

УДК 537.8:621.372.86

ББК 32.844.1

Е51

Рецензент

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник Института проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН А. С. Совлуков

Елизаров, Андрей Альбертович.

Е51 Микроволновые частотно-селективные устройства на резонансных отрезках электродинамических замедляющих систем и структурах с метаматериалами / А. А. Елизаров, А. С. Кухаренко ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — 2-е изд., эл. — 1 файл pdf : 330 с. — Москва : Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. — (Монографии ВШЭ. Технические науки). — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-7598-1407-8

Монография посвящена исследованию физических и конструктивно-технологических особенностей резонансных отрезков электродинамических замедляющих систем и структур с метаматериалами для создания на их основе многофункциональных элементов, узлов и модулей, обеспечивающих миниатюризацию и улучшение электрических параметров и характеристик микроволновых частотно-селективных устройств. Предложенные и разработанные конструкции перспективны для применения в составе современных средств телекоммуникаций и связи.

Книга предназначена для инженерно-технических и научных работников в области электродинамики, техники и приборов микроволнового диапазона, антенно-фидерных устройств. Также может быть полезна для аспирантов и студентов физических и радиотехнических направлений университетов и вузов.

УДК 537.8:621.372.86

ББК 32.844.1

Электронное издание на основе печатного издания: Микроволновые частотно-селективные устройства на резонансных отрезках электродинамических замедляющих систем и структурах с метаматериалами / А. А. Елизаров, А. С. Кухаренко ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — Москва : Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. — 328 с. — (Монографии ВШЭ. Технические науки). — ISBN 978-5-7598-1796-3. — Текст : непосредственный.

В оформлении обложки использована фотография лаборатории
NASA Glenn Research <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:
Split-ring_resonator_array_10K_sq_nm.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Split-ring_resonator_array_10K_sq_nm.jpg)>

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-7598-1407-8

© А. А. Елизаров, 2019

© А. С. Кухаренко, 2019

Оглавление

Введение	10
Глава 1. Современное состояние и тенденции развития микроволновых частотно-селективных устройств на резонансных отрезках замедляющих систем и структурах с метаматериалами	18
1.1. Микроволновые частотно-селективные устройства (МЧСУ): современное состояние и тенденции развития	18
1.2. Частотные характеристики и проблема миниатюризации МЧСУ	23
1.3. Физические и конструктивно-технологические особенности МЧСУ	24
1.4. Применение микрополосковых структур и метаматериалов для конструирования частотно-селективных поверхностей	46
1.5. Двумерные и трехмерные структуры метаматериалов	51
1.6. Области применения метаматериалов в современной микроволновой технике и устройствах телекоммуникаций	56
1.7. Тенденции и основные пути развития метаматериалов и частотно-селективных структур на их основе	67
1.8. Анализ методов расчета, проектирования и моделирования МЧСУ и метаматериалов	69

Глава 2. Приближенно-аналитические методы проектирования и моделирования МЧСУ на резонансных отрезках замедляющих систем и структурах с метаматериалами	77
2.1. Метод эквивалентных длинных линий и его применение для расчета и анализа МЧСУ и структур с метаматериалами	78
2.2. Приближенно-аналитические модели МЧСУ на резонансных отрезках замедляющих систем и структурах с метаматериалами	94
Глава 3. Численные методы проектирования и моделирования МЧСУ на резонансных отрезках замедляющих систем и структурах с метаматериалами	120
3.1. Краткий обзор программных средств для электромагнитного моделирования.....	120
3.2. Метод моментов и его применение для моделирования МЧСУ на основе программных средств AWR Design Environment.....	121
3.3. Метод конечных элементов и его применение для моделирования МЧСУ	137
3.4. Пример моделирования фильтра низких частот на штыревой гребенке с ломаной планкой	140
3.5. Расчет и моделирование полосно-запирающего фильтра на основе грибовидного метаматериала.....	144

Глава 4. Методика определения эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемостей структур с метаматериалами.....	152
4.1. Определение эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемостей структур при помощи комплексных коэффициентов передачи и отражения.....	153
4.2. Конструкции оснасток для осуществления измерений комплексных коэффициентов передачи и отражения метаматериала.....	155
4.3. Конструкция измерительного стенда и его калибровка.....	162
4.4. Практическое измерение параметров метаматериала	164
 Глава 5. Модели многослойных печатных плат и оценка их параметров для реализации МЧСУ на резонансных отрезках замедляющих систем и структурах с метаматериалами	169
5.1. Модель модифицированной печатной платы с подвешенной подложкой	169
5.2. Структура частотно-селективных поверхностей на основе грибовидных метаматериалов.....	178
5.3. Проектирование конструкции и топологии многослойных печатных плат	181
5.4. Пример моделирования межслойного перехода на основе копланарной линии	188
5.5. Пример многослойной печатной платы перестраиваемой метаповерхности	191

Глава 6. Компьютерное моделирование и экспериментальное исследование конструкций МЧСУ на резонансных отрезках замедляющих систем и структурах с метаматериалами	194
6.1. Исследование микрополоскового трансформатора-фильтра низких частот на штыревой замедляющей системе	194
6.2. Исследование микрополосковой фидерной линии с аномальной дисперсией	201
6.3. Исследование микрополосковых фильтров на отрезках периодических металлодиэлектрических структур	206
6.4. Методы расширения рабочей полосы метаматериалов	217
6.5. Метод реализации метаматериала с возможностью электронной перестройки рабочей полосы частот	222
6.6. Влияние поверхностного импеданса метаматериала на характеристики микрополосковых антенн	229
Глава 7. Применение резонансных отрезков замедляющих систем и структур с метаматериалами в конструкциях микроволновых устройств и средствах телекоммуникаций.....	249
7.1. Микрополосковая антенна на круговой меандр-линии для радиочастотной идентификации	249
7.2. Мультипольная антенна для радиочастотной идентификации	263
7.3. Пространственный фильтр для обеспечения развязки элементов антенной решетки	270

7.4. Экран отсечки многолучевого сигнала на основе метаматериала.....	274
7.5. Прямоугольный волновод с магнитной стенкой на основе грибовидного метаматериала.....	279
7.6. Волноводная нагрузка с торцевой стенкой из грибовидного метаматериала	290
7.7. Чувствительный элемент на основе грибовидного метаматериала.....	295
Заключение	300
Библиография	304