

УДК 621.37  
ББК 32.845  
П56

Рецензенты:

д-р. техн. наук, профессор *Г.И. Азаров*;  
д-р. техн. наук, профессор *В.Н. Митрохин*

**Пономарев, Л. И.**

П56 Бортовые цифровые многолучевые антенные решетки для систем спутниковой связи / Л. И. Пономарев, В. А. Вечтомов, А. С. Милосердов ; под ред. Л. И. Пономарева. — 2-е изд. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 197, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4808-1

Рассмотрены возможности спутниковых многолучевых зеркальных и линзовых антенн, а также особенности построения бортовых цифровых многолучевых антенных решеток на основе крупноапертурных зеркальных и линзовых излучателей. Приводятся результаты оптимизации структуры и характеристик крупноапертурных излучателей, а также антенных решеток из них. Показаны преимущества многолучевых крупноапертурных излучателей при построении антенных решеток для глобальных систем спутниковой связи и возможные схемотехнические и конструктивные решения по построению цифровых антенных решеток.

Для специалистов в области разработки систем спутниковой связи, а также аспирантов и студентов, обучающихся по специальностям «Радиоэлектронные системы и комплексы» и «Радиотехника».

УДК 621.37  
ББК 32.845

ISBN 978-5-7038-4808-1

© Пономарев Л.И., Вечтомов В.А.,  
Милосердов А.С., 2016  
© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

## Оглавление

---

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Предисловие .....                                                                                                                         | 5  |
| Список сокращений .....                                                                                                                   | 7  |
| Введение .....                                                                                                                            | 9  |
| <b>Глава 1. Системы глобальной и региональной спутниковой связи и основные требования, предъявляемые к их антенным устройствам</b> .....  | 21 |
| 1.1. Общие принципы построения систем спутниковой связи .....                                                                             | 21 |
| 1.2. Гибридно-зеркальные и гибридно-линзовые схемы построения антенн для космических ретрансляторов геостационарных спутников связи ..... | 30 |
| 1.3. Антенные системы и диаграммообразующие схемы зарубежных космических ретрансляторов с зонированным обслуживанием .....                | 39 |
| 1.4. Проблемы применения ФАР в качестве антенн бортовых ретрансляторов .....                                                              | 47 |
| <b>Глава 2. Бортовая многолучевая зеркальная антенна для геостационарного космического ретранслятора <i>Ku</i>-диапазона</b> .....        | 56 |
| 2.1. Основные направления повышения эффективности бортового космического ретранслятора для обеспечения связью территории РФ .....         | 56 |
| 2.2. Частотно-поляризационный план и структура парциальных лучей МЛА региональной системы спутниковой связи .....                         | 57 |
| 2.3. Бортовая гибридно-зеркальная антенна для покрытия территории РФ .....                                                                | 60 |
| 2.4. Результаты моделирования антенной системы .....                                                                                      | 64 |
| 2.5. Оптимизация и расчет излучателя многоэлементного облучателя МЛА .....                                                                | 68 |
| 2.6. Конструктивное исполнение МЛА .....                                                                                                  | 70 |
| 2.7. Результаты экспериментальных исследований МЛА .....                                                                                  | 74 |
| <b>Глава 3. Зеркальный крупноапертурный излучатель для многолучевой антенной решетки системы спутниковой связи</b> .....                  | 76 |
| 3.1. Крупноапертурный излучатель для многолучевой антенной решетки .....                                                                  | 78 |
| 3.2. Анализ и оптимизация параметров многолучевого зеркального КАИ .....                                                                  | 80 |

|                                                                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3. Оптимальные схема и алгоритм возбуждения многоэлементного облучателя .....                                                                     | 89         |
| 3.4. Моделирование рельефа КУ многолучевого зеркального крупноапертурного излучателя .....                                                          | 92         |
| 3.5. Оптимизация уровня пересечения соседних лучей и рельефа КУ в зеркальном КАИ с 7-элементным облучателем .....                                   | 94         |
| 3.6. Диаграмма направленности и рельеф КУ многолучевого зеркального КАИ с облучателем в виде семи круглых волноводов, заполненных диэлектриком..... | 98         |
| 3.7. Коэффициент избыточности многолучевых антенных решеток из КАИ .....                                                                            | 100        |
| <b>Глава 4. Линзовый многолучевой диэлектрический крупноапертурный излучатель МАР .....</b>                                                         | <b>102</b> |
| 4.1. Выбор профиля апланатической линзы .....                                                                                                       | 102        |
| 4.2. Электродинамическое моделирование линзового КАИ с облучателем из семи волноводно-стержневых антенн .....                                       | 107        |
| 4.3. Оптимизация профиля линзы и элемента облучателя КАИ .....                                                                                      | 109        |
| 4.4. Диаграмма направленности линзового КАИ .....                                                                                                   | 117        |
| 4.5. Рельеф коэффициента усиления линзового КАИ .....                                                                                               | 123        |
| 4.6. Анализ частотных характеристик линзового КАИ .....                                                                                             | 127        |
| <b>Глава 5. Многолучевой линзовый крупноапертурный излучатель, выполненный на основе волноводной линзы .....</b>                                    | <b>130</b> |
| <b>Глава 6. Многолучевые цифровые антенные решетки из крупноапертурных излучателей .....</b>                                                        | <b>136</b> |
| 6.1. Схемы построения бортовых многолучевых ЦАР из КАИ .....                                                                                        | 136        |
| 6.2. О минимальном количестве излучателей в многолучевых антенных решетках из КАИ .....                                                             | 140        |
| 6.3. Диаграммы направленности многолучевых антенных решеток из КАИ .....                                                                            | 146        |
| 6.4. Адаптивная антенна миллиметрового диапазона волн КА Milstar-II .....                                                                           | 156        |
| 6.5. Адаптивная многолучевая система для космического аппарата третьего поколения — Advanced ENF .....                                              | 159        |
| <b>Глава 7. Схемотехнические и конструктивные решения по построению цифровой бортовой МЛА X-диапазона .....</b>                                     | <b>162</b> |
| 7.1. Структурная схема входных цепей МАР .....                                                                                                      | 162        |
| 7.2. Конструктивные особенности цифровых антенных решеток из КАИ .....                                                                              | 166        |
| 7.3. Анализ прочностных характеристик приемной бортовой антенны .....                                                                               | 169        |
| 7.4. Цифровая обработка сигналов в бортовой антенне .....                                                                                           | 178        |
| 7.5. Технические решения по реализации конструкции АЦП .....                                                                                        | 188        |
| Литература .....                                                                                                                                    | 193        |