

**В. Д. Двуреченский
А. Ю. Федотов**

Антенны с импедансными периодическими структурами

**Москва
Горячая линия - Телеком
2013**

УДК 621.396.67

ББК 32.884.1

Д25

Двуреченский В. Д., Федотов А. Ю.

Д25 Антенны с импедансными периодическими структурами. – М.: Горячая линия–Телеком, 2013. – 152 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0278-7.

Обобщены и дополнены теоретические и экспериментальные результаты по исследованию антенных устройств на основе периодически нагруженных импедансных структур. Разработан математический аппарат, позволяющий по заданному распределению поля около структуры или току (напряжению) в эквивалентной линии лестничного типа определять при фиксированных конструктивных параметрах импедансы сосредоточенных нагрузок. Предложенные методы импедансного синтеза антенных устройств, отличаются относительной простотой и достаточной точностью и позволяют, как правило, получить решение в аналитическом виде. Разработаны методики расчета широкого класса новых антенных устройств: коаксиальных, полосковых, волноводных, одно и многопроводных антенн вытекающей волны, рамочных и вибраторных антенн бегущей волны, частотно-селективных структур, поляризаторов и других. Приведены результаты экспериментального исследования этих антенных устройств.

Для специалистов и научных работников в области антенной техники, может быть полезна студентам и аспирантам радиотехнических и телекоммуникационных специальностей.

ББК 32.884.1

ISBN 978-5-9912-0278-7

© В. Д. Двуреченский, А. Ю. Федотов, 2012
© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2012

Введение

Создание новых радиосистем передачи информации во многом определяется конструктивными параметрами, электрическими характеристиками антенн (таких, как всенаправленные в азимутальной плоскости антенны; секторные антенны, имеющие ширину диаграммы направленности, равную заданному угловому сектору обслуживания; остронаправленные антенны), их себестоимостью изготовления, удобством эксплуатации и дизайном.

Сейчас в качестве таких антенн используются, как правило, вибраторные, щелевые излучатели, диэлектрические антенны, фазированные антенные решетки (ФАР) из них, зеркальные и линзовые антенны. В ряде случаев эти антенны по тактико-техническим характеристикам не удовлетворяют в достаточной степени требованиям, предъявляемым к современным радиосистемам.

Одним из направлений теории антенных устройств является решение задач синтеза: нахождение по заданному распределению электромагнитного поля в пространстве практически реализуемых по конфигурации проводников и диэлектриков, образующих антенно-фидерное устройство, закона изменения диэлектрической и магнитной проницаемостей, распределение поверхностного импеданса вдоль антенно-фидерного устройства и т.п.

Так как возможность изменения формы антенны и электрических параметров материалов, из которых она изготовлена, значительно ограничена условиями их изготовления и эксплуатации, особый интерес представляет задача нахождения распределения импеданса на поверхности антенно-фидерного устройства по заданному распределению электромагнитного поля в пространстве при фиксированной геометрии устройства.

Известные научные работы, посвященные структурам с поверхностным импедансом, в которых акцентировано внимание на том, что импедансные соотношения между компонентами электромагнитного поля являются простейшими из числа обеспечивающих единственность решения задачи синтеза, позволяют получить легко интерпретируемые результаты даже для сложных импедансных структур, а следовательно, анализировать эти структуры с общих позиций.

Численные решения задач синтеза импедансных структур, как правило, приводят к необходимости исследовать плохо обусловленные системы линейных алгебраических уравнений высокого поряд-

ка, решение которых по-прежнему составляет одну из сложных проблем численных методов в электродинамике.

В предлагаемой книге авторами сформулированы и обоснованы новые методы синтеза антенных устройств, конструктивно строящихся на основе периодически нагруженных структур, что выделяет их как особый класс устройств, в которых одним из основных параметров, определяющих электродинамические свойства, является изменение импеданса сосредоточенных нагрузок периодически нагруженных структур. В книге рассматриваются три типа базовых периодически нагруженных структур: структуры, допускающие представление их в виде эквивалентных двухпроводных линий, в которые периодически последовательно и параллельно включены реактивные сопротивления («лестничные линии»); структуры в виде ограниченного числа тонких проводников, в которые периодически включены сосредоточенные реактивные нагрузки; двумерно периодические проволочные структуры в виде проволочных сеток, в провода которых на одинаковом расстоянии друг от друга включены реактивные сосредоточенные нагрузки.

Рассматриваемые типы периодически нагруженных структур отличает то, что при синтезе возможна разработка математического аппарата, позволяющего по заданному распределению электромагнитного поля около структуры или току в проводниках определять при фиксированных конструктивных параметрах импедансы нагрузок, что дает возможность на практике сразу переходить к реализации синтезируемых устройств.

Предложенные методы исследования электродинамических свойств выделенного класса периодически нагруженных структур отличаются относительной простотой и достаточной точностью и позволяют, как правило, получить решение в аналитическом виде, что дает возможность избежать трудностей, возникающих при численном решении задачи. В то же время полученные таким образом решения могут быть использованы в итерационных методах численного анализа электромагнитных свойств периодически нагруженных структур и антенных устройств, содержащих эти структуры.

Разработанные в книге методы синтеза периодически нагруженных структур положены в основу методик расчета и оценки электрических характеристик широкого класса антенных устройств: коаксиальных, полосковых, волноводных, одно и многопроводных антенн вытекающей волны, селективных решеток, поляризаторов и других.

В книге авторы обобщили и дополнили материалы, опубликованные в монографии [1] «Методы импедансного синтеза антенных устройств» (В.Д. Двуреченский, О.Н. Терешин, А.Ю. Федотов); докторской диссертации А.Ю. Федотова [2] «Исследование и разработка антенн с линиями лестничного типа» и статей, опубликованных в периодической научно-технической литературе [3–30].

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Линии лестничного типа	7
1.1. Теоретическое описание линии лестничного типа	7
1.2. Регулярная линия лестничного типа	8
1.3. Двухпроводная линия с периодической системой нагрузок в проводах	10
1.4. Решения обобщенных телеграфных уравнений	13
2. Антенны бегущей волны с линией лестничного типа	19
2.1. Вибраторная антенна бегущей волны с линией питания лестничного типа	19
2.2. Рамочная антенна бегущей волны с линией питания лестничного типа	23
2.3. Излучающая линия лестничного типа	27
2.4. Излучающая линия лестничного типа на базе несимметричной полосковой линии	34
3. Модулированные излучающие линии лестничного типа	39
3.1. Характеристики направленности излучающих модулированных лестничных структур	39
3.2. Излучающая полосковая линия с модулированной фазой тока	42
3.3. Излучающая полосковая линия с амплитудной модуляцией тока	50
3.4. Излучающая полосковая линия с модулированным волновым сопротивлением	54
3.5. Однопроводная антенна с изменяющимся диаметром провода	61
3.6. Излучающая модулированная периодически нагруженная двухпроводная линия	67
3.7. Излучающая модулированная двухпроводная линия с изменяющимися диаметрами проводов	74
3.8. Метод расчета линейных антенных решеток полосковых излучателей	82
3.9. Выбор амплитудного распределения вдоль излучающей модулированной линии	88
4. Антенны, содержащие конечное число импедансных проводов	97
4.1. Импедансный провод	97

4.2. Антенна вытекающей волны в виде расположенного над металлическим экраном импедансного провода	100
4.3. Антенны вытекающей волны в виде конечного числа импедансных проводов, расположенных над металлическим экраном.....	106
4.4. Двухпроводная антенна вытекающей волны	112
4.5. Трехпроводная антенна вытекающей волны.....	115
5. Антенно-фидерные устройства на основе импедансных сеток	119
5.1. Граничные условия на плоских сетках импедансных проводов	119
5.2. Волноводные структуры бегущей волны с импедансной полупрозрачной стенкой.....	122
5.3. Многопроводная антенна вытекающей волны	127
5.4. Комбинированные плоские проволочные сетки.....	133
5.5. Дифракция плоской электромагнитной волны на многослойной импедансной проволочной структуре	138
Литература	147