III.3. Двумерные ДН на основе нового класса атомарно-фрактальных функций 482
Приложение III.4. Многодиапазонные антенные решетки на основе нового класса весовых функций 488

Литература к главе 1 500

Литература к главе 2 507

Литература к главе 3 511

Литература к главе 4 515

Литература к главе 5 517

Литература к главе 6 518