

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИФРАКЦИОННОЙ КВАЗИОПТИКИ

И.В. Минин, О.В. Минин

Институт прикладной физики, г. Новосибирск

Аннотация

Представлены результаты исследований по применению элементов дифракционной квазиоптики миллиметрового диапазона в системах охраны периметров, микроволновых системах распределения телевизионных программ, системах местной многоточечной связи. Рассмотрены возможности получения круговых и конусных диаграмм направленности, приведены алгоритмы как оптимизации фокусирующих свойств антенн на основе дифракционных элементов (выполненных как на плоской, так и произвольной криволинейной поверхности), так и экспресс-анализа их фокусирующих свойств.

Радиолучевые системы охраны периметров

Радиолучевые средства охраны периметров обладают существенными преимуществами перед другими классами устройств аналогичного назначения: относительно невысокой стоимостью, простотой монтажа и эксплуатации, хорошей помехоустойчивостью и высокой вероятностью обнаружения. Переход на частоту 61,25 ГГц (линия поглощения кислорода) позволяет обеспечить как высокую электромагнитную совместимость аппаратуры, так и обеспечить маскируемость электромагнитного излучения, скрытность работы. Среди недостатков известных систем следует назвать два основных параметра: визуально демаскирующий внешний вид антенного блока системы и форму диаграммы направленности (форму зоны обнаружения). Первый из указанных выше недостатков при применении классических антенн практически не устраним: сам факт наличия охранной системы (ее антенны) скрыть не представляется возможным, что само по себе является сильным демаскирующим признаком. Форма зоны чувствительности в известных радиолучевых системах ограничена либо кругом, либо эллипсом.

В тоже время, устранить указанные выше недостатки, возможно при использовании элементов дифракционной квазиоптики [1, 2], выполненных на произвольной трехмерной поверхности. Учитывая свойства таких элементов, решаются две основные задачи – это возможность получения диаграммы направленности (зоны обнаружения) произвольной трехмерной конфигурации и видимая маскировка таких антенных систем под архитектуру (интерьер) элементов строения, например, светильники. Выполнение же дифракционных антенн из оптически прозрачных радиоматериалов, например, оптического полистирола, позволяет разместить внутри антенны, в частности, лампы для освещения пространства вокруг столбов. Кроме того, дифракционные антенны обладают дополнительными свойствами частотных фильтров, что увеличивает помехозащищенность системы в целом, а размещение лампы освещения внутри антенны позволит значительно улучшить условия работы аппаратной части при низких температурах.

Аналогичный подход осуществим и в микроволновых датчиках охранных систем другого назначения, например, охраны внутренних помещений.

Таким образом, при использовании в качестве антенн элементов дифракционной квазиоптики, на-

ряду с работой в частотном диапазоне с большим затуханием излучения в атмосфере, возможно обеспечить полную скрытность работы охранной системы как в электромагнитном диапазоне, так и для визуального наблюдения со стороны потенциального нарушителя, а также улучшить условия работы при низких температурах и существенно расширить гамму форм зоны охраны (форму диаграммы направленности).



Рис. 1. Пример возможного внешнего вида системы охраны периметра



Рис. 2. Внешний вид мм-датчика охраны помещений

Модифицированные антенны Кассегрена

В [3] сообщалось о результатах исследований динамики изменения радиоизображений автомобилей в миллиметровом диапазоне волн. При этом использовался локатор с антенной Кассегрена, в которой основное зеркало было выполнено в виде плоской отражающей зонной пластины с модифицированной структурой зон. Это позволило существенно удешевить антенную часть. Позднее были проведены исследования другой сканирующей антенны Кассегрена, в которой вторичное вращающееся параболическое зеркало было заменено на специальную плоскую дифракционную антенну. В частности, в диапазоне частот 77 ГГц, такая замена привела к падению усиления антенны с 41,5 дБ до 39,7 дБ, но позволила существенно выровнять зависимость усиления от угла сканирования и расширить угловой диапазон сканирования.

Распределенные системы связи

В [4] предложена микроволновая система распределения телевизионных программ M³VDS-40 GHz. Эта система распределяет до 20 программ, полученных с различных источников – ИСЗ, видеотек, на месте. Программы передаются в диапазоне от 20 до 45 ГГц. Передатчик располагается на какой-либо возвышенности для обеспечения наивысшей прямой дальности видимости. При этом антенна передатчика должна иметь круговую диаграмму направленности. В 1991 г. правительство Англии выделило полосу частот 40,5-42,5 ГГц для местного приема телевидения.

В Канаде [5] начинает развиваться система местной многоточечной связи (Local Multipoint Communication System), предназначенной для беспроводной передачи различного рода информации. Предполагается, что такая система будет работать в диапазоне частот от 10 до 66 ГГц. Привлекательность подобной системы – в ее более низкой стоимости по сравнению с оптоволоконными или коаксиальными линиями связи и более высокой мобильности в применении. Для таких систем также необходимы дешевые антенны как с круговой диаграммой направленности, так и с «карандашной».

Один из простейших вариантов такой дешевой антенны с круговой диаграммой направленности показан на рис. 3.

Принцип работы такой антенны заключается в следующем. Излучение плоского волнового фронта падает на конический отражатель, а отраженное от него излучение – на дифракционную антенну. В фокусе антенны располагается приемник излучения. Очевидно, что подобная схема может быть реализована и в варианте линзовой антенны.

Следует отметить, что для изготовления медного волновода использовалась специальная разработанная технология, позволяющая увеличить величину векторной проводимости материала в 1.4 раза, что в свою очередь, позволило снизить потери в волноводном тракте.

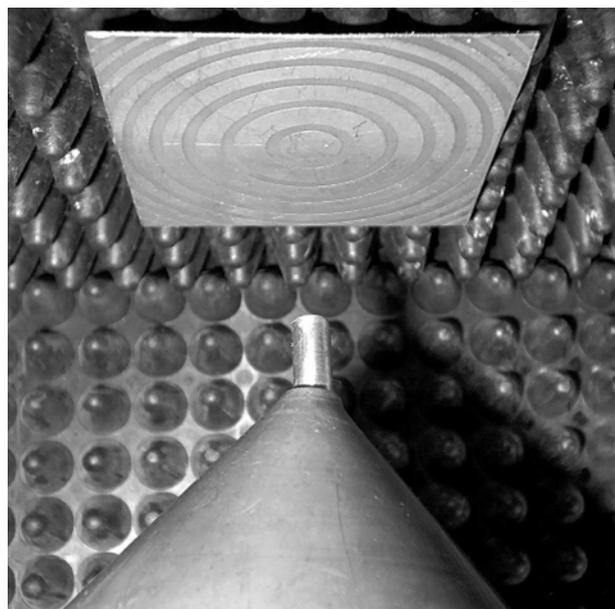


Рис. 3. Макет дифракционной антенны с круговой диаграммой направленности

Возможны и модификации антенн аналогичного назначения, выполненных на основе цилиндрических дифракционных элементов. Кроме того, при необходимости получения диаграммы направленности антенны не круговой, а секторной формы, возможно выполнение отражающего конуса в виде многогранной пирамиды, количество граней которой соответствует количеству секторов диаграммы направленности.

Варьирование угла раствора конусного отражателя позволяет получать диаграмму направленности антенны от круговой до «шатерообразной», что, в частности, необходимо для охранных систем.

Алгоритмы оптимизации дифракционных антенн

Для коррекции фазовых ошибок, проявляющихся в неоднородностях фазового фронта в излучающей апертуре, применялся алгоритм, который позволяет оптимизировать диаграмму направленности антенн, как в дальней, так и ближней зонах. Алгоритм применим как для антенн линзового типа, так и зеркальных, а также для линз. Рассмотрим его на примере антенн линзового типа.

Рассмотрим две поверхности S_1 (поверхность дифракционной антенны) и S_2 (произвольно выбранная поверхность в раскрыве антенны). Декартова система координат находится в точке 0 (рис. 4). Сечения указанных поверхностей S_1 и S_2 плоскостью xOy зададим в виде степенных многочленов:

$$x_1 = a + a_1 y + a_2 y^2 + \dots; \quad x_2 = b + b_1 y + b_2 y^2 + \dots$$

Примем, что требуемое распределение фазы на сечении поверхности S_2 описывается также многочленом вида $\psi(y) = \psi_0 + \psi_1 y + \psi_2 y^2 + \dots$. Источник монохроматического излучения помещен на оси x в точке F и имеет фазовую характеристику $\Phi(y)$ относительно F :

$$\Phi(y) = \varphi_0 + \varphi_1 y + \varphi_2 y^2 + \dots$$

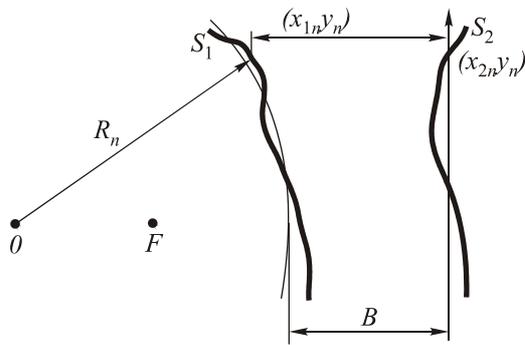


Рис. 4. Пояснения к алгоритму оптимизации

Процесс оптимизации сводится к решению обратной задачи – к определению скорректированных значений координат y_n границ зон Френеля на поверхности дифракционной антенны. Условие синфазности излучения запишем в виде:

$$R_n + (x_{2n} - x_{1n}) + \frac{1}{k}(\Psi_n + \Phi_n) =$$

$$R_0 + B + \frac{\lambda}{M(\sqrt{\varepsilon} - 1)}$$

Из геометрии задачи легко видеть, что

$$R_n^2 = y_n^2 + x_{1n}^2.$$

Комбинируя эти два уравнения, легко получить,

что

$$y_n^2 = R_n^2 - \left[R_n - R_0 - B - \frac{\lambda}{M(\sqrt{\varepsilon} - 1)} + \frac{1}{k}(\Psi_n + \Phi_n) + x_{2n} \right]^2.$$

Здесь введены обозначения:

k – волновое число, $k = 2\pi / \lambda$, R_n – расстояние от начала координат до точки с границами (x_{1n}, y_{1n}) на сечении поверхности S_1 , M – число уровней квантования фазы [1, 2], ε – диэлектрическая постоянная материала антенны, B – расстояние по оси x от вершины антенны до плоскости в раскрыве антенны, R_0 – расстояние от начала координат до вершины поверхности антенны по оси x .

Таким образом, путем решения последнего уравнения определяются скорректированные значения границы зоны Френеля y_n для каждой зоны. Тем самым производится учет, как фазовых характеристик облучателя, так и неравномерности распределения фазы поля излучения в раскрыве дифракционной антенны.

Следует отметить, что по аналогичному алгоритму легко создавать фокусирующие элементы с заданным распределением фазового волнового фронта в раскрыве антенны.

С учетом того, что строгое вычисление дифракционного интеграла для антенн на криволинейной поверхности [6] достаточно трудоемок даже при исполь-

зовании аппарата БПФ, для экспрессного определения фокусирующих свойств дифракционных элементов, выполненных на произвольной поверхности, применялся следующий прием.

Поверхность дифракционного элемента (линзы или антенны) разбивалась кольцевые плоские на участки, границы которых совпадали с зонами Френеля, но сдвигались вдоль оптической оси пропорционально кривизне поверхности элемента. Из рис. 5 видна идея алгоритма.

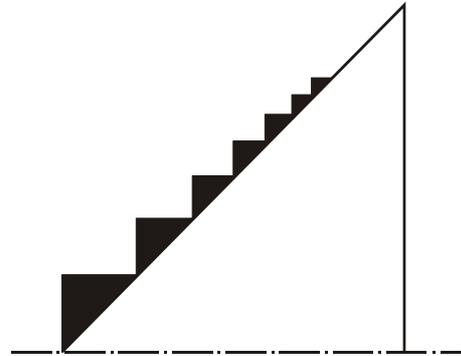


Рис. 5. Схема алгоритма для конической поверхности

Это позволило использовать решения для дифракции волн на кольце.

Результаты численных и экспериментальных исследований кратко рассмотренных новых областей применения элементов дифракционной квазиоптики показали, что такие антенны наряду со своей простотой и дешевизной позволяют формировать требуемые диаграммы направленности для систем различного назначения.

Литература

1. Минин И.В., Минин О.В. Дифракционная квазиоптика // М: ЦНИИИТИ ТЭИ, 1992. - 180 с.
2. Минин И.В., Минин О.В. Дифракционная квазиоптика и ее применения // Новосибирск, СибАгс, 1999. - 308 с.
3. I.V. Minin and O.V. Minin Unsteadies of the car radar imaging in dynamics // Amsterdam, The Netherlands. Softcover, 50th Vehicular Technology Conference VTC 1999-Fall, 1999. September 19-22. P.2048-2052.
4. M. Pilgrim, R. Carver, B.C. Barnes M³VDS-40 GHz Multichannel TV to home // Conf. Proc. 20th European microwave conf., Budapest, 10-13 Sept., 1990. V.1. P. 299-304.
5. J. Jzadian Considering antenna options for LMDS // Microwave and RF, 2001. Nov. P. 64-74, 107.
6. Минин И.В., Минин О.В. Антенные системы миллиметрового диапазона на основе элементов дифракционной квазиоптики // В сб.: "Радиотехнические системы миллиметровых и субмиллиметровых волн", Харьков, 1991. С. 120-127.

New possibilities of diffractive quasi-optics

I.V. Minin¹, O. V. Minin¹

¹Institute of Applied Physics, Novosibirsk

Abstract

The paper presents the research results on the application of elements of millimeter-range diffractive quasi-optics in perimeter security systems, microwave systems for television program distribution, and local multipoint communication systems. The possibilities of obtaining circular and cone radiation patterns are considered, algorithms are presented for both optimization of the focusing properties of antennas based on diffractive elements (produced both on a flat and an arbitrary curved surface) and the express analysis of their focusing properties.

Keywords: diffractive quasi-optics, television program, microwave system, diffractive element.

Citation: Minin IV, Minin OV. New possibilities of diffractive quasi-optics. Computer Optics 2001; 22: 100-102.

References

- [1] Minin IV, Minin OV. Diffractive quasi-optics [In Russian]. Moscow: "TSNIINTI TEI" Publisher; 1992.
- [2] Minin IV, Minin OV. Diffractive quasi-optics and its applications [In Russian]. Novosibirsk: "SibAgs" Publisher; 1999.
- [3] Minin IV, Minin OV. Unsteadies of the car radar imaging in dynamics. 50th Vehicular Technology Conference VTC 1999-Fall 1999: 2048-2052.
- [4] Pilgrim M, Carver R, Barnes BC. M3 VDS-40 GHz Multichannel TV to home. Proc 20th European microwave conf 1990; 1: 299-304.
- [5] Jzadian J. Considering antenna options for LMDS. Microwave and RF 2001; 40(11): 64-74.
- [6] Minin IV, Minin OV. Antenna systems of millimeter-range based on the quasioptical diffraction elements. In Book: Radio engineering systems of millimeter and submillimeter wavelength ranges: Collection of scientific articles. Kharkov: IRE AN USSR Publisher; 1991: 120-127.